

FERTILISATION DES SAPINIÈRES NATURELLES AU QUÉBEC



édité par
J. D. Gagnon

LABORATOIRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES
STE-FOY, QUÉBEC
RAPPORT D'INFORMATION Q-F-X-14

SERVICE CANADIEN DES FORÊTS
MINISTÈRE DES PÊCHES ET DES FORÊTS
MARS 1971

FERTILISATION DES SAPINIÈRES NATURELLES AU QUÉBEC

édité par

J.D. Gagnon

LABORATOIRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES

STE-FOY, QUÉBEC

RAPPORT D'INFORMATION Q-F-X-14

SERVICE CANADIEN DES FORÊTS

MINISTÈRE DES PÊCHES ET DES FORÊTS

MARS 1971

RESUME

Ce rapport d'information fait état des différentes études qui ont précédé l'établissement d'une expérience de fertilisation dans des sapinières naturelles de 50-60 ans du Québec. Il couvre aussi les activités survenues durant l'année suivant l'addition d'azote sous forme d'urée (46% N) à raison de 100, 200, et 300 lb/acre.

En vue d'augmenter l'efficacité du travail, les expériences décrites ont été menées par des chercheurs de disciplines différentes. Les motifs qui ont conduit à l'établissement de cette expérience et au choix des milieux forestiers sélectionnés sont exposés et accompagnent des études sur la valeur nutritive des sols et la concentration des éléments nutritifs dans les aiguilles des arbres. L'élaboration d'un modèle mathématique rendant compte du phénomène "croissance versus fertilisation", basé sur l'analyse biométrique des mesures annuelles y est également exposé. Les conditions pathologiques des arbres, les changements et l'évolution des formes azotées de l'humus, la mobilisation de la matière organique et ses transformations physico-chimiques ainsi que le métabolisme de l'urée dans l'humus après fertilisation ont été observés.

Les résultats obtenus à date des travaux précités sont discutés par le responsable de chaque discipline concernée. A la lumière de ces résultats, chacun expose ses vues sur les étapes qu'il se propose de suivre pour atteindre l'objectif commun qui est d'établir le bilan de la fertilisation des sapinières au Québec.

ABSTRACT

This information report deals with the various studies undertaken before the establishment of a fertilization experiment in 50-60 year-old natural balsam fir stands in Quebec. It also presents the results obtained the year following the addition of urea (46% N) to the soil, at the rate of 100,200 and 300 lbs/acre. The experiments described were conducted by a multidisciplinary research team. The reasons for the establishment of these experiments, the choice of forest stands, as well as soil nutrient content, and foliar analysis are discussed. The elaboration of a mathematical model in explaining yearly tree growth response to fertilization is also described. Pathological tree conditions, mobilization of organic matter and its physico-chemical transformations as well as metabolism of urea in the humus following fertilization, have been observed.

Results to-date are discussed by the worker responsible for each section within this inter-disciplinary program. In the light of these results, recommendations are made in regard to future work pertaining to nitrogen fertilization in natural balsam fir stands in Quebec.

TABLE DES MATIERES

	page
Introduction générale	1
Phases préliminaires de la fertilisation azotée de sapinières naturelles du Québec. J.D. Gagnon	6
Analyse statistique de la croissance et mise au point d'un modèle mathématique. Michel E. Boudoux	17
Etude pathologique chez le sapin baumier. D. Lachance	26
Changements et évolution de quelques formes azotées de l'humus après fertilisation à l'urée. A. Gonzalez	29
Action de l'urée en tant que réactif d'extraction de la matière organique d'un humus brut et effet de l'ion Ca sur cette action. G. Hubert.	38
Observations sur le métabolisme de l'urée dans l'humus de trois sapinières du Québec. M.R. Roberge	42
Conclusions	69
Travail futur	70

INTRODUCTION GENERALE

par

J.D. Gagnon

Depuis le début du siècle, la fertilisation forestière a fait l'objet d'études expérimentales dans de nombreux pays et a souvent donné des résultats spectaculaires au point de vue production en volume ligneux. Ce fut d'abord en Europe que les techniques de la fertilisation furent mises à profit (6, 9, 10, 12, 15). Aux Etats-Unis l'emploi des fertilisants a pris une telle ampleur que ces produits peuvent être logiquement considérés comme facteur essentiel d'une sylviculture intensive (1, 5, 11, 13, 16, 17). Au Canada et au Québec en particulier, l'intérêt apporté à la fertilisation forestière a pris pendant les 10 dernières années un essor considérable (2, 3, 4, 7, 8, 14, 18). Aujourd'hui, on reconnaît à l'échelle mondiale le besoin d'employer les fertilisants pour accroître la production en matière ligneuse.

Au Canada, importante source d'approvisionnement du papier produit de la matière ligneuse, les exigences du marché augmentent de façon exponentielle pendant que l'accès aux grandes exploitations forestières suscite des problèmes de plus en plus difficiles. Il faut nécessairement accélérer le rendement de nos forêts, et la fertilisation forestière, selon l'avis de ceux qui ont fait la revue des travaux accomplis à date dans ce champ d'activité apparaît comme une solution globale à court et à long terme. A court terme dans la mesure où l'apport d'une quantité donnée de fertilisants permet d'augmenter sensiblement la récolte des prochaines années à venir,

à long terme où la fertilisation pourrait, dans certains cas, contribuer à augmenter ou à maintenir la qualité d'un site écologique affectée par une sylviculture intensive.

Envisagé dans cette perspective, l'aspect économique apparaît immédiatement en surface: l'augmentation de la production ligneuse justifie-t-elle le coût de la fertilisation? A la lumière d'études économiques sur la fertilisation forestière (1, 9, 10, 13, 14) l'addition de 200 livres à l'acre d'urée coûterait environ \$10.00 à \$13.00 l'acre. Or au Québec, le droit de coupe total est de \$2.90 la corde (droit de coupe - \$2.45; mesurage obligatoire - \$0.45). En étudiant la durée et l'effet de la fertilisation sur l'accroissement en volume ligneux et en tenant compte de la diminution du coût des opérations par suite d'une plus grande récolte pour une même unité de surface, il sera possible pour l'entreprise privée de dresser lors de la coupe le bilan de la fertilisation en forêt naturelle. De plus, l'impact économique d'une production accrue par la fertilisation pourrait motiver une contribution financière de la part des gouvernements provincial et fédéral.

D'autre part, il est possible que la fertilisation en forêt naturelle, tout en favorisant la croissance des arbres, produise sur l'écosystème des changements susceptibles d'avoir des répercussions notables sur certains facteurs du milieu. Que les conséquences éventuelles de la fertilisation soient favorables ou défavorables à certains composants de l'écosystème, il importe de bien examiner, si, étant défavorables, elles sont susceptibles de contrebalancer les avantages apportés par la fertilisation.

Ce présent compte-rendu constitue la deuxième phase d'une étude sur les modifications que la fertilisation en forêt naturelle peut apporter sur le milieu forestier. Dans un premier rapport (Q-14), de distribution limitée, les buts immédiats et éloignés de cette étude, une description sommaire des milieux étudiés, un exposé abrégé des méthodes à employer pour atteindre les buts proposés ainsi que certaines caractéristiques des peuplements ont été rapportés.

Ce second rapport, beaucoup plus élaboré que le premier, fait état des travaux accomplis par nos collaborateurs et des résultats obtenus un an après addition au sol d'engrais azoté sous forme d'urée contenant 46% d'azote.

A cause de la diversité et de la complexité des facteurs étudiés, cette étude est présentée par sections, chacune ayant trait à une discipline particulière et demeure la responsabilité de ses auteurs.

Il est probable que durant le cours de cette expérience interdisciplinaire d'autres études soient entreprises par d'autres chercheurs et viennent s'ajouter à celles déjà entreprises. Ces études feront alors l'objet d'une section nouvelle.

Nous espérons que l'ouverture d'esprit montrée par nos collaborateurs, tant du ministère fédéral des pêches et forêts que de l'extérieur, continuera à se manifester dans la réalisation de ce programme sur la fertilisation en forêt naturelle au Québec.

REFERENCES

1. Anderson, H.W. 1969. Douglas-fir region aerial fertilization makes strides in a brief span of years. For. Industr. Nov. 1969: 30-32.
2. Armson, K.A. 1967. Review of forest fertilization in Canada. For. Br. Dep. Publ. No. 1186.
3. Bernier, B. 1966. Fertilité des sols forestiers et rentabilité de la fertilisation en forêt naturelle. Fonds Rech. For. Univ. Laval. Contribution n^o 9.
4. Forest Fertilization Workshop. Ottawa, Dec. 10-12, 1968.
5. Forest Fertilization Theory and Practice. 1967. Symposium on forest fertilization held at Gainesville, Florida, April 18-21, 1967. Publ. in 1968 by the Tennessee Valley Authority Fertilizer Develop. Center Muscle Shoals, Alabama 35660.
6. Huber, E. 1966. Umtriebszeit und Rationalisierung. AFZ. 21: 119-123, et 142-148.
7. Lafond, A. 1962. Forest fertilization in Canada. Symposium. Fonds Rech. For. Univ. Laval Bul. No. 5.
8. Lee, Y. 1968. A review of research literature on forest fertilization. For. Res. Br. Inf. Report B.C.-X-18.
9. Maki, T.E. 1966. The need for fertilizers in wood production. 6ième congrès forestier mondial, Madrid. Juin 1966, 1: 337-341.
10. Mooil, J.J. 1966. Fertilizing and management results in forestry. Ned. Bosb. Tijdschrift 9: 331-339. Translated by W. Linnard.

11. McVickar, M.H., G.L. Bridger and L.B. Nelson. 1963. Fertilizer-
technology and usage. Publ. by the Soil Sci. Soc. Amer. Madison 11
Wisconsin.
12. Polge, H. 1969. Influence de la fertilisation sur la qualité du bois
de pin maritime. Ann. Sci. For. 26(1): 45-64.
13. Pritchett, W.L. and H. Hanna. 1969. Results to date, potential gains
in Southeast generate "cautious optimism". For. Industr. Oct. 1969:
26-28.
14. Swan, H.S. 1969. Economics of forest fertilization and other consi-
derations with respect to intensive forest management in Eastern
Canada. Seminar on Forest Fertilization held at PPRIC Nov. 3, 1969.
15. Tamm, C.O. 1960. Forest Fertilizing in Europe - Research and Applica-
tion in practice. Växt när-nytt 16: 16-25.
16. Walker, L.C. 1968. 10th Annual Forestry fertilization clearing house report.
School of Forestry, Stephen F. Austin State College, 1700 K Street,
N.W. Washington, D.C. 20006.
17. Walker, L.C. and R.L. Beacher. 1963. Fertilizer response with forest
trees in North America. Nat. Plant and Food Inst., Washington,
D.C.
18. Weetman, G.F. 1968. The nitrogen fertilization of three black spruce
stands in Northern Ontario and Quebec. Woodlands Res. Dept. Report
No. 4.

PHASES PRELIMINAIRES DE LA FERTILISATION AZOTEE
DE SAPINIERES NATURELLES AU QUEBEC

par

J.D. Gagnon

Depuis quelques années les essais de fertilisation en forêt naturelle, d'usage courant en Europe, se développent considérablement au Québec sous l'égide de divers organismes: l'Institut canadien des pâtes et papiers (5, 7), la Faculté de foresterie et de géodésie de l'université Laval (1), les gouvernements fédéral (2) et provincial (6).

Jusqu'à ce jour, les résultats obtenus sont encore trop fragmentaires pour que nous puissions en tirer quelques conclusions d'ordre économique. Nonobstant la possibilité d'effets positifs de la fertilisation sur des arbres adultes, certains doutes commencent à poindre ici et là dans la littérature sur l'ampleur des résultats escomptés en forêt naturelle (3, 4, 8). On voit déjà se dessiner un conflit d'opinions sur la rentabilité de la fertilisation en forêt naturelle, d'où la nécessité de fournir une information complète sur le matériel étudié et les méthodes d'analyses. C'est dans cette optique que le présent travail est orienté.

MATERIEL ET METHODES

Les trois secteurs expérimentaux, comprenant chacun huit places-échantillons (parcelles) de 1/10 d'acre, ont été établis dans trois endroits éloignés l'un de l'autre de la région boréale du Québec (Figure 1). Deux de ces secteurs ont été établis dans la Gaspésie et l'autre dans le parc des Laurentides (cf. rapport d'information Q-14, 1969). Tous les sols des 24 places-échantillons sont fortement podzolisés. En Gaspésie, les assises géologiques sont constituées de schistes calcaires alors que dans le parc des Laurentides elles sont de tills glaciaires. Le type forestier Hypnum-Hylocomium, intermédiaire entre l'Hylocomium-Oxalis et l'Hylocomium-Cornus caractérise les trois sapinières étudiées dont l'âge varie entre 50 et 60 ans.

Dans chacune des 24 places-échantillons le diamètre de tous les arbres d'un pouce et plus a été mesuré et les arbres numérotés. Dans un secteur donné, une parcelle a d'abord été choisie au hasard et parmi les arbres numérotés de cette place-échantillon on a également tiré au hasard 15 arbres répartis parmi les différentes classes de diamètre de quatre pouces et plus de la portion dominante et codominante du peuplement. Dans les sept autres parcelles d'un même milieu écologique, 15 autres arbres de même diamètre que ceux de la première place-échantillon ont été choisis tenant compte de leur hauteur et de leur position dans le peuplement. Parmi ces huit places-échantillons établies dans une localité, on en a choisi au hasard deux qui serviront de témoins, celles qui seront

fertilisées avec 100, 200 et 300 lb/acre d'azote sous forme d'urée (46% N) respectivement. La même procédure a été suivie dans les trois secteurs expérimentaux étudiés.

