

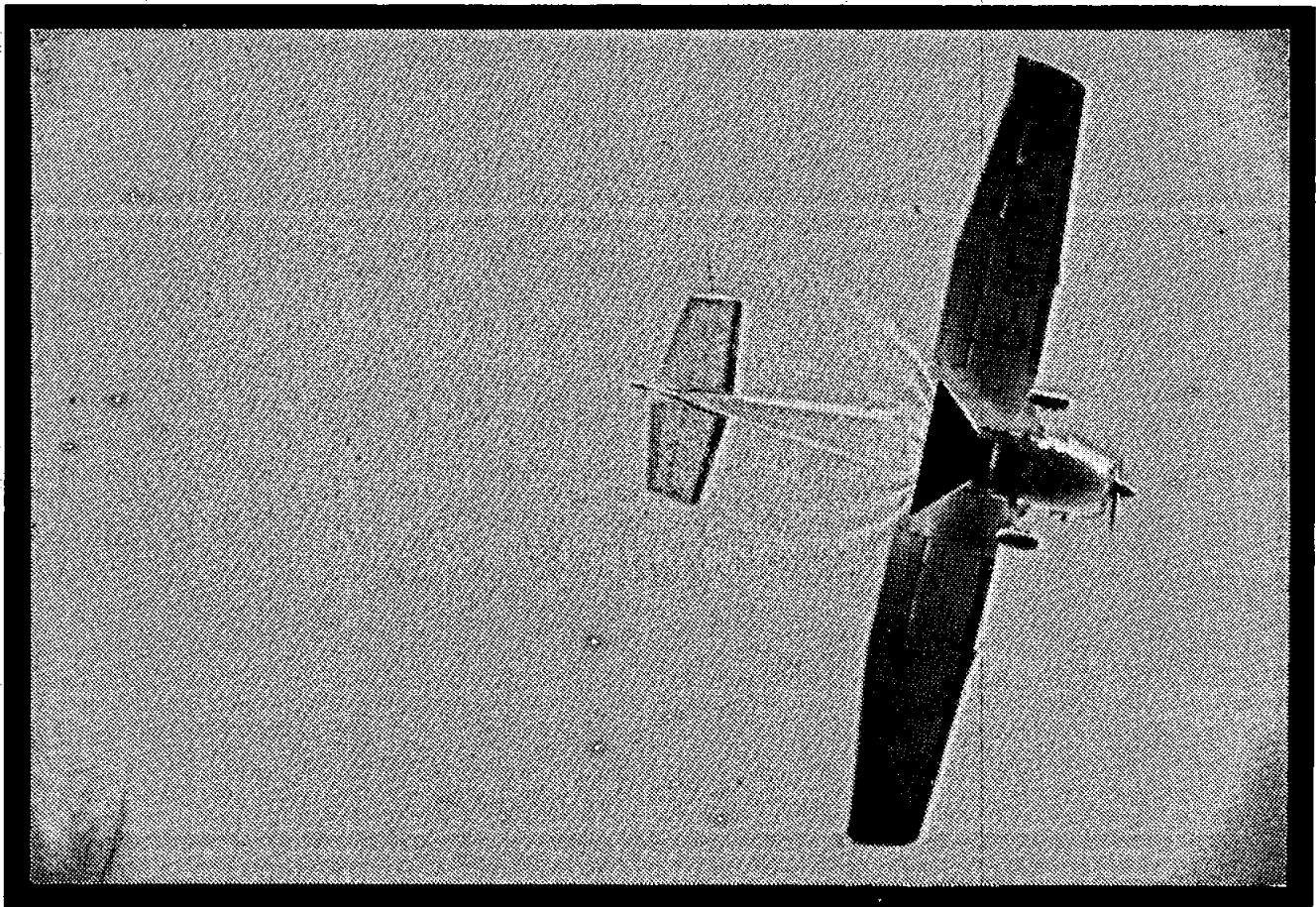


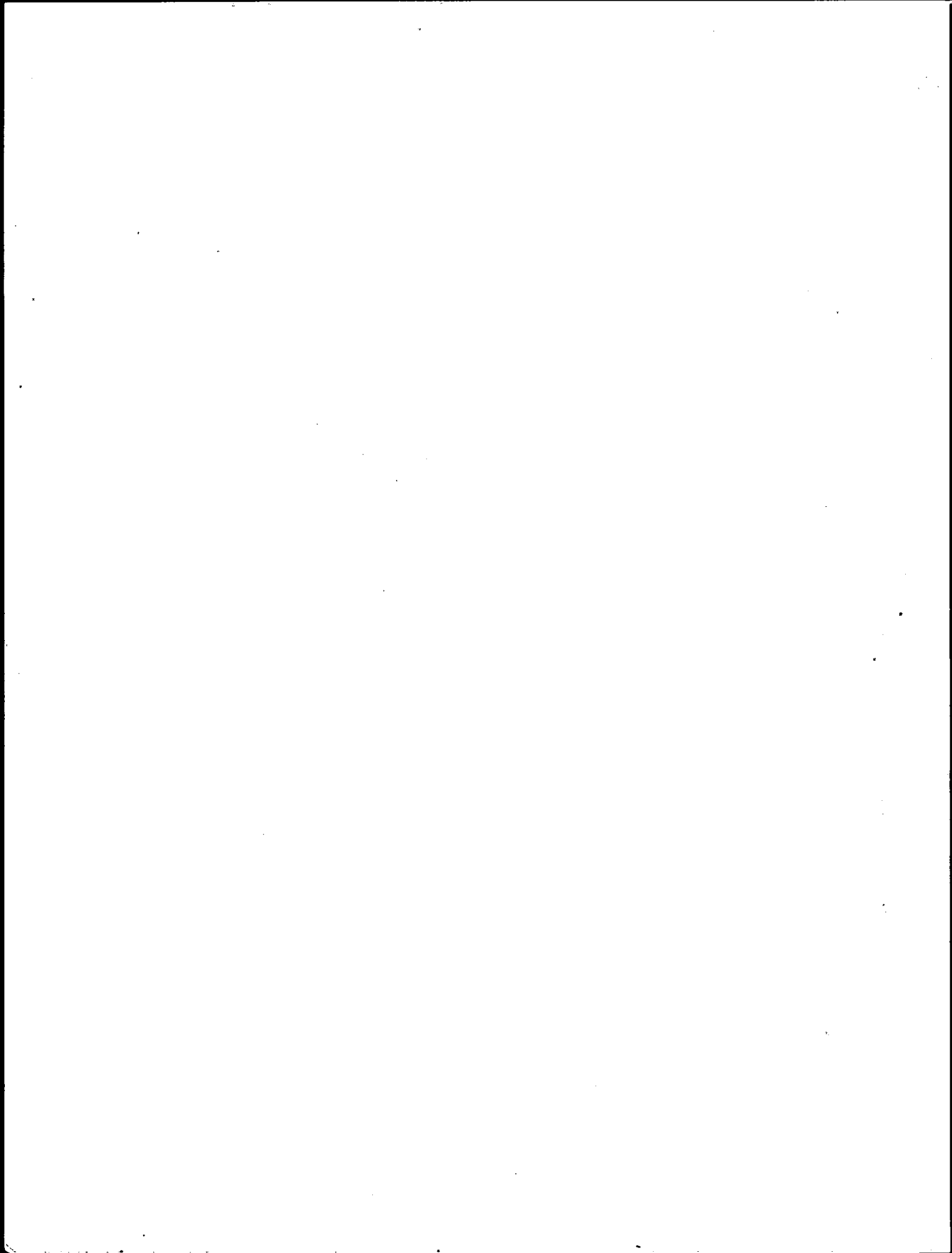
MÉMOIRE N° 41

ESSAI OPÉRATIONNEL DE FERTILISATION AÉRIENNE DE PEUPLEMENTS DE PIN GRIS DANS LA MAURICIE

par le Groupe de recherches interdisciplinaires
en fertilisation des forêts

O.D.C. 237.411 + 376 (047.3) (714) L.C. SD 408 . P.59





ESSAI OPERATIONNEL DE FERTILISATION AERIENNE DE PEUPLEMENTS
DE PIN GRIS DANS LA MAURICIE

PAR LE GROUPE DE RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES
EN FERTILISATION DES FORETS

RAPPORT D'ETAPE 1974-1976

sous la direction de

JEAN-MARC VEILLEUX et GILLES SHEEDY

MEMOIRE N° 41

SERVICE DE LA RECHERCHE
DIRECTION GENERALE DES FORETS
MINISTERE DES TERRES ET FORETS

1977

ERRATA

page parag. ligne

xii 37 R.J. Finnegan

10
(et 25) Il s'agit du comté de Laviolette et non de Champlain

36 2 3 (0,0693 g)

42 Figures 2 et 3

44 Figures 4 et 5

46 Figures 6 et 7

52 4 7 234±75

86 3.3.5

96

$$TIR = \sqrt{\frac{pf \sqrt{VAR}}{IF_0}} - 1$$

$$VPN_0 = \frac{VAR (1+TIR)^{hm} - r}{(1+i)^{hm-af}}$$

97 $af =$ âge du peuplement au moment de la fertilisation
c.-à-d. que $pf = r - af$

98 tabl. 5 F 0,09 ... 0,09

101 tabl. 6 Compagnie
Densité
normale
A
B
D
F
G

109 5 4 Moore

109 5 7 Tiedmann

110 2 8 Ramberg

113 1 3 Gonzalez et Plamondon (1977)

117 3.6.2 4 - Azote et potassium (... sous forme d'urée et....

Fiches de bibliothèque - Le GROUPE DE RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES EN
FERTILISATION DES FORETS est l'auteur du mémoire: messieurs Veilleux
et Sheedy sont les rédacteurs.

Dépôt légal

Bibliothèque nationale du Québec

REMERCIEMENTS

Le Groupe de recherches interdisciplinaires en fertilisation des forêts (G.R.I.F.F.) tient à souligner l'accueil et le dévouement que lui a réservés la région administrative de Trois-Rivières du ministère des Terres et Forêts, alors dirigée par monsieur Laurent Marois, ing.f., de même que la collaboration des autorités de la Consolidated Bathurst Ltée à Grand-Mère.

Des remerciements sincères s'adressent aux personnels du ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche dans le parc du Saint-Maurice, ainsi que du Service des télécommunications du ministère des Terres et Forêts, pour leurs bons offices et pour l'équipement prêté au cours des récents essais de fertilisation aérienne.

Enfin, nous tenons à remercier tous les chercheurs qui contribuent par leurs études connexes à obtenir de l'information sur les effets de la fertilisation sur le milieu.

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

AVANT-PROPOS

C'est en janvier 1972 qu'un groupe de chercheurs intéressés à la fertilisation des forêts et provenant du Centre de recherches forestières des Laurentides, de la Faculté de foresterie et de géodésie de l'université Laval et du Service de la recherche du ministère des Terres et Forêts, a formé le G.R.I.F.F. (Groupe de recherches interdisciplinaires en fertilisation des forêts).

Les membres actuels du comité de coordination du G.R.I.F.F. sont: Bernard Bernier, André Demers, Daniel Gagnon, André Plamondon, Gilles Sheedy et Jean-Marc Veilleux.

Ces chercheurs ont d'abord inventorié ce qui avait été fait en matière de fertilisation des forêts au Québec. Puis, connaissant les expériences et études passées, en cours et prévues, le GRIFF réalisait en 1973 les essais de fertilisation aérienne par hélicoptère des sapinières de la Forêt Montmorency (Roberge et Gagnon, 1975)¹.

¹ ROBERGE, M.R. et J.D. GAGNON, 1975. *Essais de fertilisation aérienne à la Forêt Montmorency. Rapport d'étape 1972-1974*. Serv. Can. For., Centre Rech. For. Laur., Rapport Inf. n^o LAU-X-15, 45 p.

Cette expérience d'épandage de l'engrais par hélicoptère s'est révélée peu efficace. C'est pourquoi en 1976, un nouvel essai de fertilisation forestière par avion a été tenté sur 315 hectares de peuplements de pin gris dans le bassin du Saint-Maurice. Le présent rapport donne un aperçu de la préparation et de la réalisation de ces essais et des progrès des études afférentes.

Décembre 1976.

RESUME

La méthode d'épandage, avec un seul avion *Cessna Agtruck*, utilisée pour fertiliser les peuplements de pin gris de la Mauricie, a permis d'atteindre une efficacité opérationnelle avancée, tant du point de vue de la rapidité d'exécution que de celui de la régularité de l'épandage et de l'uniformité de la distribution de l'engrais. Avec un coût global inférieur à \$75/ha (\$30/ac), on peut dire que la fertilisation des peuplements de pin gris est économiquement rentable, dans la mesure où les hypothèses de travail concernant les rendements physiques, les coûts et les revenus se réalisent. Enfin, le présent rapport décrit en détail les études complémentaires entreprises afin de mesurer qualitativement et quantitativement l'influence de la fertilisation sur l'écosystème.

[The page contains extremely faint and illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the document. No specific content can be transcribed.]

ABSTRACT

Spraying with a single Cessna Agtruck airplane to fertilize jack pine stands in the Saint Maurice area has made it possible to reach a high operational efficiency in regards to speed of execution, spraying regularity and uniform distribution of the fertilizer. With a global cost of less than \$75/ha (\$30/ac), fertilizing jack pine stands can be considered economically feasible as long as the work hypotheses on physical yield, costs and returns are realized. Complementary studies aimed at measuring the influence of fertilization on the ecosystem, both in quantity and in quality, are also detailed in this report.

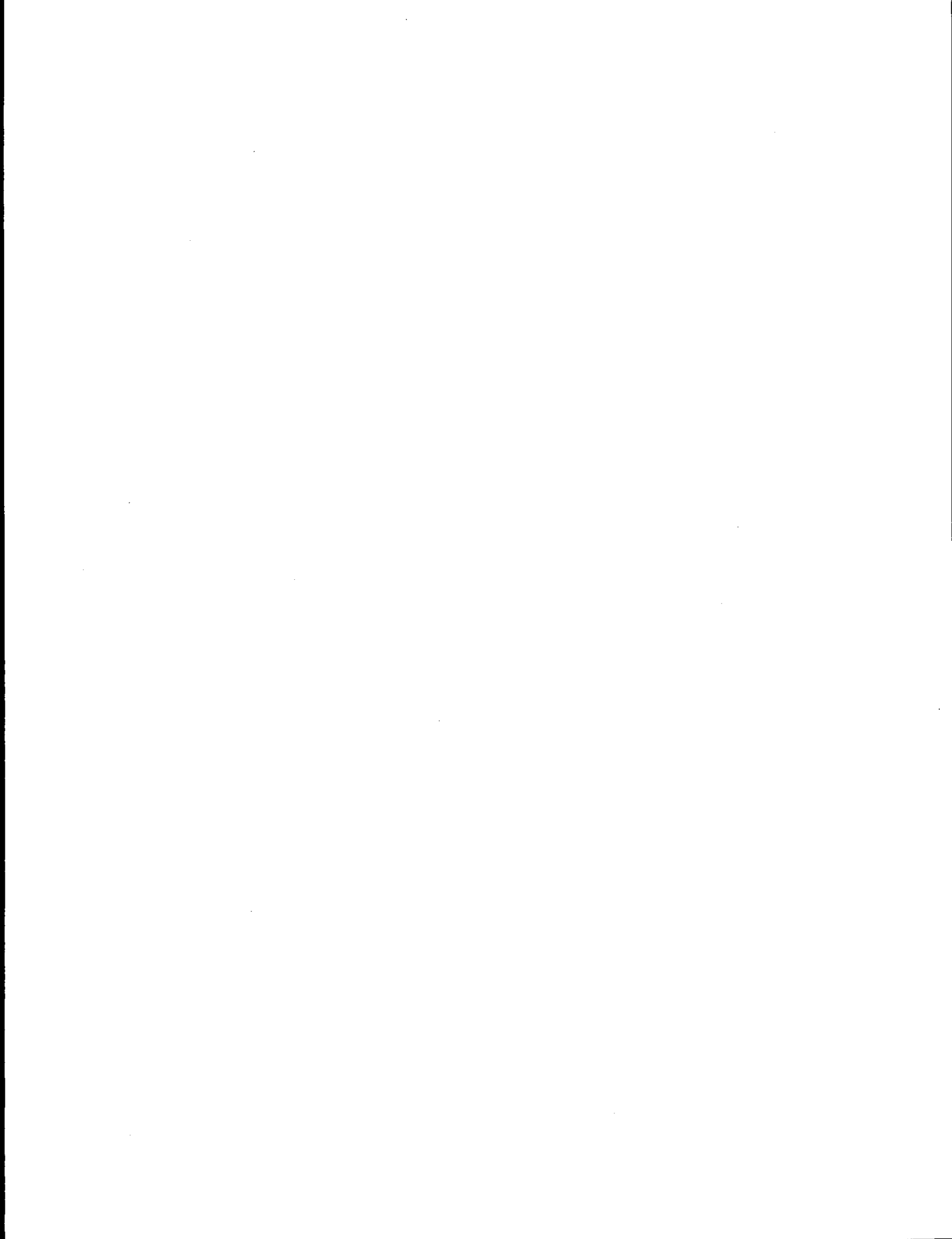


TABLE DES MATIERES

	page
REMERCIEMENTS	iii
AVANT-PROPOS	v
RESUME	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
TABLE DES MATIERES	xi
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 - DESCRIPTION DU MILIEU	3
1.1 Choix du milieu par J.-M. Veilleux et A. Demers	3
1.2 Caractéristiques générale de la station par J.-M. Veilleux	7
1.3 Evaluation de la végétation par H. Leblanc	11
1.4 Etude pédologique de l'aire par T.D. Phu	21
1.5 Etablissement des placettes d'échantillonnage par J.-M. Veilleux	23
CHAPITRE 2 - METHODE OPERATIONNELLE	27
2.1 Recherche et choix du mode opérationnel par A. Demers et J.-M. Veilleux	27
2.2 Travaux préliminaires à l'opération par A. Demers et J.-M. Veilleux	31

	page
2.3 Opération d'épandage de l'urée par J.-M. Veilleux, A. Demers et J. Jobin	39
2.4 Détermination du taux réel et de la distri- bution du fertilisant appliqué par G. Sheedy	51
2.5 Résultats de l'étude de travail par le COGEF	57
 CHAPITRE 3 - ETUDES COMPLEMENTAIRES	 75
3.1 Eclaircie commerciale par R. Doucet	77
3.2 Effet possible de la fertilisation azotée sur le coefficient de forme du pin gris par Stevo Popovich	81
3.3 Effet de la fertilisation azotée, par voie aérienne, sur la croissance annuelle du diamètre du pin gris par J.-D. Gagnon	83
3.4 La fertilisation aérienne dans le pin gris en Mauricie, Québec: une décision rentable? par J.-P. Nadeau	89
3.5 Observations préliminaires relatives aux effets de la fertilisation à l'urée sur les propriétés des eaux naturelles par A. Gonzalez	107
3.6 Fertilisation en potassium et en azote et observations sur les teneurs en éléments des aiguilles du pin gris par G. Sheedy	117
3.7 Effet d'un défoliation (simulée) par le diprion de swaine sur la croissance en diamètre du pin gris par P. Benoît	119
3.8 Observations sur les réactions des petits mammifères du pin gris à la fertilisation aérienne par R. Laguë	121
3.9 Observations sur l'effet de la fertilisation par voie aérienne sur les petits oiseaux par R. Laguë	127
3.10 Observations faites sur l'effet du ferti- lisant appliqué par avion sur la fourmi <i>Formica lugubris</i> au lac à la Chienne par R.J. Finnigan	131
 COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS	 133

INTRODUCTION

De nos jours, l'emploi des engrais est en voie de devenir un outil dans l'aménagement des forêts, à l'instar des autres pratiques sylvicoles utilisées pour améliorer la production.

Bien que des progrès marqués aient été accomplis en fertilisation forestière opérationnelle, il appert que beaucoup reste à faire pour répondre à la multitude de questions que se posent les éventuels utilisateurs de cette technique sylvicole.

A une époque où l'on craint des pénuries de bois dans certaines régions et où l'on doit maintenir et même augmenter la possibilité de coupe annuelle, la fertilisation des forêts naturelles offre de grandes possibilités pour atteindre ces objectifs. Cependant, un programme de fertilisation ne devrait pas se limiter à mesurer l'effet de l'engrais sur la croissance. Il importe aussi d'en évaluer l'impact sur tout l'écosystème forestier et d'en déterminer les rentabilités biologique et économique.

Ainsi, la première expérience de fertilisation par avion des forêts au Québec avait d'abord pour but de mettre au point une méthode opérationnelle pour l'application des engrais et d'étudier en même

temps la nature, la durée et l'intensité des changements provoqués dans l'écosystème. Cet essai a été effectué sur quelque 315 hectares de peuplements de pin gris situés dans le bassin du Saint-Maurice, à 80 km à l'ouest de Mattawin. C'est pourquoi près d'une quinzaine de chercheurs intéressés à la fertilisation des forêts ont entrepris des études complémentaires par lesquelles ils tenteront de mesurer qualitativement et quantitativement l'influence de la fertilisation sur la production ligneuse, la végétation, le sol, l'eau et la faune. Les détails relatifs à l'opération de fertilisation proprement dite de même que les autres études en cours, sont décrits dans le présent rapport.

CHAPITRE 1

DESCRIPTION DU MILIEU

1.1 CHOIX DU MILIEU par J.-M. Veilleux¹ et A. Demers²

1.1.1 CHOIX DE L'ESSENCE

Le pin gris représente 5,5 pour cent du volume résineux de la forêt boréale au Québec tandis qu'il occupe la troisième place dans l'échelle d'importance relative des conifères, après l'épinette noire et le sapin. Il représente un avoir d'au-delà de 150 millions de mètres cubes (*53 millions de cunits*) (Anonyme, 1973).

Le choix de cette essence pour l'essai de fertilisation aérienne des forêts a été dicté non seulement par son importance économique, mais aussi parce que le pin gris a démontré un fort potentiel d'augmentation de croissance à la suite de la plupart des traitements sylvicoles et parce que cette espèce croît généralement sur des stations où la topographie se prête au type d'essai opérationnel prévu.

¹ Service de la recherche, ministère des Terres et Forêts du Québec.

² C.R.F.L., ministère des Pêches et de l'Environnement du Canada.

Au Québec, les premières expériences de fertilisation du pin gris en forêt naturelle datent du début de la dernière décennie et les réactions, après 7 ans, indiquent que l'addition d'azote sous forme d'urée, au taux de 112 kg/ha (100 lb/ac), a assuré un accroissement annuel supplémentaire de 40 pour cent en volume (Swan, 1969). Plus récemment, des résultats du premier remesurage quinquennal des dispositifs établis dans le cadre du Projet interprovincial de fertilisation des forêts naturelles, montrent des gains relatifs de 34 et 54 p. 100 en volume total, pour les traitements d'urée seule (N à 112 kg/ha) et d'urée combinée avec le KCl (N à 224 kg/ha; K à 112 kg/ha) respectivement, dans les peuplements de pin gris fertilisés en Ontario et au Québec (Weetman *et al.*, 1976).

Ce sont ces éléments qui, dès 1974, ont amené le GRIFF à retenir la forêt naturelle de pin gris comme environnement pour le deuxième essai opérationnel de fertilisation aérienne, après celui de 1973 à la Forêt Montmorency. L'objectif premier du second essai était de se familiariser avec la logistique de l'épandage aérien d'un engrais en forêt naturelle. Cette précision allait avoir des conséquences sur le choix des peuplements de pin gris à fertiliser, puisque l'étude de l'effet de l'engrais sur la croissance devenait un objectif secondaire. C'est au même moment qu'il était décidé de choisir systématiquement les peuplements de pin gris à fertiliser à travers l'aire naturelle du pin gris au Québec.

1.1.2 CHOIX DE L'AIRE EXPERIMENTALE

Après avoir éliminé les régions où les probabilités de retrouver des massifs imposants de pin gris étaient faibles, celles de la Gatineau, du Lac-Saint-Jean - Chibougamau et du Saint-Maurice ont été retenues pour entreprendre les recherches et décider d'un choix préliminaire.

Un premier contact avec ces régions s'est effectué auprès des bureaux des régions administratives du ministère des Terres et Forêts à Hull (Gatineau), Chicoutimi (Lac-Saint-Jean - Chibougamau), Montréal et Trois-Rivières (Saint-Maurice) et auprès de deux concessionnaires forestiers opérant dans ces régions, la CIP du Canada et la Consolidated Bathurst Limitée. Par la suite, le choix préliminaire s'est porté sur des massifs boisés des régions du Saint-Maurice (rivière à la Chienne) et de Chibougamau (Chapais) parce qu'ils montraient les plus forts potentiels, même s'ils ne répondaient pas à tous les critères de choix du départ tels que deux qualités de stations (I et II) et deux classes d'âge (20 et 30 ans).

L'accessibilité et l'infrastructure de la station de recherches forestière du lac Normand étaient d'autres critères de choix très importants pour l'opération de 1976 et les études connexes qui se poursuivraient dans le temps ont été les derniers facteurs considérés; ils ont fait porter le choix définitif sur l'aire de pin gris d'environ 485 hectares de la région de la rivière à la Chienne.

A l'intérieur de ce massif forestier, la délimitation de l'aire expérimentale (blocs à fertiliser et blocs témoins) s'est accomplie au cours de l'été 1975 après une reconnaissance préliminaire et un inventaire par virées discontinues. Cette aire a été déclarée secteur expérimental par le ministère des Terres et Forêts du Québec, selon les règlements prévus à cet effet, afin de lui conserver son statut de permanence pour la poursuite en toute quiétude des études connexes.

REFERENCES

- ANONYME, 1973. *Programme d'amélioration du pin gris (Pinus banksiana Lamb.) au Québec*. Gouv. Québec, Min. Terres et Forêts, Cons. Rech. Dev. For., Rapp. n° 2, 169 p.
- SWAN, H.S.D., 1969. *Eastern Canada probes less costly wood. Trees on good sites, near mills, fertilized*. Forest Ind. 96 (12): 32-35.
- WEETMAN, G.F., H. KRAUSE et E. KOLLER, 1976. *Résultats du premier remesurage quinquennal dans trente installations*. Projet interprovincial de fertilisation des forêts naturelles. Min. Env., Serv. Can. Forêts, Rapp. techn. for. 16, 34 p.

1.2 CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA STATION par J.-M. Veilleux

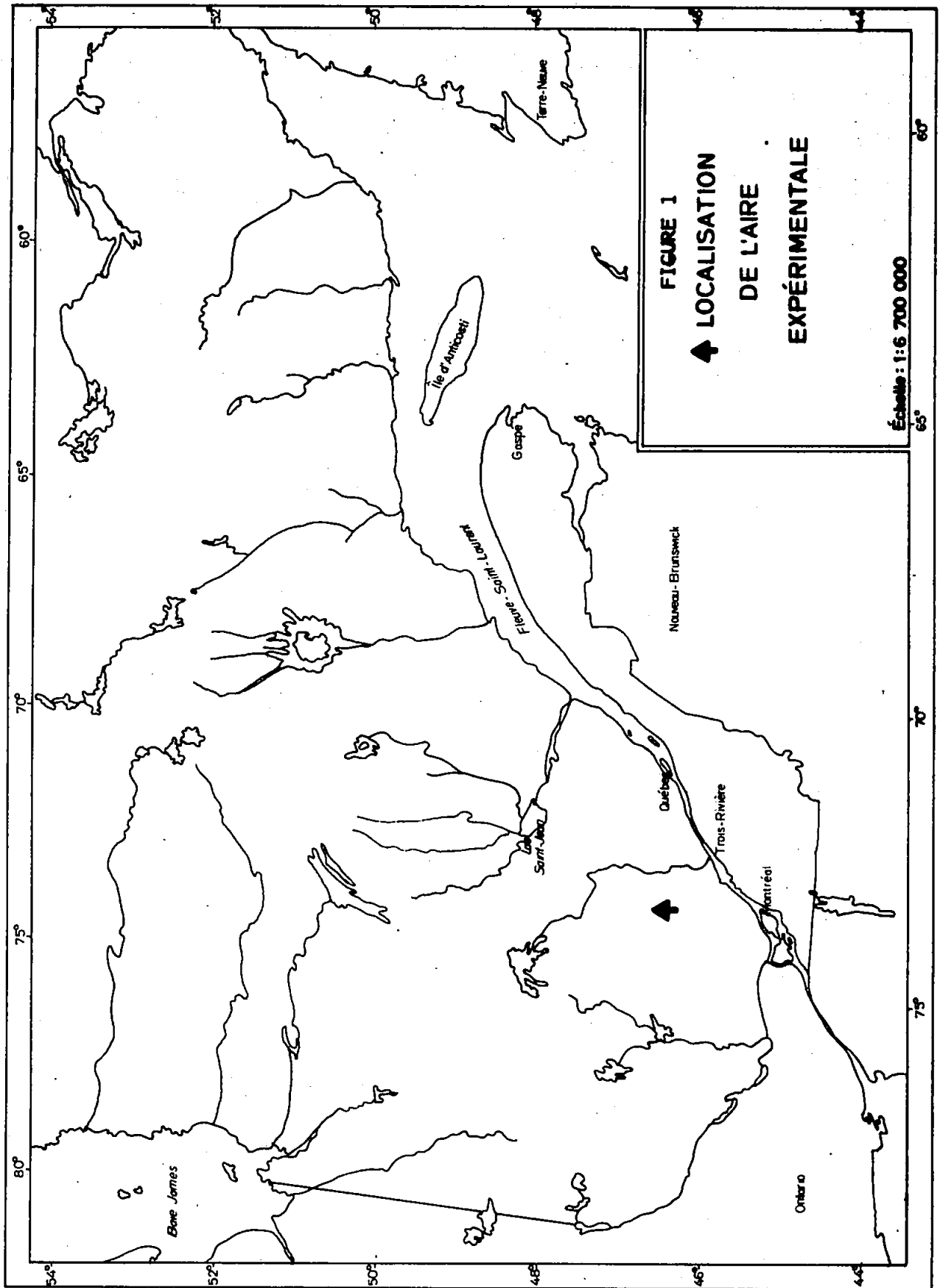
L'aire expérimentale est située à quelques 80 km à l'ouest de Mattawin, plus précisément à la limite des cantons Bréhault, Livernois et Normand dans les comtés de Maskinongé et de Laviolette, entre les longitudes 73°24' et 73°30' ouest et les latitudes 47°00' et 47°03' nord, à une altitude d'environ 470 mètres (figure 1).

Les peuplements retenus font partie de l'unité d'aménagement de la Basse Mattawin, sur les concessions forestières de la Consolidated Bathurst Limitée. Il se situent à la limite sud-est de la région de la forêt Boréale, section Missinaibi-Cabonga (B-7) (Rowe, 1972).¹

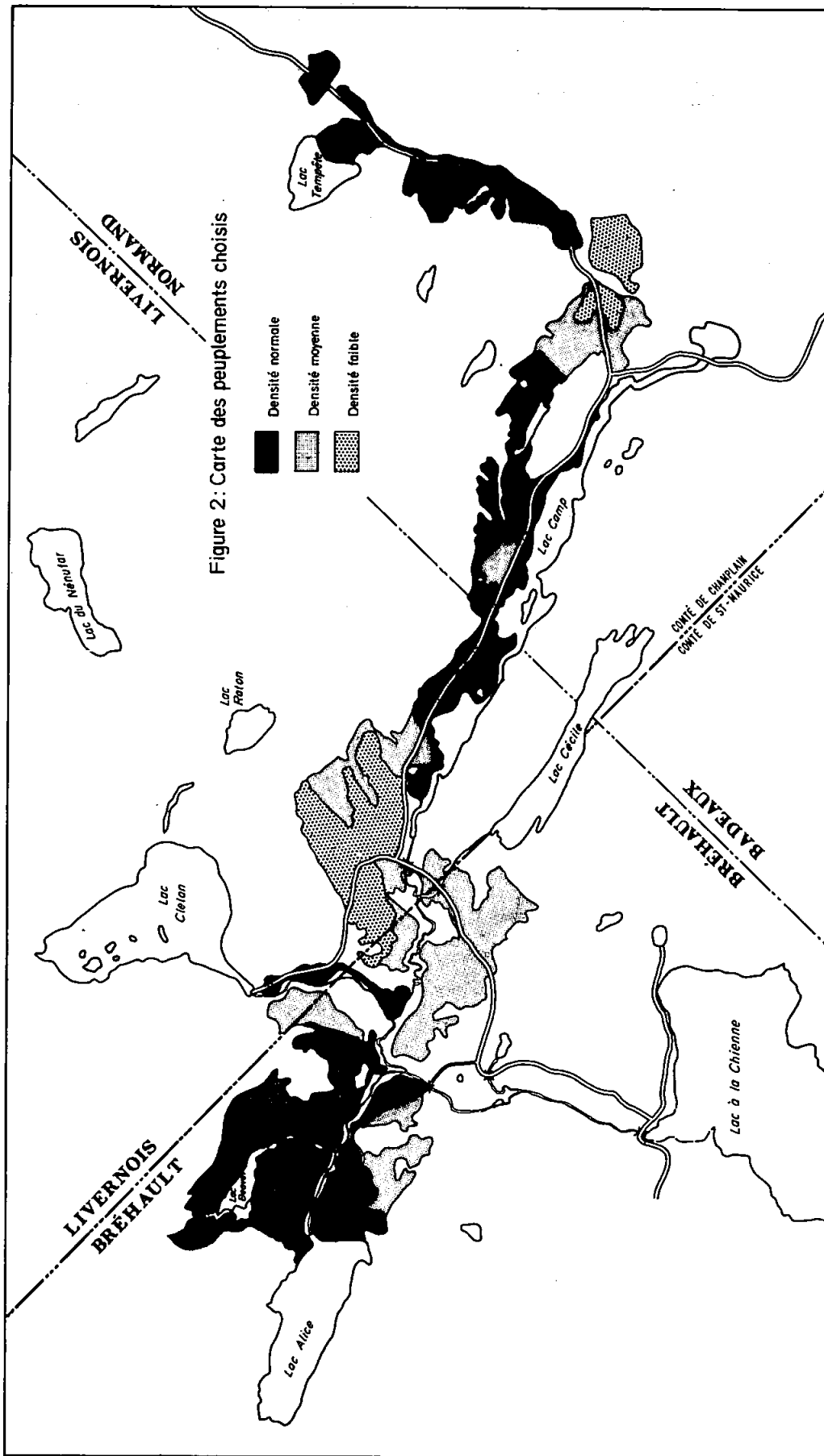
Dans cette région, la température moyenne annuelle est de 29°C tandis que la température moyenne est de -13°C en janvier et de 17,6°C au mois de juillet. Caractérisée par une période sans gel d'environ 100 jours, cette région reçoit une précipitation moyenne annuelle de 864 mm, dont 267 durant la saison de croissance.

L'ensemble des peuplements occupe une plaine d'épandage fluvio-glaciaire à topographie horizontale ou légèrement ondulée. Ces terrasses sableuses longent la rivière à la Chienne qui est tributaire de la rivière Mattawin. Le sol, de texture sableuse, est recouvert d'un humus brut acide sous lequel s'est développé un podzol humo-ferrique orthique.

¹ ROWE, J.S., 1972. *Les régions forestières du Canada*. Min. Env., Serv. Can. For., Publ. 1300-F: 172 p.



Ces peuplements proviennent d'un feu et leur moyenne d'âge est de 46 ans; ils sont subdivisés en trois classes de densité basées sur la fermeture du couvert selon les intensités: faible, moyenne et normale. Les peuplements de densité faible s'identifient surtout à la qualité de station III tandis que les deux autres sont de qualité de station II (figure 2).



1.3 EVALUATION DE LA VEGETATION par H. Leblanc¹

Comme formation végétale, la pinède grise comprend de nombreux groupements végétaux qui diffèrent entre eux par leur composition floristique. Les différences observées dans la composition des différentes strates, tant muscinales qu'arbustives, liées à la nature et à la structure des sols, expliquent assez bien le dynamisme de ces groupements végétaux.

Le but de ce travail était de reconnaître et d'identifier sur le terrain les différents groupements végétaux et d'en circonscrire éventuellement les périmètres. Cette tâche ne peut cependant être dissociée d'études plus poussées de la strate arborescente (aspect dendrométrique) ni d'études pédologiques.

1.3.1 METHODE DE TRAVAIL

Les pinèdes grises soumises au traitement de fertilisation ont été, préalablement à l'application de l'engrais chimique, subdivisées en trois grandes classes de densité, basées sur le degré de fermeture du couvert correspondant à des intensités particulières, à savoir: faible, moyenne et normale. Ces classes de densité répondent aux conditions rencontrées sur le terrain et peuvent être facilement vérifiées sur les photographies aériennes. Nous les avons d'ailleurs exploitées comme assiettes de notre étude de végétation.

¹ C.R.F.L., ministère des Pêches et de l'Environnement du Canada.

1.3.1.1 Dispositif expérimental

A l'intérieur de chaque grande strate délimitée par les classes de densité reconnues, 128 placettes d'échantillonnage de 0,04 ha (0,1 a) ont été installées tant dans les aires traitées que dans les superficies témoins.

Nous avons utilisé le même réseau de placettes pour conduire nos études de végétation. Antérieurement à l'échantillonnage, une reconnaissance des lieux familiarisa les observateurs avec la végétation; une collection des principales plantes rencontrées permit le montage d'un herbier. Au besoin, les services d'experts en botanique, principalement pour les mousses et les lichens, furent requis. D'une façon générale, l'identification des plantes fut contrôlée par MM. Richard Gohier et Donat Galipeault, étudiants de 3^e année en Foresterie à l'université Laval, ou par l'auteur.

A l'intérieur de chaque placette dendrométrique préétablie, tant dans les aires traitées que dans les aires témoins, quatre relevés de végétation furent pris, sauf pour la ligne n^o 6 où seulement deux relevés par placette furent effectués.

L'unité d'échantillonnage pour la végétation est le carré de végétation d'un mètre carré de surface, situé d'une façon systématique à 15 mètres du poteau du centre de la placette, selon des directions magnétiques de 45, 135, 225 et 315 degrés, la base du carré reposant toujours sur le rayon tendu et placé dans le sens des aiguilles d'une montre. Deux piquets de bois placés dans le sens de l'hypothénuse assurent la permanence de ces unités d'échantillonnage.

1.3.1.2 Végétation

Une fois identifiée, toute la végétation comprise à l'intérieur de l'unité d'échantillonnage a été évaluée selon les échelles types communément utilisées dans les études de végétation forestière. Les plantes ont été groupées en classes d'étages naturels ou strates, selon la coutume, puis évaluées selon les échelles de Braun-Blanquet (1932) pour les critères de sociabilité, d'abondance et de dominance.

1.3.1.3 Compilation des résultats

Etant donné le grand nombre d'échantillons prélevés (4 par placette pour un grand total de 512), seul un carré de végétation par placette fut retenu pour la préparation des tableaux de végétation élaborés pour chaque classe de densité. Le choix de l'unité d'échantillonnage était aléatoire. L'utilisation des données supplémentaires recueillies au cours de cette étude est prévue pour une seconde étape.

Des tableaux de végétation¹ illustrent la phase présente à l'intérieur de chaque placette. Le nombre d'échantillons retenus varie d'une classe de densité à l'autre: plus la densité est faible, plus l'échantillonnage est grand; par contre, on dénote une faiblesse de l'échantillonnage dans la classe de densité normale. Il semble déjà évident qu'il faudra utiliser toute l'information recueillie pour mieux préciser le type forestier dans les classes de densité moyenne et normale.

¹ Les tableaux de végétation qui ont été préparés ne sont pas illustrés en raison d'un manque d'espace.

1.3.2 RESULTATS.

1.3.2.1 Aires de densité faible

Les aires fertilisées et témoins, distinctes et distantes, telles que décrites par les tableaux de végétation, présentent un faciès floristique quasi identique et appartiennent à un même ensemble végétal. Ces peuplements se rattachent à l'association du *Cladonio-Pinetum* décrite par Lafond (1952). Ils sont caractérisés:

- a) par une strate muscinale et lichénique bien développée;
- b) par une strate arbustive inférieure complète;
- c) par l'absence d'une strate herbacée, exception faite pour la présence de *Melampyrum lineare* (Desr.) dans la zone témoin.

Si par ailleurs ces peuplements appartiennent à la même association, ils sont légèrement différents par la composition de leur strate arbustive. En effet, dans l'image de la flore de la section pulvérisée d'engrais chimique, nous constatons que la strate arbustive se différencie par la présence de *Comptonia peregrina* (L.). A travers les éricacées bien développées telles le *Kalmia angustifolia* et les *Vaccinium sp.* qui dominent la strate arbustive, la comptonie voyageuse est d'une constante fidélité. Ce sous-ensemble de pin gris appartient au type *Comptonia-Vaccinium* décrit par différents auteurs tels Lafond (1952, 1956) et Linteau (1959).

Dans les peuplements témoins, nous voyons une flore légèrement différente. La comptonie voyageuse perd de l'importance; elle n'apparaît que dans 4 relevés. Par contre, des éléments nouveaux

apparaissent dans la strate arbustive, tels l'épigée rampante, la gaulthérie et le chiogène. L'épigée et le kalmia sont les plantes qui caractérisent ce groupement végétal. Ce type *Kalmia-Epigaea* a été décrit par Lafond (1956).

Pour les deux types forestiers observés, nous constatons d'abord une pauvreté de la flore dans les strates arbustives inférieures et supérieures. Nous ne retrouvons que 9 plantes dont 7 sont de la famille des éricacées.

C'est la strate muscinale qui est la mieux développée. Trois sortes de mousses *Dicranum* furent observées, mais non différenciées; deux autres variétés de cladonies vues sur le terrain n'ont pas été identifiées. La strate muscinale mériterait d'être regardée de plus près, tout comme la population de champignons qui s'étale sur la partie végétale du sol à la fin de l'été.

1.3.2.2 Aires de densité moyenne

L'examen des tableaux de végétation démontre assez clairement que nous ne nous trouvons plus dans la même association que celle observée dans la section de densité faible. Le changement est visible à deux niveaux, celui de la strate arborescente inférieure et celui de la strate muscinale. Les cladonies cèdent le pas aux mousses hypnacées et le *Pleurozium Schreberi* accompagné des *Dicranum* recouvre une plus grande surface de l'unité d'échantillonnage. Ces mêmes cladonies disparaissent même dans le secteur non traité. Dans la strate arborescente inférieure, l'épinette noire devient de plus en plus importante

au niveau de la régénération (strate Ai). Dans la strate arbustive, la comptonie voyageuse n'apparaît plus que dans quatre relevés et parmi les éricacées présentes, l'airelle du Canada domine.

Ces peuplements se rattachent donc, par leur structure floristique, à l'association du *Piceeto-Pinetum*. Un seul et même type forestier domine cette association; il porte le nom de *Pleurozium-Vaccinium* (autrefois *Callierygon-Vaccinium*) décrit par plusieurs forestiers.

A l'intérieur de cette association, un certain groupement des relevés s'impose, surtout dans la zone non fertilisée. L'aire témoin est sous-échantillonnée; à peine 14 relevés. Il faudra utiliser toute l'information recueillie pour mieux saisir la raison d'être de l'apparition d'une strate herbacée. Sans aucun doute, les relevés de certaines placettes n'appartiennent pas au type décrit, mais s'apparentent davantage au type que nous décrirons dans l'aire de densité normale qui suit.

1.3.2.3 Aires de densité normale

Les peuplements de pin gris trouvés dans cette classe de densité normale peuvent appartenir à deux associations différentes et partant, se rattacher à deux types forestiers distincts.

Quel que soit le tableau du traitement considéré, nous distinguons deux ensembles de végétation distincts caractérisés par la présence ou l'absence d'une strate herbacée en voie d'établissement.

La présence d'une strate herbacée pourrait être liée au fait que l'on peut retrouver dans la strate arborescente supérieure

des feuillus intolérants, tels le bouleau à papier ou le peuplier faux-tremble. Si cette hypothèse se vérifiait par une étude de la strate arborescente, l'on pourrait classifier ces peuplements à l'association *Corno-Pinetum*; on se trouverait alors en plein type *Cornus-Kalmia*, groupement végétal qui évolue graduellement vers la forêt mélangée de type *Cornus-Maianthemum*.

Par contre, les relevés qui n'offrent pas de strate herbacée nous portent à rattacher ces peuplements au type *Pleurozium-Kalmia*, tel que décrit pour la classe de densité moyenne.

Il est évident dans ce cas, pour les deux associations possibles, que l'insuffisance de données nous empêche de progresser. Il nous faut utiliser toute l'information préalablement recueillie. Nous sommes assurés d'avoir suffisamment de données pour trancher la question et qu'il nous sera possible d'établir une courbe d'aire minimum.

1.3.3 COMMENTAIRES

Malgré l'apparente homogénéité des pinèdes grises choisies pour cette expérience de fertilisation par voie aérienne, l'analyse de la végétation révèle certaines différences dans la composition et la structure de la végétation inférieure de la grande superficie (485 ha) étudiée.

Ces variations nous permettent d'établir que cet ensemble de peuplements pourrait se subdiviser probablement en trois associations majeures et en cinq types forestiers déjà décrits par des chercheurs tels que Lafond (1952, 1956) et Linteau (1959).

Dans un premier temps, il nous reste à utiliser toute l'information recueillie à ce jour, c'est-à-dire, exploiter toutes nos données et regrouper les relevés en unités homogènes.

Dans un second temps, intégrer nos données sur la végétation avec les informations déjà recueillies sur la strate arborescente (données dendrométriques) et les sols.

Dans un troisième temps, remonter aux sources et trouver les descriptions originales des types forestiers nommés ci-dessus, et établir la validité de notre description.

Dans un quatrième temps, intégrer ces données aux cartographies pédologiques et forestières.

L'ensemble de ce développement est lié à la préparation d'un mémoire d'étude par les étudiants Gohier et Galipeault qui ont réalisé une partie de ces travaux avec nous sur le terrain.

REFERENCES

- BRAUN-BLANQUET, J., 1932. *Plant sociology*. XVIII + 439 p. McGraw-Hill. New York et Londres.
- LAFOND, A., 1952. *Description des associations et des types forestiers de la province de Québec*. Notes de cours.
- LAFOND, A., 1956. *Notes pour l'identification des types forestiers sur les concessions de la Quebec North Shore Paper Company*. Baie-Comeau.
- LINTEAU, A., 1959. *Classification des stations forestières de la section des conifères du Nord-Est, région forestière boréale du Québec*. Ministère du Nord Canadien et des Ressources nationales, Direction des Forêts. Bull. n° 118.

Tableau 1

Végétation caractéristique des peuplements de pin gris du bassin de la rivière à la Chienne

Densité	Faible		Moyenne	Normale	
Association	Pinède grise à Cladonie		Pinède grise à mousses	Pinède grise à mousses	
Type	(fertilisé) <i>Comptonia-Vaccinium</i>	(témoin) <i>Kalmia-Epigaea</i>	<i>Pleurozium-Vaccinium</i>	<i>Pleurozium-Kalmia</i>	
Végétation caractéristique par strate	Strate¹				
	As	Pin gris	Pin gris	Pin gris	
	Ai			Epinette noire	
	ai	Comptonie voyageuse Kalmia à feuilles étroites Airelle à feuilles étroites	Kalmia à feuilles étroites Airelle à feuilles étroites Airelle fausse-myrtille	Kalmia à feuilles étroites Airelle à feuilles étroites	Kalmia à feuilles étroites Airelle à feuilles étroites Airelle fausse-myrtille
	ar		Epigée rampante	Gaulthérie couchée Chiogène hispide Epigée rampante	Chiogène hispide Linnée boréale
	h		Mélampyre linéaire		Cornouiller du Canada Maënthème du Canada Trientale boréale
m	Cladonie Cladonie alpestre Hypne de Schreber Dicrane	Hypne de Schreber Cladonie du caribou Cladonie alpestre Dicrane	Hypne de Schreber Cladonie du caribou Dicrane Cladonie alpestre	Hypne de Schreber Dicrane Cladonie du caribou	

¹ Symboles reliés aux strates:

As: arborescente supérieure

as: arbustive supérieure

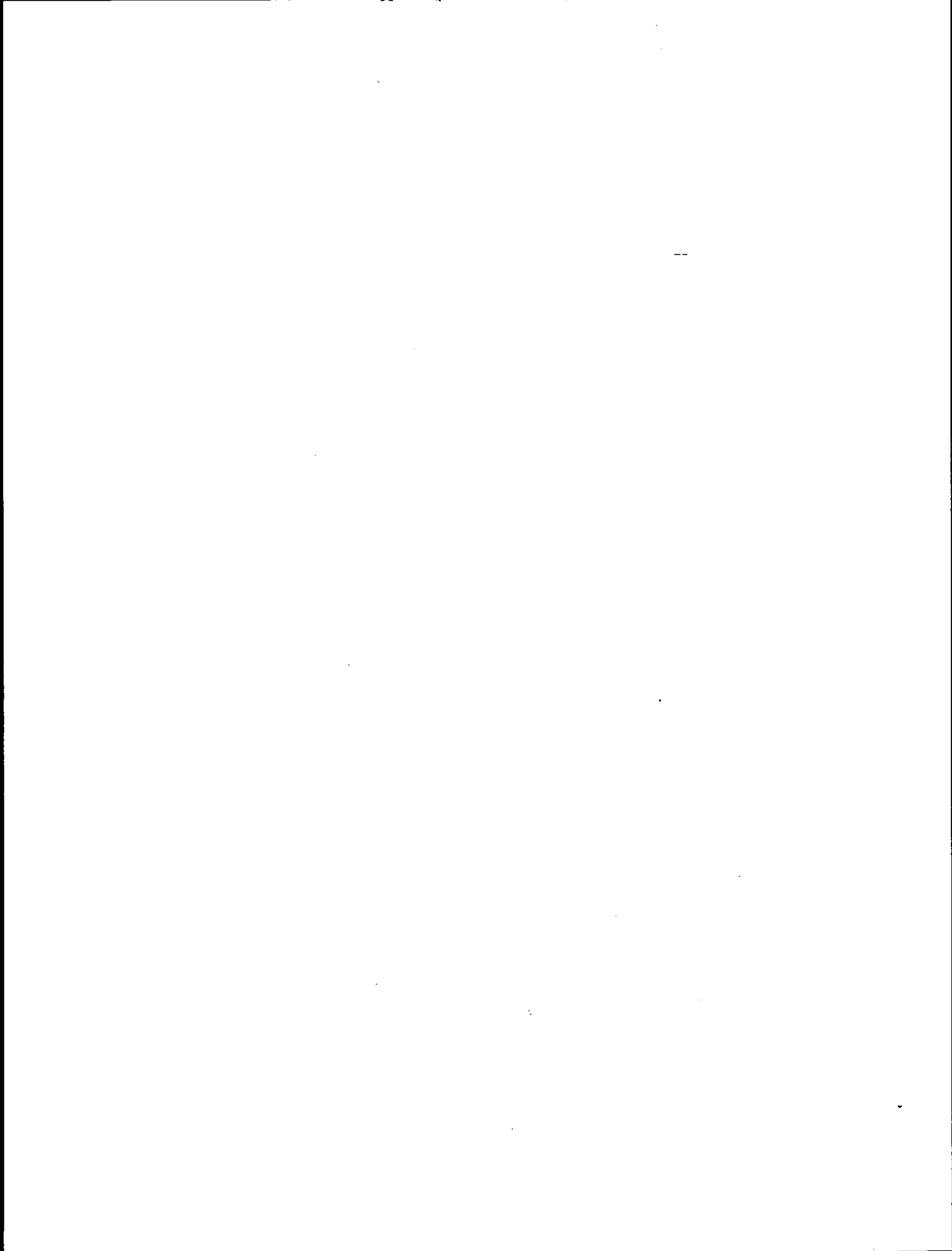
h: herbacée

m: muscinale

Ai: arborescente inférieure

ai: arbustive inférieure

ar: arbustive rampante



1.4 ETUDE PEDOLOGIQUE DE L'AIRE par T.D. Phu¹

L'aire de l'expérience de fertilisation aérienne est située dans la région du Plateau laurentien. L'infrastructure du plateau est formée de roches ignées et métamorphiques précambriennes dominées par les granites, les gneiss, les quartzites, etc. Dans la région de l'aire expérimentale, le plateau est recouvert de sédiments glaciaires et fluvio-glaciaires assez épais et remaniés par endroits par les cours d'eau sillonnant la région. Cette aire est formée d'une étroite plaine allongée et entrecoupée par une série parallèle de collines et de lacs dans la direction Nord-Ouest Sud-Est.

L'altitude de la région varie entre 410 et 425 mètres pour la plaine et 520 mètres pour les collines. La plaine a un micro-relief de plat à concave et le restant a une topographie d'ondulée à accidentée. Dans la plaine, la nappe aquifère reste près de la surface pendant une bonne partie de l'année. La formation des sols est conditionnée par le relief, le type de dépôt et les conditions de drainage. Dans la plaine, on trouve un dépôt sablo-limoneux relativement uniforme et épais. Les sols sont donc différenciés par leur classe de drainage. On y distingue trois principales séries de sol représentant trois grands groupes. Les podzols se trouvent sur les matériaux modérément bien drainés ou bien drainés dans les parties plates à légèrement relevées. Les podzols gleyifiés se sont formés sur des matériaux d'imparfaitement à mal drainés dans les dépressions. Les gleysols se retrouvent sur les matériaux sablo-limoneux ou limoneux mal drainés des marécages. On trouve aussi

¹ C.R.F.L., ministère des Pêches et de l'Environnement du Canada.

des podzols sur les épandages fluvio-glaciaires plus ou moins grossiers au bas des collines. Les podzols et les podzols gleyifiés sont donc les deux groupes majeurs de l'aire expérimentale. Ces deux groupes sont bien représentatifs des formations pédologiques trouvées dans la région de Mattawin.

L'an prochain, une étude plus approfondie sera exécutée pour déterminer les propriétés morphologiques, physiques et chimiques des différentes séries de sol ainsi que leur classification et pour établir éventuellement une carte pédologique de l'aire expérimentale. Ces études seront complétées par d'autres études dans les sites expérimentaux des lacs Caousacouta et McLaren, pour obtenir des connaissances assez complètes sur les caractéristiques et les propriétés des sols de la région de la Mattawin. Ces données serviront à interpoler les résultats de fertilisation et des études de station pour divers types et caractères éco-pédologiques de la région.

1.5 ETABLISSEMENT DES PLACETTES D'ECHANTILLONNAGE par J.-M. Veilleux

A la suite de la reconnaissance préliminaire et de l'inventaire discontinu des peuplements en 1975, ces derniers ont été stratifiés et le nombre de placettes a été déterminé pour chaque strate, proportionnellement à l'écart type et à l'importance de la strate en superficie. Ainsi, un nombre total de 118 placettes permanentes a été établi à l'été 1976, dont 59 dans les peuplements fertilisés et 59 dans les témoins (figure 1).

Les placettes sont circulaires et d'une superficie de 0,04 ha chacune (cercle de 11,2 m de rayon). Tous les arbres dont le d.h.p. est de 8,6 cm et plus ont été numérotés et leur diamètre mesuré à 1 mm près. Les gaulis (tiges de 0,6 à 8,5 cm de d.h.p.) d'essences commerciales ont été dénombrés et enregistrés par catégorie de diamètre de 2 cm; ce dénombrement couvre une superficie de 0,001 ha, soit la superficie d'un cercle de 1,78 mètre de rayon, concentrique avec la parcelle.

Les volumes total et marchand du pin gris ont été calculés à partir des tarifs de cubage locaux obtenus par des régressions hauteur totale fonction du d.h.p., pour chaque classe de densité. Les équations de régression ont ensuite été appliquées aux tarifs de cubage généraux de Tremblay (1966)¹. Les tarifs de cubage utilisés pour les essences secondaires sont ceux qui ont déjà été préparés pour la région concernée par le Service des inventaires forestiers du ministère des Terres et Forêts du Québec.

¹ TREMBLAY, P.H., 1966. *Tarifs de cubage généraux*. Québec, Min. Terres et Forêts, Dir. Gén. Bois et Forêts, Serv. Inv. For. Ed. prov., 44 p.

Les moyennes des placettes témoins et fertilisées sont comparables selon leur densité en ce qui concerne la composition, le nombre de tiges, le diamètre moyen, la surface terrière ainsi que les volumes total et marchand (tableau 1).

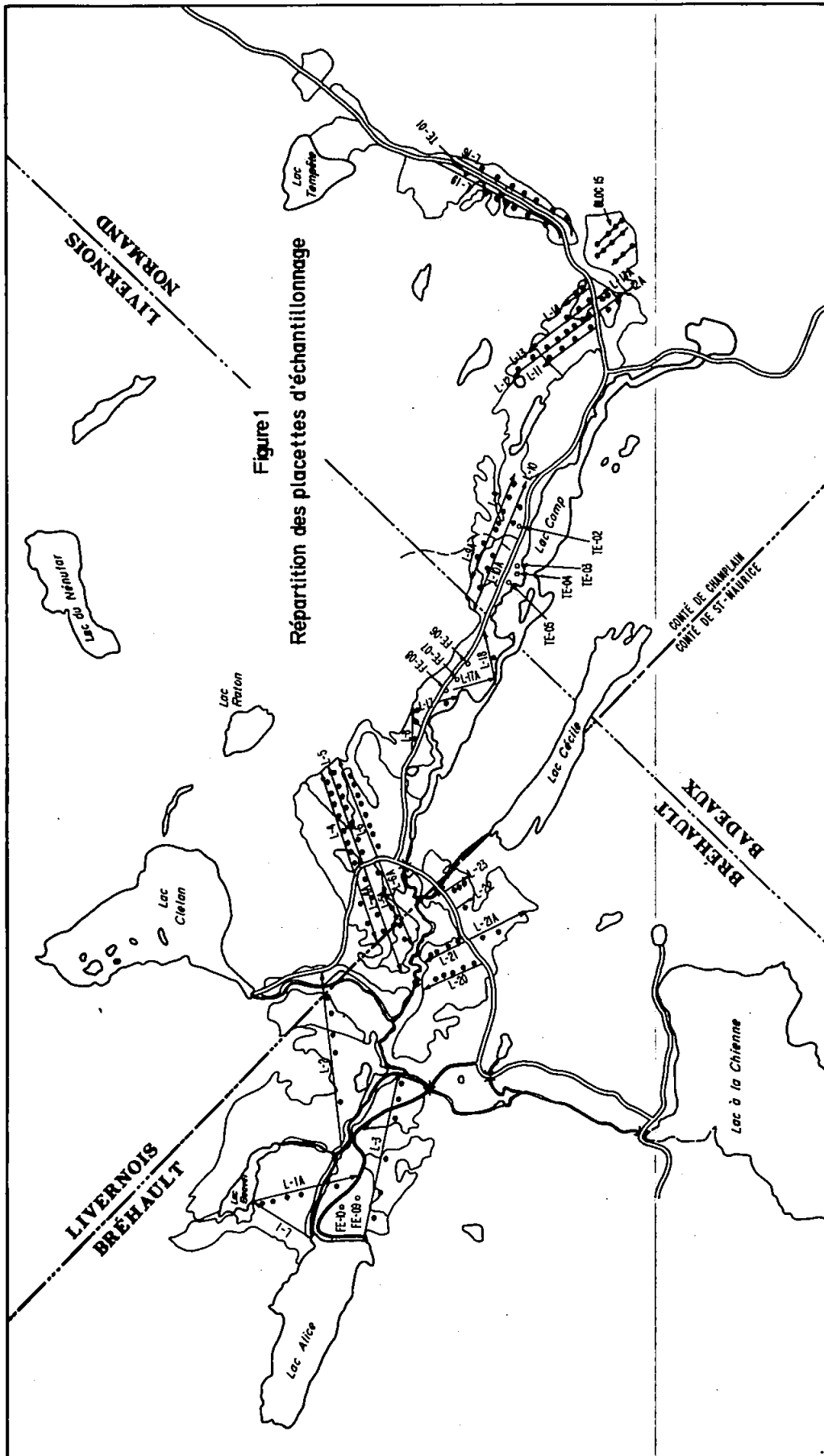


TABLEAU 1

Caractéristiques dendrométriques des peuplements

DENSITE	ESSENCE	TEMPOIN						FERTILISE					
		N. tiges /ha	d.h.p. ¹ cm	ST ² m ² /ha	VT ³ m ³ /ha	VM ⁴ m ³ /ha		N. tiges /ha	d.h.p. cm	ST m ² /ha	VT m ³ /ha	VM m ³ /ha	
Normale	Pin gris	1266	15,3	23,15	156,74	133,54		1144	15,1	20,54	138,41	117,43	
	Epinette noire	147	11,7	1,58	10,96	6,18		369	12,1	4,27	27,43	17,94	
	Bouleau papier	9	12,9	0,12	0,76	0,44		10	10,1	0,08	0,47	0,16	
	Tremble	20	17,5	0,48	3,77	3,44		13	20,0	0,41	3,25	3,08	
	Total	1442	15,0	25,33	171,33	143,60		1536	14,5	25,30	169,56	138,60	
Moyenne	Pin gris	887	15,6	17,02	109,07	92,82		1006	14,6	16,75	104,80	86,30	
	Epinette noire	157	11,5	1,63	10,38	6,17		125	11,2	1,23	7,79	4,36	
	Bouleau papier	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	
	Tremble	13	14,8	0,22	1,53	1,25		-	-	-	-	-	
	Total	1057	15,1	18,87	120,98	100,24		1131	14,2	17,98	112,59	90,66	
Faible	Pin gris	537	16,9	12,12	73,11	63,28		569	15,5	10,67	63,00	52,54	
	Epinette noire	95	11,8	1,04	5,63	3,99		-	11,6	0,95	4,99	3,44	
	Bouleau papier	1	10,2	0,01	0,04	0,01		-	-	-	-	-	
	Tremble	2	14,7	0,03	0,22	0,17		-	-	-	-	-	
	Total	635	16,3	13,20	79,00	67,45		659	15,0	11,62	67,99	55,98	

¹ d.h.p. : Diamètre à hauteur de poitrine (mesuré en mm à 1,37 mètre du sol)² ST : Surface terrière exprimée en m²/ha³ VT : Volume total exprimé en m³/ha⁴ VM : Volume marchand exprimé en m³/ha

CHAPITRE 2

METHODE OPERATIONNELLE

2.1 RECHERCHE ET CHOIX DU MODE OPERATIONNEL par A. Demers et J.-M. Veilleux

Lors des essais de fertilisation aérienne de 1973 à la Forêt Montmorency, l'objectif opérationnel visé n'a pas été atteint. En effet, l'application d'urée par un hélicoptère *Bell G-5*, muni d'un appareil d'ensemencement de marque *Simplex* modifié, n'a pas permis d'atteindre ou d'approcher un rendement de niveau opérationnel.