Dans chacune des 24 places-échantillons un prélèvement de 50 échantillons de sol de la couche humifère (H) a été effectué. Aux fins d'analyse, ces échantillons ont été groupés par dix. Des échantillons d'aiguilles de l'année courante ont également été prélevés de trois individus différents dont le diamètre correspondait à la moyenne des diamètres de la classe inférieure, moyenne et supérieure des diamètres du peuplement, et analysés pour leur contenu en N, P, K, Mg, Ca, Fe et Mn. Les analyses chimiques ont donc été effectuées sur 240 échantillons de sol et 72 d'aiguilles.

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Structure des peuplements

Les principales caractéristiques dendrométriques, avant la fertilisation, de chacune des huit places-échantillons de chaque secteur expérimental sont consignées au Tableau 1, et les valeurs moyennes des différents paramètres du peuplement de chaque secteur sont inscrites au Tableau 2. Les volumes totaux des différentes places-échantillons ont été calculés à l'aide d'une courbe diamètre-hauteur construite pour chacun des trois secteurs expérimentaux et ajustés par la méthode des moindres carrés.

Nous n'avons pas dans cette étude mis l'accent sur l'aspect quantitatif de l'échantillonnage mais plutôt sur un traitement approfondi des données fournies par un dispositif expérimental d'assez faible étendue mais défini sur le terrain avec la plus grande rigueur. Ainsi, avant la fertilisation fallait-il d'abord s'assurer que le peuplement d'un secteur donné était homogène en soi, que chacune des parcelles était bien représentative du peuplement et pouvait constituer un ensemble homogène analogue au peuplement pris dans son ensemble. En général, les données dendrométriques consignées au Tableau 1, rencontrent assez bien l'homogénéité et la représentativité recherchées. Cependant, avant l'application des fertilisants, il fallut s'assurer du degré d'homogénéité et de représentativité des huit parcelles de chaque peuplement. Pour ce faire, à l'aide des données recueillies sur le terrain il nous a été possible de définir un diamètre moyen du peuplement de chaque secteur expérimental, un écart-type de la distribution des diamètres autour de ce diamètre moyen et construire ainsi un histogramme de fréquence des arbres dans chaque classe de diamètre ayant un intervalle d'un pouce (Tableau 2).

2. Analyse foliaire et analyse des sols

Les résultats de l'analyse chimique des aiguilles de l'année courante prélevées sur les rameaux inférieurs des arbres sont consignés au Tableau 3. Le contenu en éléments nutritifs des sols de chaque parcelle de chaque secteur expérimental apparaît au Tableau 4.

L'uniformité de la concentration en un élément dans les aiguilles et le contenu du même élément dans le sol pour un secteur expérimental donné sont frappants si l'on considère que ces quantités sont

exprimées en parties par million. Il semblerait que, règle générale, la quantité d'un élément absorbée et concentrée dans les aiguilles de l'arbre correspond à la quantité de cet élément dans le sol. En pratique, nous n'accordons pas trop d'importance à la valeur quantitative de ces éléments mais c'est plutôt la valeur comparative qu'il importe ici de considérer. En effet, dans cette expérience il s'agit de savoir si l'addition au sol de quantités différentes d'urée va se traduire par un changement nutritif non seulement dans le sol mais aussi dans les tissus des aiguilles des arbres.

Dans le cours de cette étude, soit trois ans après la fertilisation donc en automne 1971, les mêmes analyses de tissus et de sols seront répétées dans chacune des parcelles et sur les mêmes arbres. Il sera alors intéressant de comparer les résultats obtenus avant la fertilisation avec ceux que nous obtiendrons trois ans après fertilisation.

REFERENCES

1. Bernier, B. 1966. Fertilité des sols forestiers et rentabilité de la fertilisation en forêt naturelle. Fonds. Rech. For. Univ. Laval. Contr. n° 9.
2. Gagnon, J.D. et M. Boudoux. 1969. Fertilisation en forêt naturelle. Rap. Inf. Q-14.
3. Le Tacon, F. 1970. La fertilisation des peuplements adultes. Rev. For. Française, Technique et forêt, mai-juin 1970.

4. Mitchell, K.J. and R.M. Kellog. 1970. Response of a 50-year-old Douglas fir stand to urea fertilization. Inf. Rep. BC-X-45.
5. Swan, H.S. 1969. Economics of forest fertilization and other considerations with respect to intensive forest management in Eastern Canada. Seminar on Forest Fertilization held at PPRIC Nov. 3, 1969.
6. Veilleux, J.M. 1969. Projet interprovincial de fertilisation des forêts naturelles. Rap. d'étape. 28 oct. 1969.
7. Weetman, G.F. 1968. The nitrogen fertilization of three black spruce stands in Northern Ontario and Quebec. Woodlands Res. Dept. Rep. No. 4.
8. Zobel, B. and J. Roberds. 1970. Differential genetic response to fertilization within tree species. For. and Bio. workshp., Michigan State Univ., East Lansing, Aug. 5-7, 1970.

Tableau 1. Caractéristiques, à l'automne de 1968, des parcelles
peuplements des trois secteurs expérimentaux.

Secteur de Grande-Vallée							
numéro de la parcelle	azote ajouté à l'acre	nombre arbres (acres)	surface terrière (pi. 2)	hauteur moyenne (pieds)	diamètre moyen (po.)	Volume total (pi. 3)	
1	100 N	890	217	57 ⁺ ₋ 1.5	6.2 ⁺ ₋ .3	5834	
2	300 N	940	236	52 ⁺ ₋ 2.0	6.1 ⁺ ₋ .3	6474	
3	témoin	890	197	54 ⁺ ₋ 1.5	6.2 ⁺ ₋ .3	5202	
4	200 N	890	181	53 ⁺ ₋ 1.9	6.1 ⁺ ₋ .3	4744	
5	300 N	1160	204	52 ⁺ ₋ 1.9	6.2 ⁺ ₋ .3	5220	
6	200 N	1290	182	53 ⁺ ₋ 1.3	6.1 ⁺ ₋ .3	4480	
7	100 N	1370	195	54 ⁺ ₋ 1.8	6.2 ⁺ ₋ .3	4721	
8	témoin	1310	217	54 ⁺ ₋ 1.9	6.2 ⁺ ₋ .3	5510	
Secteur du Parc des Laurentides							
1	100 N	1530	232	44 ⁺ ₋ 1.1	5.9 ⁺ ₋ .2	4695	
2	300 N	810	143	44 ⁺ ₋ 1.0	5.8 ⁺ ₋ .3	3019	
3	témoin	1190	203	46 ⁺ ₋ 0.9	5.9 ⁺ ₋ .2	4212	
4	200 N	1530	164	42 ⁺ ₋ 1.1	5.8 ⁺ ₋ .2	3221	
5	100 N	1160	168	47 ⁺ ₋ 1.0	5.8 ⁺ ₋ .2	3381	
6	300 N	1140	210	47 ⁺ ₋ 1.4	5.9 ⁺ ₋ .3	4376	
7	200 N	770	147	47 ⁺ ₋ 1.2	5.9 ⁺ ₋ .3	3056	
8	témoin	710	140	46 ⁺ ₋ 1.3	6.0 ⁺ ₋ .3	2944	

Tableau 1. (suite)

Secteur du Lac Madeleine						
numéro de la parcelle	azote ajouté à l'acre	nombre arbres (acres)	surface terrière (pi. 2)	hauteur moyenne (pieds)	diamètre moyen (po.)	Volume total (pi. 3)
1	témoin	4720	276	37 ⁺ ₋ 1.1	4.7 ⁺ ₋ .2	4630
2	100 N	2590	255	40 ⁺ ₋ 0.7	4.7 ⁺ ₋ .2	4620
3	200 N	3530	267	40 ⁺ ₋ 0.8	4.6 ⁺ ₋ .2	4631
4	300 N	4310	281	36 ⁺ ₋ 0.9	4.7 ⁺ ₋ .2	4795
5	témoin	3070	267	40 ⁺ ₋ 0.9	4.8 ⁺ ₋ .3	4789
6	100 N	2190	246	41 ⁺ ₋ 1.2	4.8 ⁺ ₋ .3	4615
7	300 N	1950	242	42 ⁺ ₋ 1.1	4.7 ⁺ ₋ .2	4604
8	200 N	2190	236	42 ⁺ ₋ 1.3	4.8 ⁺ ₋ .2	4338

+ = écart-type

Tableau 2. Caractéristiques, à l'automne de 1968, des peuplements des trois secteurs expérimentaux (Grande-Vallée, Parc des Laurentides et Lac Madeleine).

Localisation	Hauteur moyenne (pieds)		Diamètre moyen (pouces)		Coefficient de variation (%)	Indice de site
G.V.	53.6 ⁺ ₋	.63 [*]	6.15 ⁺ ₋	1.879	34	45
P.L.	45.4 ⁺ ₋	.41	5.86 ⁺ ₋	1.786	35	45
L.M.	39.2 ⁺ ₋	.40	4.70 ⁺ ₋	1.375	37	40

♦ = écart-type

Tableau 3. Concentration, avant la fertilisation, en éléments minéraux dans les aiguilles de l'année courante des sapins dans les peuplements des secteurs expérimentaux de Grande-Vallée, du Parc des Laurentides et du Lac Madeleine.

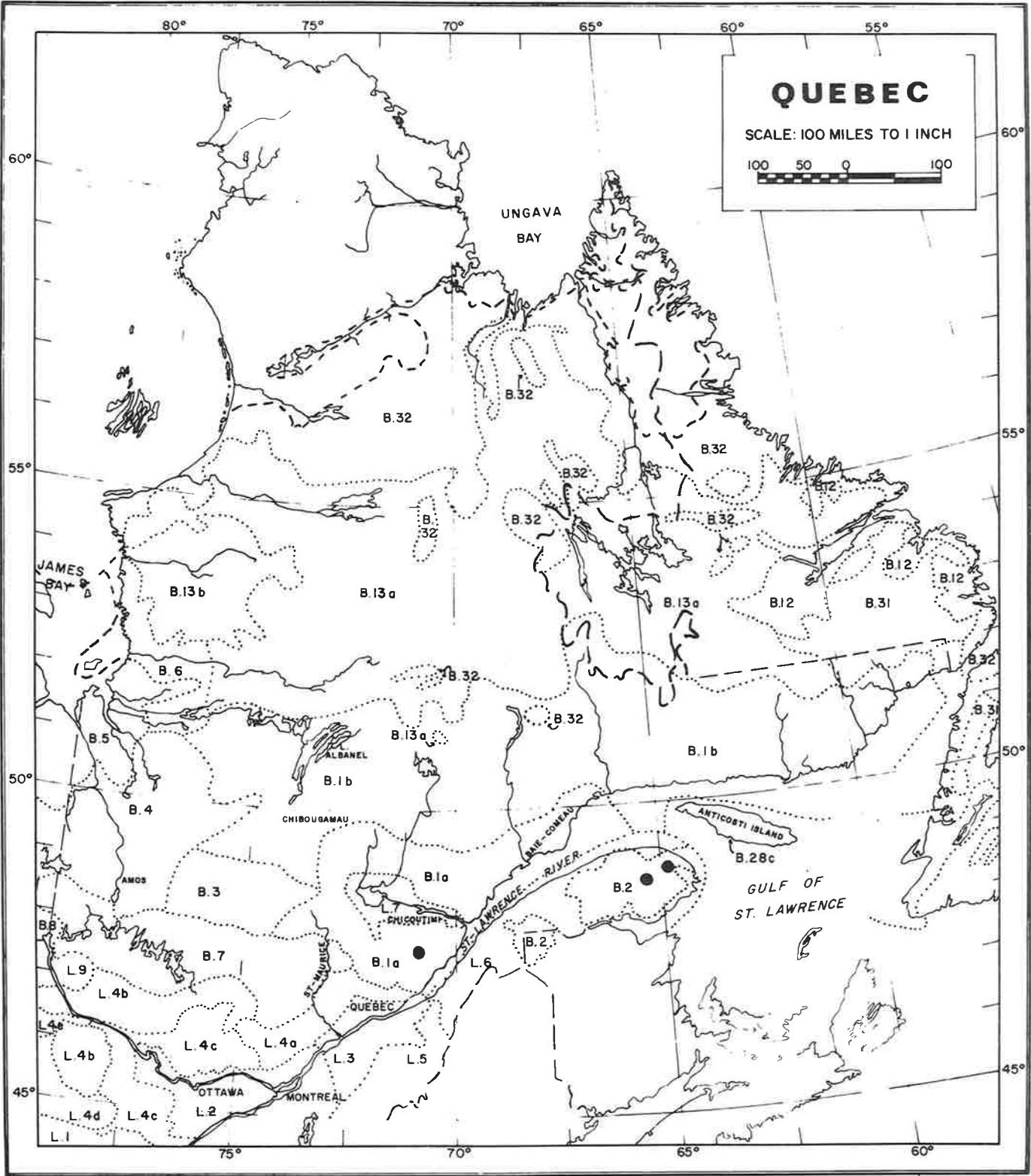
Secteur de Grande-Vallée								
no. de la parcelle traitement	1 100 N	2 300 N	3 témoin	4 200 N	5 300 N	6 200 N	7 100 N	8 témoin
<u>éléments:</u>								
N	1.06	1.16	1.17	1.23	1.17	1.18	1.19	1.26
P	2800	2350	2467	2667	2200	2067	2100	2367
K	10067	9500	10133	9433	9317	10133	10133	8067
Mg	11733	10467	11867	11366	9933	11800	9133	12870
Ca	6666	6616	6625	6167	6183	5958	6125	6333
Fe	113	116	104	86	90	84	80	106
Mn	534	800	1000	916	766	734	752	506
Secteur du Parc des Laurentides								
N	1.52	1.43	1.43	1.46	1.58	1.60	1.65	1.52
P	2083	1900	1817	1633	2016	1933	1916	1767
K	6933	4966	4866	5333	6533	6567	6400	6967
Mg	12233	13866	14166	12233	12200	11133	12800	12600
Ca	5030	7000	5970	5770	4630	3730	5730	5730
Fe	127	143	130	120	100	120	120	130
Mn	564	636	740	780	554	414	450	466
Secteur du Lac Madeleine								
N	1.01	1.18	1.13	1.07	1.14	1.22	1.28	1.22
P	1950	1800	2050	1966	1800	2066	2133	1883
K	7567	8333	7433	7267	9100	8900	8800	10033
Mg	9100	11100	8833	8867	11200	9233	9667	8767
Ca	5783	5733	5883	6408	6783	5250	5217	5183
Fe	226	220	213	210	206	206	214	200
Mn	844	1060	1116	970	780	866	874	810

Tableau 4. Contenu, avant fertilisation, en éléments minéraux échangeables des humus des peuplements des trois secteurs expérimentaux de Grande-Vallée, du Parc des Laurentides et du Lac Madeleine.