Dans les circonstances, le deuxième essai prévu en 1976 dans les forêts de pin gris a pris beaucoup d'importance. C'est la raison pour laquelle le premier objectif de cet essai était de se familiariser avec la logistique d'une méthode opérationnelle de fertilisation aérienne; aussi a-t-il été convenu que toutes les démarches devaient être entreprises de façon à ce que l'équipement choisi soit représentatif d'une des meilleures méthodes.

Une revue de littérature a permis de constater que les principaux centres opérationnels de fertilisation aérienne se trouvaient en Suède, aux Etats-Unis et au Canada (particulièrement en Colombie-Britannique). Les méthodes dans ces centres font ressortir l'existence de deux écoles, celle où est préconisée l'utilisation de l'avion (Canada, Suède) et celle où est préférée l'utilisation de l'hélicoptère de forte capacité (Etats-Unis). L'un et l'autre de ces engins ne sont pas exclus des opérations dans les pays mentionnés. Ce sont surtout des critères comme l'échelle des opérations et la disponibilité de l'équipement qui guident le choix des appareils, bien que certains centres soient plus favorables à l'un qu'à l'autre.

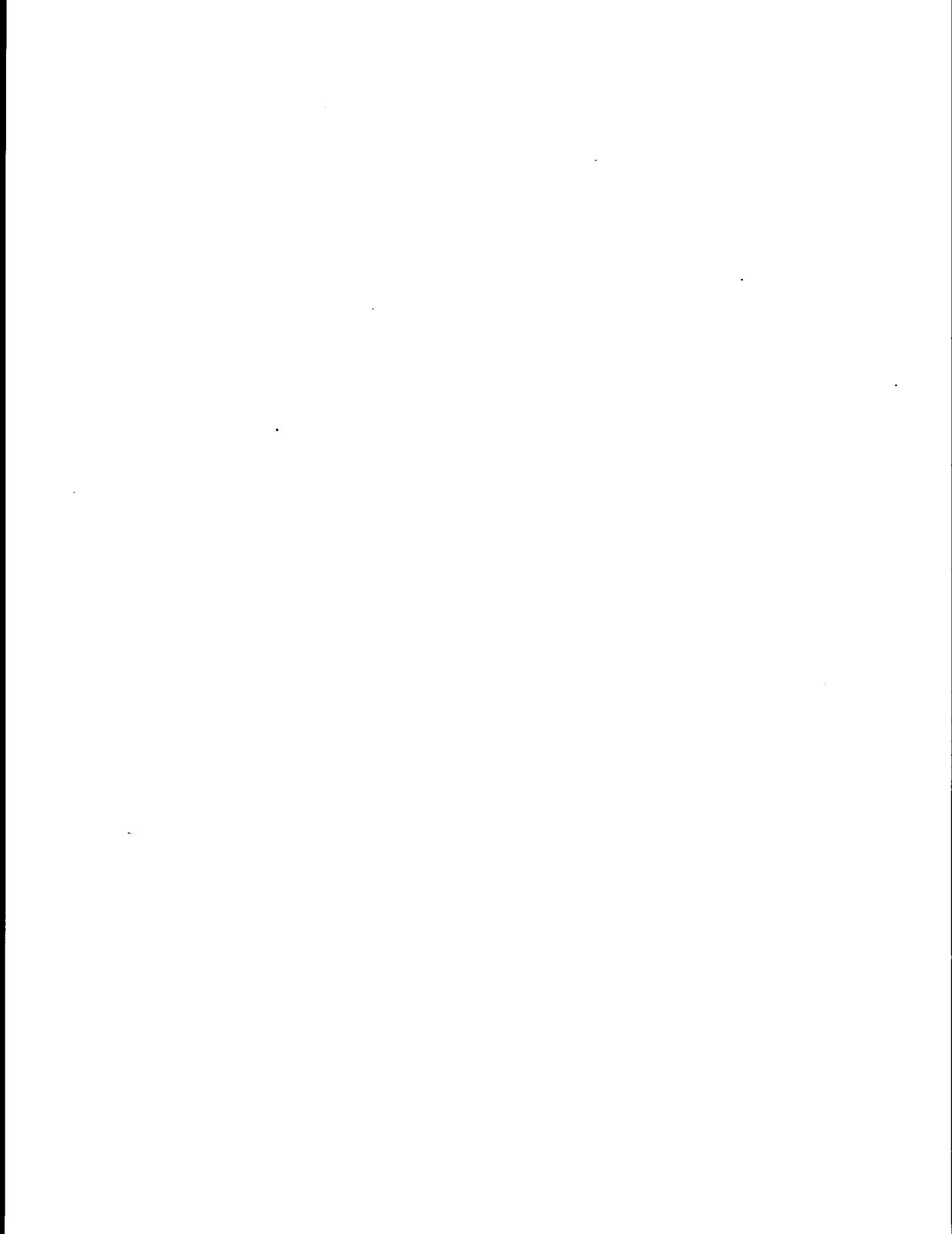
Afin de nous familiariser avec une opération de fertilisation aérienne dans un des principaux centres opérationnels, un premier contact fut établi avec le Centre de recherches forestières du Pacifique du ministère de l'Environnement du Canada. Cette démarche nous a amenés à visiter en septembre 1975, le chantier de fertilisation du lac Cowichan, sur les propriétés forestières de la compagnie *Pacific Logging*, à quelque 100 km au nord de Victoria, sur l'île de Vancouver en Colombie-Britannique.

Ce voyage nous a révélé l'une des méthodes de fertilisation des forêts par avion les plus au point, fruit de dix années de recherches et de développement au cours desquelles tous les éléments susceptibles d'influencer le niveau de rentabilité de l'épandage ont été analysés et révisés dans le temps, de façon à réduire le coût, tout en assurant un épandage de qualité améliorée.

Au retour de ce voyage, toutes les implications de la méthode mise au point par la *Pacific Logging* (Crown, 1974) ont été analysées avant de décider de l'utiliser pour notre essai de 1976. D'ailleurs, à ce moment-là au Québec, il était peu probable de trouver un hélicoptère de location convenablement équipé pour l'épandage aérien de particules solides à grande ou moyenne échelle.

REFERENCES

- CROWN, M., 1974. *Fertilizer application on a operational scale*. In: Proceedings of a workshop on forest fertilization in Canada. Env. Canada, For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault-Ste-Marie, Ont., For. Techn. Rep. 5: 93-99.



2.2 TRAVAUX PRELIMINAIRES A L'OPERATION par A. Demers et J.-M. Veilleux

Les décisions de choisir une aire expérimentale dans le bassin de la rivière à la Chienne en Mauricie et de retenir comme mode opérationnel celui de la *Pacific Logging* ont nécessité certains travaux préliminaires, ce qui a entraîné au cours de l'hiver 1975-76, la préparation d'un calendrier détaillé des activités préalables à l'opération d'épandage proprement dite. Le respect de ce calendrier a permis de vivre l'étape des travaux préliminaires comme suit:

2.2.1 CHOIX ET ACHAT DE L'ENGRAIS

Il est généralement admis que la teneur en azote dans nos forêts est faible et que cet élément est considéré comme un facteur limitatif majeur de la croissance. A la lumière des résultats d'expériences récentes, on peut croire que l'application d'engrais azotés peut diminuer cette déficience et améliorer suffisamment la production et la qualité des peuplements pour justifier des investissements à court terme. On considère l'urée comme le type d'engrais le plus profitable, à cause de sa concentration élevée en azote (46 p. 100) et de sa transformation rapide en ammonium dans le sol. Pour le pin gris, le taux de 112 kg/ha d'azote (244 kg/ha d'urée) montre les avantages économiques les plus évidents.

L'urée utilisée dans l'Ouest canadien et dans les états du Nord-Ouest américain est fabriquée spécifiquement pour les opérations forestières. Cette urée à grain forestier se caractérise par la

grosseur de ses particules, dont le diamètre est de 4 à 6 mm; elle ne contient pas de poussière, ce qui la rend plus facile à manipuler et moins susceptible au compactage. De plus, ces granules lourds passent plus facilement à travers le feuillage des arbres. Enfin, la dispersion de l'urée à grain forestier est meilleure, même avec un certain vent.

Parce que ce type d'urée n'est pas disponible au Québec, l'engrais a été acheté de la compagnie *Cominco* de Calgary en Alberta, qui semble le seul manufacturier canadien. Le coût de \$180/tn comprend le transport ferroviaire jusqu'à Saint-Tite, Québec. La quantité totale exacte livrée par le wagon était de 87,73 tonnes courtes (79 058 kg pour un coût total de \$15 791).

2.2.2 CONSTRUCTION DE LA PISTE D'AVIONS

De façon à maximiser le rendement de la méthode opérationnelle, la piste d'avions doit être à proximité de l'aire à fertiliser. A cette fin, la section la plus appropriée de la route du lac Clelan a été convertie en un tronçon droit de 765 mètres de longueur, où l'emprise a été portée à 25 mètres et où la chaussée (piste d'envol) sur sol minéral a été aménagée sur une largeur de 10 mètres.

Ces propositions ont été approuvées par le concessionnaire forestier (Consolidated-Bathurst Limitée) et la Région administrative du ministère des Terres et Forêts (Trois-Rivières).

Le C.R.F.L. a confié l'aménagement de la piste à un entrepreneur spécialisé dans la construction et l'entretien des chemins forestiers. La piste a été réalisée en juillet 1976 selon les exigences

exprimées ci-dessus. Le coût total de la construction a atteint la somme de \$3 748. Ce coût est ventilé ainsi:

a- Coupe de bois	\$ 1 979
b- Mise en forme	1 240
c- Nivellement	462
d- Additif abat-poussière	<u>67¹</u>
Coût de la construction	\$ 3 748
Revenu de la vente du bois	<u>506</u>
Déboursé total	\$ 3 242

2.2.3 LOCATION DE L'AVION ET DE L'EQUIPEMENT CONNEXE

Les expériences antérieures de l'Hydro-Québec dans l'épandage aérien d'herbicides granulaires et liquides ont permis de nous mettre en contact rapidement avec deux compagnies québécoises d'aviation spécialisées dans l'épandage. Bien que plus familières avec les contraintes opérationnelles des cultures agricoles, ces compagnies possédaient quelque expérience en milieu forestier puisqu'elles avaient été appelées à participer au programme d'arrosage contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette sur la forêt privée.

Une analyse de l'expérience antérieure et de l'équipement des deux compagnies concernées nous a amenés à choisir la compagnie *Modern Air Spray* de Saint-Jean d'Iberville, Québec. Cette firme possédait des avions semblables à ceux de l'opération de Colombie-Britannique mentionnée plus haut et acceptait d'opérer sur une base forfaitaire

¹ Coût non significatif, puisque la quantité d'additif serait normalement plus élevée si l'on voulait abattre la poussière durant toute l'opération.

de \$17.30/ha (\$7.00/ac). C'est le C.R.F.L. qui lui confiait le contrat dont le coût comprend la calibration, la mise en disponibilité d'un avion de marque *Cessna Agtruck* équipé pour l'épandage de particules solides et d'un camion muni d'une benne de chargement pour l'avion.

2.2.4 CHOIX DE LA PERIODE D'EPANDAGE

La période d'épandage, prévue pour le printemps 1976, a dû être remise à la fin de l'été, plus précisément à fin du mois d'août. Ce délai a été occasionné parce que l'urée à grain forestier n'était pas disponible avant la fin de juillet, c'est-à-dire au moment où la compagnie *Cominco* de Calgary, Alberta, commence sa production annuelle de ce type d'engrais pour répondre aux demandes de l'Ouest où les opérations se déroulent surtout à l'automne.

C'est dans ces circonstances que le G.R.I.F.F. a accepté de retarder l'essai, d'autant plus que les expériences antérieures dans des conditions similaires ne laissaient soupçonner aucun inconvénient à fertiliser à la fin d'août plutôt qu'au printemps.

2.2.5 ACQUISITION DE L'EQUIPEMENT MAJEUR

L'acquisition de plusieurs pièces d'équipement majeur a dû être complétée au moins quelques semaines avant le début de l'opération d'épandage. Parmi les pièces utilisées dans ce projet, mentionnons:

- a) Une vis sans fin (auge à grain): pour le chargement des camions près de la voie ferrée et celui de la benne de toile près de la piste;
- b) bâche de polyéthylène: quelque 200 verges carrées (167 m²) de polyéthylène de 0,15 mm d'épaisseur ont été achetées pour protéger le fertilisant;

- c) ballons, perches, hélium: pour le marquage des blocs et des lignes de vol;
- d) radios: des émetteurs-récepteurs MF pour les communications entre le poste central d'opération et le personnel affecté au marquage des lignes de vol et au contrôle du taux d'épandage;
- e) une roulotte: utilisée comme centre de contrôle des opérations près de la piste même.

2.2.6 CALIBRATION DE L'APPAREIL

La calibration du système d'épandage a été effectuée quelques jours avant l'opération proprement dite. Elle avait pour but d'ajuster tout l'appareillage afin d'atteindre le taux d'épandage désiré. Ces essais ont eu lieu sur des pistes d'atterrissage d'un aéroport, très tôt le matin.

Connaissant au préalable la quantité moyenne d'engrais requise par unité de surface ($24,36 \text{ g/m}^2$), il a été relativement facile de déterminer, après quelques survols, la vitesse et l'altitude de l'avion au-dessus des arbres, la largeur de l'andain, la variation de la quantité d'urée en fonction de la largeur d'épandage et enfin, l'ajustement exact de l'épandeur pour obtenir le taux fixé. A cette fin, une tonne d'urée en sacs avait été achetée du fournisseur, le produit ayant les mêmes caractéristiques que celui utilisé pour l'opération.

Pour déterminer le taux d'application et la distribution de l'urée au sol, nous avons placé sur la piste des récipients de plastique de 26 cm de diamètre par 31 cm de hauteur ainsi que des carrés avec cadre de bois d'une superficie interne exacte d'un pied carré ($0,092 \text{ m}^2$), disposés en forme de croix de façon à étudier la dispersion

de l'urée à la fois parallèlement et perpendiculairement à la ligne de vol (figures 1 et 2).

La quantité exacte d'engrais dans chacune de ces deux unités de surface était établis en multipliant le nombre de granules comptés par le poids moyen d'un grain (0,0693) préalablement déterminé en laboratoire; le taux était par la suite ramené à l'hectare ou à l'acre, puis comparé au taux visé.

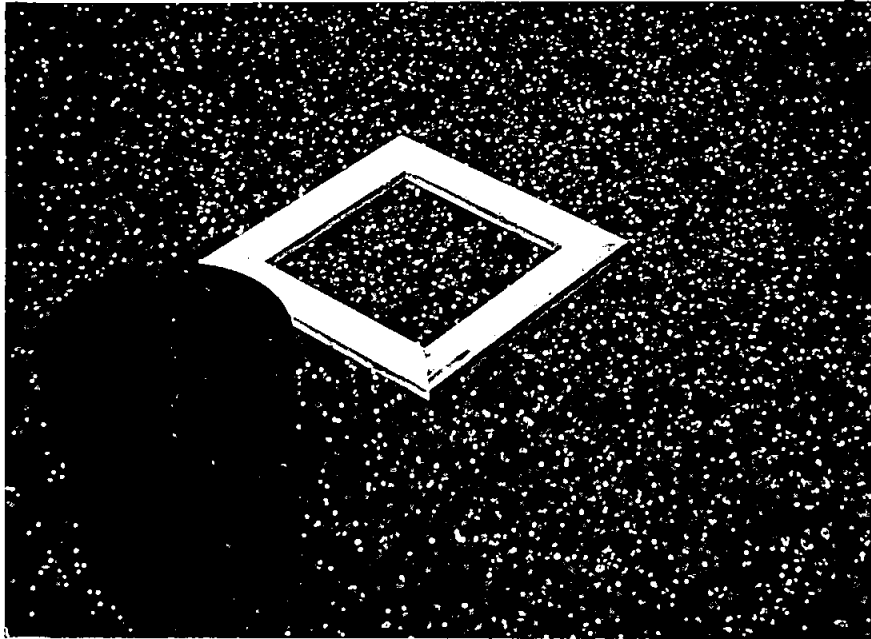


Figure 1. Récipient et quadrat utilisés pour déterminer le taux d'application et la distribution de l'urée.



Figure 2. Dispositif en forme de croix, à la fois parallèle et perpendiculaire à la ligne de vol.

2.3 OPERATION D'EPANDAGE DE L'UREE par J.-M. Veilleux, A. Demers et L. Jobin¹

Des 485 hectares de peuplements de pin gris retenus pour l'essai de fertilisation, quelque 170 hectares ont été conservés comme témoin tandis qu'une superficie approximative de 315 hectares a été fertilisée entre le 23 et le 26 août 1976. Profitant de conditions climatologiques très favorables, l'opération proprement dite a duré un peu plus d'une vingtaine d'heures. Le taux moyen d'application visé était de 112 kg/ha d'azote (244 kg/ha d'urée).

2.3.1 TRANSPORT ET ENTREPOSAGE DE L'ENGRAIS

Les quelque 88 tonnes d'engrais achetées ont été expédiées en vrac, par voie ferrée, jusqu'à Saint-Tite, comté de Laviolette, endroit le plus rapproché du site de l'expérience où existe une voie d'évitement. De là, l'urée a été chargée à l'aide d'une vis sans fin (auge à grain) à bord de dix camions à benne basculante, pour être transportée jusqu'à la piste d'atterrissage. Un revêtement de polyéthylène reposait sur le sol avant le déversement de l'engrais des camions tandis qu'un autre recouvrait le tas d'urée pour le protéger contre d'éventuelles intempéries. Cette bâche était enlevée durant le jour pour éviter la formation de grumeaux d'urée par la condensation.

2.3.2 MARQUAGE DES BLOCS ET DES LIGNES DE VOL

La superficie totale à fertiliser a été subdivisée en six blocs, de dimensions variables, à l'aide de cartes forestières et de photographies aériennes. Les limites des blocs coïncidaient le plus

¹ C.R.F.L., ministère des Pêches et de l'Environnement du Canada

souvent avec des repères facilement identifiables comme les routes, les sentiers, les lacs et les rivières, les changements marquant dans la végétation et, parfois, des sentiers déblayés spécialement pour les besoins du projet (figure 1).

Tout le plan de travail a été tracé sur des photographies aériennes agrandies à l'échelle de 1:5000. Cette échelle a permis en outre de mesurer des distances relativement courtes, de tracer la position exacte de chaque ligne de vol et d'assurer ainsi un meilleur contrôle de l'épandage.

Afin de faciliter la localisation et la délimitation des blocs à fertiliser du haut des airs, des ballons orangés gonflés à l'hélium ont été fixés à chaque coin des blocs. Ces ballons, fabriqués d'un matériel non élastique appelé *Mylar*, épousent la forme d'un tétraèdre renversé dont la hauteur atteint facilement 1,4 mètre (figure 2).

Pour guider l'avion, des ballons identiques aux précédents, mais de couleur jaune brillant, ont été attachés à une perche coulissante de 12 mètres et placés aux extrémités de chaque ligne de vol (figure 3). Ces ballons ont été déplacés après chaque passage de l'avion pour indiquer la position de la ligne suivante. Un contact radio a été maintenu en permanence entre les responsables des ballons et le centre de contrôle de l'opération.

2.3.3 CHARGEMENT DE L'AVION

Le chargement de l'avion s'est effectué en deux opérations. La première consistait à charger, à partir du tas d'engrais, un

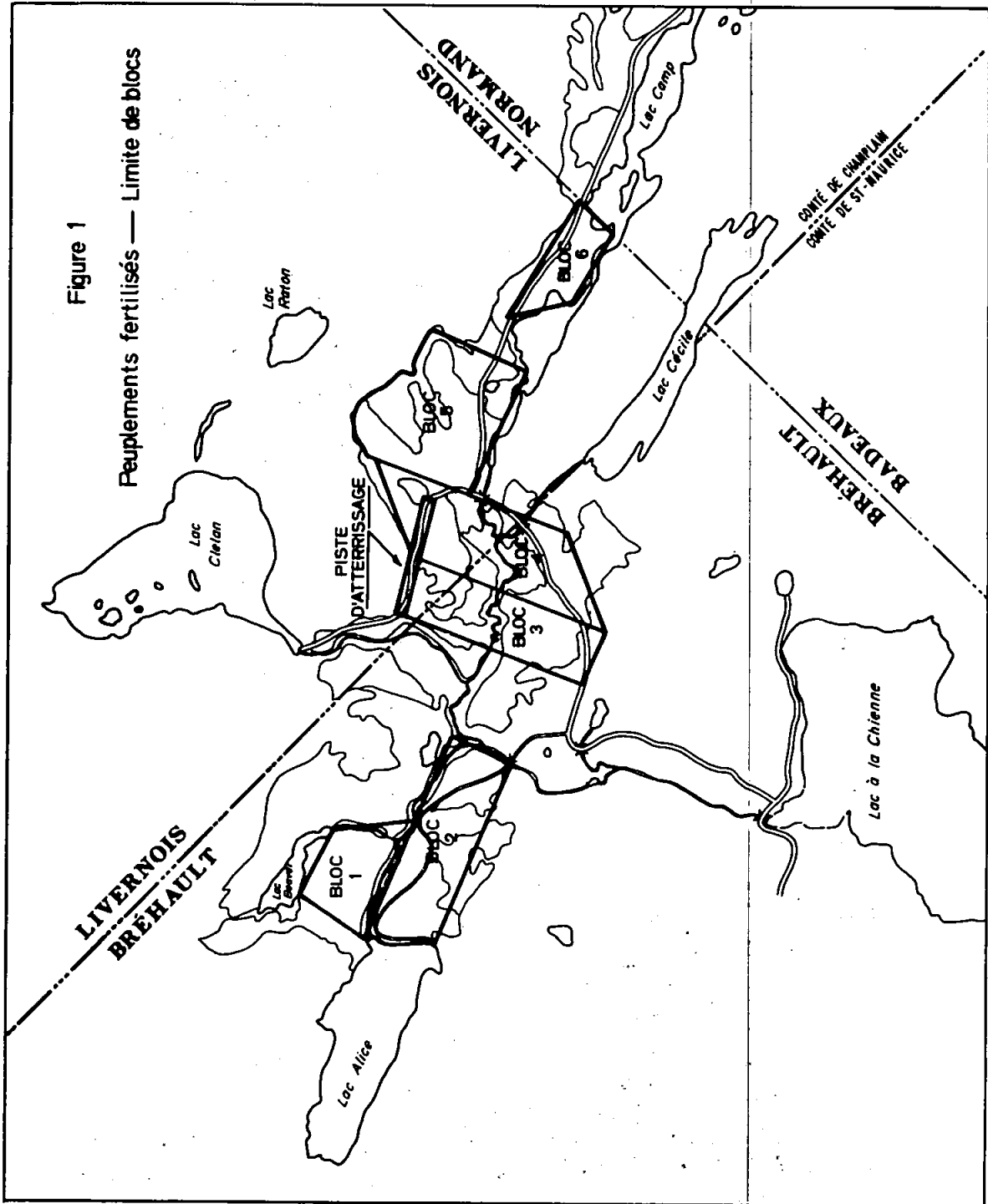




Figure 3.
Ballon de forme
tétraédrique ren-
versée gonflé à
l'hélium.



Figure 4.
Ballon jaune atta-
ché à une perche
coulissante de 12
mètres et placé aux
extrémités de chaque
ligne de vol.

récepteur de toile ayant la forme d'un entonnoir; l'opération suivante consistait à transvaser le contenu dans le réservoir de l'avion. Au début des essais, le récepteur était chargé à l'aide d'une vis sans fin d'une longueur de 6 mètres et d'un diamètre de 12,6 cm (figure 4) actionnée par un moteur électrique de 0,18 kW; l'énergie électrique était produite par une petite génératrice portative fonctionnant à l'essence. Cette méthode s'est avérée peu efficace à cause d'un temps de charge du récepteur beaucoup trop long, entraînant un délai de près de 3 minutes entre chaque envol de l'avion. De plus, cette opération demandait une main-d'oeuvre accrue, soit pour déplacer la vis sans fin avec le recul du tas d'engrais, soit pour alimenter en urée la base de la vis pour que celle-ci fonctionne au maximum. Par la suite, ce système a été modifié et c'est à l'aide d'un tracteur de ferme muni d'une pelle chargeuse que l'entonnoir a été rempli. Une dalle sèche en contre-plaqué, montée sur une charpente de bois, a été utilisée pour faciliter le chargement du récepteur (figure 5). Le tableau 1 montre les résultats relatifs au rendement des deux systèmes utilisés.

Le récepteur en forme d'entonnoir était suspendu à un mât fixé à la partie avant d'un camion; un système de câbles et de palans reliés à un treuil actionné par le moteur du camion permettait d'abaisser ou d'élever le récepteur pour le charger ou le vider. Une balance, attachée au point de fixation du récepteur avec le câble du treuil, assurait un contrôle exact du chargement. Lorsque le camion se déplaçait vers l'avion, un manoeuvre guidait la base de l'entonnoir et actionnait une trappe permettant de transvaser l'urée dans le réservoir de l'avion.

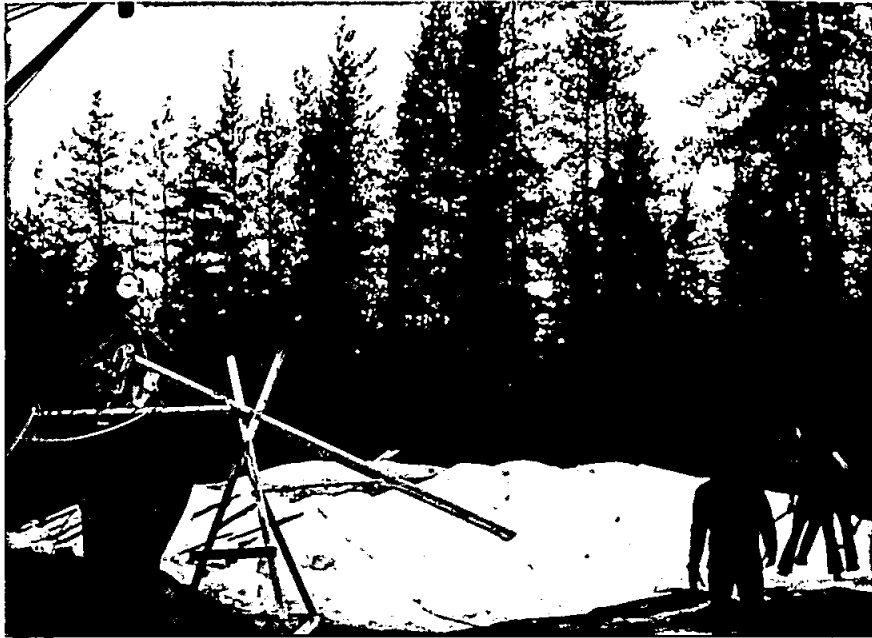


Figure 5. Vis sans fin (auge à grain).