Secteur de Grande-Vallée								
No. de la parcelle	1	2	3	4	5	6	7	8
traitement	100 N	300 N	témoin	200 N	300 N	200 N	100 N	témoin
éléments:								
N	1.30	1.31	1.36	1.29	1.19	1.13	1.17	1.23
P	218	292	281	337	215	209	189	185
K	815	1115	775	1055	1005	1090	965	1115
Mg	52	38	47	41	41	45	40	67
Ca	2880	2395	2550	2320	2105	2355	2220	2835
Fe	18	21	18	18	28	25	23	17
Mn	19	41	29	34	25	16	24	17
ph	4.4	4.4	4.5	4.3	4.0	3.9	4.2	4.7
Secteur du Parc des Laurentides								
N	1.47	1.46	1.48	1.37	1.65	1.71	1.73	1.84
P	152	159	207	229	119	91	111	113
K	324	417	394	548	368	360	313	410
Mg	20	20	24	26	24	17	18	22
Ca	1750	1025	1975	1890	1790	1025	1710	1021
Fe	21	16	12	14	24	49	28	17
Mn	22	15	56	79	41	14	25	38
pH	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.5	3.5
Secteur du Lac Madeleine								
N	1.38	1.41	1.38	1.33	1.35	1.38	1.43	1.36
P	206	193	207	191	174	180	183	195
K	990	945	1055	920	925	885	950	980
Mg	31	32	28	29	35	34	34	35
Ca	2824	2590	2400	2540	3210	3320	2190	3120
Fe	12	16	19	15	9	14	18	15
Mn	32	26	25	34	13	29	27	31
pH	3.7	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.5

Fig. 1. Croquis de localisation des trois secteurs expérimentaux.

Les cercles noircis correspondent aux endroits où sont situés ces secteurs: deux le sont en Gaspésie près de la latitude 65° et distants l'un de l'autre d'environ 60 milles, l'autre dans le parc provincial des Laurentides près de la latitude 70° . A noter que ces secteurs sont situés dans la section des conifères du nord-est du Québec. Ceux de la Gaspésie font partie de la région forestière boréale B.2 alors que celui du Parc fait partie de la région B.1a.



ANALYSE STATISTIQUE DE LA CROISSANCE ET MISE AU
POINT D'UN MODELE MATHEMATIQUE

par

Michel E. Boudoux

INTRODUCTION

L'étude biométrique appliquée à une telle expérience comporte deux phases, ou plutôt deux objectifs.

D'abord il s'agit de déterminer si après 1,2 ... n années, le traitement appliqué, en l'occurrence la fertilisation azotée, a eu une influence significative sur le volume de bois sur pied. Ainsi, après 3 ans on pourrait déterminer que les parcelles traitées accusent un volume de $x + dx$ pieds cubes, tandis que les parcelles non traitées ont comme volume x pieds cubes. La différence, dx , aura pour unités des pieds cubes/acre/livre de fertilisant/site/an. Ces calculs étant exécutés chaque année, on pourra alors déterminer à quelle époque la fertilisation a exercé son effet maximum sur le peuplement.

Mais ces résultats comme tels ne sont d'aucun intérêt direct pour le praticien; il ne suffit pas que le biométricien détermine que pour une année donnée, la différence en volume, dx , est statistiquement significative pour que cet accroissement supplémentaire soit économiquement valable. D'où il est nécessaire que chaque année, les résultats obtenus soient confiés à un économiste qui, lui, est seul qualifié pour en tirer des conclusions applicables sur le terrain. En résumé donc le premier objectif du biométricien est de fournir une information de base (sous forme d'analyse statistique) à l'économiste, et ce, chaque année que dure l'expérience.

Mais en réalité, et c'est le second objectif dont nous parlions plus haut, le rôle du biométricien consiste surtout à élaborer un modèle mathématique rendant compte des mécanismes de réponse à la fertilisation dans le cadre de la croissance des peuplements. En quoi cela consiste-t-il et quelle est la raison d'être d'un tel modèle? Le dispositif adopté ne constitue pas nécessairement le dispositif idéal pour l'étude de la fertilisation en forêt naturelle. Il doit plutôt être perçu comme une approche. Il a été établi en tenant compte de certaines contraintes, dont la première est évidemment les moyens dont nous disposions à l'époque (hommes et budget). Ce dispositif fonctionne actuellement. Chaque année nous récoltons un certain nombre de résultats, sous forme de paramètres mesurables (hauteur moyenne, structure de classe de la parcelle etc...) que nous analysons et qui constituent notre information de base. Lorsque cette information sera suffisante, il nous sera alors possible de définir les équations différentielles d'un modèle mathématique. Ce modèle établi, nous pourrons, au moyen de techniques de simulation étudier l'effet qu'aurait eu le même traitement, mais appliqué à une parcelle ayant une surface terrière double par exemple. En d'autres mots, voir ce qu'aurait donné l'expérience si les conditions de départ, c'est-à-dire le dispositif expérimental choisi, avaient été différentes. Le fonctionnement, ou le non-fonctionnement, de ce modèle nous permettra alors de déceler les failles du dispositif expérimental établi et d'y remédier par le choix et l'adjonction de nouvelles parcelles, présentant certaines caractéristiques bien définies.

Il nous faut insister sur le fait qu'il ne s'agit pas, après cinq ou dix ans, de tout abandonner pour recommencer une nouvelle expérience; au contraire, ce sont les défaillances du dispositif actuel qui mises en lumière année après année nous permettent d'améliorer ce dispositif par le biais de l'examen du modèle mathématique adéquat. Il s'agit donc d'un modèle dynamique où le dispositif expérimental fournit de l'information au modèle mathématique, lequel a un "feed-back" sur le dispositif sur le terrain.

MATERIEL ET METHODES

Une fois les sites choisis sur le terrain et les parcelles définies, nous avons déterminé pour chaque site une courbe diamètre-hauteur. Cette courbe, de nature polynomiale a été définie pour le degré deux, l'analyse ayant démontré que l'injection d'un terme en x^3 n'apporte aucune précision supplémentaire (Figures 1, 2, 3). Pour chaque site, et pour chaque parcelle, on a dressé un inventaire complet des tiges par classe de diamètre. Nos peuplements étant ce que l'on convient d'appeler équiennes, nous pouvions donc nous attendre à ce que la distribution des diamètres suive, soit la loi de Gauss, soit celle de Poisson. Après l'essai des équations de Gauss et de Poisson à l'aide du test du "Chi carré" il s'est avéré que l'ajustement des points expérimentaux le long de la courbe était nettement meilleur avec l'équation de Gauss et que cet ajustement était suffisamment précis, de sorte que les différences observées ne pouvaient être imputées qu'au hasard.

Pour chacune des 24 places-échantillons comme pour l'ensemble du peuplement, on a établi une loi de distribution des tiges en fonction des classes de diamètre. Ces différentes lois ont été comparées (toujours au moyen du test du "Chi carré") à la distribution générale du peuplement correspondant (test de représentativité) ainsi qu'au propre histogramme des fréquences de la parcelle elle-même (test d'homogénéité). Comme l'indiquent les représentations graphiques de ces différentes distributions (Figures 4 à 9), nulle part on a pu observer de différences significatives entre les différentes distributions des parcelles individuelles (lignes pleines) et la courbe de distribution générale du peuplement (ligne pointillée).

RESULTATS

La fertilisation a eu lieu au printemps 1969, juste avant que ne commence la saison de croissance. Bien que cela nous paraissait peu probable, nous avons voulu nous assurer si les fertilisants appliqués avaient eu une influence sur le diamètre des arbres après une saison de croissance. La méthode statistique se prêtant le mieux à cette fin est évidemment l'analyse de variance à deux facteurs contrôlés, soit un premier facteur qui est le diamètre de chaque arbre considéré, et un deuxième facteur que l'on désignera plus loin sous le terme "effet bloc".

On sait que chaque peuplement, ayant reçu quatre traitements (0 - 100 - 200 - 300 lb d'azote à l'acre), est représenté par huit parcelles. Chaque traitement est appliqué à deux de ces parcelles prises au hasard, ce qui apparaîtra dans l'analyse sous la rubrique "effet traitement". Etant donné qu'il y avait 15 arbres inventoriés par parcelle, nous avons regroupé au hasard ces 15 arbres en trois blocs de cinq arbres. Chaque traitement est donc représenté également par $3 \times 2 = 6$ blocs ("effet bloc"). Ceci a pour but de pouvoir estimer la variance "intra-traitement" avec plus de précision.

Il faut noter que cette analyse de variance sera refaite après chaque saison de croissance afin de pouvoir déterminer quand exactement la fertilisation aura commencé à faire sentir ses effets, ou, en d'autres mots, à quel moment l'effet "traitement" sera devenu significatif. Mais pour que ce type d'analyse soit pleinement valable dans les années à venir, il fallait nous assurer qu'en 1968, c'est-à-dire avant la fertilisation il n'y avait ni effet "bloc", ni effet "traitement" significatif. Par effet "traitement" on entend ici (en 1968) le groupe formé par les deux parcelles auxquelles seront appliqués dans la suite les différents traitements. Le Tableau 1 montre qu'avant la fertilisation, comme il fallait s'y attendre, aucun effet n'était significatif dans les trois secteurs.

Après une saison de croissance, soit à l'automne 1969, les diamètres des arbres ont été remesurés dans chaque parcelle, et les résultats analysés (Tableau 2). Aucun traitement ne s'est avéré significatif, sauf

dans le "Parc des Laurentides", où l'effet "traitement" est significatif au seuil 0.05. Etant donné le peu de vraisemblance de ce résultat, n'oublions pas qu'il s'agit d'un peuplement à maturité où l'effet de la fertilisation est peu probable après quelques mois d'explication, nous avons poussé plus avant le traitement des données et appliqué l'analyse de covariance. En effet, il est bien connu en biologie, que certains effets "traitement" qui apparaissent comme significatifs à des seuils relativement élevés, peuvent être dus uniquement à des différences existant au départ dans le matériel étudié. Ces différences, relativement faibles puisque n'apparaissant pas dans l'analyse de variance de 1968, semblent significatives après une saison de croissance supplémentaire. On peut éviter cela par l'analyse de covariance, c'est-à-dire que l'on teste l'effet du traitement après un an (comme dans l'analyse de variance), mais en plus on tient compte des valeurs initiales des variables étudiées, en l'occurrence les diamètres des arbres avant le traitement. L'analyse de covariance appliquée aux trois secteurs a donné les résultats suivants:

"Grande-Vallée"	:	F = .638 (non-significatif)
"Parc des Laurentides"	:	F = .706 (non-significatif)
"Lac Madeleine"	:	F = .645 (non-significatif)

Donc, une fois qu'on tient compte des diamètres initiaux, il est clair que nulle part la fertilisation n'a fait sentir son effet un an après son application.

Tableau 1.

Analyse de variance des diamètres en 1968, avant fertilisation:

A.- Secteur de "Grande-Vallée"

Origine de la variation	somme des carrés	d. l.	F
Total	.012825	23	
Effet "bloc"	.002357	5	.0602 (N.S.) ⁽¹⁾
Effet "traitement"	.001703	3	.0097 (N.S.)
Résiduel	.008765	15	

B.- Secteur de "Parc des Laurentides"

Origine de la variation	somme des carrés	d. l.	F
Total	.146778	23	
Effet "bloc"	.040803	5	1.8780 (N.S.)
Effet "traitement"	.040788	3	3.1290 (N.S.)
Résiduel	.065187	15	

C.- Secteur du "Lac Madeleine"

Origine de la variation	somme des carrés	d. l.	F
Total	.019721	23	
Effet "bloc"	.006833	5	1.6520 (N.S.)
Effet "traitement"	.000481	3	.1930 (N.S.)
Résiduel	.012407	15	

(1) N.S.: non-significatif

Tableau 2.

Analyse de variance des diamètres en 1969 soit une saison de croissance après fertilisation.