Figure 6. Tracteur de ferme avec pelle chargeuse.

TABLEAU 1

RESULTATS COMPARATIFS DU RENDEMENT DES DEUX SYSTEMES
DE CHARGEMENT DU RECIPIENT DE TOILE

	Vis sans fin	Tracteur-chargeur
N. d'heures d'opération	12	10
N. de chargements	73	109
N. de chargements/heure	6,1	10,9
Temps de chargement (550 kg)	6 à 7 min	4 min
Poids total chargé	35 455 kg	42 596 kg
Poids moyen chargé/heure	2 955 kg	4 260 kg
Poids moyen/chargement ¹	486 kg	391 kg

¹ Le poids d'un chargement est fonction de la longueur des lignes de vol. Ces dernières ont été relativement plus courtes lorsque le tracteur est entré en opération.

2.3.4 EPANDAGE DE L'ENGRAIS

L'avion utilisé pour l'expérience était un *Cessna Agtruck* construit spécialement pour les opérations d'épandage et de pulvérisation aérienne. Cet avion est équipé d'un moteur de 300 hp, d'un réservoir pouvant contenir jusqu'à 700 kg d'urée ou un volume de 1,06 m³, et d'un épandeur spécialement conçu pour les particules solides, caractérisé par un profil caréné qui diminue la résistance au vent (figure 6).

Chaque ligne de vol couvrait une largeur de 23 m avec un recouvrement de 7,6 m (33 1/3 p. 100) de la ligne précédente (figure 7). La charge d'engrais transportée par l'avion dépendait de la longueur de

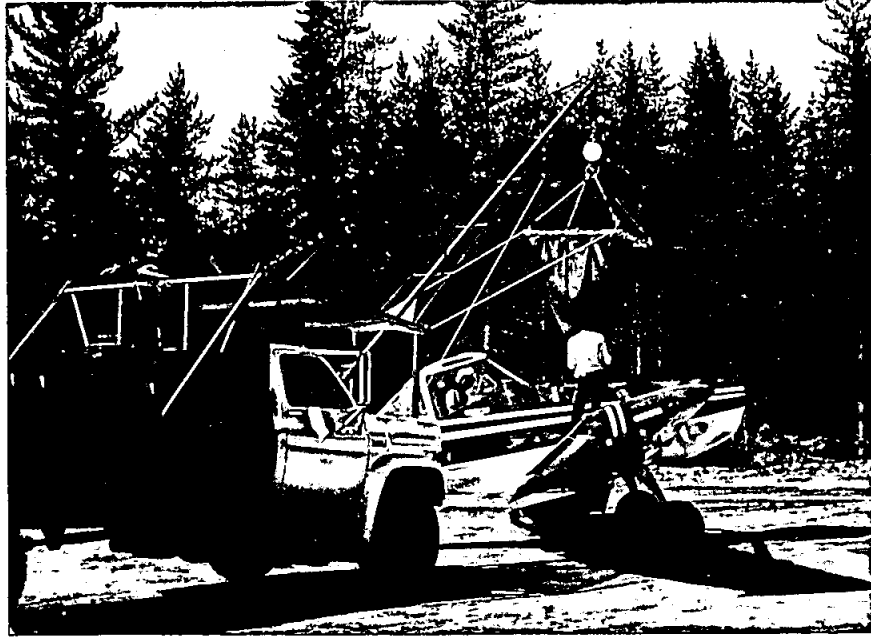


Figure 7. Chargement de l'avion *Cessna Agtruck*.

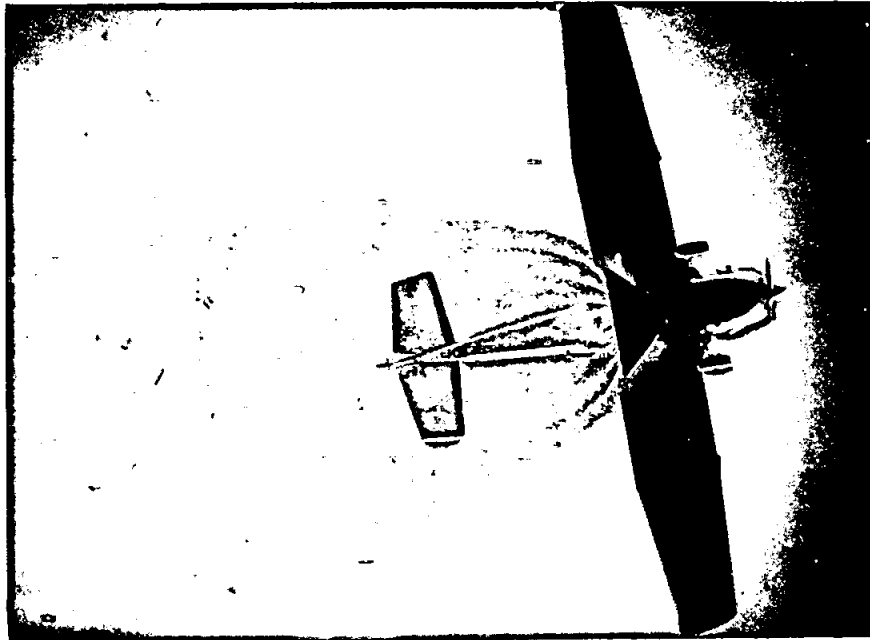


Figure 8. Application de l'engrais.

la ligne de vol. Un total de 183 lignes de vol a été effectué, dont la longueur variait de 490 à 1 545 m et la superficie totale couvrait 315,8 ha. La vitesse moyenne de l'avion au moment de l'application était de 160 km/h à une altitude de 45 m au-dessus des arbres dominants.

L'épandage a débuté le lundi 23 août au matin et s'est terminé le jeudi suivant en fin d'avant-midi, après 22 heures effectives de vol, pour une application totale de 78 050 kg en 182 envolées. Des données supplémentaires sur le chargement et l'épandage sont exprimées au tableau 2.

2.3.5 LES COÛTS

Les coûts inhérents à l'opération de fertilisation réalisée en 1976 sont montrés au tableau 3 ci-après. Le coût total de la construction de la piste apparaît dans ce tableau; notons que ce coût devrait normalement être réparti sur plusieurs années d'opération et sur une plus grande superficie. Les coûts relatifs à l'achat et au transport de l'urée comptent pour près de 62 p. 100 du montant total.

TABLEAU 2

SUPERFICIES FERTILISEES ET QUANTITES TOTALES D'ENGRAIS APPLIQUEES DANS CHAQUE BLOC

Bloc n°	Superficie ha	Quantité appliquée kg	Quantité moyenne kg/ha	N. de chargements	Charge moy. par voyage kg	Longueur moy. des lignes m
1	35,1	8 175	248,3	24	363,1	960
2	56,1	13 770	245,4	26	529,6	1 405 (1 280 à 1 450)
3	56,8	14 295	251,7	29	492,9	1 330 (1 315 à 1 460)
4	68,8	16 300	236,9	30	543,3	1 515 (1 480 à 1 545)
5	75,0	20 180	269,0	60	336,3	860 (790 à 985)
6	24,0	4 790	199,0	13	338,5	900 (490 à 1 110)
Total	315,8	78 050	247,1	182	428,8	

TABLEAU 3

Coût de la fertilisation des forêts par avion

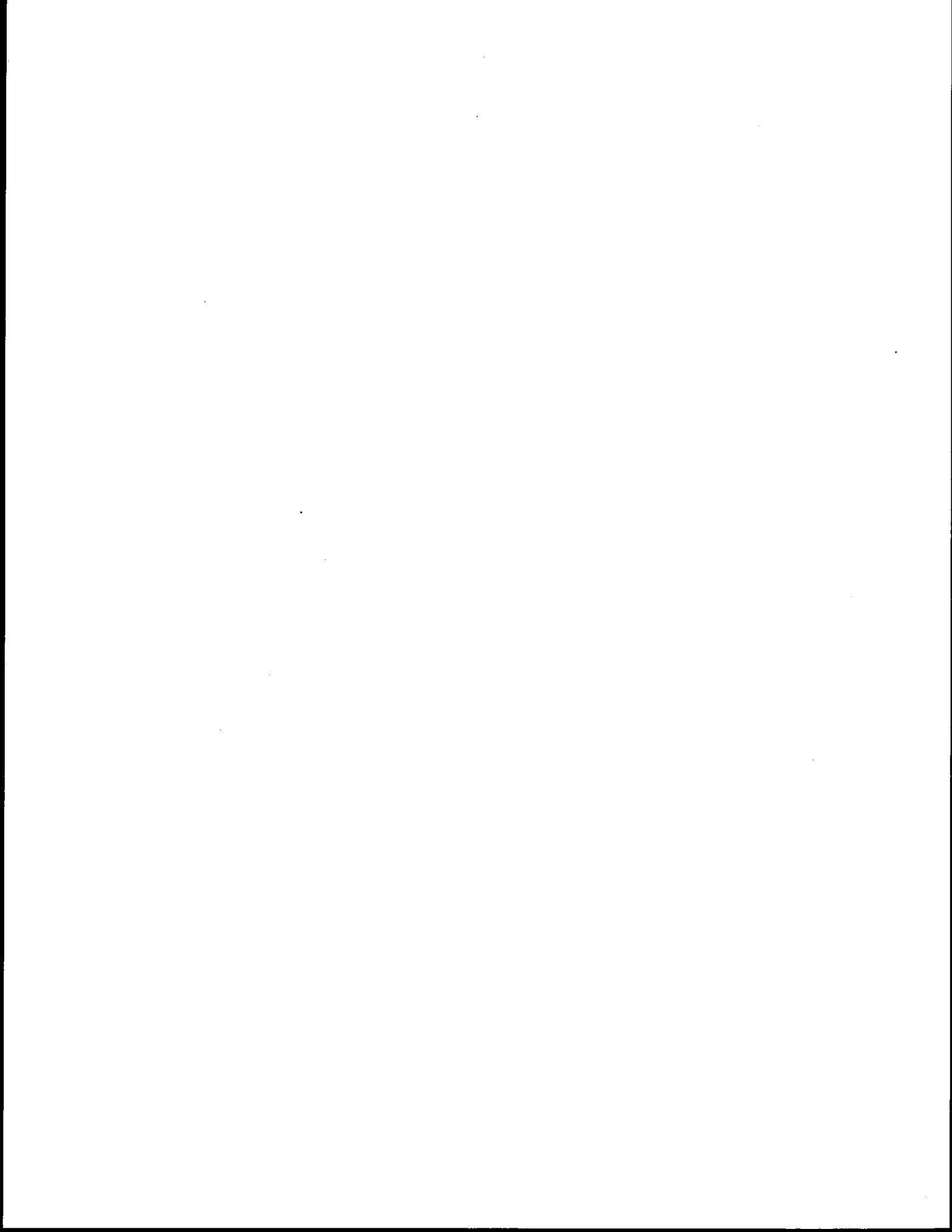
Projet de 315,8 ha (780,3 acres) - 78 050 kg (86 tonnes) d'urée

	Coûts		
	Global	\$/kg (\$/lb)	\$/ha (\$/ac)
Achat d'urée (\$180/tonne) ¹	\$15 480	0.198 (.090)	\$49.02 (\$19.83)
Transport: wagon-piste ¹	1 863	0.024 (.011)	5.90 (2.39)
Application: \$7/ac ²	5 460	0.070 (.032)	17.29 (7.00)
Construction de la piste ²	3 242	0.042 (.019)	10.26 (4.15)
Matériel, surveillance, divers ³	2 000	0.026 (.012)	6.33 (2.56)
TOTAUX	\$28 045	0.360 (.164)	\$88.80 (\$35.94)

¹ Coût défrayé par le Service de la recherche du ministère des Terres et Forêts

² Coût défrayé par le Centre de recherches forestières des Laurentides

³ Coût partagé M.T.F. et C.R.F.L.



2.4 DETERMINATION DU TAUX REEL ET DE LA DISTRIBUTION DU FERTILISANT APPLIQUE par G. Sheedy¹

Cette étude porte sur une superficie d'environ 315 ha qui a été fertilisée avec de l'urée de type à grain forestier, en août 1976, à quelque 80 km à l'ouest de Mattawin. Théoriquement, on devait appliquer 244 kg/ha d'urée par avion à une altitude de 60 m et une vitesse de 160 km/h. La largeur couverte par un passage de l'avion devait être de 23 m et le recouvrement de chaque passe avait été fixé aux deux-tiers.

Dans le but de déterminer le taux réel d'application et la distribution de l'urée, nous avons placé en croix 9 récipients de plastique verts, cylindriques de 26 cm de diamètre par 31 cm de hauteur dans chacune des 63 placettes d'échantillonnage permanentes circulaires de 0,04 ha établies au hasard sur des lignes d'inventaire et dans 18 placettes temporaires établies là où il n'y avait pas de placettes permanentes afin de couvrir parfaitement la superficie fertilisée. De plus, d'autres chercheurs ont procédé, sur des superficies restreintes à l'intérieur de l'aire fertilisée, à des évaluations du taux réel d'engrais appliqué. Le but de ce rapport est de présenter sommairement les résultats de ces évaluations.

2.4.1 METHODE

Les récipients ont été placés dans les placettes durant la semaine précédant la fertilisation. Ces récipients étaient perforés à la base, afin de permettre l'écoulement de l'eau en cas de pluie. Nous

¹ Service de la recherche, ministère des Terres et Forêts du Québec.

avons déposé dans chaque récipient des morceaux de papier absorbant (*Scott Towel*) dans le but de réduire si possible le rebondissement des granules lors de l'épandage.

La quantité moyenne d'engrais tombé dans chaque placette a été calculée à partir du nombre de granules tombés dans chaque récipient; connaissant le poids moyen d'un granule d'urée *Forest Grade* et la surface des récipients, il était possible d'évaluer le taux réel d'application pour chaque récipient et de faire la moyenne des neuf récipients.

Lors de l'opération, nous avions une équipe de six hommes pour compter les granules dans les récipients et ramasser les plats. Cette équipe avait été aussi chargée d'évaluer le nombre de granules qui, frappant l'intérieur des récipients, rebondissaient à l'extérieur et d'évaluer l'interception par les arbres. Ces observations ont permis d'évaluer qu'en moyenne, trois granules devaient être ajoutés par plat au nombre observé pour tenir compte de ces facteurs.

2.4.2 RESULTATS

Les quantités d'engrais, exprimées en kg/ha d'urée récupérée dans chacune des placettes, sont indiquées au tableau 1. Pour faciliter l'opération, la superficie à fertiliser a été subdivisée en six blocs. Globalement, on peut dire que l'épandage a été assez uniforme, malgré qu'il existe des variations importantes d'une placette à une autre et à l'intérieur des placettes. Cependant, en moyenne, nous avons observé un taux de 234 ± 84 kg/ha pour l'ensemble de l'aire étudiée.

Les détails de cette étude ont fait l'objet d'un rapport séparé¹. On trouvera aussi, comme résultats complémentaires à cette étude, les valeurs observées par d'autres chercheurs sur des superficies beaucoup plus restreintes. Ces valeurs sont présentées au tableau 2.

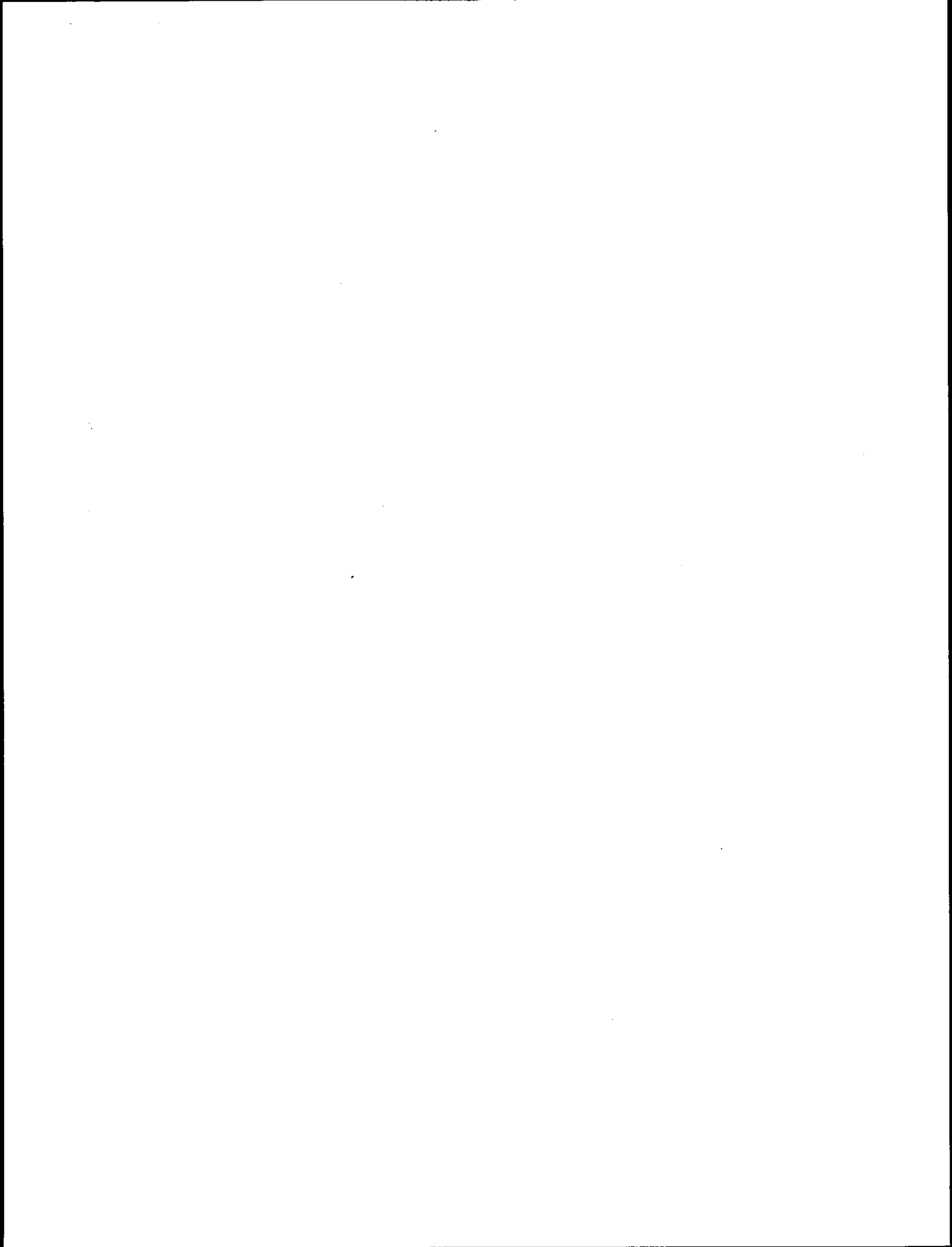
Notons finalement que les résultats de l'évaluation intensive (327 plats dans une superficie de 0,6 ha) faite par M. P. Benoît du C.R.F.L. concordent bien avec le résultat moyen de toutes nos observations. En effet, ces résultats sont respectivement de 230 et 234 kg/ha.

¹ SHEEDY, Gilles. *Détermination du taux réel d'engrais appliqué lors d'un épandage aérien en forêt*. Min. des Terres et Forêts, Serv. rech. Note n° 6, 1977.

TABLEAU 2

EVALUATION DES QUANTITES D'ENGRAIS APPLIQUE

Estimateur	Nombre de réceptants	Taux en kg/ha	Superficie couverte	Remarques
R.J. Finnegan, C.R.F.L.	Région "des fourmis" 28	265 ± 85	7 ha	Observations faites sous couvert forestier
	Région témoin 14	232 ± 63	3 ha	
P. Benoît, C.R.F.L.	Parcelle			Observations intensives (tous les 4,6 m) sous couvert forestier
	1 → 75	235	0,14 ha	
	2 → 84	221	0,15 ha	
	3 → 88	255	0,15 ha	
	4 → 80	204	0,15 ha	
J.-M. Veilleux Service de la recherche, M.T.F.	29 (0,09 m ²)	229 ± 96	0,5 ha	1 relevé (0,09 m ²) tous les 30,5 m sur la route à découvert



2.5 RESULTATS DE L'ETUDE DE TRAVAIL par le COGEF¹

2.5.1 AVANT-PROPOS

En août 1976 avait lieu en Mauricie une expérience de fertilisation aérienne d'une grande envergure; la présente étude résulte de la participation du Groupe COGEF à cette expérience multi-disciplinaire. La responsabilité directe alors confiée au représentant de ce groupe était l'étude détaillée de travail, c'est-à-dire le chronométrage des principales opérations en vue d'en dégager leur efficacité respective. Ce travail a été effectué en étroite collaboration avec MM. Maurice Gagnon, technicien forestier à l'emploi du Service de la recherche, et Roland Villeneuve, étudiant en économie à l'Université Laval. Notre plus sincère reconnaissance leur est adressée de même qu'aux autres membres de l'équipe qui, de façon directe ou indirecte, ont participé à l'expérience.

2.5.2 Introduction

L'épandage aérien d'un fertilisant solide effectué en août 1976, constitue une expérience unique, à la fois à cause des dimensions des superficies traitées et à cause de la diversité des recherches entreprises, qu'elles soient biologiques ou opérationnelles. La présente étude est un exposé complet des résultats obtenus lors d'un chronométrage détaillé de certaines opérations de l'expérience. Elle se subdivise essentiellement en quatre parties, chacune correspondant à une section spécifique:

¹ Jean Tomlinson est le responsable de cette étude pour le Groupe COGEF.
(Groupe de conseillers en gestion forestière)

- 1- Explication des objectifs visés;
- 2- description des opérations observées;
- 3- présentation des résultats;
- 4- conclusion et recommandations.

2.5.3 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Lorsqu'une décision est prise de faire l'étude systématique du travail d'une ou plusieurs opérations, certaines raisons préétablies viennent justifier l'existence même des démarches que cette décision implique. Les objectifs ainsi définis dès le début seront effectivement atteints ou non. D'autre part, en cours de route, d'autres buts pourront être formulés et se réaliser. Une telle situation se produit surtout lorsque l'analyste du travail s'intègre à une opération d'ensemble et essaie de s'en accommoder. Pour ce dernier, le contexte idéal serait celui où l'opération globale dépend, au fur et à mesure du déroulement, des résultats obtenus et des décisions qu'ils impliquent.

L'expérience de fertilisation aérienne discutée ici se situe exactement dans un tel contexte. Il n'en reste pas moins que l'observation s'est déroulée de façon tout-à-fait satisfaisante. L'étude visait un certain nombre d'objectifs dont les principaux sont présentés ci-après:

- a) Etude détaillée des temps d'exécution de diverses opérations liées à l'épandage aérien;
- b) identification des temps improductifs évitables;
- c) découverte des possibilités d'amélioration de certains éléments de travail productifs, de façon à rendre la ou les opérations les plus efficaces possibles;

- d) établissement des relations mathématiques entre le temps d'exécution des éléments de travail et les variables du milieu jugées significatives;
- e) construction d'un modèle général de productivité pour l'opération de fertilisation;
- f) collecte d'un ensemble d'informations utiles à une éventuelle étude de rentabilité de l'opération;
- g) préparation d'un *input* utile au calcul du coût de l'opération.

Certains de ces objectifs ont été atteints, d'autres, non. Les sections suivantes indiqueront clairement le degré d'achèvement des buts fixés.

2.5.4 DESCRIPTION DES OPERATIONS OBSERVEES

La fertilisation aérienne, même effectuée sur une base de production, implique un certain nombre d'opérations qui se complètent: les résultats discutés dans ce texte n'en touchent que deux, en l'occurrence, l'épandage aérien proprement dit et le chargement de l'avion effectué par un camion. Pour les besoins de l'étude, chacune de ces deux opérations sera subdivisée en éléments de travail: une telle subdivision permet une connaissance détaillée de l'opération; elle est faite de sorte qu'il soit possible d'expliquer la durée de chaque élément par une ou plusieurs variables du milieu.

L'opération "épandage aérien" comprend les éléments de travail suivants: chargement du fertilisant dans l'avion, envol et déplacement de l'avion jusqu'à l'endroit d'épandage, épandage proprement dit, retour de l'avion et atterrissage. Théoriquement, le début de

chaque nouvel élément coïncide avec la fin de l'élément antérieur de sorte qu'il y a continuité; la somme des éléments de travail, correspondant à un voyage complet aller-retour, s'appelle cycle de travail. Les variables mesurées sont: la charge (en lb), la distance de déplacement à l'aller (en pi), la longueur d'épandage (en pi) et la distance de déplacement au retour (en pi). La feuille de prise des données est synthétisée au tableau 1.

L'opération "chargement de l'avion", avec un camion modifié¹ pour les besoins de la cause, se subdivise en cinq éléments de travail: chargement du récipient, recul et redressement du récipient, attente de l'avion, chargement de l'avion, retour et mise en position près du tas d'engrais. Comme pour l'épandage aérien, le début de chaque nouvel élément coïncide exactement avec la fin de l'élément antérieur; selon le synchronisme de l'opération, l'élément "attente de l'avion" pourra parfois être nul. La seule variable mesurée ici est le poids du récipient (en lb), qui deviendra en fait le poids de la charge de l'avion. La feuille de prise des données est présentée au tableau 2.

Qu'il s'agisse de l'observation de l'épandage ou de celle du chargement, il importe de souligner les quelques remarques suivantes:

- les chronométrages ont été effectués par trois agents d'étude différents;
- la technique d'observation est celle du chronométrage d'étude avec retour à 0 après lecture de chaque temps;

¹ Le lecteur peut se reporter à la section 2.3 où une explication technique de l'équipement est fournie; il pourra ainsi mieux visualiser les éléments de travail énumérés ici.

- l'équipement utilisé pour l'observation consiste en une planchette munie de trois chronomètres, chacun d'eux effectuant un mouvement différent avec la fin d'un élément (chronomètre A: arrêt de l'aiguille permettant une lecture du temps; chronomètre B: mise en marche à partir de 0; chronomètre C: retour à 0);
- les formulaires de prises de données comportent des portions importantes réservées aux temps improductifs et aux remarques, laissant ainsi à l'agent d'étude tout le loisir de noter sur le champ toute irrégularité susceptible de faciliter la compilation des données au laboratoire.

2.5.5 PRESENTATION DES RESULTATS

La présente section est subdivisée en deux parties, correspondant aux deux opérations qui ont effectivement été observées sur le terrain; ce sont:

- a) Résultats de l'observation du chargement;
- b) résultats de l'observation de l'épandage.

2.5.5.1 Résultats de l'observation du chargement

Les éléments de travail qui forment le cycle de travail dont il est ici question ont été énumérés en 2.5.4. Ils ont été définis non pas surtout pour en établir des fonctions de production, puisqu'ils sont presque toujours constants, mais bien parce qu'ils représentaient une tâche jugée homogène. Chacun d'eux est présenté ci-après, accompagné de quelques remarques pertinentes.

2.5.5.1.1 Chargement du récipient

Tel que mentionné en 2.3.3, cette tâche s'est accomplie selon deux variantes d'opération: une première partie avec un chargement

TABEAU 1
FORMULAIRE DE PRISES DE DONNEES, EPANDAGE AERIEN

CHRONOMETRAGE DE L'OPERATION "EPANDAGE AERIEN"						
i. Date:			iv. Conditions atmosphériques:			
ii. Lieu:			v. Autres caractéristiques :			
iii. Equipement:			vi. Agent d'étude :			
ELEMENTS DE TRAVAIL	CYCLE DE TRAVAIL 1			CYCLE DE TRAVAIL 2		
	Information	Valeur	Remarques	Information	Valeur	Remarques
CHARGEMENT DU FERTILISANT DANS L'AVION	Charge (lb) ¹			Charge (lb)		
	Temps (cmin) ²			Temps (cmin)		
ENVOL ET DEPLACEMENT EN CHARGE	Distance (pi)			Distance (pi)		
	Temps (cmin)			Temps (cmin)		
EPANDAGE	Longueur (pi)			Longueur (pi)		
	Temps (cmin)			Temps (cmin)		
DEPLACEMENT A VIDE ET ATTERRISSAGE	Distance (pi)			Distance (pi)		
	Temps (cmin)			Temps (cmin)		
ELEMENTS IMPRODUCTIFS						

¹ 1 lb = 0,454 kg
² centimutes

TABLEAU 2

FORMULAIRE DE PRISES DE DONNEES, CHARGEMENT DE L'AVION

CHRONOMETRAGE DE L'OPERATION "CHARGEMENT DE L'AVION"						
i. Date:		iv. Conditions atmosphériques:				
ii. Lieu:		v. Autres caractéristiques :				
iii. Equipement:		vi. Agent d'étude :				
ELEMENTS DE TRAVAIL	CYCLE DE TRAVAIL 1			CYCLE DE TRAVAIL 2		
	Information	Valeur	Remarques	Information	Valeur	Remarques
CHARGEMENT DU RECIPIENT	Poids (lb) ¹			Poids (lb)		
	Temps (cmin) ²			Temps (cmin)		
RECU ET REDRESSEMENT	Temps (cmin)			Temps (cmin)		
ATTENTE DE L'AVION	Temps (cmin)			Temps (cmin)		
CHARGEMENT DE L'AVION	Temps (cmin)			Temps (cmin)		
RETOUR ET MISE EN POSITION	Temps (cmin)			Temps (cmin)		
ELEMENTS IMPRODUCTIFS						

¹ 1 lb = 0,454 kg

² centiminutes

du récipient par une vis sans fin; une seconde partie avec un tracteur muni d'une benne, emprunté pour les circonstances.