A.- Secteur de "Grande-Vallée":

Origine de la variation	somme des carrés	d. l.	F
Total	1.004678	23	
Effet "bloc"	.004008	5	.8065 (N.S.) ⁽¹⁾
Effet "traitement"	.001935	3	.9709 (N.S.)
Résiduel	.998735	15	

B.- Secteur du "Parc des Laurentides":

Origine de la variation	somme des carrés	d. l.	F
Total	.201054	23	
Effet "bloc"	.052990	5	1.8770 (N.S.)
Effet "traitement"	.0633559	3	3.7400 *
Résiduel	.084705	15	

C.- Secteur du "Lac Madeleine"

Origine de la variation	somme des carrés	d. l.	F
Total	.013483	23	
Effet "bloc"	.005048	5	1.8250 (N.S.)
Effet "traitement"	.000135	3	.0810 (N.S.)
Résiduel	.008300	15	

(1)

N.S. : non-significatif

* : significatif au seuil .05

Figure 1. Courbe diamètre-hauteur pour le peuplement de "Grande-Vallée" (Gaspésie). Les 120 points représentent 15 arbres par parcelle. Au total, huit parcelles. Le coefficient de détermination, R^2 vaut: .586.

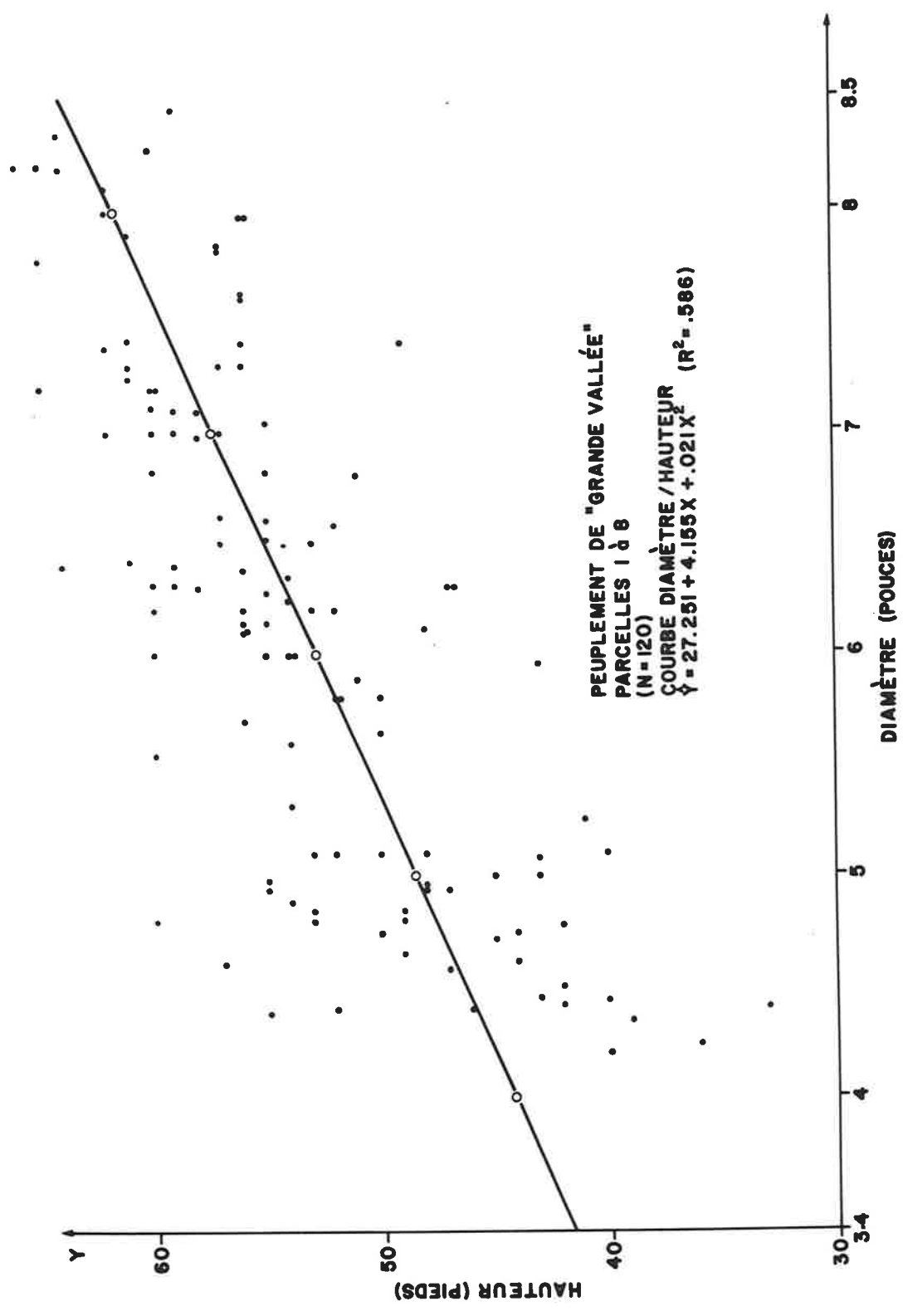


Figure 2. Courbe diamètre-hauteur pour le peuplement du Parc des Laurentides. Les 120 points représentent 15 arbres par parcelle. Au total, huit parcelles. Le coefficient de détermination vaut: .310.

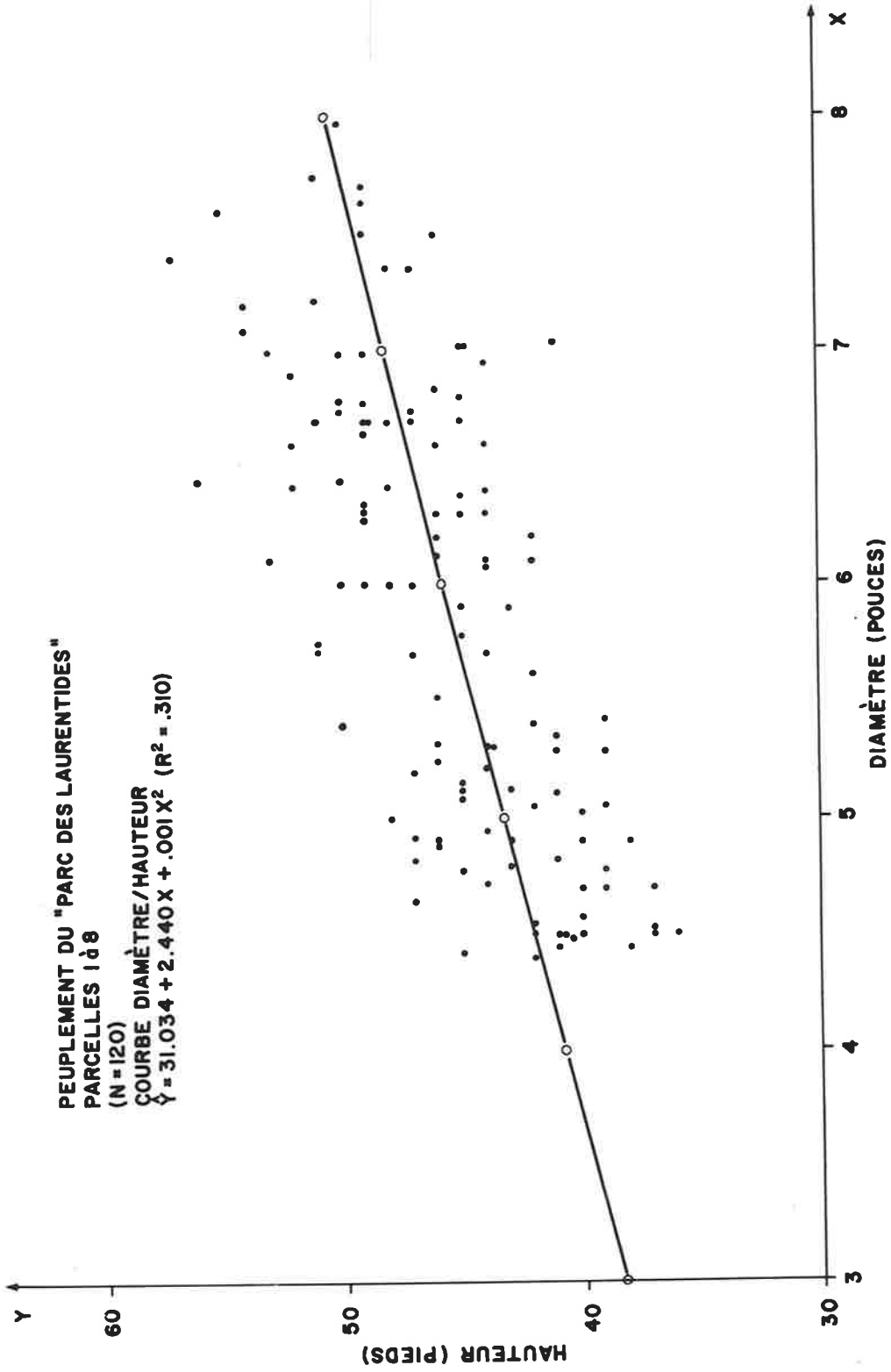


Figure 3. Courbe diamètre-hauteur pour le peuplement du "Lac Madeleine"
(Gaspésie). Les 120 points représentent 15 arbres par parcelle.
Au total, huit parcelles. Le coefficient de détermination
vaut: .482.

PEUPELEMENT DU "LAC MADELEINE"
PARCELLES 1 à 8

(N=120)

COURBE DIAMÈTRE / HAUTEUR

$\hat{Y} = 23.418 + 3.380 X - .004 X^2$ ($R^2 = .482$)

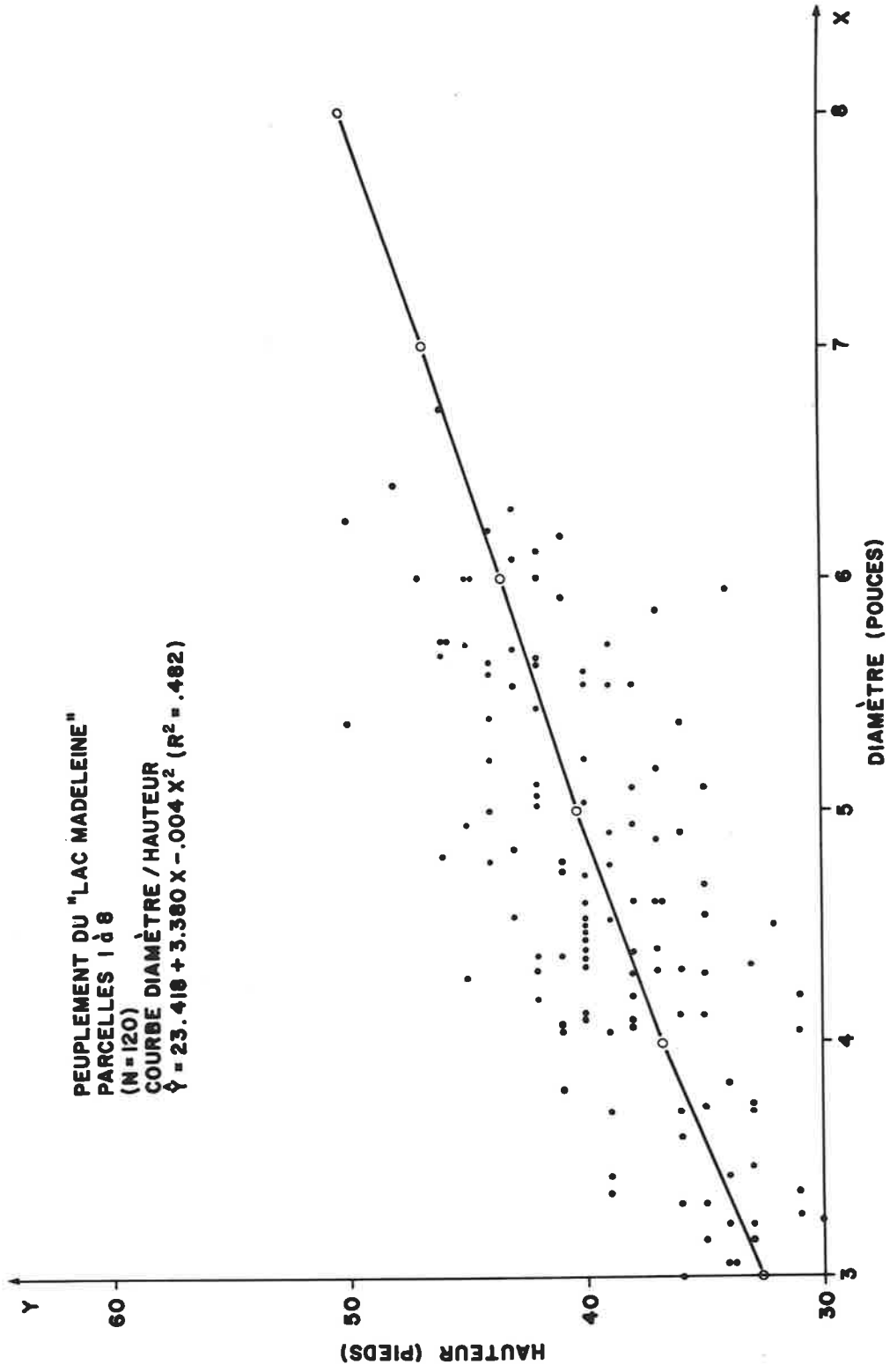


Figure 4. Peuplement de "Grande-Vallée". Structure des parcelles # 1 à 4, par classe de diamètre. La courbe en tiret représente l'ensemble du peuplement. La fonction de densité est du type normal, soit:

$$Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})\sigma} e^{-\frac{(X - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

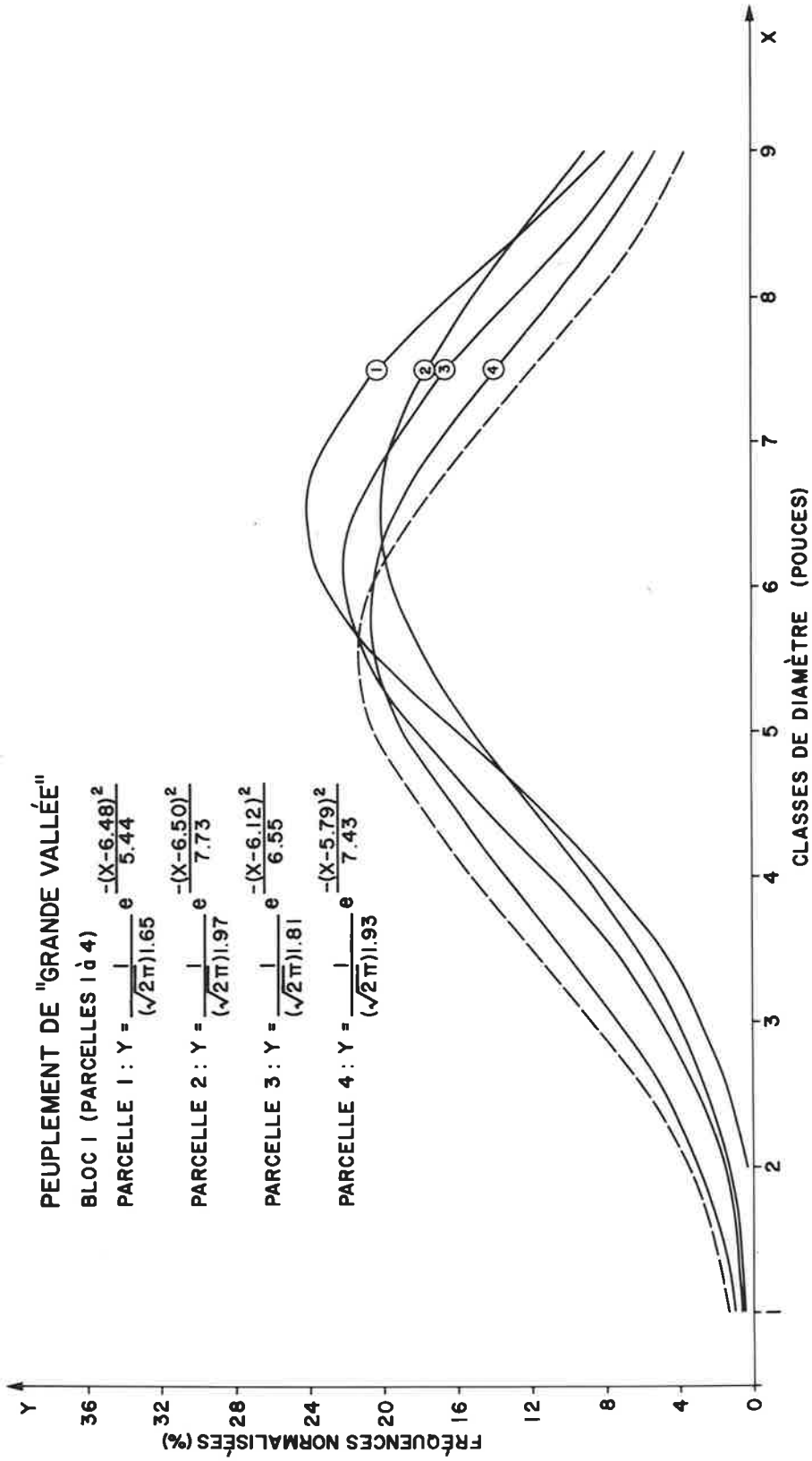
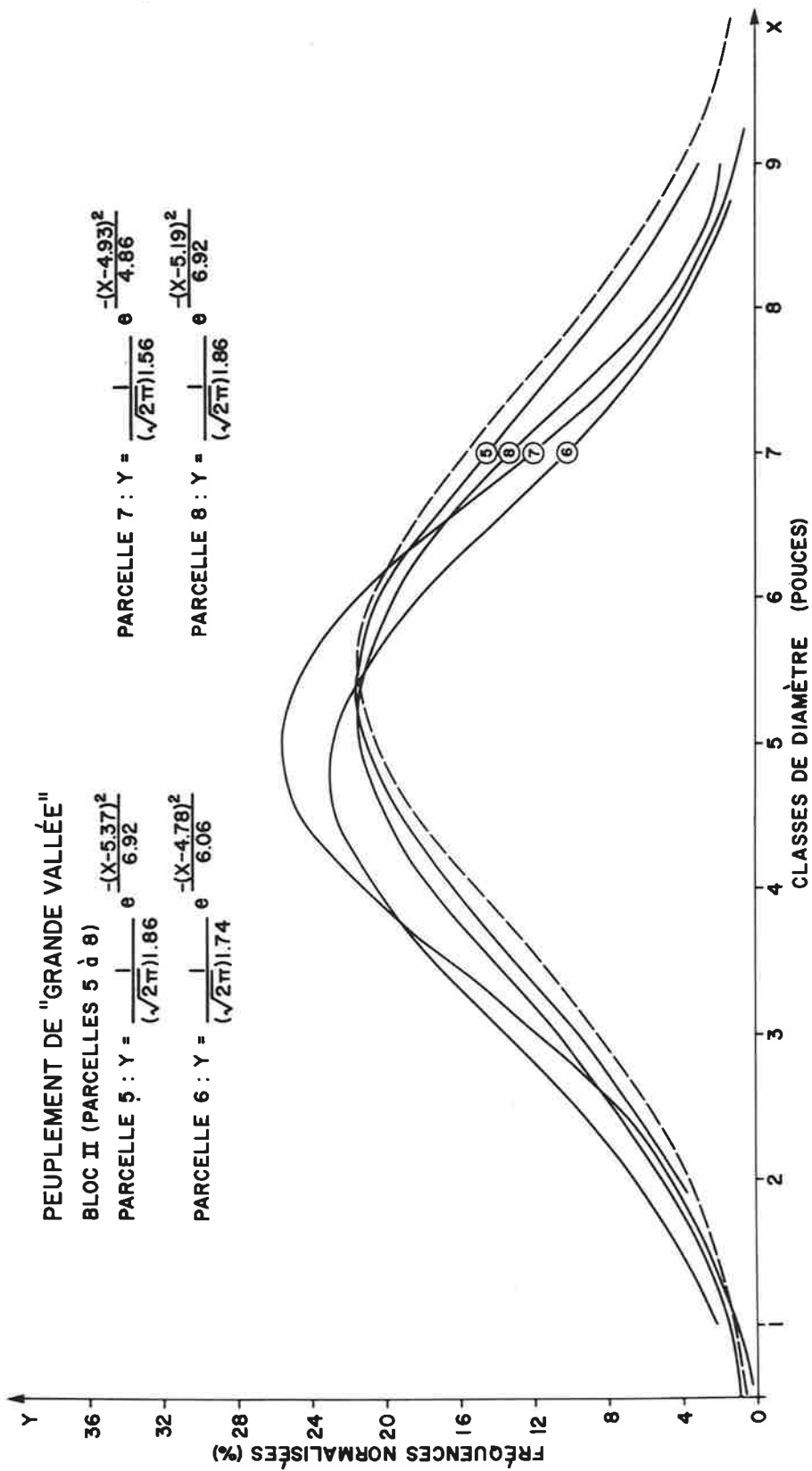


Figure 5. Peuplement de "Grande Vallée". Structure des parcelles # 5 à 8, par classe de diamètre. La courbe en tiret représente l'ensemble du peuplement.



PEUPLLEMENT DE "GRANDE VALLÉE"

BLOC II (PARCELLES 5 à 8)

PARCELLE 5 : $Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.86} e^{-\frac{(X-5.37)^2}{6.92}}$

PARCELLE 6 : $Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.74} e^{-\frac{(X-4.78)^2}{6.06}}$

PARCELLE 7 : $Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.56} e^{-\frac{(X-4.93)^2}{4.86}}$

PARCELLE 8 : $Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.86} e^{-\frac{(X-5.19)^2}{6.92}}$

FRÉQUENCES NORMALISÉES (%)

CLASSES DE DIAMÈTRE (POUCES)

Figure 6. Peuplement du Parc des Laurentides. Structure des parcelles # 1 à 4, par classe de diamètre. La courbe en tiret représente l'ensemble du peuplement.

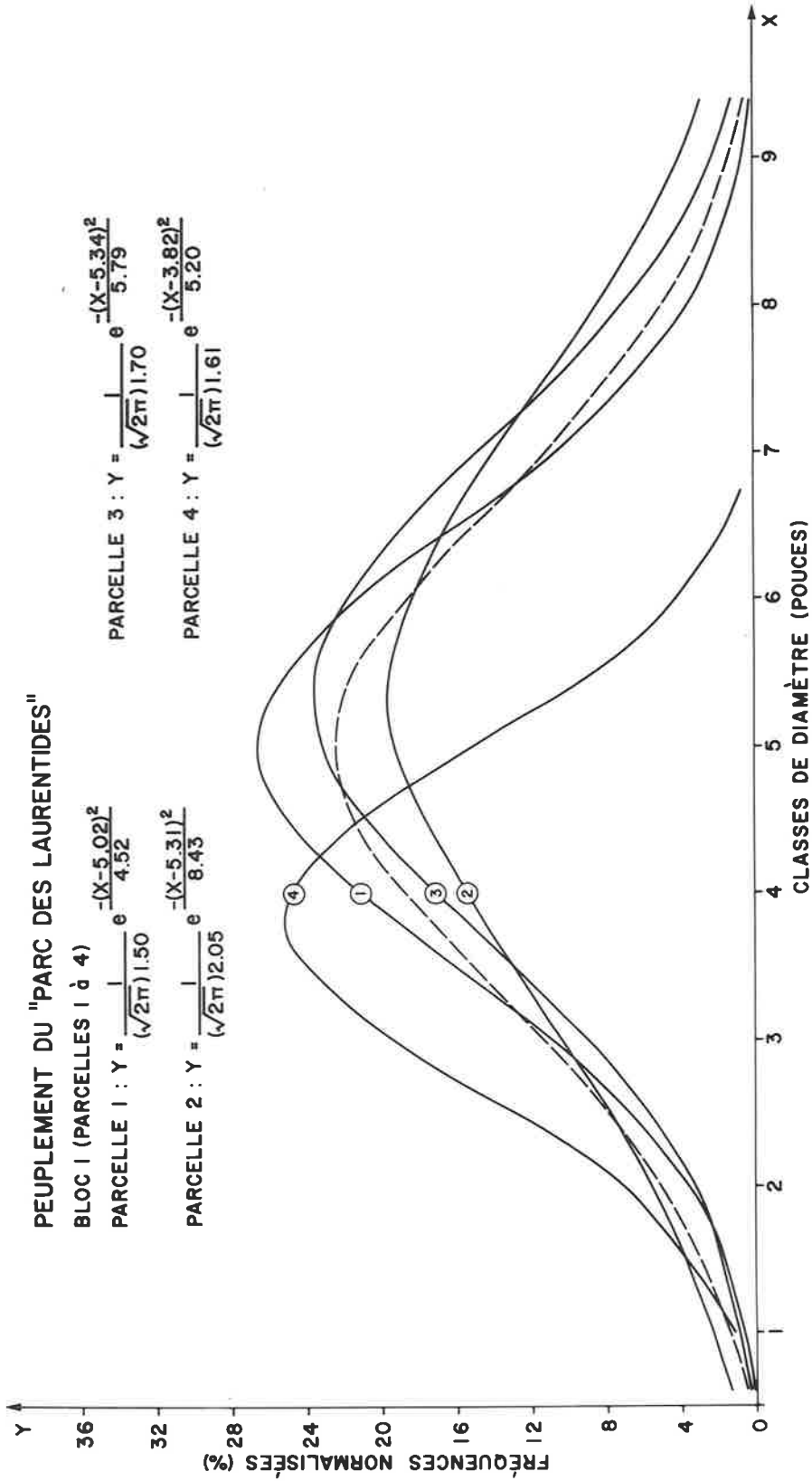


Figure 7. Peuplement du Parc des Laurentides. Structures des parcelles # 5 à 8, par classe de diamètre. La courbe en tiret représente l'ensemble du peuplement.