Au niveau de la variante A (chargement avec la vis sans fin), les quelques statistiques suivantes ont été compilées:

- nombre d'observations: 40
- temps d'exécution moyen pour cet élément de travail: 33 cmin/100 lb
- écart type calculé: 5,6 cmin

Au niveau de la variante B (chargement avec tracteur et benne), la compilation a permis de différencier deux groupes d'échantillons, un premier où le volume du récipient n'exigeait qu'une seule benne de fertilisant, et un second où il en exigeait deux.

a) une seule benne de fertilisant (charge < 800 lb)

- nombre d'observations : 14
- temps d'exécution moyen pour cet élément de travail : 11 cmin/100 lb
- écart type calculé : 2,7 cmin

b) deux bennes de fertilisant (charge > 800 lb)

- nombre d'observations : 29
- temps d'exécution moyen pour cet élément de travail : 17 cmin/100 lb
- écart type calculé : 4,2 cmin

Ces quelques résultats font réaliser l'importance de modifier la méthode de chargement; le temps d'exécution a diminué de moitié et même du deux tiers dans certains cas.

2.5.5.1.2 Recul et redressement du récipient

Nous avons choisi de compiler les informations en deux groupes, soit les temps correspondant à la variante A (voir plus haut) et ceux correspondant à la variante B (voir plus haut).

a) temps correspondant à la variante A:

- nombre d'observations:	40
- temps d'exécution moyen pour cet élément de travail:	89 cmin
- écart type calculé:	14,2 cmin

Une compilation plus poussée permet d'affirmer que l'opérateur ne s'est pas amélioré de façon significative avec le temps et que son rythme de travail a été relativement uniforme.

b) temps correspondant à la variante B:

- nombre d'observations:	42
--------------------------	----

Contrairement à la rubrique a) décrite ci-dessus, l'analyse permet de montrer que l'opérateur a continuellement amélioré sa méthode d'exécution jusqu'à l'obtention d'un temps d'exécution relativement constant. Le tableau 3 donne les temps moyens calculés après 5, 10, 15 voyages, etc.

Il est intéressant de noter que cette amélioration graduelle est, en partie, la seule responsabilité de l'opérateur concerné. Toutefois, l'utilisation d'un tracteur de ferme et d'une dalle de bois a contribué à améliorer le temps d'exécution de cet élément de travail.

TABLEAU 3

RECU ET REDRESSEMENT DU RECIPIENT
TEMPS D'EXECUTION DE L'ELEMENT DE TRAVAIL

Nombre d'observations cumulées	Temps d'exécution moyen (cmin)	Ecart type calculé
5	72,4	27,3
10	72,4	23,8
15	73,5	23,3
20	67,4	23,2
25	63,8	22,3
30	61,5	21,3
35	59,6	20,3
40	59,5	19,8
42	59,1	19,4

2.5.5.1.3 Camion en attente

Avec le chargement du récepteur exécuté à l'aide de la vis sans fin, le camion n'a, à toutes fins pratiques, jamais attendu l'avion. L'inverse s'est plutôt constamment produit et de là est venue la décision de modifier la variante d'exécution du chargement. Par contre, avec l'apparition du tracteur muni de la benne, le temps d'attente de l'avion par le camion est devenu un élément important. Ces temps d'exécution étaient relativement variables et les quelques statistiques suivantes le confirment:

- nombre d'observations: 41
- temps d'exécution moyen pour cet élément de travail: 100 cmin
- écart type calculé: 41,0 cmin

2.5.5.1.4 Chargement de l'avion

Il s'agit d'un élément de travail constant. Le temps global chronométré a été ramené au temps/100 lb pour fins d'utilisation ultérieure. Les informations suivantes ont été compilées:

- nombre d'observations: 82
- temps d'exécution moyen pour cet élément de travail: 13 cmin/100 lb
- écart type calculé: 2,14 cmin

2.5.5.1.5 Retour et mise en position

Une mise en graphique des informations recueillies a permis de les différencier en deux groupes, pour lesquels nous avons calculé des statistiques particulières. Nous supposons qu'au fur et à mesure du déroulement du travail, l'opérateur a détecté très nettement des possibilités d'accélération de cet élément de travail. Toutefois, la construction de la dalle sèche pour transvaser l'urée dans le récipient de toile a été pensée de façon à faciliter cette opération.

a) Premier groupe d'observations (avec vis sans fin)

- nombre d'observations : 39
- temps d'exécution pour cet élément de travail : 83 cmin
- écart type calculé : 28,4 cmin

b) Deuxième groupe d'observations (avec tracteur)

- nombre d'observations : 44
- temps d'exécution pour cet élément de travail : 34
- écart type calculé : 16,3 cmin

2.5.5.1.6 Quelques considérations générales

Avant de conclure cette section, il importe de souligner les quelques points suivants:

- le temps d'exécution du cycle de travail complet du chargement de l'avion comportant le chargement du récipient avec une vis sans fin peut se caractériser par l'expression approximative suivante:

$$T = 183 + 46 X$$

où T = temps complet du cycle de travail (cmin)

X = nombre de 100 lb constituant la charge du récipient;

- le temps d'exécution du cycle de travail complet comportant le chargement du récipient avec un tracteur et une benne s'est constamment amélioré avec le temps;

a) avec une seule benne

- début des observations $T = 117 + 24 X$
- fin des observations $T = 79 + 24 X$

b) avec deux bennes

- début des observations $T = 117 + 30 X$
- fin des observations $T = 79 + 30 X$

où T = temps complet du cycle de travail (cmin)

X = nombre de 100 lb constituant la charge du récipient;

- l'élément de travail "camion en attente" a été exclu puisqu'il représente un temps improductif théoriquement évitable, si l'on ne veut considérer que la seule opération "chargement de l'avion avec le camion";
- le tableau suivant permet de mieux visualiser les temps d'exécution de ce cycle de travail.

TABLEAU 4
TEMPS TOTAL D'EXECUTION DU CHARGEMENT

Charge du récipient (100 lb)	Temps d'exécution du cycle de travail (cmin)					% d'amélioration de l'opération*
	Avec vis sans fin	Avec tracteur et benne				
		1 seule benne		Deux bennes		
		Début	Fin	Début	Fin	
6	459	261	223	-	-	51
7	505	285	247	-	-	51
8	551	-	-	357	319	42
9	597	-	-	387	349	42
10	643	-	-	417	379	41
11	689	-	-	447	409	41
12	735	-	-	477	439	40

* Ce pourcentage est établi de la façon suivante:

$$\left[\frac{\text{temps avec vis sans fin} - \text{temps final avec benne}}{\text{temps avec vis sans fin}} \right] \times 100$$

2.5.5.2 Résultats de l'observation de l'épandage

Les éléments de travail considérés ici sont:

- temps total d'immobilisation de l'avion au sol: ce temps inclut le temps de chargement de l'avion;
- épandage proprement dit: cet élément signifie le temps durant lequel s'effectue l'écoulement de la charge au sol;
- déplacement aller-retour: cet élément comporte deux parties qui sont:
 - a) le temps d'envol et de déplacement de l'appareil jusqu'à la ligne destinée à l'épandage, et
 - b) le temps de retour et d'atterrissage jusqu'au moment précis de l'immobilisation de l'avion au sol. Les observations chronométrées nous permettent difficilement d'être plus précis à ce chapitre.

2.5.5.2.1 Temps total d'immobilisation de l'avion au sol

Il s'agit ici d'un élément constant et nous avons été incapable de relier son temps d'exécution à la charge. Les quelques statistiques suivantes ont été compilées:

- nombre d'observations : 75
- temps d'exécution moyen pour cet élément de travail : 72 cmin
- écart type calculé : 9,3 cmin

2.5.5.2.2 Epannage proprement dit

L'observation de cet élément a été effectuée sur une base relativement restreinte; la compilation des données permet quand même de constater la très grande uniformité de son temps d'exécution. Il faut rappeler ici que les volumes de la charge étaient fonction de la longueur d'épandage, de sorte qu'en aucun cycle de travail chronométré, l'avion n'a entrepris deux lignes avec la même charge. Les quelques statistiques suivantes ont été calculées:

- nombre d'observations : 21
- temps moyen d'exécution pour cet élément de travail : 1,13 cmin/100 pi d'épandage
- écart type calculé : 0,05 cmin

2.5.5.2.3 Déplacement aller-retour

A l'exception de quelques cycles de travail où le seul temps d'épandage était calculé, cet élément de travail n'a pas été chronométré; la démarche suivante a permis de l'étudier plus à fond:

- a) le temps unique chronométré et parfaitement connu lors de l'observation est: temps du déplacement en charge + temps du déplacement à vide + épandage du fertilisant;
- b) le temps d'épandage du fertilisant est uniforme et, tel que décrit à la rubrique précédente, égal à 1,13 cmin/100 pi d'épandage;
- c) la longueur de la ligne d'épandage est connue pour chaque cycle de travail: la charge choisie en dépendait d'ailleurs directement;

- d) à partir de l'information calculée en b) et des données de longueur mentionnées en c), nous avons calculé un temps hypothétique d'épandage pour chaque cycle de travail;
- e) nous avons soustrait ce temps hypothétique du temps réel chronométré et mentionné en a), de façon à obtenir le temps de déplacement aller-retour.

Comme l'échantillonnage soumis au chronométrage était assez bien distribué entre les différents blocs traités sur le terrain, nous avons choisi de grouper les cycles de travail par bloc et de calculer les statistiques importantes pour chacun d'eux; elles sont présentées au tableau suivant:

TABLEAU 5
TEMPS DE DEPLACEMENT ALLER-RETOUR PAR BLOC

Bloc traité sur le terrain	Eléments d'information calculés		
	moyenne (cmin)	écart type (cmin)	nombre d'observations
1A	305	7,1	22
2	309	12,3	17
3	322	22,0	23
4	308	11,9	14
5	296	12,6	20
6	497	48,7	11

Nous n'avons pas poussé la recherche plus à fond. Evidemment, ce temps est directement fonction de la distance entre la piste d'atterrissage et le bloc traité. Mais d'autres facteurs tels que, par exemple, la direction des vents, la position du soleil ou la difficulté de repérage de la ligne d'épandage viennent influencer le temps d'exécution de ces déplacements.

2.5.5.2.4 Avion en attente

Cet élément de travail est improductif et n'a existé que lorsque le camion était chargé avec une vis sans fin. Les données recueillies nous permettent de présenter ces temps d'attente pour deux blocs, soit le bloc 2 et le bloc 3.

a) Avion en attente, épandage du bloc 2

- nombre d'observations	:	13
- temps d'exécution moyen pour cet élément de travail	:	195 cmin
- écart type calculé	:	123,2 cmin

b) Avion en attente, épandage du bloc 3

- nombre d'observations	:	28
- temps d'exécution moyen pour cet élément de travail	:	158 cmin
- écart type calculé	:	104,9 cmin

On peut facilement noter que la variation autour de la moyenne est très grande, dans les deux cas; ces temps sont directement liés aux temps d'épandage proprement dit et de déplacement aller-retour; il

est intéressant de noter que le remplacement de la vis sans fin par le tracteur muni d'une benne a complètement éliminé cet élément de travail et a donc grandement augmenté l'efficacité de l'opération.

2.5.6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

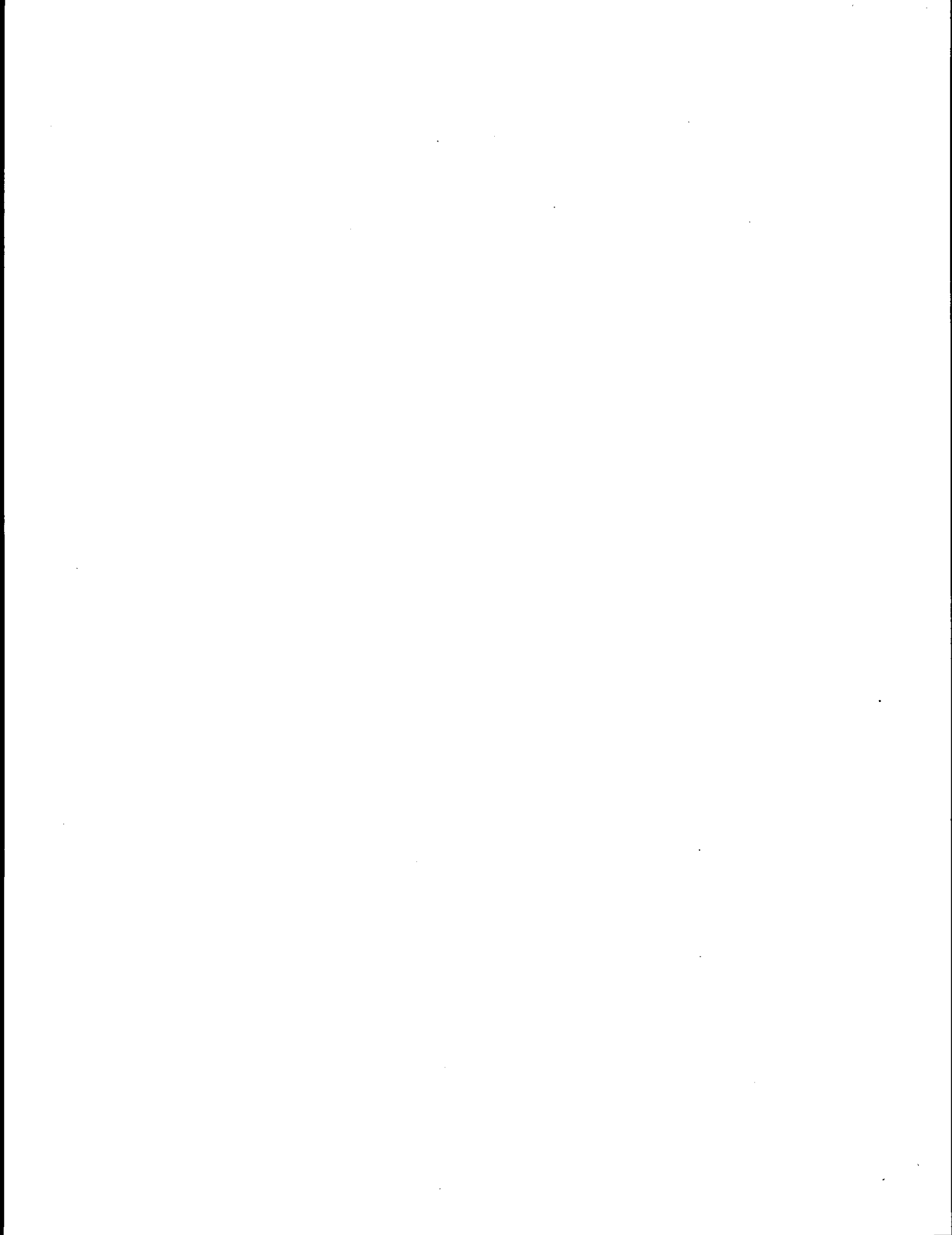
La lecture de ce texte aura permis de constater les inconvénients, pour l'analyste du travail, de s'intégrer à une équipe qui travaille de façon opérationnelle. Malgré tout, on peut en conclure que les opérations observées sont maintenant connues avec beaucoup plus de justesse. Les résultats calculés sont suffisamment précis pour permettre leur utilisation comme *input* à d'éventuelles tentatives de simulation ou de planification; l'économiste pourra alors s'en servir comme information partielle pour les études de rentabilité. Les durées relativement courtes de certains cycles de travail et, en conséquence, la possession d'un nombre impressionnant de tels cycles ont permis d'analyser l'évolution du rendement de l'opérateur dans le temps; un tel aspect est intéressant pour l'analyste du travail et, la plupart du temps, inexistant lors d'une telle étude, parce qu'il nécessite une observation d'envergure trop coûteuse.

Les données obtenues permettront de construire un peu plus tard des modèles de productivité de l'épandage aérien plus complets, sans doute présentés sous forme de nomogrammes de productivité. Une telle information sera disponible dans un dossier spécial portant

sur la technologie des travaux sylvicoles, lequel est actuellement en voie de préparation par le Groupe COGEF. Ces modèles seront alors suffisamment généraux pour représenter les opérations d'arrosage de sylvicide ou d'ensemencement.

De façon générale, la méthode opérationnelle effectuée en août 1976 nous semble avoir atteint un degré de stabilisation avancé, en ce sens que la rapidité d'exécution ne peut pratiquement plus être améliorée. Quant à l'opération de chargement, l'existence de temps d'attente de l'avion par le camion (lors du chargement du récipient avec tracteur et benne) témoigne de la longueur suffisante de sa durée d'exécution. En connaissant dorénavant le temps disponible pour préparer le camion, on pourra éventuellement utiliser une vis sans fin plus efficace.

Il semble a priori important d'avoir fait l'observation systématique de cette expérience mais l'utilisation des résultats obtenus devrait confirmer cette importance.



CHAPITRE 3

ETUDES COMPLEMENTAIRES

3.1 ECLAIRCIE COMMERCIALE par R. Doucet¹

3.1.1 BUTS DE L'ETUDE

Déterminer l'effet de l'éclaircie commerciale sur la croissance du peuplement résiduel, lorsqu'elle est combinée à la fertilisation aérienne.

Déterminer la rentabilité d'une éclaircie de ce genre.

3.1.2 METHODES EXPERIMENTALES

L'éclaircie a été limitée au peuplement de la classe de densité normale. Cinq placettes circulaires de 0,04 ha de superficie ont été ajoutées dans le secteur témoin et autant dans le secteur à fertiliser. L'éclaircie mise à part, ces placettes ont été traitées de la même manière que celles de l'étude principale.

¹ Service de la recherche, ministère des Terres et Forêts

L'objectif de l'éclaircie était d'obtenir un espacement moyen de 3,5 m entre les tiges résiduelles, tout en évitant les trouées trop importantes. Pour ce faire, il fallait conserver environ 32 tiges marchandes par placette, soit 800 par hectare. Le choix des tiges devait aussi tenir compte de la qualité de celles-ci. Quant aux tiges non marchandes, on devait les laisser sur pied. On prévoyait enlever ainsi 40 pour 100 environ du volume marchand.

Dans le secteur à fertiliser, l'éclaircie a été réalisée au début d'août, juste avant la fertilisation. Dans le secteur témoin, elle l'a été en septembre. Les tiges à enlever ont été marquées au préalable et on les a laissées sur place après les avoir abattues, faute de moyen pour les récupérer.

Un nombre identique de placettes non éclaircies sera choisi au hasard parmi celles établies dans les secteurs témoin et fertilisé. Elles serviront aux analyses de variance et aux comparaisons entre traitements pour différentes caractéristiques telles que les croissances en diamètre, en surface terrière et en volume.

3.1.3 ETAPES

- 1- Inventaire avant traitement, éclaircie, fertilisation, inventaire après traitement: 1976
- 2- Remesurage: 1981 et 1986
- 3- Rapport préliminaire: 1982
- 4- Rapport final: 1987

3.1.4 TRAVAIL FAIT

La première étape.

3.1.5 RESULTATS OBTENUS

Avant éclaircie, les moyennes des placettes témoins et fertilisées étaient comparables en ce qui concerne la composition, le nombre de tiges, le diamètre moyen, la surface terrière et le volume (tableau 1). Malgré quelques variations entre les placettes, l'éclaircie s'est approchée raisonnablement de son objectif. On a enlevé en moyenne 66 mètres cubes de bois marchand par hectare, ce qui devrait être suffisant en pratique pour justifier une éclaircie commerciale.

3.2 EFFET POSSIBLE DE LA FERTILISATION AZOTEE SUR LE COEFFICIENT DE FORME DU PIN GRIS par Stevo Popovich¹

Il est possible que la fertilisation, tout en affectant la croissance du pin gris, affecte également son coefficient de forme. Cette évidence, si elle s'avèrait affirmative, aurait une influence sur le volume de l'arbre. Aussi importe-t-il de connaître d'abord l'effet de la fertilisation sur le coefficient de forme du pin gris et si nécessaire, de quantifier cet effet en termes de volume.

3.2.1 METHODES EXPERIMENTALES

Les déterminations du coefficient de forme de chaque arbre seront effectuées à l'aide d'un instrument de marque *Barr-Stroud*. Cet instrument, basé sur le principe du périscope, est très récent et d'une très grande précision. Pour ces raisons, le choix des placettes à étudier devra se faire en fonction de leur facilité d'accès et de leur représentativité du milieu général traité et non traité. Ce choix étant fait, les mesures du diamètre seront prises à différentes hauteurs sur l'arbre. A la fin de l'expérience, soit dans 10 ans, les arbres échantillonnés seront coupés pour l'analyse.

3.2.2 ETAPES

Une première étape, qui constituera en quelque sorte une phase d'essai, aura lieu en 1977. Durant cette étape, nous ferons le choix des placettes à échantillonner, en fonction des critères

¹ C.R.F.L., ministère des Pêches et de l'Environnement du Canada

requis pour le déplacement et l'installation de l'instrument et également en tenant toujours compte de la représentativité des placettes du milieu de l'expérience.

3.2.3 TRAVAIL ACCOMPLI

En laboratoire, un choix d'arbres, dans différentes placettes fertilisées et non fertilisées, est actuellement en cours. Ce choix se fait d'après la similarité des caractéristiques physiques des arbres entre eux. Ce choix peut être modifié sur le terrain pour des raisons d'accessibilité et autres.

3.2.4 TRAVAIL A VENIR

Les déterminations des mesures prises à différentes hauteurs sur l'arbre se feront en cinq étapes, c'est-à-dire tous les deux ans, en 1978, 1980, 1982, 1984 et 1986, la dernière étape étant celle de la fin de l'expérience.

3.3 EFFET DE LA FERTILISATION AZOTEE, PAR VOIE AERIENNE, SUR LA CROISSANCE ANNUELLE DU DIAMETRE DU PIN GRIS par J.-D. Gagnon¹

Le but de cette étude est de déterminer, à l'aide de bandes métalliques du genre vernier, la croissance annuelle en diamètre d'arbres fertilisés et non fertilisés. Afin que cette détermination se fasse avec la plus grande précision possible et sur une base comparative, les arbres étudiés ont tous été appariés par leurs principaux caractères physiques.

3.3.1 METHODES EXPERIMENTALES

Pour atteindre l'objectif proposé, la méthode dite "mono-arbre" a été employée avec cette particularité que, au lieu d'un choix fait au hasard, les arbres ont été choisis d'après la similarité de leurs principaux caractères physiques. Ces caractères sont: l'âge, la hauteur totale, la longueur de la cime vivante, la longueur du tronc, la superficie de la cime vivante de l'arbre ainsi que la position de l'arbre dans le peuplement étudié.

3.3.2 ETAPES

La première étape consistait à faire un choix rationnel des placettes devant servir à la présente étude. Ce choix, dicté par la représentativité du nombre de placettes dans un même site forestier et leur facilité d'accès, s'est arrêté sur 98 placettes dont 51 traitées et 47 non traitées. Si l'on considère que 118 placettes échantillons

¹ C.R.F.L., ministère des Pêches et de l'Environnement du Canada.

ont été établies, dont 59 témoins et 59 fertilisées, le pourcentage de placettes étudiées dans cette étude par rapport aux placettes établies est considérable.

Le choix des placettes à étudier étant fait, il s'agissait maintenant de choisir, dans chacune d'elles, les arbres à étudier. Avant de procéder à l'appariement des arbres, nous avons jugé bon d'examiner la feuille de pointage où apparaissaient trois des caractères recherchés: la hauteur totale et l'âge de trois arbres ainsi que, forcément, le diamètre de tous les arbres.

La troisième étape, qui consistait à déterminer la longueur du fût et de la cime vivante de l'arbre, la superficie de sa couronne projetée au sol ainsi que sa position dans le peuplement, nécessitait un travail laborieux sur le terrain. La longueur du fût ainsi que celle de la cime vivante de l'arbre ont été déterminées à l'aide d'une perche graduée. La mesure de la superficie de la couronne de l'arbre a été déterminée en mesurant dans quatre directions, nord-sud-est-ouest, les distances de la projection au sol des branches de l'arbre à partir du centre du tronc. En reliant ces quatre points, on a assimilé la superficie de la couronne projetée au sol à celle d'une ellipse, dont on a calculé la superficie.

Dans une quatrième étape, nous avons répété la même procédure dans dix placettes éclaircies, dont cinq avaient été établies dans un milieu non traité et cinq, dans un milieu fertilisé.

Une cinquième étape consistera à apparier les arbres suivant les caractères choisis. Cette étape, la plus laborieuse puisqu'elle nécessite de nombreuses observations sur chaque arbre, se poursuit actuellement en laboratoire. Elle se terminera durant le cours de l'hiver 1977.

Une dernière étape consistera à installer les verniers sur chacun des arbres appariés. Les bandes métalliques seront fabriquées en laboratoire en tenant compte du diamètre actuel de chaque arbre. Ce travail devra être terminé pour le printemps 1977 alors que les bandes métalliques seront installées sur les arbres à quatre centimètres au dessus de la marque indiquant le diamètre à hauteur de poitrine.

3.3.3 TRAVAIL ACCOMPLI

Les principales caractéristiques de l'arbre, outre celles du diamètre et de la hauteur, qui ont été puisées dans la feuille de pointage, ont été mesurées sur le terrain du 13 au 23 septembre 1976. Une première compilation a été effectuée en novembre et l'appariement des arbres a commencé en décembre.

3.3.4 TRAVAUX A VENIR

Dès le printemps 1977, les bandes métalliques genre vernier seront installées sur les arbres qui auront été appariés et une première mesure sera inscrite au registre. A l'automne 1977 et chaque automne par la suite durant dix années consécutives, les lectures annuelles seront inscrites au registre et les gains en accroissement des arbres traités aussi bien que ceux des arbres non traités seront compilés et

analysés statistiquement. On évaluera si la différence trouvée entre les accroissements en diamètre des arbres fertilisés et des arbres non fertilisés est significative et, dans l'affirmative, à quel niveau de probabilité le test de "t" à une direction sera employé (Gagnon, 1975).

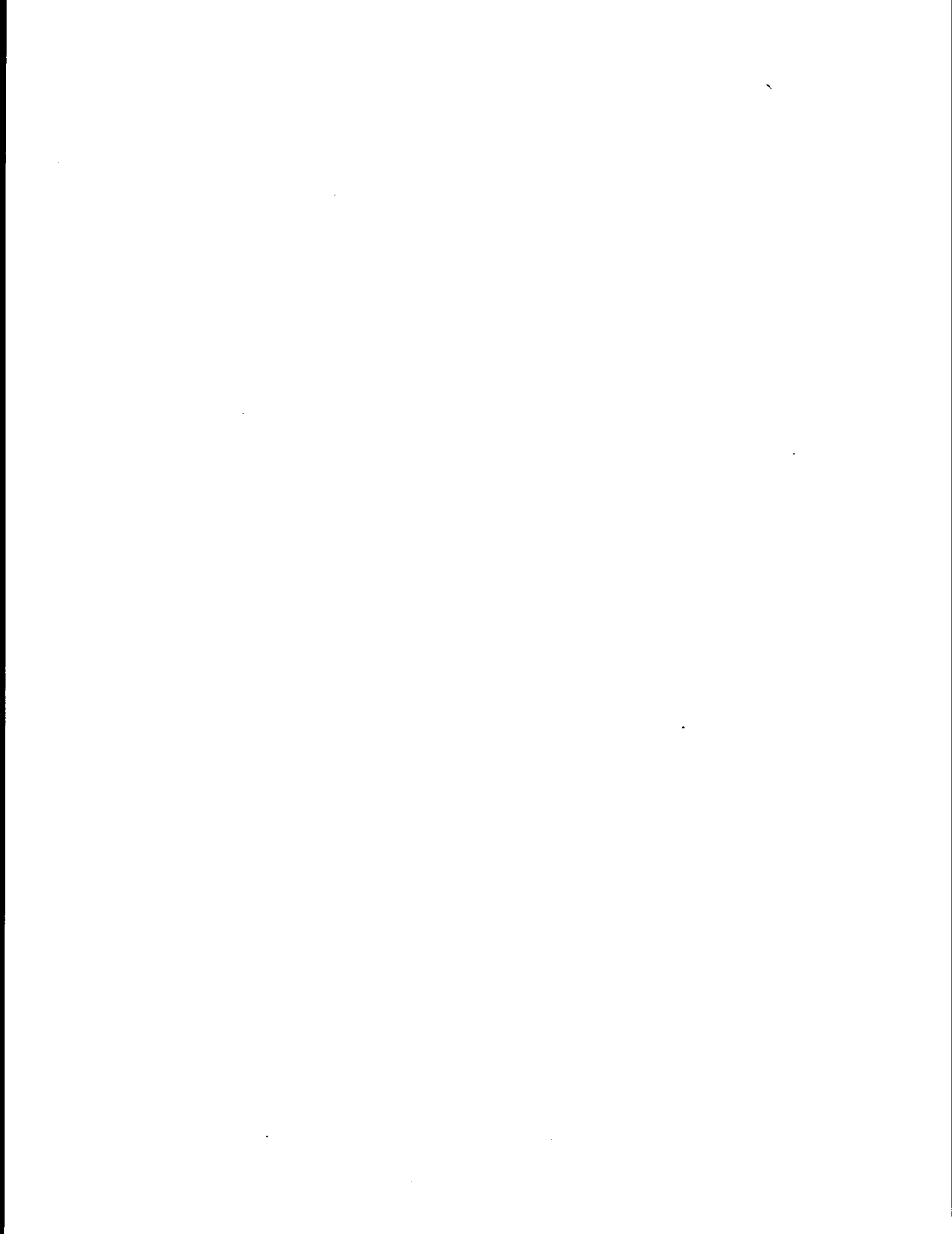
3.3.4 COMMENTAIRES

La méthode employée ne permet pas d'évaluer par unité de surface, par exemple à l'hectare, l'accroissement en diamètre obtenu à la suite d'un traitement, à moins qu'elle ne soit appliquée à un grand nombre d'arbres représentant les différentes classes de diamètre du peuplement étudié et que les résultats soient soumis à une analyse très compliquée. Elle jouit cependant de l'avantage d'être simple et très précise et est de première valeur si on la considère sur une base comparative, puisqu'elle ne traite que d'arbres ayant les mêmes caractéristiques.