PEUPEMENT DU "PARC DES LAURENTIDES"

BLOC II (PARCELLES 5 à 8)

$$\text{PARCELLE 5 : } Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.75} e^{-\frac{(X-4.84)^2}{6.09}}$$

$$\text{PARCELLE 6 : } Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.69} e^{-\frac{(X-5.56)^2}{5.68}}$$

$$\text{PARCELLE 7 : } Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.54} e^{-\frac{(X-5.71)^2}{4.72}}$$

$$\text{PARCELLE 8 : } Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.93} e^{-\frac{(X-5.68)^2}{7.48}}$$

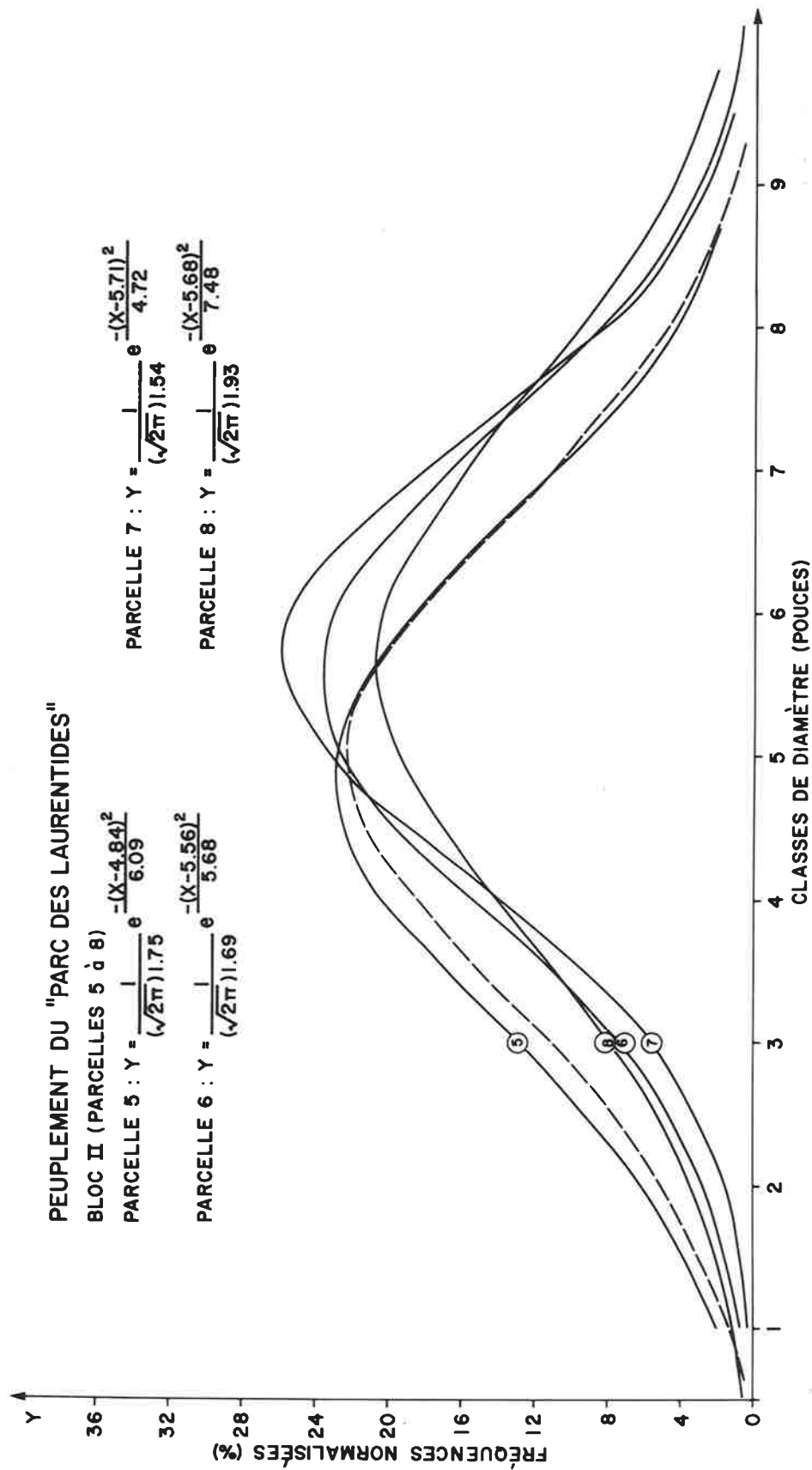


Figure 8. Peuplement du "Lac Madeleine" (Gaspésie). Structure des parcelles # 1 à 4 par classe de diamètre. La courbe en tiret représente l'ensemble du peuplement.

PEUPEMENT DU "LAC MADELEINE"

BLOC 1 (PARCELLES 1 à 4)

PARCELLE 1 : $Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.22} e^{-\frac{(X-3.05)^2}{2.97}}$

PARCELLE 2 : $Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.33} e^{-\frac{(X-4.03)^2}{3.56}}$

PARCELLE 3 : $Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.11} e^{-\frac{(X-3.56)^2}{2.45}}$

PARCELLE 4 : $Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.16} e^{-\frac{(X-3.26)^2}{2.67}}$

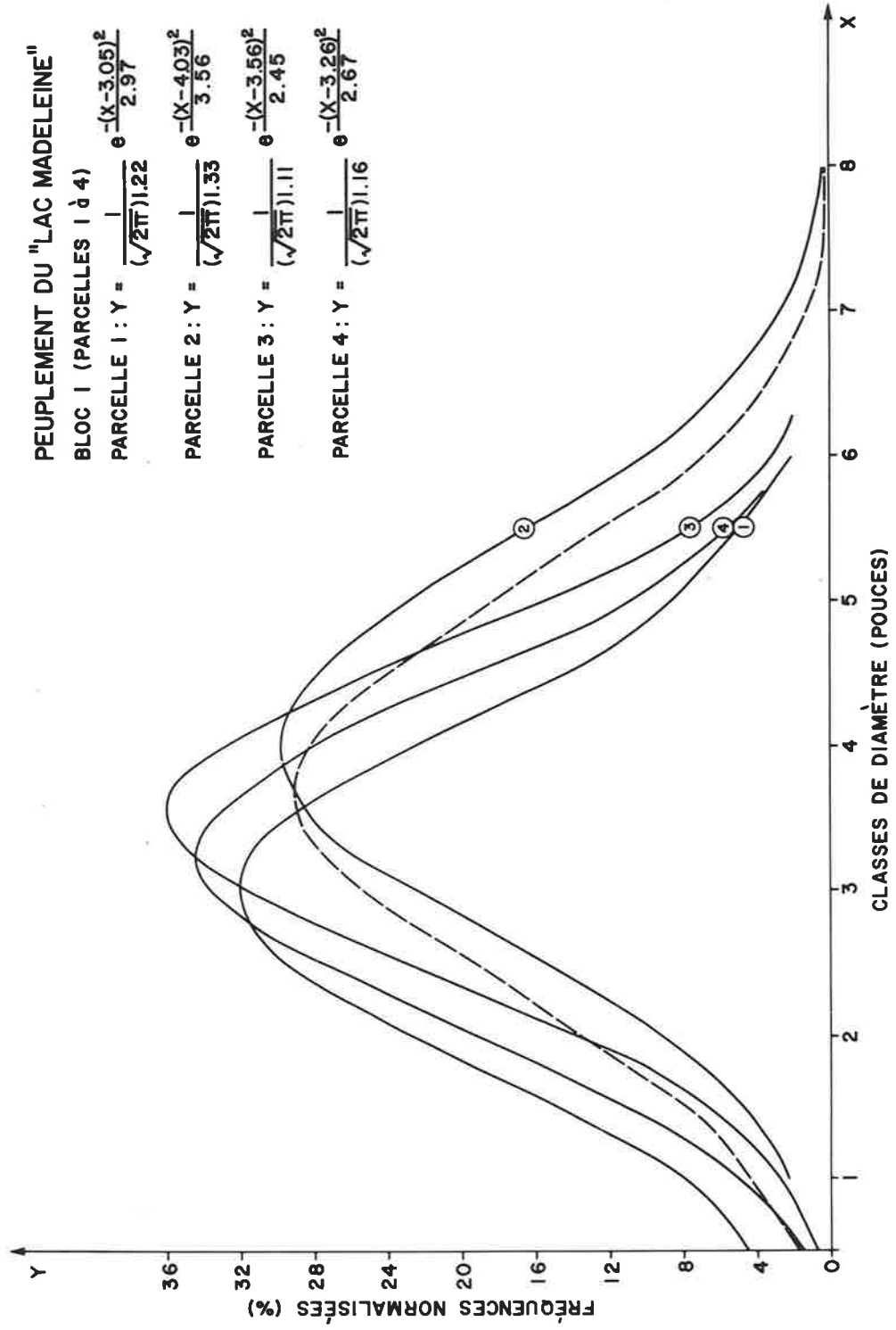


Figure 9. Peuplement du "Lac Madeleine" (Gaspésie). Structure des parcelles # 5 à 8 par classe de diamètre. La courbe en tiret représente l'ensemble du peuplement.

PEUPEMENT DU "LAC MADELEINE"

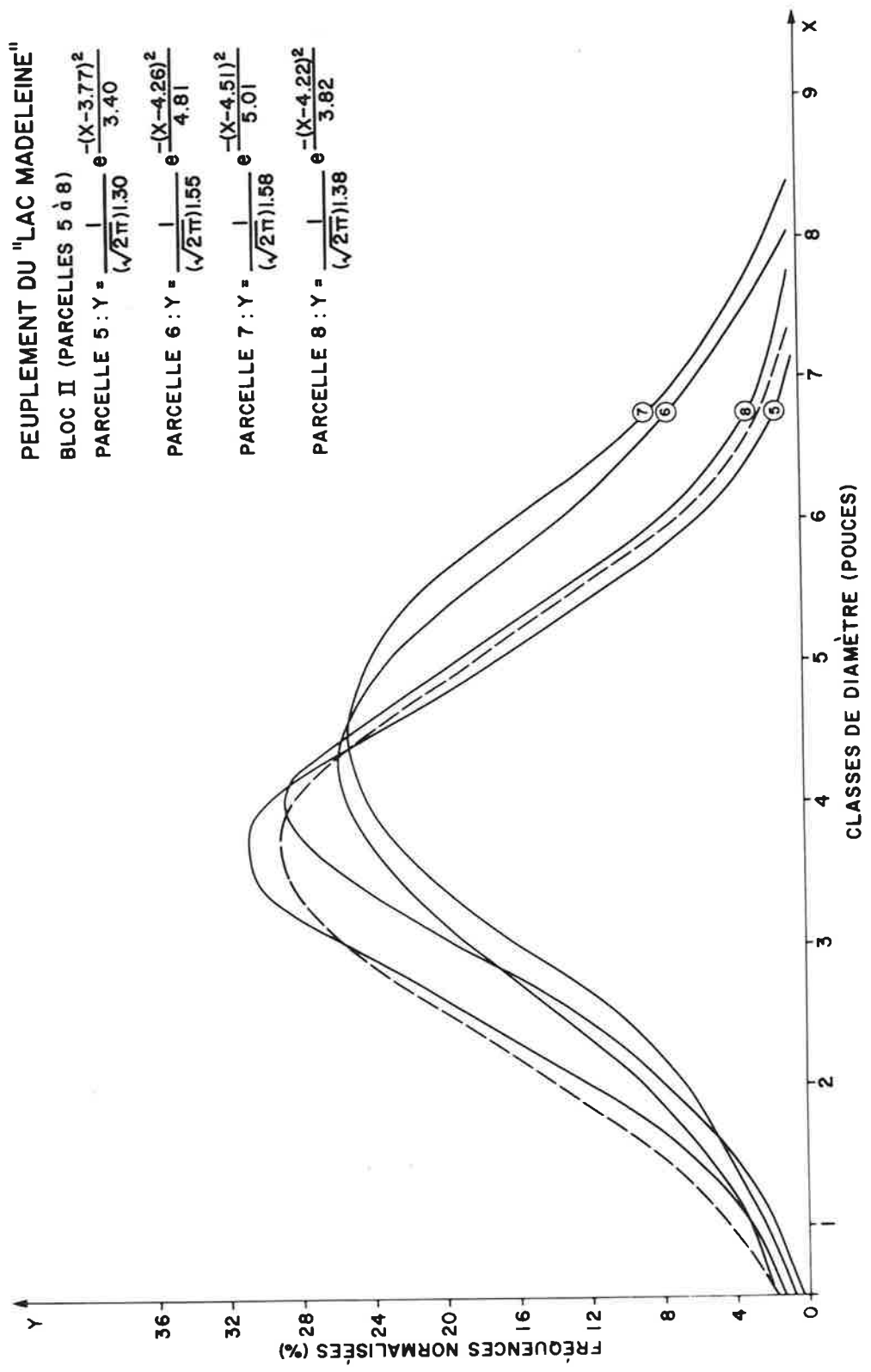
BLOC II (PARCELLES 5 à 8)

PARCELLE 5 : $Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.30} e^{-\frac{(X-3.77)^2}{3.40}}$

PARCELLE 6 : $Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.55} e^{-\frac{(X-4.26)^2}{4.81}}$

PARCELLE 7 : $Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.58} e^{-\frac{(X-4.51)^2}{5.01}}$

PARCELLE 8 : $Y = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})1.38} e^{-\frac{(X-4.22)^2}{3.82}}$



ETUDE PATHOLOGIQUE CHEZ LE SAPIN BAUMIER

par

D. Lachance

INTRODUCTION

Dans le cadre de la présente étude sur les effets de la fertilisation en forêt naturelle au Québec, nous nous proposons de suivre l'évolution de la condition pathologique des sapins baumiers situés sur les places traitées.

Nous croyons qu'une telle étude pourra être d'un grand secours à l'aménagiste et au sylviculteur, spécialement si à l'avenir on décidait d'exécuter de tels traitements plusieurs années avant la coupe.

MATERIEL ET METHODES

Notre étude se divise en deux parties: la première consiste en une observation annuelle des blessures et défauts apparents sur les arbres traités. La deuxième partie sera effectuée à la conclusion de cette étude, et consistera à déterminer, au moyen de dissections et d'isolations, la quantité et la sorte de carie présente chez les sapins traités. C'est donc dire que nous aurons une idée de l'influence de la fertilisation sur le développement des caries chez le sapin, seulement lors du rapport final de cette étude.

Au cours de l'été 1969, sur chacune des places-échantillons nous avons examiné attentivement chacun des 15 arbres choisis pour comparaison de croissance entre les places, et de 22 à 24 autres arbres dont le diamètre s'approchait de la moyenne de celui du peuplement,

et ne portant pas de défauts majeurs apparents. Pour chaque arbre, nous avons noté la présence ou l'absence de défauts, et dans l'affirmative, nous avons noté en plus, le type de défaut (tel, fente et gélivure, écorce rugueuse, branche cassée, arbre ballonnette, chancre, etc.), sa cause probable (gel, animaux, verglas, blessure mécanique, etc.), ses dimensions ainsi que sa localisation sur l'arbre.