La bande métallique genre vernier, bien fixée à l'arbre, n'a pas tendance à se déplacer, surtout sur le pin gris. Pour cette raison, elle permet de prendre une lecture beaucoup plus précise que celle qu'on peut obtenir avec un ruban circonférentiel. Pour une lecture tous les cinq ou dix ans, l'emploi de la méthode conventionnelle est sans doute très acceptable puisque les légères différences entre les mesures annuelles se compensent à la longue. Dans la présente étude cependant, l'accent porte précisément sur les accroissements annuels qui sont donnés avec grande précision par la bande métallique genre vernier.

REFERENCES

GAGNON, J.-D., 1975. *Méthode simple pour évaluer l'accroissement annuel en diamètre par suite de fertilisation dans les peuplements naturels.* Rev. Bi. Rech., 34 (4): 24-25.



3.4 LA FERTILISATION AERIENNE DANS LE PIN GRIS EN MAURICIE, QUEBEC: UNE DECISION RENTABLE? par J.-P. Nadeau¹

Cette étude analyse la rentabilité de l'expérience de fertilisation par avion des pinèdes grises de la Mauricie, en 1976.

3.4.1 CHEMINEMENT DE L'ETUDE

Les diverses étapes méthodologiques effectuées dans cette étude de rentabilité sont résumées sous forme d'un diagramme présenté à la figure 1.

3.4.2 EFFET DE LA FERTILISATION SUR LA CROISSANCE (MODELES)

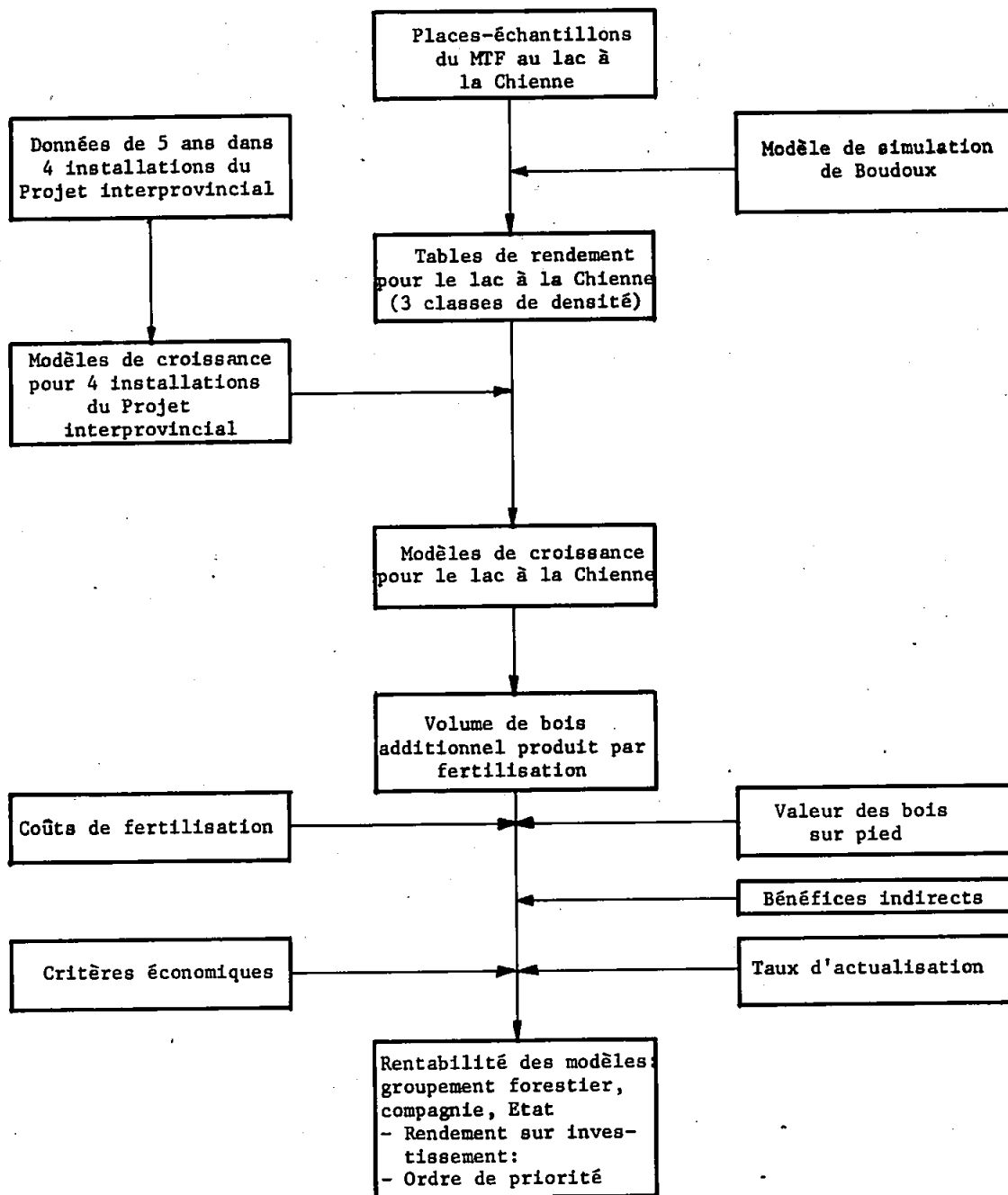
L'analyse économique de la fertilisation consiste essentiellement à comparer le coût de la fertilisation à la valeur monétaire du volume ligneux additionnel. Il est donc nécessaire de connaître l'effet de la fertilisation sur la croissance des peuplements. De plus, la fertilisation des peuplements de pin gris au lac à la Chienne dans le bassin de la rivière Mattawin n'ayant été effectuée que cette année, il est évident qu'il faut se contenter d'un estimé du volume ligneux additionnel qui résultera de cette fertilisation.

¹ NADEAU, J.-P., 1977. *La fertilisation aérienne des forêts: un investissement rentable? Expérience avec le pin gris dans la Mauricie, Québec.* Ministère des Terres et Forêts, Direction générale des forêts, Service de la recherche, mémoire n° 35.

L'auteur désire remercier M. D. Ménard d'avoir pris soin de l'aspect "ordinateur" de cette analyse, principalement lors du calcul de la valeur du bois sur pied et de l'*output* final. Il remercie également le Dr Gilles Vallée d'avoir prodigué quelques conseils judicieux au moment de la définition des modèles de croissance pour l'Ontario.

Figure 1

Diagramme montrant les étapes effectuées dans cette étude de rentabilité



Les résultats disponibles dans le cadre du Projet interprovincial de fertilisation des forêts naturelles - PIFFN (Weetman, Krause et Koller, 1976) semblent le meilleur point de départ. Il s'agit de données d'accroissement périodique de cinq ans dans quatre installations de fertilisation de pin gris en Ontario et au Québec.

A partir de la moyenne de ces quatre installations dont l'âge moyen est de 47 ans, cinq hypothèses ou modèles de croissance (A, B, C, D, E) ont été dérivées pour une période allant de 47 à 60 ans. Ces modèles de croissance ont ensuite été appliqués au Québec, c'est-à-dire à des données de rendement obtenues par simulation à partir de placettes d'échantillonnage établies par le Service de la recherche du ministère des Terres et Forêts dans l'aire fertilisée (R. Doucet, communication personnelle). Finalement, nous avons développé deux autres modèles de croissance (F et G) pour le Québec.

Les tableaux 1, 2, 3 et 4 présentent les 7 modèles ou hypothèses de croissance développés pour les peuplements de pin gris situés au lac à la Chienne.

3.4.3 MODELES ECONOMIQUES

Le principe général à la base de cette analyse économique est l'approche marginale, qui consiste à comparer le coût additionnel de la fertilisation (coût marginal) à la valeur de la récolte additionnelle de volume marchand (revenu marginal).

Les coûts de la fertilisation effectuée au lac à la Chienne sont disponibles et, après ajustement, sont utilisés dans cette analyse.

Tableau 1 - Modèles de croissance pour les peuplements de pin gris fertilisé au lac à la Chienne en 1976. Volume marchand dans un peuplement de DENSITE FAIBLE.

Age	Modèle A	Modèle B	Modèle C	Modèle D	Modèle E	Peuplement non fertilisé
	m ³ /ha pi ³ /ac	m ³ /ha pi ³ /ac	m ³ /ha pi ³ /ac	m ³ /ha pi ³ /ac	m ³ /ha pi ³ /ac	m ³ /ha pi ³ /ac
46	68,1 973	68,1 973	68,1 973	68,1 973	68,1 973	68,1 973
51						81,5 1164
56				103,8 1482.8	99,7 1423.6	94,9 1356
60	116,4 1662.8	113,3 1619.5	110,2 1575.5			105,6 1510
% Δ volume marchand	10,12	7,25	4,34	9,35	5,06	-
Δ volume marchand	10,7 152.6	7,7 109.5	4,6 65.5	8,9 126.8	4,8 68.6	-

Tableau 2 - Modèles de croissance pour les peuplements de pin gris fertilisé au lac à la Chienne en 1976. Volume marchand dans un peuplement de DENSITE MOYENNE.

Age	Modèle A	Modèle B	Modèle C	Modèle D	Modèle E	Peuplement non fertilisé
46	m ³ /ha pi ³ /ac 88,8 1270	m ³ /ha pi ³ /ac 88,8 1270	m ³ /ha pi ³ /ac 88,8 1270	m ³ /ha pi ³ /ac 88,8 1270	m ³ /ha pi ³ /ac 88,8 1270	m ³ /ha pi ³ /ac 88,8 1270
51						
56						
60	145,5 2079.1	141,7 2024.9	137,8 1969.9	130.7 1867.7	125.6 1794.4	104,0 1486 119,5 1708 132,1 1888
% Δ volume marchand	10,12	7,25	4,34	9,35	5,06	-
Δ volume marchand	13,4 191.1	9,6 136.9	5,7 81.9	11,1 159.0	6,0 86.4	-

Tableau 3 - Modèles de croissance pour les peuplements de pin gris fertilisé au lac à la Chienne. Volume marchand dans un peuplement de DENSITE NORMALE.

Age	Modèle A	Modèle B	Modèle C	Modèle D	Modèle E	Peuplement non fertilisé
	m ³ /ha pi ³ /ac 100,9 1442	m ³ /ha pi ³ /ac 100,9 1442	m ³ /ha pi ³ /ac 100,9 1442	m ³ /ha pi ³ /ac 100,9 1442	m ³ /ha pi ³ /ac 100,9 1442	m ³ /ha pi ³ /ac 100,9 1442
46	100,9 1442	100,9 1442	100,9 1442	100,9 1442	100,9 1442	100,9 1442
51						116,5 1665
56						132,3 1891
60	159,8 2283.9	155,6 2224.4	151,4 2164.0	144,7 2067.8	139,0 1986.7	145,1 2074
% Δ volume marchand	10,12	7,25	4,34	9,35	5,06	-
Δ volume marchand	14,7 209.9	10,5 150.4	6,3 90.0	12,4 176.8	6,7 95.7	-

Tableau 4 - Modèles de croissance F et G pour le lac à la Chienne
(volume marchand).

Densité	Age	Modèle F		Modèle G		Peuplement non fertilisé	
		m ³ /ha	pi ³ /ao	m ³ /ha	pi ³ /ao	m ³ /ha	pi ³ /ao
F A I B L E	46	68,1	973	68,1	973	68,1	973
	51	86,1	1230.9	86,1	1230.9	81,4	1164
	56	104,3	1490.1	104,3	1490.1	94,9	1356
	60			111,8	1596.5	105,7	1510
	Δ volume marchand	9,4	134	6,1	86.5		0.4
	% Δ volume marchand	9,88		5,73			
M O Y E N N E	46	88,9	1270	88,9	1270	88,9	1270
	51	109,3	1561.6	109,3	1561.6	104,0	1488
	56	130,2	1861.3	130,2	1861.3	119,5	1708
	60			139,5	1994.3	132,1	1888
	Δ volume marchand	10,7	153.3	7,4	106.3		
	% Δ volume marchand	8,98		5,63			
N O R M A L E	46	100,9	1442	100,9	1442	100,9	1482
	51	122,0	1743.1	122,0	1743.1	116,5	1665
	56	143,3	2048.2	143,3	2048.2	132,3	1891
	60			153,6	2194.5	145,1	2074
	Δ volume marchand	11,0	157.2	8,4	120.5		
	% Δ volume marchand	8,31		5,81			

La rentabilité directe de la fertilisation est obtenue en considérant la valeur économique réelle du bois sur pied pour une compagnie et un groupement forestier. Cette valeur tient compte du système d'exploitation utilisé à cet endroit par la Compagnie Consolidated Bathurst Limitée; elle a été calculée à partir, d'une part, d'une étude des systèmes et coûts d'exploitation au Québec (Lussier et Godbout, 1974) et d'autre part, des données fournies par la Compagnie Consolidated Bathurst Limitée sur les coûts d'exploitation dans la région fertilisée. L'utilisation prévue est la fabrication de pâte.

Les bénéfices indirects sont également considérés dans cette étude. Il s'agit des revenus fiscaux résultant de l'exploitation et de la transformation du bois additionnel obtenu à la suite de la fertilisation. Les redevances fiscales comprennent l'impôt sur le revenu personnel, l'impôt sur les bénéfices des entreprises, les taxes indirectes de vente et d'achat et les contributions parafiscales à l'assurance-chômage, au régime d'assurance-maladie, au régime des rentes et à la Commission des accidents du travail. Dans le secteur forestier, les redevances fiscales et parafiscales sont estimées à \$0.10 pour chaque dollar de vente.

Les deux modèles économiques utilisés dans cette étude de rentabilité s'expriment mathématiquement de la façon suivante:

$$TIR = pf \frac{VAR}{IF_0} - 1$$

$$VPN_0 = \frac{AR (1 + TIR)^{hm-r}}{(1 + i)^{hm-af}}$$

où

<i>TIR</i>	taux interne de rendement sur investissement;
<i>VAR</i>	valeur du volume additionnel récolté à la fin de la révolution;
<i>IF₀</i>	investissement initial ou coût de la fertilisation à la période 0;
<i>pf</i>	nombre d'années entre la fertilisation et la récolte finale;
<i>VPN₀</i>	valeur présente nette;
<i>hm</i>	durée maximale des projets de fertilisation;
<i>r</i>	nombre d'années de la révolution;
<i>i</i>	taux d'actualisation ou coût d'opportunité du capital en décimale;
<i>af</i>	année de la fertilisation c.-à-d. $pf = r - af$

3.4.4 RESULTATS

Quelle est la rentabilité économique correspondant à chacun des sept modèles de croissance définis précédemment pour les peuplements de pin gris fertilisé au lac à la Chienne? Cette rentabilité peut être calculée pour chaque classe de densité et des points de vue d'une compagnie, d'un groupement forestier et finalement, de l'Etat. De plus, il importe de connaître non seulement le taux interne de rendement sur investissement correspondant à chaque modèle, mais également l'ordre de priorité ou le classement des modèles.

3.4.4.1 Taux interne de rendement sur investissement

Le tableau 5 indique le taux interne de rendement sur investissement, en dollars courants et constants, par modèle de croissance et

Tableau 5 - Taux interne de rendement sur investissement, en dollars courants et constants par modèle et classe de densité, des points de vue d'un groupement forestier, d'une compagnie et de l'Etat. Valeurs constantes entre parenthèses. Lac à la Chienne.

Modèles de Croissance	Groupement forestier			Compagnie			Etat		
	Densité			Densité			Densité		
	Faible	Moyenne	Normale	Faible	Moyenne	Normale	Faible	Moyenne	Normale
A	0,00 (-0,08)	0,01 (-0,07)	-0,02 (-0,10)	0,08 (0,00)	0,10 (0,02)	0,09 (0,01)	0,10 (0,02)	0,12 (0,04)	0,12 (0,04)
B	-0,02 (-0,10)	0,01 (-0,09)	-0,04 (-0,12)	0,06 (-0,02)	0,07 (-0,01)	0,07 (-0,01)	0,08 (0,00)	0,09 (0,01)	0,09 (0,01)
C	-0,05 (-0,13)	-0,04 (-0,12)	-0,07 (-0,15)	0,02 (-0,06)	0,04 (-0,04)	0,03 (-0,05)	0,04 (-0,04)	0,06 (-0,02)	0,06 (-0,02)
D	-0,06 (-0,14)	-0,06 (-0,14)	-0,14 (-0,22)	0,06 (-0,02)	0,12 (0,04)	0,07 (-0,01)	0,09 (0,01)	0,11 (0,03)	0,11 (0,03)
E	-0,11 (-0,19)	-0,11 (-0,19)	-0,18 (-0,26)	0,00 (-0,08)	0,02 (-0,06)	0,01 (-0,07)	0,03 (-0,05)	0,05 (-0,03)	0,04 (-0,04)
F	-0,06 (-0,14)	-0,06 (-0,14)	-0,15 (-0,23)	0,07 (-0,01)	0,09 (0,01)	0,05 (-0,03)	0,90 (0,01)	0,11 (0,03)	0,90 (0,01)
G	-0,03 (-0,11)	-0,02 (-0,10)	-0,06 (-0,14)	0,05 (-0,04)	0,06 (-0,02)	0,05 (-0,03)	0,06 (-0,02)	0,08 (0,00)	0,08 (0,00)

par classe de densité, des points de vue d'un groupement forestier, d'une compagnie et de l'Etat. Le taux de rendement en dollars constants ne tient pas compte de l'inflation. En d'autres mots, il faut ajouter à ce taux le taux d'inflation d'environ 8 p. 100. Comme exemple, dans le cas du modèle A, pour une densité normale, le taux de rendement sur investissement pour une compagnie est de 9 p. 100 en dollars courants et 1 p. 100 en dollars constants. Cela signifie que dans ce cas, une compagnie retirerait (sur son investissement) 9 p. 100 par année en moyenne durant la période s'étendant de 46 à 60 ans de la vie du peuplement fertilisé.

Rentabilité pour l'Etat. Quelle que soit la densité du peuplement fertilisé, le taux de rendement sur investissement, en dollars courants, est positif pour l'Etat; pour tous les modèles de croissance, il varie de 3 à 12 p. 100. Dans le cas de la densité faible, les modèles A, D, F et B l'emportent avec un taux de 8 p. 100 et plus en dollars courants. Finalement, on peut conclure que la fertilisation effectuée au lac à la Chienne est rentable pour l'Etat pour tous les modèles de croissance, dans la mesure où les hypothèses sous-jacentes à ces modèles se réalisent. Ces résultats sont conservateurs, en ce sens que les tables de rendement à partir desquelles les modèles ont été construits sont inférieures de beaucoup à celles de Plonski pour l'Ontario.

Rentabilité pour une compagnie. Pour une compagnie, en dollars courants, aucun taux n'est négatif quelle que soit la densité. Les modèles qui rapportent un taux de 8 p. 100 et plus sont les suivants:

modèle A (densité faible), modèles D, A et F (densité moyenne) et modèle A (densité normale). La rentabilité est moins élevée pour une compagnie que pour l'Etat, mais elle est intéressante quand même.

Rentabilité pour un groupement forestier. Toujours selon le tableau 5, du point de vue d'un groupement forestier, la rentabilité est beaucoup plus faible. Seuls deux taux sont positifs en dollars courants.

3.4.4.2 Classification des modèles

L'ordre de priorité des modèles peut s'établir à partir du critère de la valeur présente nette pour un taux d'escompte donné. Ce critère a été retenu pour comparer la rentabilité des modèles et en établir l'ordre de priorité parce qu'il permet de ramener tous les modèles sur un même horizon économique. Ainsi, on aura par exemple:

Modèle A	46 ans	_____	60 ans
	46 ans	_____	60 ans

Le tableau 6 présente l'ordre de priorité ou le classement des modèles de croissance, pour les peuplements de pin gris fertilisés au lac à la Chienne, en fonction de la rentabilité à partir du critère de la valeur présente nette. L'interprétation de ce tableau est évidente. Par exemple, le modèle A est le plus rentable, quels que soient la densité ou l'exploitant, sauf dans le cas d'une compagnie exploitant des peuplements de densité moyenne.

Tableau 6 - Ordre de priorité ou classement des modèles de croissance en fonction de la rentabilité à partir du critère de la valeur présente nette, lac à la Chienne

Ordre de priorité ou classification des modèles	Groupement forestier			Compagnie			Etat		
	Densité			Densité			Densité		
	Faible	Moyenne	Normale	Faible	Moyenne	Normale	Faible	Moyenne	Normale
1	A	A	A	A	D	A	A	A	A
2	B	B	B	F	A	B	F	D	D
3	G	G	G	B	F	D	D	F	B
4	C	C	C	D	B	G	B	B	F
5	F	D	D	G	G	G	G	G	G
6	D	F	F	C	C	C	C	C	C
7	E	E	E	E	E	E	E	E	E

3.4.5 CONCLUSION

A la lumière des résultats présentés dans cette étude, on peut dire que la fertilisation dans les peuplements de pin gris au Québec est économiquement rentable, dans la mesure où les hypothèses de travail concernant les rendements physiques, les coûts et les revenus se réalisent. L'estimé des rendements biophysiques est conservateur, tandis que les données économiques peuvent être considérées comme étant assez précises.

Etant donné qu'il s'agit d'une étude de cas dans le but d'élaborer une méthode, il serait difficile d'en généraliser les conclusions, car la rentabilité de la fertilisation varie beaucoup d'une région à une autre, surtout à cause de la valeur du bois sur pied. Par exemple, la valeur du bois sur pied est plus élevée à proximité des usines en raison de la réduction des frais de transport des bois, ce qui veut dire que l'on peut normalement s'attendre à une plus grande rentabilité de la fertilisation près des usines. De plus, il peut y avoir une variation dans le volume additionnel produit.

Pour l'instant, il ne faut pas conclure qu'on devrait entreprendre un programme de fertilisation aérienne sur une grande échelle. En effet, comme le mentionne Tucker (1974), il faut considérer le déficit ligneux régional. De plus, la fertilisation des forêts n'est qu'un des moyens de combler un déficit ligneux et elle doit être comparée à d'autres traitements intensifs. Il serait même intéressant de combiner la fertilisation avec l'éclaircie.

Les résultats de cette étude sont préliminaires, en ce sens qu'elle ne considère pas tous les avantages de la fertilisation, tels que la diminution de la période de révolution, l'effet sur le diamètre des tiges et la réduction des coûts de transport. De plus, elle ignore l'effet sur la densité de la fibre.

A première vue, il semble raisonnable de recommander que la fertilisation soit effectuée vers la fin de la période de révolution d'un peuplement, car ceci est moins lourd sur le plan financier.

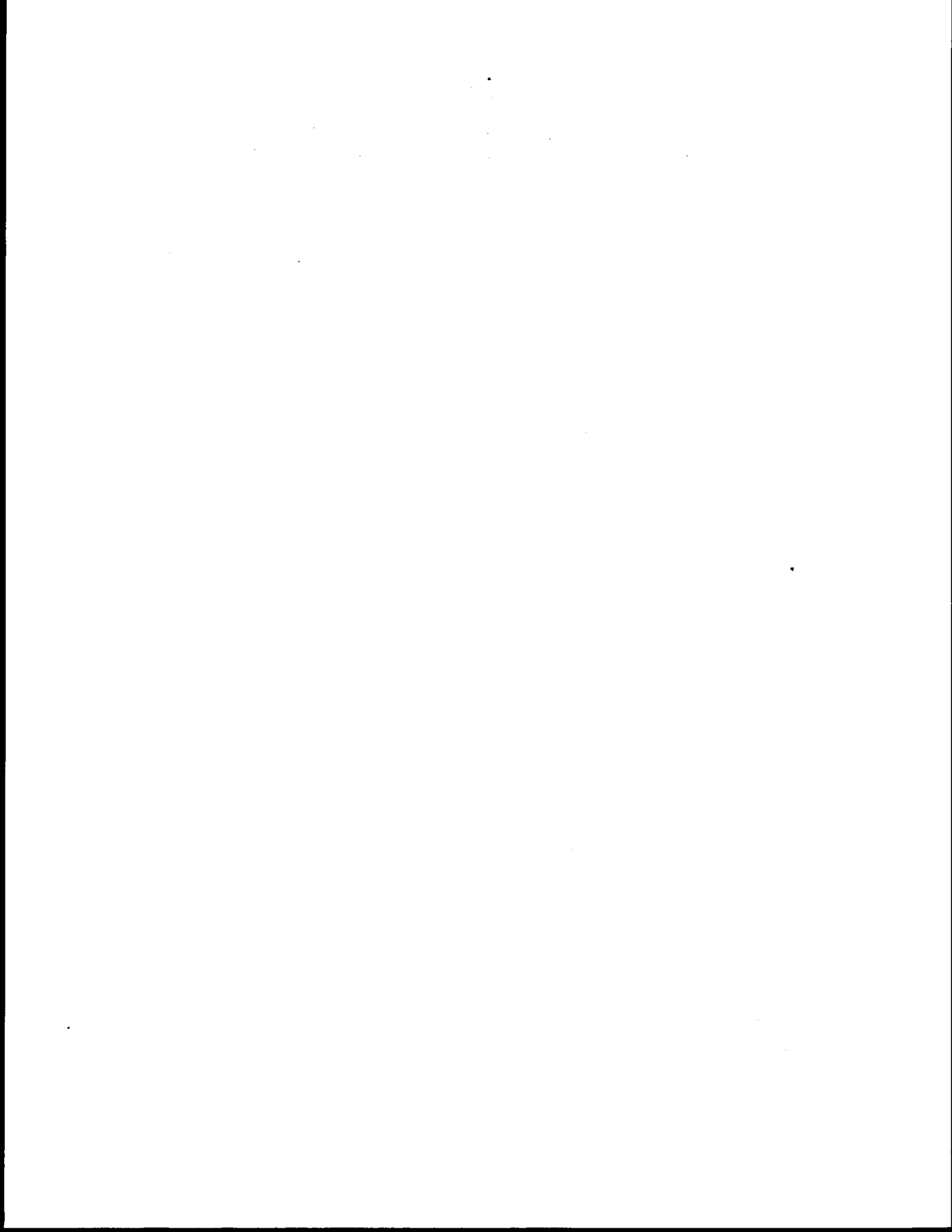
Dès que le second remesurage sera effectué dans les quatre installations de pin gris du P.I.F.F.N., on pourra confirmer davantage la validité des modèles de croissance retenus pour l'expérience de la Mauricie. Même si cette analyse n'apporte pas toutes les réponses, elle apporte quand même des éléments de solutions et laisse entrevoir des possibilités du côté des aspects opérationnel et commercial de la fertilisation.

REFERENCES

- BERNIER, B. et S. SWAN, 1970. *Les Aspects biologiques et économiques de la fertilisation forestière au Canada*. Essais sur la forêt. Le Conseil canadien des ministres des ressources, Montréal, Canada.
- BOUDOUX, M., 1976. *Modèle de simulation des peuplements résineux au Québec*. Colloque présenté à la faculté de Foresterie et de Géodésie (Université Laval).
- CLOUTIER, G., R. PERREAULT et R. DESROSIERS, 1974. *Modèle pour déterminer la valeur du bois sur pied en fonction des systèmes d'exploitation et des types d'utilisation*. Document interne. Service de la recherche, ministère des Terres et Forêts.
- CONWAY, J.M., J.-D. GAGNON et H.S. SWAN, 1976. *Etude économique des plantations de Grand-Mère 10 ans après fertilisation*. Forestry Chronicle 52 (1). Montréal, Canada.

- CONWAY, J. et P. COTE. Communication personnelle. La Compagnie Consolidated Bathurst Limitée.
- DAVIS, K., 1966. *Forest management: regulation and valuation*. Second edition. McGraw-Hill Book Company. New York.
- HALEY, D., 1966. *The economics of forest fertilization*. Forestry Chronicle 42 (4). Montréal, Canada.
- LUSSIER, J.-L. et C. GODBOUT, 1974. *Etude du coût des bois F.A.B. destination dans la perspective de droits de coupe variable*. Rapport interne soumis au ministère des Terres et Forêts du Québec.
- MENARD, D. *Maturité financière des peuplements résineux*. Ministère des Terres et Forêts. Direction générale des forêts. Service de la recherche. Division d'économie forestière. A paraître.
- MUSNIER, A. *Maturité financière des peuplements feuillus*. Ministère des Terres et Forêts. Direction générale des forêts. Service de la recherche. Division d'économie forestière. A paraître.
- NADEAU, J.-P., 1974. *Tendances et Défis dans les industries forestières canadiennes*. Conférence préparée pour le dixième congrès forestier des pays membres du Commonwealth, tenu à Oxford et Aberdeen en Grande-Bretagne. Ministère des Terres et Forêts. Direction générale des forêts. Service de la recherche. Division d'économie forestière.
- PLONSKI, W.L., 1960. *Normal yield tables for black spruce, jack pine, aspen, white birch, tolerant hardwoods, white pine and red pine for Ontario*. Ministère des Terres et Forêts de l'Ontario. Toronto, Canada.
- RICARD, P., A. CASTONGUAY et S. SOUMPHOLPHAKDY, 1975. *Le Secteur forestier au Québec et sa contribution à l'économie*. Ministère des Terres et Forêts. Direction générale des forêts. Service de la recherche. Mémoire n° 23.
- TUCKER, T.L., 1974. *What is it worth? An economic evaluation of fertilizer trials in jack pine at Dryden, Ontario*. Proceedings of a workshop on forest fertilization in Canada. Environment Canada, Service canadien des forêts. Sault-Ste-Marie, Ontario.
- VILLENEUVE, R., 1976. *Dossier bibliographique sur la fertilisation forestière*. Ministère des Terres et Forêts. Direction générale des forêts. Service de la recherche. Division d'économie forestière. Document interne.

WEETMAN, G.F., H.H. KRAUSE et E. KOLLER, 1976. *Projet interprovincial de fertilisation des forêts naturelles. - Résultats du premier remesurage quinquennal dans trente installations: fertilisées en 1969, remesurées en 1974.* Ministère de l'Environnement. Service canadien des forêts. Rapport technique de foresterie 16. Ottawa, Canada.



3.5 OBSERVATIONS PRELIMINAIRES RELATIVES AUX EFFETS DE LA FERTILISATION
A L'UREE SUR LES PROPRIETES DES EAUX NATURELLES par A. Gonzalez¹

Au cours d'un essai de fertilisation aérienne à l'urée sur un peuplement de pin gris de la région de la rivière à la Chienne, en Mauricie, au mois d'août 1976, nous avons étudié les effets possibles de l'urée sur les propriétés de l'eau du réseau hydrographique de la région concernée.

Le dispositif expérimental, installé sur le terrain, comportait 4 échantillonneurs automatiques (*Horizon Ecology.*, Chicago; modèle S-7578) calibrés pour prélever 40 ml d'eau à des intervalles de 30 min obtenant ainsi un échantillon composé de 1920 ml par jour. Ce volume a été recueilli dans des bouteilles de plastique, entreposées ensuite en chambre froide (4°C) à la station du lac Normand et expédiées pour analyse dans un délai maximum d'une semaine.

L'examen préalable des photographies aériennes suivi d'une visite du territoire nous ont permis de choisir comme suit les endroits les plus propices à l'installation des échantillonneurs.

Echantillonneur n° 1 : à la tête du lac du Camp

Echantillonneur n° 2 : à la décharge du lac Clelan

Les eaux recueillies à ces deux points, n'ayant pas subi l'influence du fertilisant, ont été considérées comme témoin.

Echantillonneur n° 1 : à la décharge du lac Camp

Echantillonneur n° 2 : à la tête du lac à la Chienne

¹ C.R.F.L., ministère des Pêches et de l'Environnement du Canada

Les eaux recueillies à ces deux points, ayant traversé plusieurs secteurs fertilisés, ont été considérées comme traitées.

La méthodologie analytique suivie pour déterminer les paramètres exprimés dans les tableaux suivants, est celle qui est recommandée par l'*American Public Health Association (Standard methods for the examination of water and wastewater, 1971)*.

3.5.1 PARAMETRES ETUDIES

Parmi les nombreux paramètres servant à la caractérisation d'un cours d'eau, nous avons choisi ceux qui, à notre avis, étaient les plus susceptibles de refléter l'impact du fertilisant ajouté, soit dans l'immédiat, soit dans l'avenir.

Considérons d'abord les propriétés physico-chimiques, le pH, la conductibilité et la couleur. Les deux premiers paramètres sont très sensibles aux changements d'acidité ou de salinité. L'emploi de ces techniques d'analyse devient de plus en plus généralisé dans les études d'impact sur les écosystèmes aquatiques, dans le *monitoring*, etc. La couleur de l'eau, normalement due à la présence de certains ions (Fe, Mn) ou de pigments végétaux, a aussi été mesurée en unités *A.P.H.A.*¹ par comparaison visuelle de l'échantillon avec un standard platine-cobalt.

En ce qui a trait à la composition chimique de l'eau, nous avons prêté une attention spéciale à la présence de l'urée ainsi qu'aux formes azotées qui pourraient en dériver: N-ammonium et N-nitrate.

¹ *American Public Health Association*

Le carbone organique et les cations métalliques (Ca, Mg, K, Na) ont aussi été analysés dans l'éventualité d'une solubilisation de substances humiques induite par l'urée (Jung et Dressel, 1970; Gonzalez et Hubert, 1971).

3.5.2 BREF APERCU BIBLIOGRAPHIQUE

Le nombre des travaux consacrés à l'étude de l'impact de la fertilisation des forêts sur le milieu aquatique est relativement restreint.

Des expériences *in vitro* ont démontré qu'une très faible quantité d'azote était perdue par délavage (Cole et Gessel, 1965) et que l'urée était, parmi les fertilisants azotés d'usage courant, le moins sujet au lessivage (Weetman *et al.*, 1972).

L'application commerciale d'engrais sur des bassins traversant des boisés du Nord-Ouest américain n'a eu, en général, que de faibles effets sur les cours d'eau échantillonnés (Fredriksen *et al.*, 1975).

Une perte d'azote de l'ordre de 0,15 p. 100 du total appliqué a été constaté durant la première année après la fertilisation dans une expérience réalisée dans un bassin (conifères) de l'Oregon. Les quantités d'urée utilisées étaient de 224 kg/ha de N-urée (Moose, 1971). Des travaux réalisés dans l'état de Washington (38 kg/ha de N-urée) n'ont pas montré de différences appréciables entre les eaux du bassin fertilisé et celles du témoin (Tiedemann, 1973).

A plusieurs reprises, on a pu constater dans la littérature consultée que les augmentations de $N-NO_3$ et $N-NH_4$ observées dans l'eau coïncident avec les épisodes pluvieux de forte intensité. Tel fut le cas d'un bassin couvert d'un peuplement feuillu, en Virginie occidentale, où l'on avait appliqué 104 kg/ha de N-urée (Aubertin *et al.*, 1973).

Finalement, en Suède, un important bassin forestier, comportant plusieurs lacs et cours d'eau, a été fertilisé à l'urée et au nitrate d'ammonium (160 kg/ha de N). Les résultats ont montré que l'impact sur l'eau est beaucoup plus perceptible dans la partie du bassin fertilisée au nitrate que dans la partie fertilisée à l'urée. Celle-ci agit immédiatement après la fertilisation mais les augmentations enregistrées (de 0,05 à 0,5 ppm de $N-NH_4$ et de 0,1 à 0,5 ppm de $N-NO_3$) ont été de courte durée (Ehlert and Rambert, 1975).

3.5.3 RESULTATS

En ce qui a trait aux résultats obtenus (Tableaux 1 et 2), nous sommes d'avis qu'ils doivent être regardés avec prudence et, en conséquence, nous devons nous abstenir de toute extrapolation ou généralisation.

Nos observations ont couvert seulement la période du 18 août au 15 septembre 1976, c'est-à-dire un échantillonnage insuffisant pour supporter une analyse statistique valable.

Des résultats obtenus lors d'une expérience de fertilisation à l'urée dans un bassin de la Forêt de Montmorency en 1973, ont montré que les changements les plus perceptibles (conductivité, taux en $N-NH_4$)

Tableau I - Données analytiques* des eaux des bassins fertilisé (F) et contrôlé (C):

Propriétés physiques et composés azotés**

Date	pH		Conduct.		Umhos		Couleur APHA		N-urée		N-NH ₄		N-NO ₃		N-total	
	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C
18/08	6,64	6,90	21,8	22,5	90	70	Nil	Nil	0,7	0,5	Nil	Nil	0,7	0,6	0,7	0,6
19	6,34	6,33	21,4	21,4	80	70	"	"	0,6	Traces	"	"	0,7	0,3	0,7	0,3
20	6,40	6,63	22,5	22,0	80	70	"	"	Nil	"	"	"	0,2	0,4	0,2	0,4
21	6,11	6,40	26,6	21,3	140	60	"	"	0,6	"	"	"	0,7	0,3	0,7	0,3
22	6,86	6,98	20,7	20,8	70	60	"	"	0,2	"	"	"	0,3	0,2	0,3	0,2
23	6,86	6,86	21,5	22,1	80	70	"	"	Nil	"	"	"	0,1	0,1	0,1	0,1
24	7,90	6,96	22,8	21,9	80	60	Traces	Traces	"	"	"	"	0,3	0,2	0,3	0,2
25	6,93	6,94	22,0	22,0	80	60	"	"	0,2	"	"	"	0,4	0,2	0,4	0,2
26	6,48	6,41	22,2	22,1	80	60	"	"	Nil	"	"	"	0,2	0,1	0,2	0,1
27	6,38	6,41	20,2	20,1	100	90	"	"	0,7	0,4	"	"	1,2	0,5	1,2	0,5
30	6,47	6,40	20,4	19,4	80	95	0,3	0,2	0,8	0,5	"	"	1,1	0,6	1,1	0,6
31	6,49	6,40	21,0	19,6	60	60	Nil	Nil	1,0	0,5	"	"	1,2	0,7	1,2	0,7
1/09	6,51	6,40	20,6	19,7	80	70	"	"	0,7	0,5	"	"	0,8	0,6	0,8	0,6
2	6,49	6,42	21,2	20,1	70	65	"	"	0,6	0,5	"	"	0,6	0,6	0,6	0,6
7	6,41	6,41	24,5	24,2	60	60	"	"	Nil	Traces	"	"	0,2	0,4	0,2	0,4
8	6,56	6,35	24,7	25,5	70	60	"	"	"	"	"	"	0,2	0,2	0,2	0,2
9	6,61	6,53	23,4	24,7	60	60	"	"	"	"	"	"	0,3	0,2	0,3	0,2
10	6,60	6,54	23,0	23,8	60	50	"	"	"	"	"	"	0,2	0,2	0,2	0,2
13	6,87	6,82	25,0	25,9	60	60	"	"	Traces	"	"	"	"	0,2	0,2	0,2
14	6,91	6,82	24,7	25,0	60	60	"	"	"	"	"	"	"	0,2	0,2	0,2
15	6,91	6,82	28,7	24,9	60	60	"	"	"	"	"	"	"	0,2	0,2	0,2

* Valeurs moyennes de deux échantillons

** Composés azotés exprimés en ppm

Tableau 2 - Données analytiques* des eaux des bassins fertilisé (F) et contrôlé (C):

Carbone organique et cations métalliques**

Date	Carbone organique		Calcium		Magnésium		Potassium		Sodium	
	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C
18/08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	2,5	2,0	2,4	2,3	0,52	0,61	0,02	0,02	0,11	0,10
20	3,0	1,5	2,9	2,7	0,63	0,64	0,02	0,01	0,12	0,12
21	1,5	4,5	3,0	2,9	0,63	0,63	0,02	0,03	0,15	0,14
22	1,5	3,0	3,0	3,0	0,65	0,61	0,02	0,02	0,16	0,14
23	1,5	1,5	3,0	3,0	0,63	0,62	0,02	0,02	0,13	0,13
24	1,5	3,0	3,1	2,9	0,65	0,67	0,03	0,03	0,16	0,13
25	5,2	3,7	3,2	3,0	0,65	0,62	0,03	0,03	0,16	0,13
26	3,0	2,2	3,2	3,1	0,68	0,60	0,03	0,02	0,14	0,12
27	3,0	4,4	3,1	3,1	0,65	0,65	0,03	0,02	0,12	0,14
30	3,7	3,7	3,1	3,1	0,65	0,62	0,03	0,02	0,13	0,12
31	3,6	3,0	3,1	3,0	0,65	0,63	0,03	0,03	0,13	0,11
1/09	2,2	2,5	3,0	2,9	0,65	0,63	0,02	0,02	0,13	0,11
2	3,0	2,4	3,0	2,8	0,65	0,69	0,02	0,03	0,13	0,11
7	2,9	4,3	2,8	3,0	0,50	0,58	0,01	0,02	0,19	0,19
8	5,0	4,3	2,8	2,7	0,51	0,56	0,02	0,01	0,18	0,18
9	3,6	4,3	2,9	2,7	0,51	0,55	0,02	0,01	0,18	0,17
10	3,6	2,9	2,9	2,8	0,51	0,54	0,02	0,02	0,19	0,17
13	5,0	2,8	2,9	2,8	0,51	0,50	0,02	0,01	0,19	0,19
14	2,9	3,6	3,1	2,9	0,53	0,51	0,02	0,01	0,19	0,17
15	2,9	2,9	3,0	3,2	0,53	0,62	0,02	0,02	0,19	0,23

* Valeurs moyennes de deux échantillons

** Résultats exprimés en ppm

se produisaient au cours des deux ou trois semaines qui suivent l'application du fertilisant, selon les précipitations (Gonzalez et Plamondon, 1975).

Dans cette optique, nous avons jugé opportun de surveiller la qualité des eaux au moins pendant cette période. Il serait souhaitable que des prélèvements et des analyses soient continués dans les années à venir afin de se prononcer de façon plus catégorique, chose qu'on ne peut pas faire aujourd'hui compte tenu de la courte durée de nos observations.

Néanmoins, la simple comparaison entre les résultats des eaux des secteurs fertilisés et des secteurs témoins semble indiquer que, pendant la période étudiée, les effets de l'urée ont été à toutes fins pratiques négligeables.

Malgré le caractère préliminaire de nos observations, nous sommes d'avis que les résultats des analyses suivent la même tendance que l'on observe lors d'expériences similaires effectuées ailleurs.

3.5.4. DISCUSSION

Il faudrait dire ici que les eaux naturelles analysées dans ces deux expériences de fertilisation dans la forêt québécoise (Forêt Montmorency et Mauricie) se sont avérées d'une qualité excellente. Pour illustrer ceci, qu'il suffise de signaler que la conductivité de l'eau d'usage domestique à Sainte-Foy est 12 à 15 fois plus élevée que celle des eaux que l'on trouve habituellement en

forêt. En général, dans un milieu forestier non perturbé, les eaux du Québec rencontrent les normes internationales établies pour l'eau potable (WHO, 1971).

La prise de conscience à laquelle nous assistons depuis quelques années à l'égard de notre environnement est à l'origine de cette inquiétude que l'on ressent lorsque l'homme agit sur un écosystème donné, dans notre cas, en introduisant un produit de synthèse comme l'urée.

Ceci s'explique par les conséquences, bien connues de tous aujourd'hui, qu'ont eues les fertilisations répétées pendant de nombreuses années, sur la salinisation des eaux phréatiques (notamment les taux très élevés de nitrate). On est donc porté à établir un parallèle entre la fertilisation en agriculture et la fertilisation en foresterie et, par analogie, entre leurs conséquences sur l'eau. Mais cette similitude n'est qu'apparente parce qu'il y a des différences essentielles entre ces deux pratiques :

- a) l'humus forestier possède un pouvoir de rétention très supérieur à celui d'un sol agricole surexploité, bien souvent déficient en matière organique;
- b) le couvert forestier est une excellente protection contre le lessivage provoqué par les précipitations intenses. En agriculture, il n'est pas rare qu'à la suite d'une averse, une partie substantielle des engrais se retrouve dans les drainages;
- c) les quantités de fertilisants utilisées en foresterie sont très modérées;

- d) le temps écoulé entre deux fertilisations forestières est énorme par rapport à celui qui sépare deux applications de fertilisant en agriculture (un an dans la plupart des cultures intensives). En d'autres mots, l'écosystème forestier dispose de plusieurs années pour rétablir un éventuel déséquilibre provoqué par un phénomène de saturation.

En considérant tous ces facteurs ainsi que les résultats obtenus par d'autres chercheurs, on peut émettre l'hypothèse que la fertilisation en forêt naturelle aura très peu d'effet sur la qualité de l'eau, à moins qu'elle soit répétée durant plusieurs années consécutives, chose fort improbable.

REFERENCES

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1971. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 13th ed. Washington, D.C.
- AUBERTIN, G.M., D.W. SMITH et J.H. PATRIC, 1973. *Quantity and quality of streamflow after urea fertilization on a forested watershed: first-year results*. Forest Fertilization, Symposium Proceedings, USDA, For. Serv., Gen. Tech. Rep. NE-3 pp. 88-100.
- COLE, D.W. et S.P. GESSEL, 1965. *Movement of elements through a forest soil as influenced by tree removal and fertilizer additions*. Forest-Soils Relationships in North America. Edited by C.T. Youngberg, Oregon State Univ. Press, Corvallis. pp. 95-104.
- EHLERT, K. et L. RAMBERG, 1975. *Effects of forest fertilization with ammonium nitrate and urea on the water quality of small streams*. Inadvertent effects of man on the hydrological cycle. Edited by E. Hansen. Nordic Int. Hydrological Decade. Rep. n° 8. pp. 22-25.
- FREDRIKSEN, R.L., D.G. MOORE et A. NORRIS, 1975. *The impact of timber harvest, fertilization, and herbicide treatment on stream-water quality in the Douglas fir region*. Forest Soils and Forest Land Management. Edited by B. Bernier and C.H. Winget. Les Presses de l'Université Laval. pp. 283-313.

- GONZALEZ, A. et G. HUBERT, 1971. *Influence de l'urée sur l'ensemble des composés azotés d'un humus forestier in vitro*. Env. Can., Serv. Can. For., Rap. d'Inf. Q-F-X-17.
- GONZALEZ, A. et A. PLAMONDON, 1977. *Urea as a fertilizer in natural forest and its effect on water quality*. Ecol. For. Manag. (sous presse).
- JUNG, J. et J. DRESSEL, 1970. *Veber die Nährstoffauswaschung nach Zufuhr von Harnstoff und ammoniumsulfat zu einem Rohhumusboden im Modellversuch*. Forstwiss. Centralbl. 89: 171-170.
- MOORE, D.G., 1971. *Fertilization and water quality*. Proc. 1971 Annu. Meeting Reforestation Coordinating Comm., Western Forestry and Conservation Assoc., Portland, Oregon, pp. 28-31.
- TIEDMANN, A.R., 1973. *Stream chemistry following fertilization in North-Central Washington*. USDA, For. Serv., Res. Note. PNW-203. 20 p.
- WEETMAN, G.F., R. KNOWLES et S. HILL, 1972. *Effects of different forms of nitrogen fertilizer on uptake by black spruce and its humus and humus mesofauna*. Pulp and Pap. Res. Inst. Can. Woodland Rep. 39, 20 p.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1971. *International standards for drinking water*. 3rd ed. WHO, Genève.

3.6 FERTILISATION EN POTASSIUM ET EN AZOTE ET OBSERVATIONS SUR LES TENEURS EN ELEMENTS DES AIGUILLES DU PIN GRIS par G. Sheedy

3.6.1 BUTS

Etudier les effets sur la croissance du pin gris, d'une fertilisation en potassium, ajouté ou non à l'urée.

3.6.2 METHODES

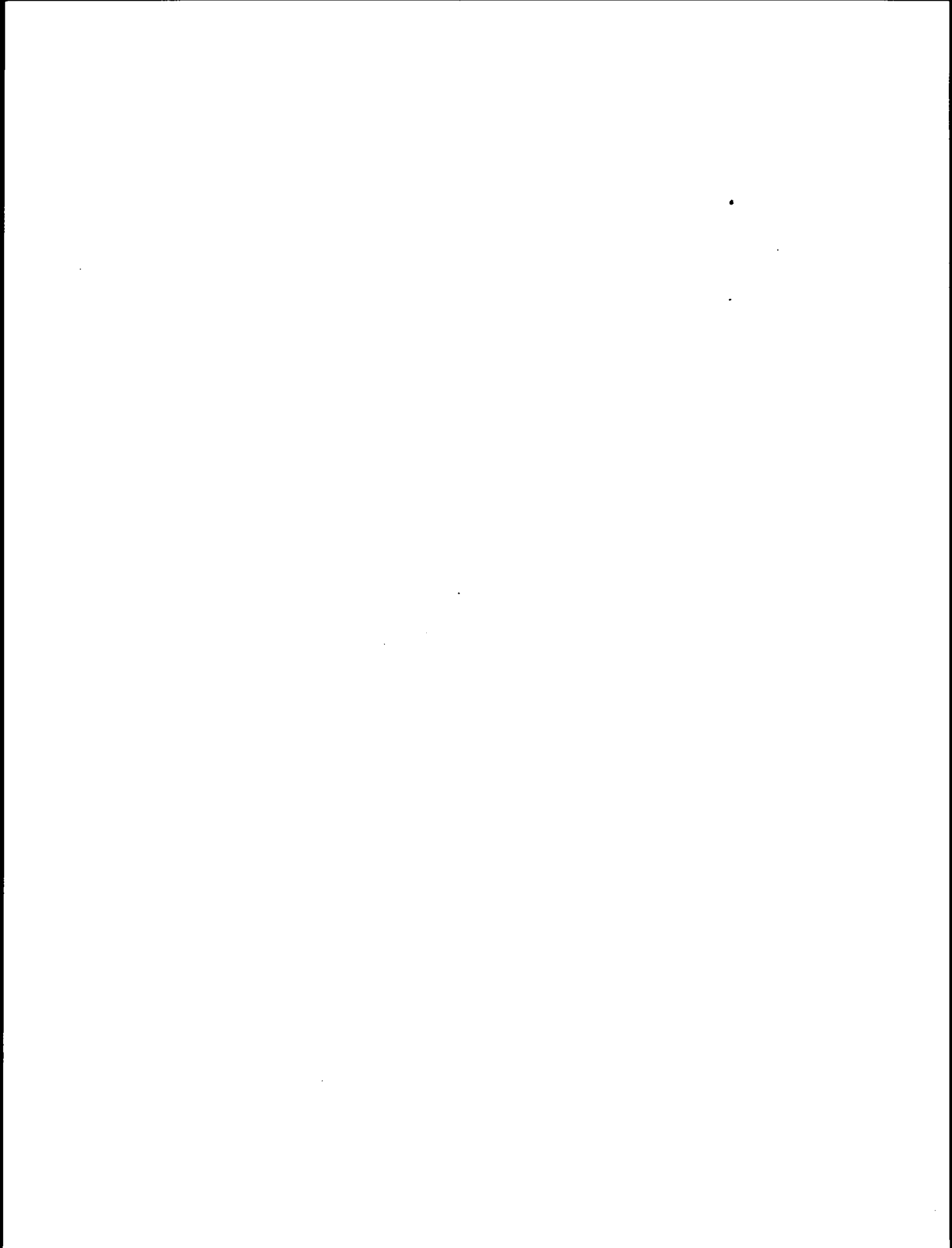
Ce dispositif expérimental sera formé de 10 placettes d'échantillonnage établies dans les mêmes peuplements choisis pour le projet de fertilisation aérienne.

Le dispositif comprendra 5 traitements de fertilisation et 2 répétitions par traitement. Ces traitements sont:

- 1- Témoin
- 2- Azote (112 kg/ha, appliqué par avion en août 1976 sous forme d'urée à grain forestier)
- 3- Azote (112 kg/ha, appliqué manuellement au printemps 1977 sous forme d'urée à grain forestier)
- 4- Azote et potassium (112 kg/ha de chaque éléments, urée et muriate de potasse)
- 5- Potassium (112 kg/ha de K sous forme de muriate de potasse)

3.6.3 ETAPES

- 1- Choix des placettes d'échantillonnage - hiver 1976-77 (2 dans le bloc fertilisé en 1976 et 8 dans les peuplements témoins)
- 2- Fertilisation en N et K - printemps 1977
- 3- Echantillonnage foliaire - automne 1977, 78, 79 (6 à 10 arbres/P.E.P.)
- 4- Rapport préliminaire - hiver 81-82
- 5- Remesurage - automne 1981 et 1986
- 6- Rapport final - 1987-88



3.7 EFFET D'UNE DEFOLIATION (SIMULEE) PAR LE DIPRION DE SWAINE SUR LA CROISSANCE EN DIAMETRE DU PIN GRIS par P. Benoit¹

3.7.1 BUTS

Juger de l'opportunité d'une intervention de lutte chimique contre le diprion de Swaine dans certains cas.

3.7.2 METHODES

L'expérience comprend deux traitements, chacun réparti dans deux placettes (total de 4 placettes). Les traitements consistent à dégarnir la cime des arbres du tiers du feuillage dans un cas et des deux-tiers du feuillage dans le deuxième cas. La technique employée consiste à couper le tronc des arbres au 7/10 supérieur des cimes et au 5/10 des cimes respectivement. Chaque traitement comprend environ 200 arbres (de 7,6 à 17,7 cm de diamètre) et il y a autant d'arbres témoins.

3.7.3 ETAPES

Expérience commencée en 1971 et terminée en novembre 1976. Les placettes seront toutefois conservées pour savoir si la fertilisation en urée aura une influence sur la croissance de ces arbres dégarnis d'une grande partie de leur feuillage.

3.7.4 TRAVAIL FAIT

Prélèvements annuels des circonférences des quelque 800 pins gris.

¹ C.R.F.L., ministère des Pêches et de l'Environnement du Canada

3.7.5 RESULTATS

Les données ne sont pas encore analysées.

3.8 OBSERVATIONS SUR LES REACTIONS DES PETITS MAMMIFERES DU PIN GRIS A LA FERTILISATION AERIENNE par R. Lagù¹

Le but de cette étude était de savoir si la fertilisation, comme celle pratiquée sur une grande échelle par voie aérienne dans la région du lac Normand, pouvait avoir une influence néfaste sur la petite faune vivant dans le milieu fertilisé, en l'occurrence, un peuplement de pin gris. Pour atteindre cet objectif, les buts proposés furent d'abord de connaître le comportement des petits mammifères exposés, pour de courtes et de longues périodes, à différentes doses du fertilisant ajouté au sol, c'est-à-dire l'urée (45 p. 100 de N).

3.8.1 METHODES EXPERIMENTALES

Les méthodes expérimentales pour atteindre le but proposé ont été élaborées selon une séquence bien définie. Les petits mammifères, insectivores: *Sorex cinerus* et *Blarina brevicauda*; rongeurs: *Peromyscus maniculatus* et *Synaptomys cooperi*, qui à notre avis, sont les mammifères importants du milieu étudié, ont été capturés près du site de l'expérience. Le piégeage de ces mammifères a duré une semaine et 10 petits mammifères de différents espèces ont été capturés. Cette technique de piégeage est décrite par McLeod (1977).

En laboratoire, les petits mammifères ont été placés dans des cages de *Plexiglas* de 0,60 x 0,60 x 0,45 m. Le plancher de la cage était recouvert de sciure de bois et de mousse *Calliargon* afin que les petits mammifères puissent y faire des cachettes et y construire leur nid. Il y eut, cependant, une exception dans le cas du petit mammifère

¹ C.R.F.L., ministère des Pêches et de l'Environnement du Canada

Blarina brevicauda qui aime creuser. Pour ne pas nuire à ses habitudes, on lui a fourni 8 cm de terre au lieu de la sciure de bois.

Le genre de vie des insectivores étant différent de celui des rongeurs, nous les avons soumis à des régimes alimentaires différents. Les insectivores furent soumis à un régime quotidien de larves à farine, de petits morceaux de boeuf, de fromage et, évidemment, d'eau avec, à l'occasion, des insectes tels que mouches, papillons, libellules et toutes sortes de coléoptères. Pour les rongeurs, le régime était plus simple et consistait en des morceaux de moulée pressée *Fox Chow*, de fromage, de carottes et d'eau. Tous les petits mammifères furent placés chacun dans une cage séparée.

3.8.2 ETAPES DE L'EXPERIENCE

Pendant une semaine, les petits mammifères n'ont pas été en contact avec le fertilisant afin de leur permettre de s'adapter à leur nouvel univers et aussi pour permettre d'étudier leurs moeurs. Après ce stage, une partie des mammifères a été mise en contact avec 32 grains de fertilisant par $0,093 \text{ m}^2$ (1 pi^2), les autres étant gardés comme témoins. A la septième journée, le fertilisant n'ayant pas été touché par les petits mammifères, nous avons ajouté de l'eau sur la mousse afin de faire fondre le fertilisant et simuler ainsi les conditions extérieures. Les cages de l'extérieur ont subi le même traitement sauf qu'une de ces cages a été recouverte de plastique clair (acétate) afin d'empêcher l'eau d'y pénétrer. Mais le sol restant humide même avec cette surface de plastique, le fertilisant fondait. Ce test, avec 32 granules de fertilisant, a duré 12 jours et fut répété quatre fois.

Cette première étape n'ayant apporté aucun changement apparent dans les réactions des mammifères au fertilisant, nous avons procédé à une seconde étape.

Alors que la première étape de l'expérience avait été faite avec une dose d'azote équivalente à celle ajoutée au sol lors de l'expérience de fertilisation par voie aérienne, la seconde étape a été abordée avec des quantités deux et trois fois plus grandes. Malgré que 64 et 96 granules aient été ajoutés par $0,093 \text{ m}^2$ (1 pi^2), aucune réaction n'a pu être observée chez les mammifères. Sur le total de petits mammifères capturés, il y eut des pertes causées non par le fertilisant mais par la manipulation durant l'expérience (fuite ou mortalité). Une *Blarina brevicauda* est morte le lendemain de sa capture sans avoir été en contact avec le fertilisant. Une musaraigne commune (*Sorex cinereus*) femelle adulte est morte neuf jours après l'addition de 64 granules de fertilisant, mais après examen, on a constaté qu'il n'y avait rien d'anormal et nous croyons que cette musaraigne est morte de vieillesse.

Il importe ici de souligner que nous avons fertilisé autour des cages à l'extérieur car nous avons pensé que dans la nature, l'air ambiant aurait une senteur d'ammoniac assez forte durant la fertilisation par voie aérienne et après. Cette fertilisation a été faite autour des cages dans un rayon de 15 m et à des doses tellement fortes que nous avons l'impression que le sol était couvert de neige tant le nombre de granules de fertilisant était considérable. Malgré tout, aucune réaction anormale n'a été constatée chez les mammifères.