TRAVAIL FUTUR

Un examen annuel de ces arbres nous permettra de suivre l'évolution des défauts notés, ou d'en découvrir des plus récents. Ensuite, nous essayerons de voir s'il y a une corrélation entre l'évolution ou l'apparition de défauts chez ces arbres et les traitements de fertilisation subis.

Avec l'étude quantitative de la carie, effectuée à la conclusion de l'expérience, nous devrions posséder un intéressant dossier pathologique de ces peuplements. Ce dernier nous permettra, nous l'espérons de relier l'investissement original de la fertilisation proprement dite à une valeur économique actuelle.

CHANGEMENTS ET EVOLUTION DES QUELQUES FORMES AZOTEES
DE L'HUMUS APRES FERTILISATION AVEC L'UREE

par

A. Gonzalez

INTRODUCTION

L'emploi d'un fertilisant azoté, dont les caractéristiques principales sont le taux élevé en azote, la solubilité et la facilité de décomposition hydrolytique, soulève des problèmes intéressants pour ceux qui étudient les transformations de l'azote dans le sol. La pratique rationnelle et rentable de la fertilisation forestière implique forcément une connaissance approfondie du processus qui a lieu dans le sol (humus) lorsqu'on applique la fertilisation en étude. Disposant aujourd'hui d'une abondante bibliographie concernant l'usage de l'urée comme fertilisant (Bernier, 1966), spécialement en agriculture, nous pouvons donc aborder avec une connaissance accrue les problèmes de la fertilisation azotée en milieu forestier.

La présente étude qui s'inscrit à l'intérieur d'un programme multidisciplinaire se limite à chiffrer les pertes de l'azote ammoniacale, humique et fulvique dans les eaux de drainage, à évaluer les variations du pH dans ces eaux et à connaître les transformations que subissent les différentes formes azotées présentes dans l'humus comme conséquence de l'application de l'urée.

MATERIEL ET METHODES

Des blocs d'humus, le sol minéral étant éliminé, ont été prélevés dans les trois secteurs expérimentaux de Grande-Vallée, du parc des Laurentides et du lac Madeleine. Ces blocs, pesés sur place (poids moyen d'un bloc = 25 livres) furent transportés au laboratoire et placés

Il importe de souligner que les humus étudiés n'avaient été fertilisés qu'avec un seul niveau d'azote, soit 300 lb/acre. En ce qui concerne ces résultats obtenus avec les fractions organiques extraites au pyrophosphate, nous soulignons le fait que l'azote provenant de la décomposition d'hydrolytique de l'urée est susceptible d'être intégré aux structures des fractions humiques et fulviques. Cela veut dire que ces substances peuvent stocker une partie de l'azote ajouté qui pourra être libéré lentement et mis à la disposition des arbres suivant le processus normal de minéralisation. Celle-ci sera plus ou moins facile selon le degré de complexité structurale des substances d'où l'azote fait partie.

D'autre part, la mobilisation des fractions organiques de l'humus que provoque l'addition de l'urée, telle qu'observée au cours de l'expérience in vitro, nous pose des problèmes étant donné que cette mobilisation ne peut qu'avoir un effet néfaste pour le potentiel azoté de l'humus et, probablement, une action qui peut favoriser la translocation des éléments minéraux dans les horizons en-dessous de la couche d'humus. Utilisant les résultats obtenus sur l'entraînement de l'azote humique et fulvique dans les eaux de drainage comme point de départ, nous espérons obtenir dans une expérience subséquente, des renseignements plus précis en ce qui a trait à la nature de l'azote, soit dans l'humus, soit dans les eaux de drainage.

dans des bacs de plastique d'une superficie de 1.79 pied carré munis d'un système de drainage. Sur ces blocs nous avons répété en laboratoire l'expérience faite sur le terrain, c'est-à-dire un bloc témoin et nous avons appliqué sur les autres blocs des doses d'urée de 100, 200 et 300 lb/N/acre soit 4, 8 et 12 g/urée par bac respectivement. Etant donné le caractère exploratoire de l'expérience, nous n'avons pas jugé à propos de procéder à des répétitions.

Le dosage de l'azote sous les trois formes N-ammoniacal, N-humique et N-fulvique s'est effectué par nesslerisation en s'inspirant des méthodes décrites par Buchi (1953), par Bremner (1965) et améliorées par Cornfield (1961) et Mahendrappa (1969). La densité optique des eaux de drainage a été déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre Beckman, Model DU; le degré d'acidité de ces eaux à l'aide d'un pH-mètre Coleman. La technique employée pour déceler rapidement les principales formes azotées de l'humus échantillonné fut celle de l'hydrolyse acide décrite par Bremner (1965).

RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de cette expérience préliminaire sont présentés graphiquement aux figures 1 à 5.

Azote ammoniacal (Figure 1)

Les quantités d'azote ammoniacal trouvées dans les eaux de drainage pendant la durée de l'expérience, soit 8 semaines, représentent de 25 à 30% de l'azote ajouté. L'addition d'urée sur nos blocs d'humus

se traduit donc par une libération assez considérable des ions ammonium, ceux qui ne sont pas retenus par le complexe absorbant apparaissent rapidement dans les eaux de drainage. En effet, dès la première semaine, on constate que plus la quantité d'urée ajoutée est considérable plus la perte en azote ammoniacal dans les eaux de drainage est considérable. Il est évident que l'addition continue d'eau se traduit avec le temps par un délavage complet de l'azote ammoniacal ajouté à l'humus. En tenant compte de la précipitation moyenne sur les secteurs expérimentaux, nous pourrions mieux évaluer la quantité d'azote ammoniacal entraîné dans les eaux de drainage. Il importe de souligner que, à la fonte des neiges au printemps, les milieux forestiers sont sursaturés d'eau et que rarement, durant le cours de l'été, la nappe phréatique atteint la couche humifère du sol. Des études subséquentes, en tenant compte des facteurs d'humidité du milieu, apporteront plus de lumière sur la magnitude des pertes en azote ammoniacal dans les milieux étudiés et sur le temps le plus propice à la fertilisation azotée.

Azote humique et fulvique (Figure 2)

Alors que l'azote ammoniacal (Figure 1) s'accumulait dans les eaux de drainage dès la première semaine, l'azote lié à la fraction fulvique s'accumule plutôt entre la deuxième et la troisième semaine, tandis que l'azote humique se comporte comme l'azote ammoniacal après la première semaine de l'expérience mais se perd dans les eaux de drainage avec une vitesse accrue dès la deuxième semaine.

Densité optique des eaux de drainage (Figure 3)

La densité optique des eaux de drainage recueillies après la fertilisation avec 100, 200 et 300 lb/N/acre nous renseigne très bien sur la mobilisation des fractions organiques. En effet, pour une longueur d'onde donnée, soit 450 m μ dans notre cas, une détermination quotidienne de la densité optique est une méthode rapide de suivre l'évolution des substances humiques dans les eaux de drainage. On peut même se servir de cette méthode pour évaluer, quoique de façon approximative, le taux en carbone organique des eaux de drainage. La Figure 3 illustre bien l'évolution des eaux de drainage après l'application de l'urée. En effet, au cours de la première semaine on atteint le maximum en ce qui concerne les substances humiques. Pour le matériel fulvique, il atteint son maximum au cours de la troisième semaine.

Variation du pH dans les eaux de drainage (Figure 4)

Dans les trois niveaux de fertilisation étudiés, le pH des eaux de drainage n'augmente que très légèrement au cours des huit semaines qu'a duré l'expérience et atteint un degré également légèrement différent dans le bloc ayant servi de témoin. Ces résultats indiquent que l'addition de l'urée a certainement influencé le degré d'acidité de l'humus forestier. D'un pH d'environ 4 au début, les eaux de drainage ont diminué en acidité pour atteindre un pH supérieur de 5 là où le plus haut niveau de fertilisation azotée a été appliqué. Un tel changement de pH laisse présumer que, en milieu naturel, l'augmentation devrait être plus considérable puisque les éléments sont davantage retenus dans l'humus qui ne subit pas un délavage

aussi considérable et aussi continu. De tels résultats ne peuvent qu'avoir une influence immédiate sur les strates du tapis végétal et en conséquence sur la décomposition de la végétation au sol et peut-être aussi sur la concentration en azote dans les tissus végétaux de ces plantes.

Différentes formes azotées de l'humus (H) et la litière (L) (Figure 5)

Etant donné que nos études n'ont porté que sur deux échantillons: un témoin et un autre fertilisé avec 300 lb/N/acre, les résultats obtenus sont encore trop fragmentaires pour en tirer quelques conclusions d'ordre pratique. Cependant, comme première approximation, nous avons pu observer des variations intéressantes en ce qui a trait à l'azote distillable et insoluble après hydrolyse. On constate en effet l'impact de l'urée sur l'humus fertilisé par rapport à l'humus non fertilisé, et que les variations des différentes formes d'azote sont beaucoup plus perceptibles au sein de l'horizon H que celui de la litière. Fait à noter, nous avons également remarqué (Figure 1) que l'azote ammoniacal extrait au sulfate d'aluminium reflétait aussi le niveau de traitement azoté. Nous constatons de légères augmentations dans le taux en azote insoluble et, comme il fallait s'y attendre, ces augmentations sont plus prononcées dans la teneur en azote distillable et ammoniacal. Par contre, l'azote-aminé et sucre-aminé ne semblent pas avoir subi des variations appréciables par suite de la fertilisation même avec une quantité aussi considérable que 300 lb/N/acre. Il est remarquable de constater le peu de variations des différentes formes d'azote entre les sols des

trois secteurs expérimentaux. Ces résultats, quoique très fragmentaires, nous laissent soupçonner que, pour des niveaux intermédiaires (100 et 200 lb/N/acre), les variations quantitatives des différentes formes d'azote ne devraient pas être considérables.

CONCLUSIONS

Les résultats obtenus de cette expérience in vitro, quoique forcément préliminaires en raison du nombre limité d'échantillons, ont tout de même montré que la mobilisation de l'azote ammoniacal atteint son maximum entre la première et la deuxième semaine qui suivent l'addition de l'urée au sol. L'observation d'un lessivage intense des substances humiques de l'humus doit être retenue en raison des implications que ces substances peuvent avoir sur les horizons minéraux du sol. Le pH des eaux de drainage ne montre pas de changements importants par suite d'addition de différentes quantités d'urée. Le peu de variations des principales formes azotées provenant d'échantillons hydrolysés ont été constatées.

Ces expériences préliminaires nous serviront de point de départ à des études in vitro plus élaborées en vue d'une meilleure appréciation des changements et de l'évolution des principales formes azotées de l'humus après fertilisation avec l'urée.

REFERENCES

- Bremner, J.M. 1965. Methods of soil analysis. Part 2. Amer Soc. Agron. Inc. Publis. Madison USA.
- Buchi, J. 1953. Die photometrische Ammoniak-bestimmung mit Nessler reagents. Pharmaceutica Acta Helveticae. 28: 237-251.
- Cornfield, A.H. 1961. A simple technique for determining mineralization of carbon during incubation of soils treated with organic materials. Plant & Soil, 14 (1): 90-93.
- Mahendrappa, M.K. 1969. Preliminary studies on ammonia volatilization from urea fertilized soil under a black spruce stand. Int. Rep. M-43. For. Res. Lab. Fredericton, N.B.

Fig. 1. Azote ammoniacal trouvé dans les eaux de drainage.

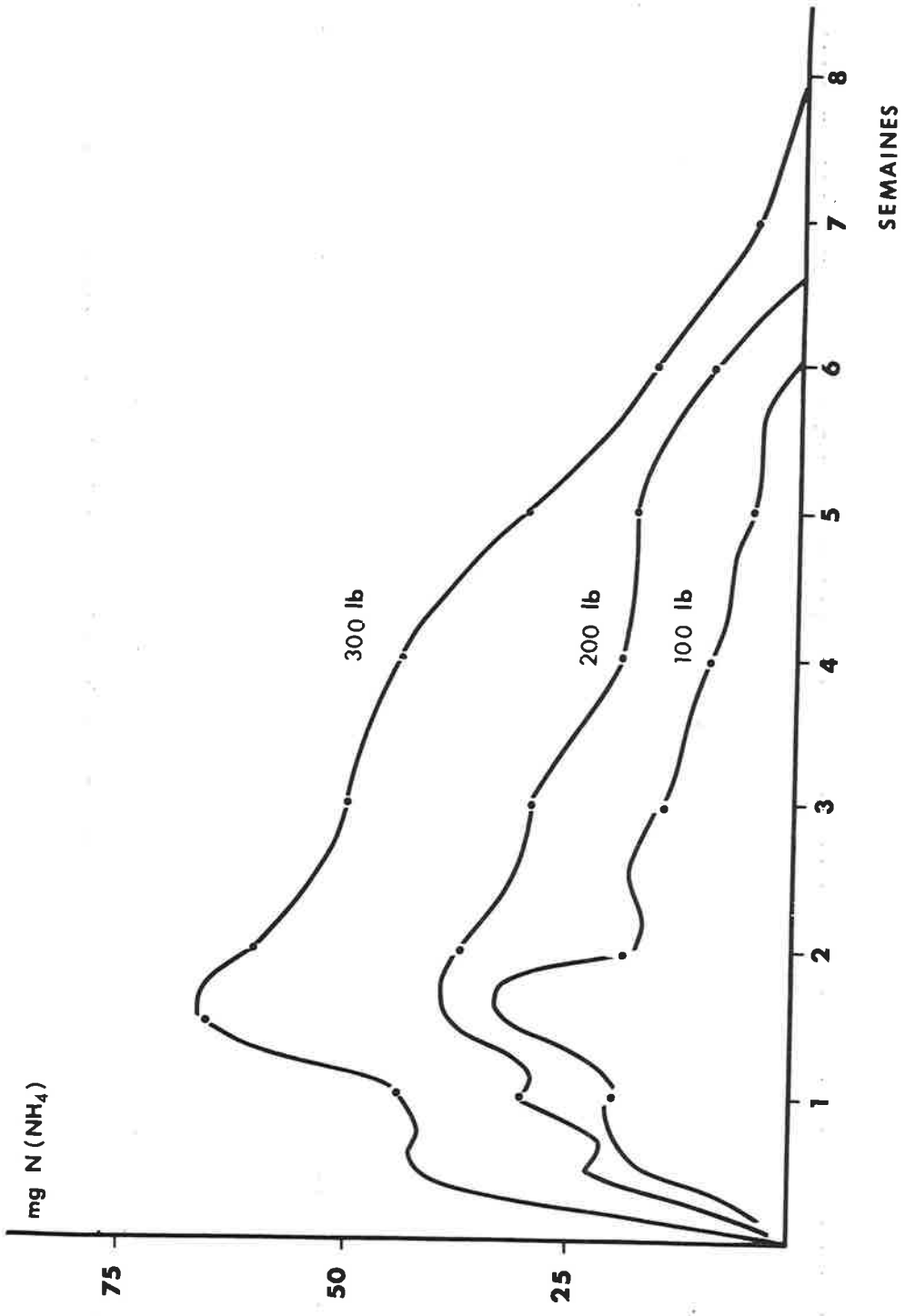


Fig. 2. Azote humique et fulvique des eaux de drainage d'un bloc
d'humus fertilisé avec 300 lb/N/acre.