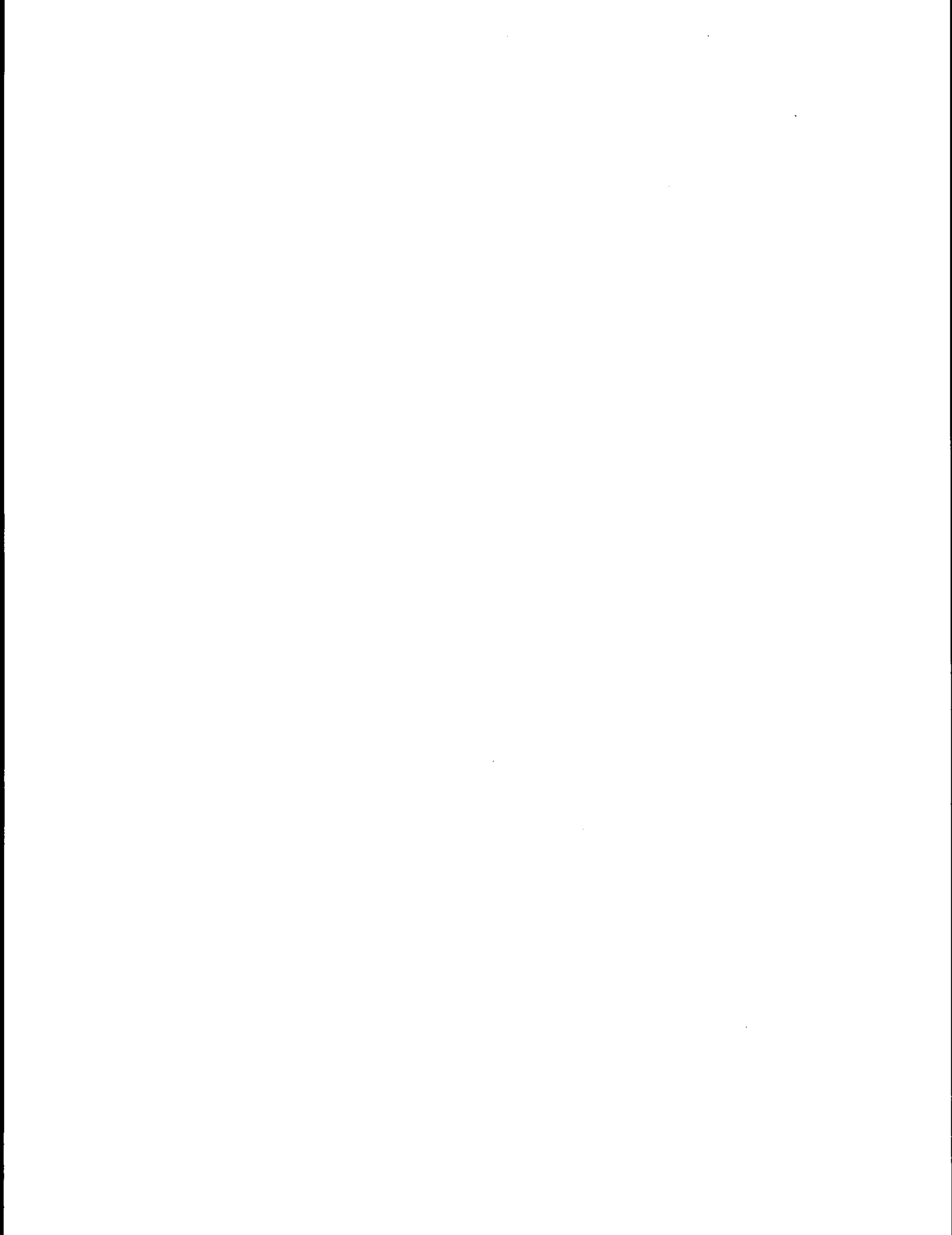
3.8.3 COMMENTAIRES

Il est évident qu'avec seulement 10 mammifères dont seulement cinq n'ont pas subi d'accident de parcours, on ne peut se permettre de tirer des conclusions de caractère scientifique. Tout au plus peut-on dire qu'avec le nombre de mammifères étudiés, une certitude s'est établie que, pendant une période de 40 jours, aucune anomalie ne s'est déclarée chez ces petits mammifères comme conséquence de la fertilisation. Même en vase clos, c'est-à-dire dans les cages en *Plexiglas*, les petits mammifères n'ont subi aucun changement dans leurs moeurs. Malgré que les doses d'application d'urée aient été deux et trois fois supérieures à celle employée lors de la fertilisation, aucune réaction n'a été observée de la part des petits mammifères.

Il ne faudrait pas oublier que les petits mammifères se font des cachettes et des nids sous les troncs d'arbres et se creusent des sentiers dans le sol. Cette habitude est certainement de nature à favoriser leur survivance si danger il y avait d'un dégagement trop grand d'azote ammoniacal lors de la fertilisation. C'est pour cette raison que nous avons volontairement augmenté considérablement les doses d'urée et les résultats obtenus nous permettent de dire avec certitude que, dans le cadre de la présente étude, l'urée ajoutée à différentes doses n'a pas affecté les petits mammifères. Nous émettons cependant une réserve: il se peut qu'avec un plus grand nombre de mammifères et pour une période beaucoup plus prononcée, les résultats puissent être différents, mais ceci reste à prouver.

REFERENCES

McLEOD, J.M., 1977. *The Swaine jack pine sawfly life system. Sampling Technique for Small Mammals.* (En cours de rédaction).



3.9 OBSERVATIONS SUR L'EFFET DE LA FERTILISATION PAR VOIE AERIENNE SUR LES OISEAUX par R. Laguë

Personne n'ignore l'importance des oiseaux comme prédateurs naturels des insectes nuisibles aux forêts. Il se peut que la fertilisation affecte plus ou moins les oiseaux qui habitent la forêt, d'où l'importance de quantifier et de qualifier l'effet de ce traitement sur les oiseaux. Tel est le but de cette étude qui, à cause des circonstances, est de nature observatoire.

3.9.1 METHODES EXPERIMENTALES

De telles études se font ordinairement au printemps, avant que les jeunes oiseaux n'apprennent à voler et ne brisent le territoire tant défendu par leurs parents, ce qui se produit durant les mois de mai et juin. Or, la fertilisation a eu lieu à la fin d'août, moment où la période prémigratoire tirait à sa fin et la grande migration commençait. Pour ces raisons, nous avons modifié nos méthodes habituelles de travail pour les restreindre à des observations dans les endroits fertilisés, en abattant les oiseaux à l'aide d'un fusil de calibre 410.

3.9.2 ETAPES

Nos observations ont été faites en trois étapes alors qu'il y avait encore des grains de fertilisant au sol et que l'avion continuait à jeter du fertilisant sur d'autres endroits.

La première observation fut faite dans une partie de l'aire où la fertilisation était déjà terminée depuis deux jours, où il n'y avait aucune senteur d'ammoniaque et où les oiseaux n'avaient pas d'agissements anormaux. La deuxième observation fut faite là où les oiseaux ne semblaient pas fuir les lieux fertilisés et la troisième, dans des endroits fertilisés le jour même de l'observation: dans ce dernier cas, les oiseaux ne semblaient aucunement embarrassés par le fertilisant.

3.9.3 RESULTATS

La dissection des estomacs d'oiseaux n'ayant pas été commencée, aucun résultat n'est actuellement disponible. Dès que les résultats de l'analyse seront terminés, nous en ferons l'étude et les discuterons.

3.9.4 COMMENTAIRES

A cause de la période de l'année durant laquelle la fertilisation a eu lieu, période qui se prêtait mal à l'étude proposée, les conclusions qui pourraient en ressortir seraient forcément de nature exploratoire. D'autre part, nous basant sur les observations que nous avons pu faire dans les circonstances, nous pouvons dire que les oiseaux n'ont éprouvé aucun malaise apparent attribuable à la fertilisation et qu'il n'y a pas eu de senteur d'ammoniaque suffisante pour les éloigner des lieux fertilisés. Cependant, un point très important demeure à élucider: les oiseaux mangent-ils de ces granules de fertilisant? Si oui, comment y réagissent-ils?

Même si, d'après nos observations faites à la fin d'août, il semble que la fertilisation n'ait pas affecté les oiseaux, une étude plus détaillée, faite en mai et juin alors que la population d'oiseaux est plus stable, serait préférable pour mieux évaluer l'effet de la fertilisation sur les oiseaux.

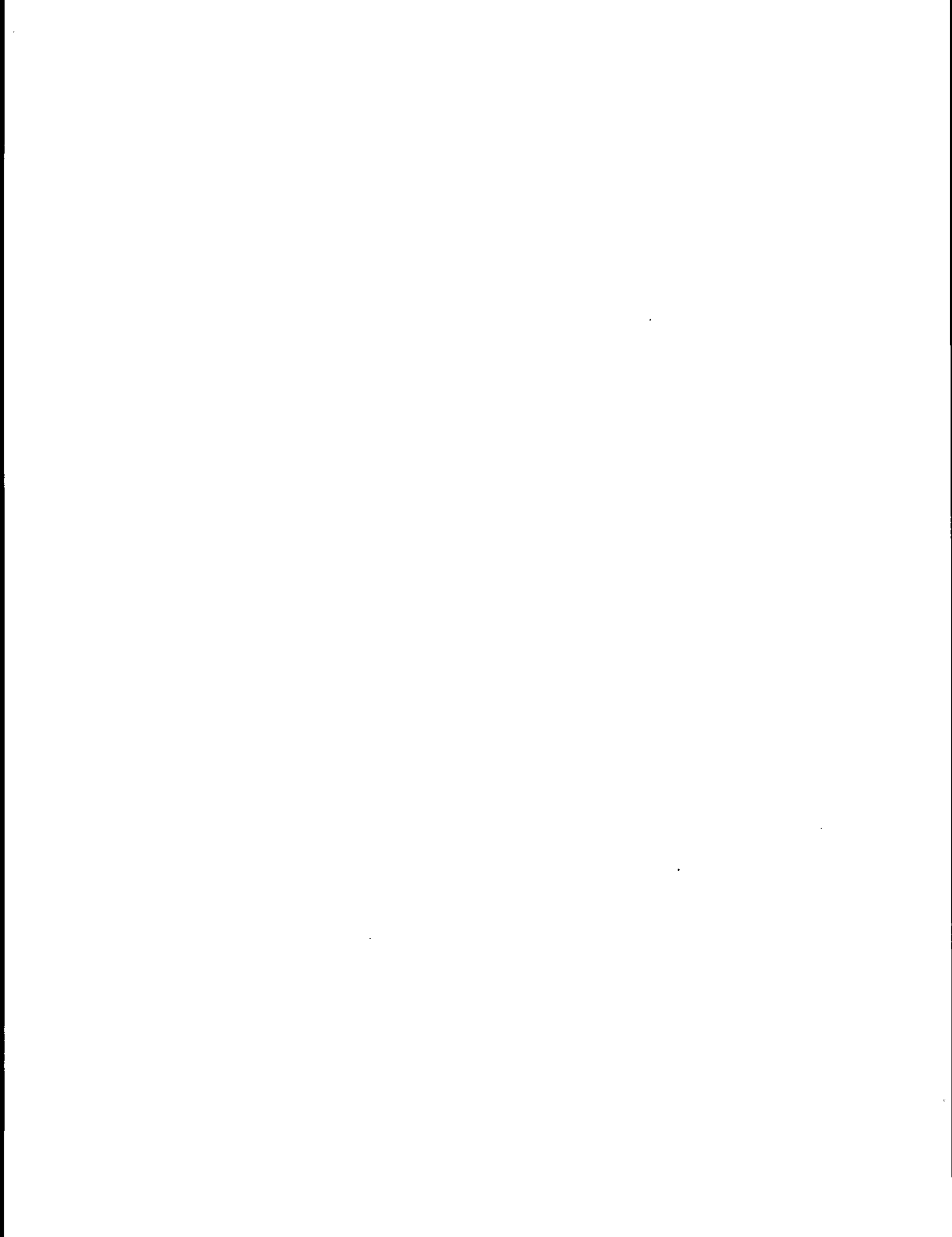
REFERENCE

McLEOD, J.M., 1974. *Bird Population Studies in the Swaine Jack Pine Sawfly Life System*. Env. Can., Can. for. Serv., Inf. Rep. LAU-X-10.

3.10 OBSERVATIONS FAITES SUR L'EFFET DU FERTILISANT APPLIQUE PAR AVION SUR LA FOURMI *FORMICA LUGUBRIS* AU LAC A LA CHIENNE
par R.J. Finnegan¹

En 1975, des tests en laboratoire avec des nids artificiels de fourmis indiquèrent que le fertilisant n'avait pas d'effet remarquable sur le comportement des fourmis dans leurs activités journalières et ne causait aucune mortalité. Pendant l'application du fertilisant dans la région du lac à la Chienne en 1976, on a constaté que le produit a été distribué uniformément sur toute la superficie occupée par les nids de fourmis, aussi bien que dans les places témoins. La tombée des particules n'a pas affecté les fourmis sur leurs sentiers et les granules ne les intéressèrent pas. Aucune réaction des fourmis ne fut observée pendant les mois de septembre et octobre suivant l'application aérienne.

¹ C.R.F.L., ministère des Pêches et de l'Environnement du Canada.



COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS

La méthode d'épandage par avion utilisée pour fertiliser les peuplements de pin gris de la Mauricie a permis d'atteindre une efficacité opérationnelle avancée. Toutefois, certaines modifications devront être apportées à quelques phases de l'opération pour assurer une rapidité d'exécution qui ne pourrait pratiquement plus être améliorée.

L'urée à grain forestier est avantageuse parce qu'elle n'est pas susceptible au compactage et à la prise en mottes; elle se manipule bien, ce qui facilite le chargement et assure un meilleur épandage et une dispersion plus uniforme. Le transport en vrac de cet engrais, sur de courtes et moyennes distances, est possible lorsque la température le permet, avec l'utilisation de camions à benne basculante munis d'une bâche pour recouvrir le charge. Toutefois, pour de longues distances, l'utilisation de camions avec boîte du type *container* semblerait tout indiquée, surtout sur des chemins forestiers, poussiéreux et cahoteux. De plus, les *containers* permettraient le charroyage de l'urée les jours d'intempéries, tandis qu'ils pourraient ensuite servir d'abri pour l'engrais, près de la piste d'atterrissage, jusqu'au moment de charger l'avion.

Le chargement du fertilisant à bord de l'avion a été l'élément de travail qui a nécessité des modifications majeures au cours des essais, particulièrement à cause d'un équipement inadéquat qui occasionnait un temps d'attente improductif pour l'avion à chaque chargement. A cause de l'équipement disponible, cette opération peut se subdiviser en deux phases distinctes de travail; d'abord, le récipient de toile suspendu à un mât fixé sur un camion est chargé et ensuite, cette charge est véhiculée (par le camion) pour être transvasée dans le réservoir de l'avion. L'utilisation d'une vis sans fin pour charger le récipient de toile s'est avérée peu efficace, parce que son temps d'exécution était trop lent et qu'elle requérait une main-d'oeuvre supplémentaire. Le remplacement par un tracteur de ferme avec benne a diminué de la moitié et même plus, le temps de chargement. Ces nouveaux temps devenaient nettement suffisants pour notre opération. Toutefois, le temps global de chargement de l'avion serait encore trop long dans le cadre d'une opération à grande échelle avec l'utilisation de deux avions. Pour améliorer le temps d'exécution de cette phase de l'opération, il faudra penser à utiliser de l'équipement semblable à celui de la *Pacific Logging*¹, sur l'île de Vancouver. Il s'agit d'un tracteur de ferme avec benne, modifié expressément pour charger l'avion *Cessna*. Ce tracteur, qui ne requiert qu'un seul opérateur, est muni d'une benne spécialement conçue pour prendre l'engrais à même le tas, le peser et finalement le transvaser dans le réservoir de l'avion en un temps relativement court.

¹ Voir la référence en 2.1 (Crown, M., 1974).

De façon à maximiser le rendement de la méthode opérationnelle, la piste d'atterrissage doit être située à l'intérieur ou à proximité immédiate de l'aire à fertiliser. Le coût de construction d'une piste en terrain plat, à partir d'un chemin forestier particulièrement droit, n'est pas tellement élevé, surtout si l'on projette de l'utiliser durant 3 ou 4 années. Cependant, lorsque la topographie de la région le permet, il est suggéré de construire la piste à flanc de montagne avec une pente moyenne de 20 pour 100; ceci à pour effet de réduire le coût de construction parce que la longueur requise est la moitié moindre qu'en terrain plat, tandis que le rendement des avions est amélioré.

L'emploi d'avions du modèle *Cessna Agtruck* est sans contredit plus avantageux que celui d'un hélicoptère parce que les avions ont un taux de production nettement plus élevé tandis que leur tarif de location est moindre; le coût de construction de la piste d'atterrissage est ainsi rapidement compensé. Le type d'épandeur qui équipe les *Cessna* assure un épandage régulier et une distribution uniforme de l'engrais; toutefois, le recouvrement partiel des lignes de vol est nécessaire pour éviter que certaines petites superficies ne soient pas fertilisées.

Pour assurer un bon contrôle des opérations, le plan de vol doit être préalablement tracé sur des photographies aériennes à grande échelle (1:5000) sur lesquelles sont indiquées les lignes de vol, les limites des blocs à fertiliser et la position des ballons indicateurs des blocs et des lignes de vol. Des copies de ces documents doivent être distribuées aux pilotes afin qu'ils se familiarisent

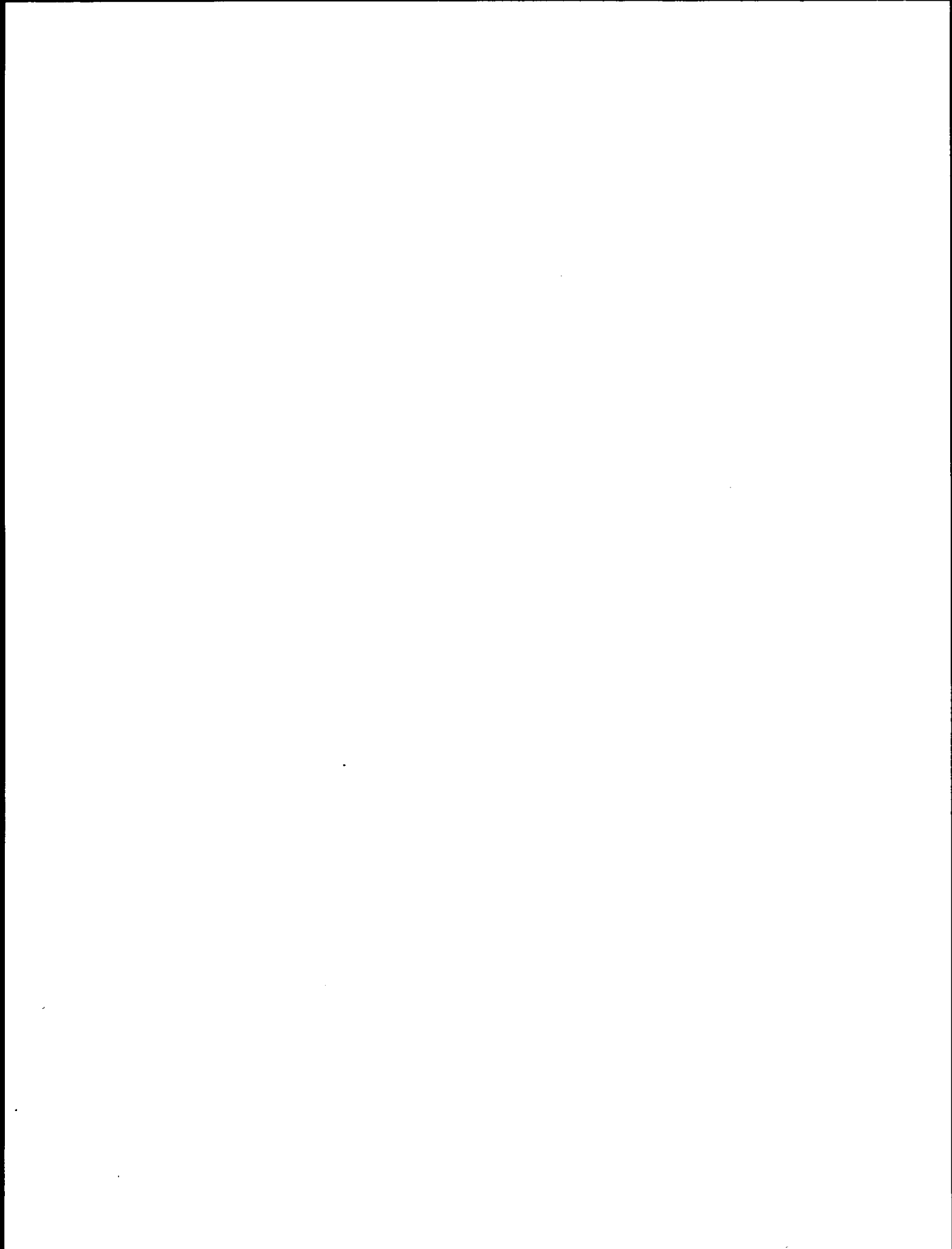
avec la région à fertiliser. Des ballons gonflés à l'hélium sont placés aux extrémités de chaque ligne de vol pour guider l'avion; ils sont déplacés après chaque passage pour indiquer la position de la ligne suivante. Des communications par radio entre le centre de contrôle de l'opération, les équipes terrestres (marqueurs des lignes) et les pilotes sont nécessaires au bon déroulement de l'opération.

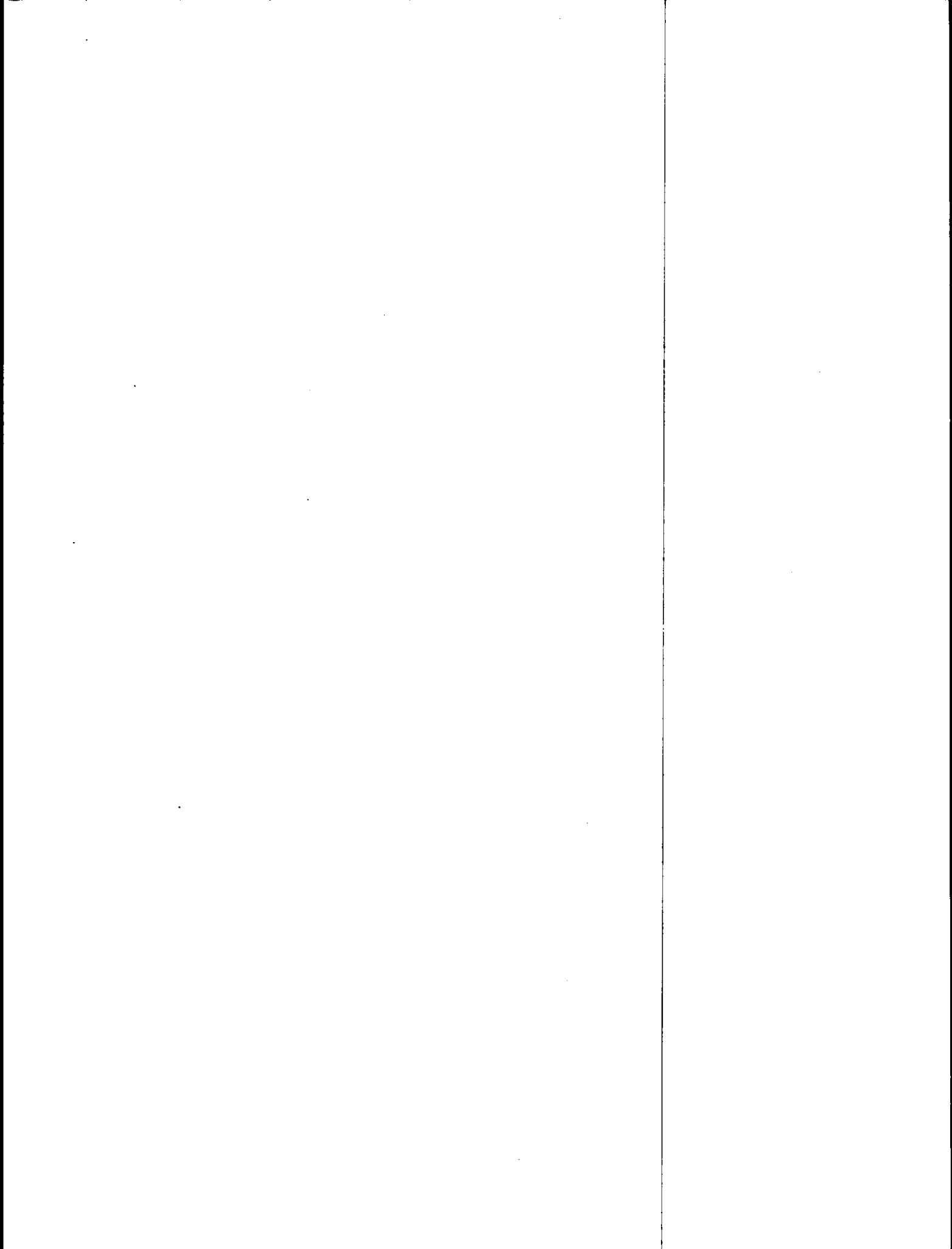
Le coût global de la fertilisation aérienne des pineraies grises de la Mauricie a été établi à \$88.80/ha (\$35.94/ac). Ce coût est élevé puisque l'opération a été effectuée à titre expérimental sur une petite superficie. On peut affirmer que, sur une base opérationnelle, certains coûts seraient moindres: ainsi, le tarif d'application à forfait de l'avion serait nettement inférieur pour de grandes superficies tandis que les coûts de construction de la piste et d'achat de certain matériel devraient être répartis sur plusieurs années d'opération au lieu d'une seule. Le prix à la tonne de l'urée pourrait être plus bas pour des achats en grandes quantités, surtout s'ils étaient garantis pour quelques années à venir. Cette diminution du prix de l'urée devient importante si l'on considère que cette dépense représente plus de 62 p. 100 du coût total de l'opération.

On peut donc conclure qu'il est possible d'appliquer des engrais par avion selon une méthode opérationnelle à la fois précise et efficace, à un coût inférieur à \$75/ha (\$30/ac).

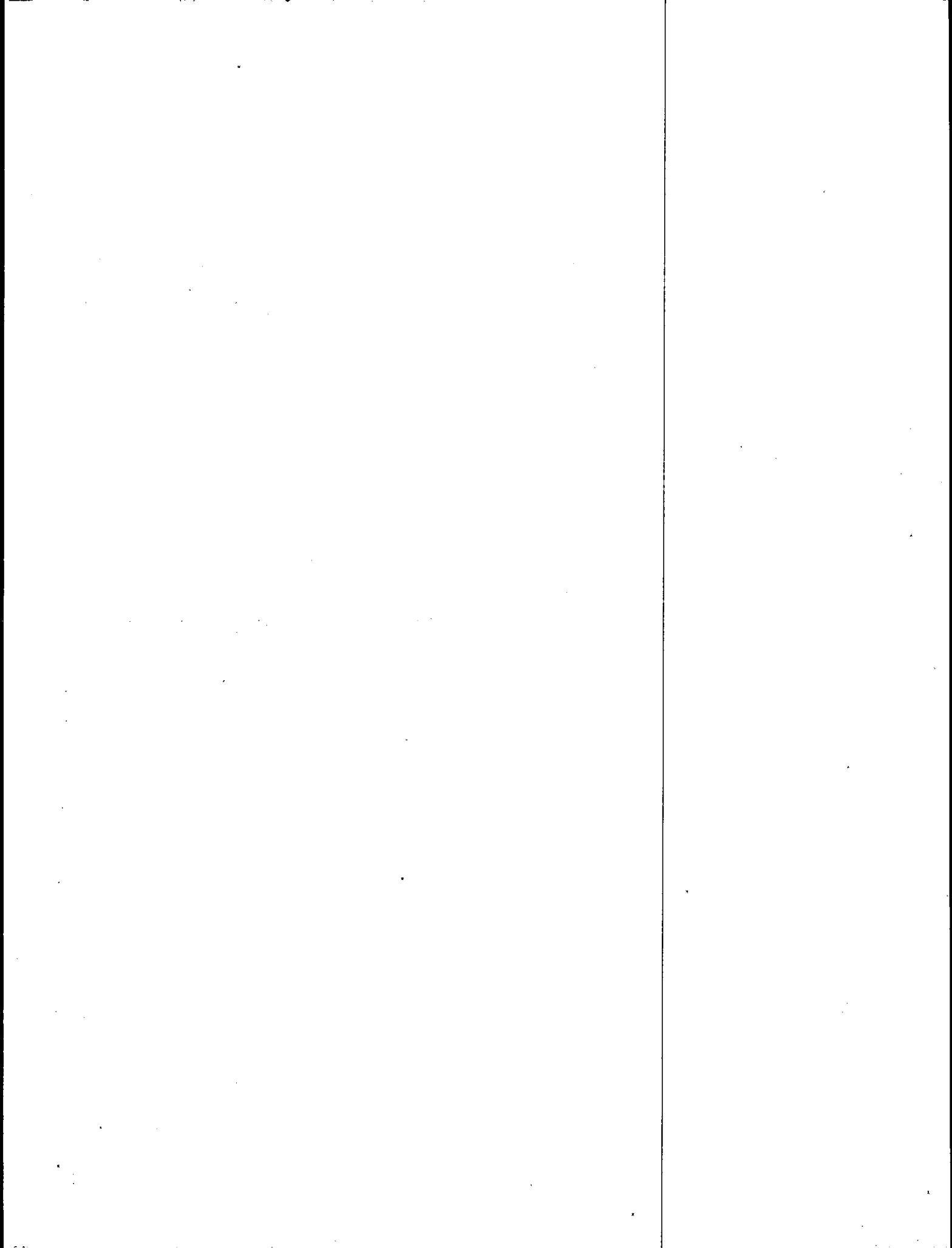
Cependant, le défi à la recherche ne s'arrête pas là; beaucoup reste à faire pour répondre à la multitude de questions que se posent les aménagistes forestiers en regard de cette technique sylvicole.

Il importe de continuer le programme visant à mesurer correctement les effets des engrais et leur impact sur tout l'écosystème forestier et d'en déterminer les rentabilités biologique et économique. Il est donc nécessaire de poursuivre une recherche coordonnée et coopérative entre les chercheurs et les organismes de recherches concernés.





Achévé d'imprimer à
Québec en octobre 1978, sur
les presses du Service de la reprographie
du Bureau de l'Éditeur officiel
du Québec



La fertilisation des peuplements forestiers, dix ans environ avant la coupe finale, peut être un moyen assez simple d'accroître la production des forêts du Québec. C'est pourquoi le ministère des Terres et Forêts, par son Service de la recherche, a apporté une contribution si importante au Projet inter-provincial de fertilisation des forêts naturelles, en établissant 40 secteurs d'expérimentation dans le but de mesurer l'effet des fertilisants sur l'augmentation du taux de croissance des arbres et d'identifier les engrais à utiliser et leur taux d'absorption. Cependant, la fertilisation manuelle est impraticable sur de grandes superficies. Le Service collabore donc au Projet inter-provincial de fertilisation aérienne des forêts naturelles, qui vise à trouver des méthodes efficaces et économiques de fertiliser de grandes superficies de même qu'à évaluer les effets d'une fertilisation à grande échelle sur l'environnement.



Éditeur officiel du Québec
Imprimé au Québec