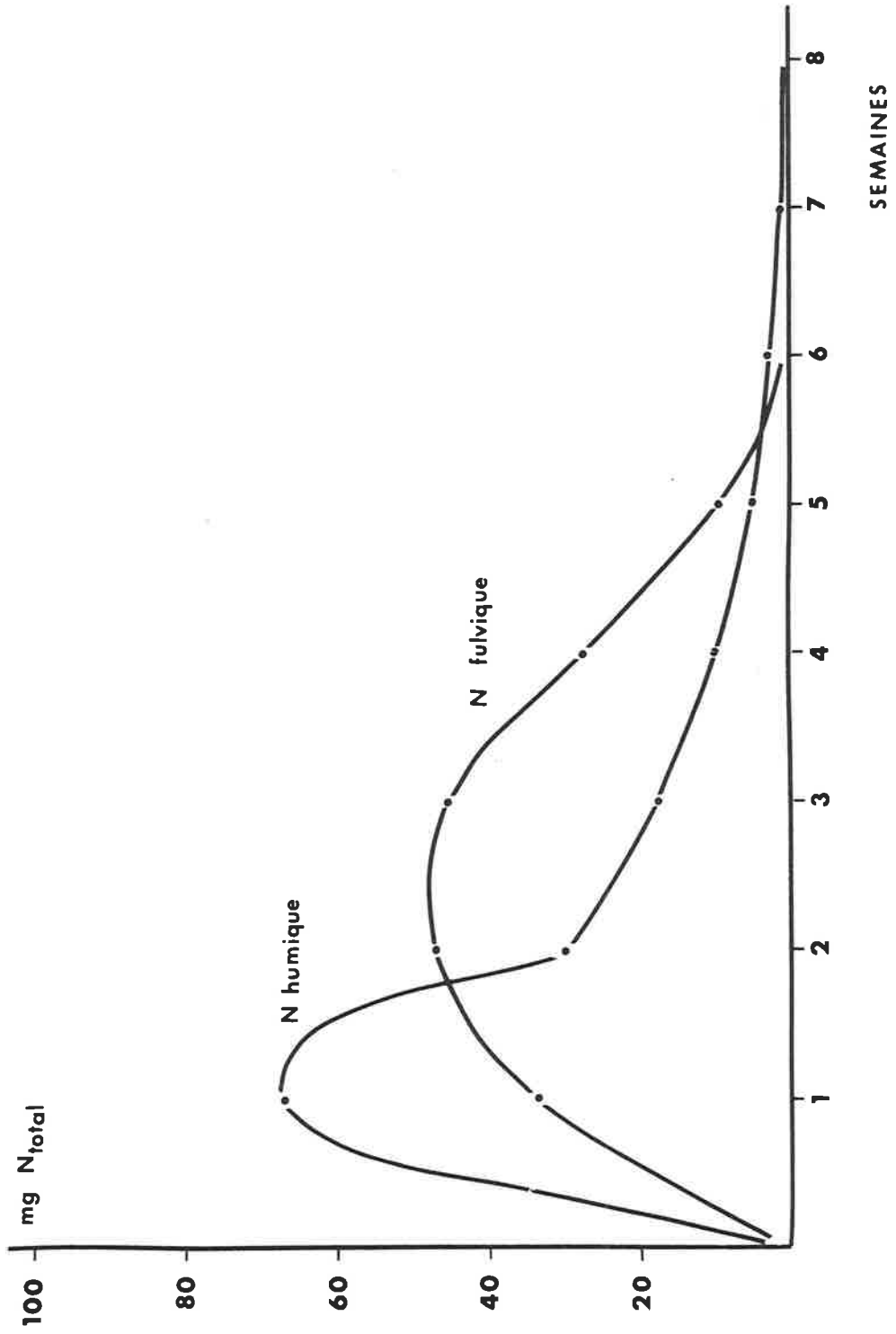


Fig. 3. Variations de la densité optique des eaux de drainage en fonction du temps.

DENSITE OPTIQUE
des eaux de drainage.

($\lambda = 450 \text{ m}\mu$)

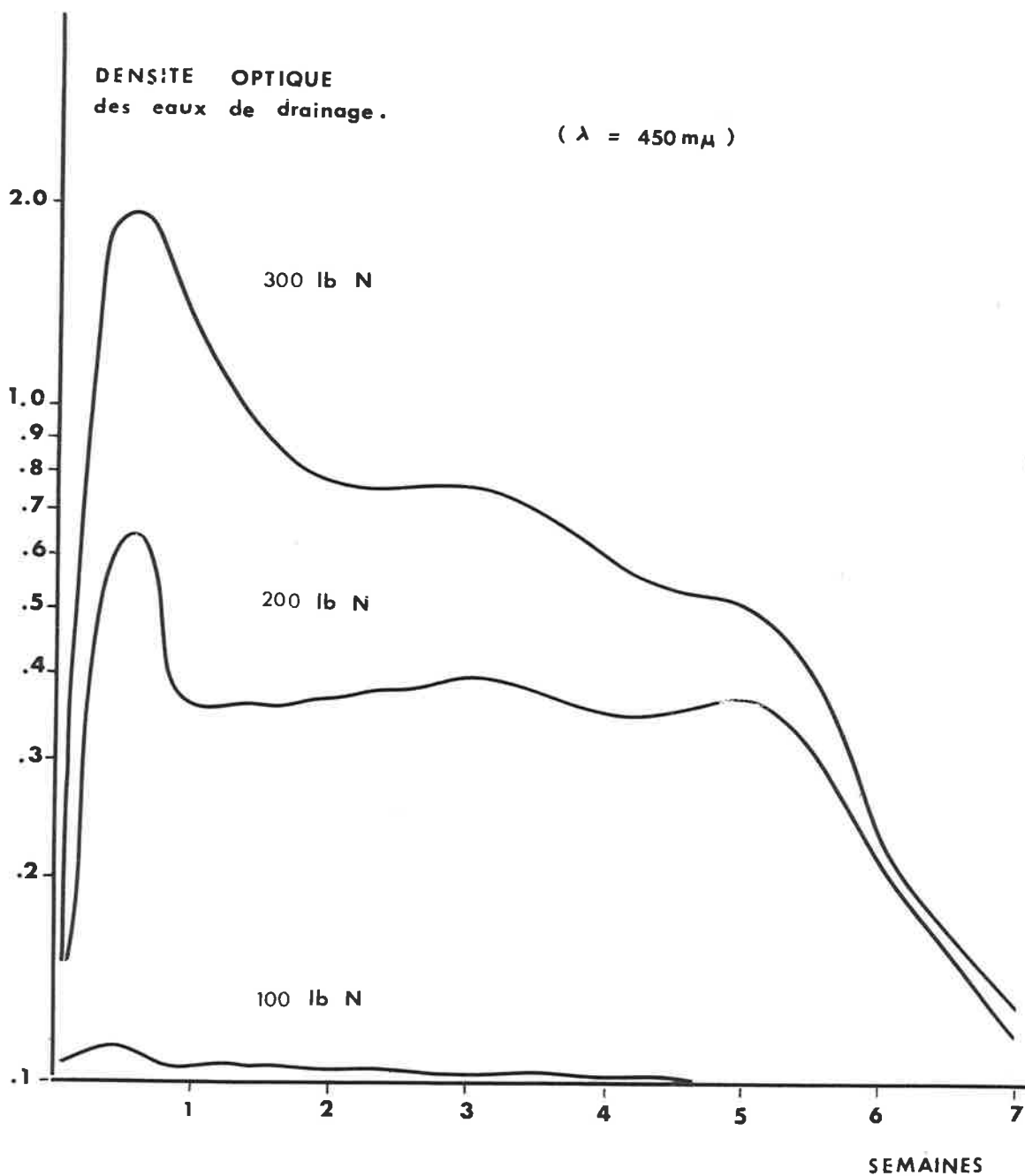


Fig. 4. Variations du pH observées dans le drainage des blocs d'humus fertilisés.

T
 3
 2
 1

témoin
 300 lb. acre
 200 lb. acre
 100 lb. acre

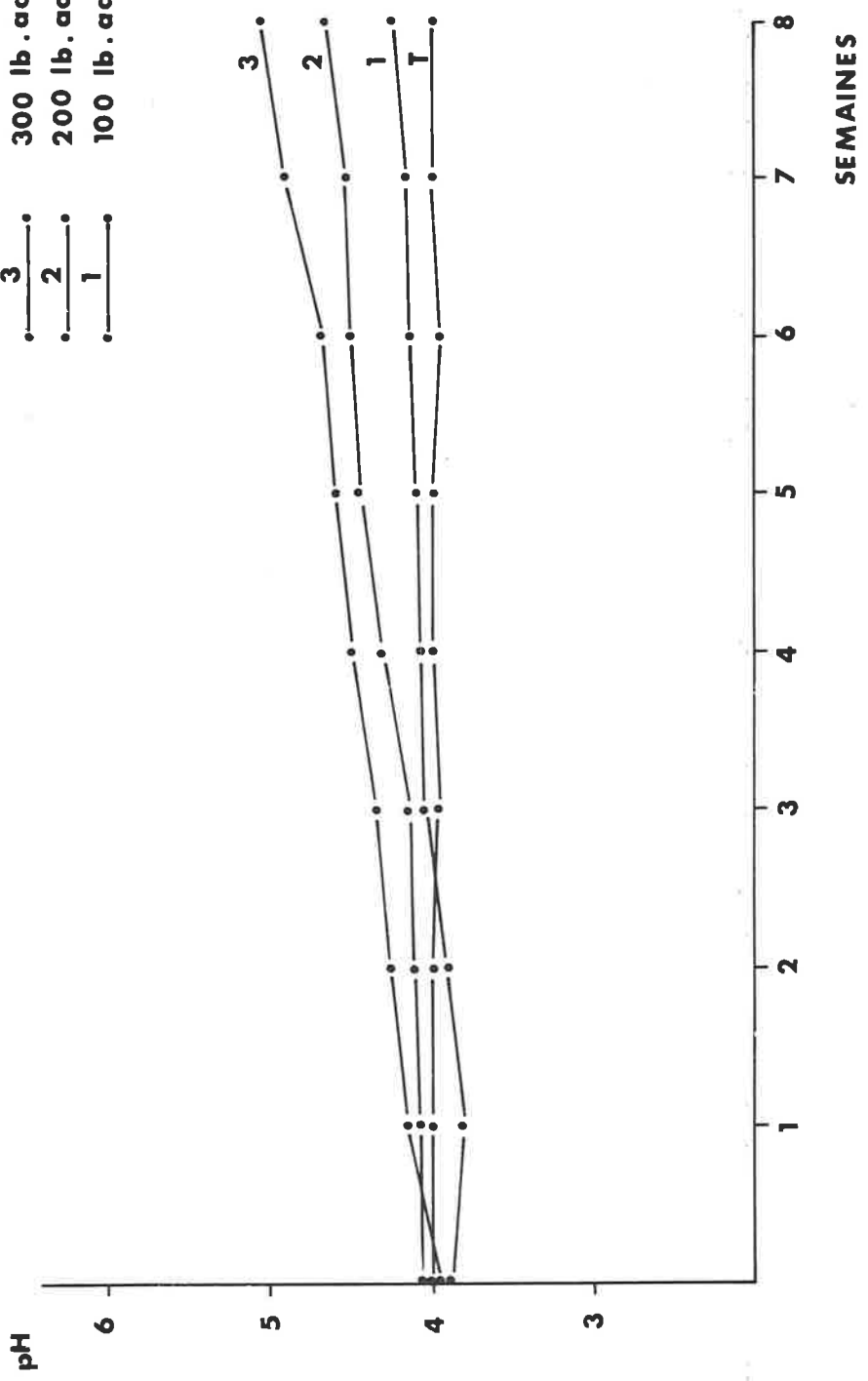
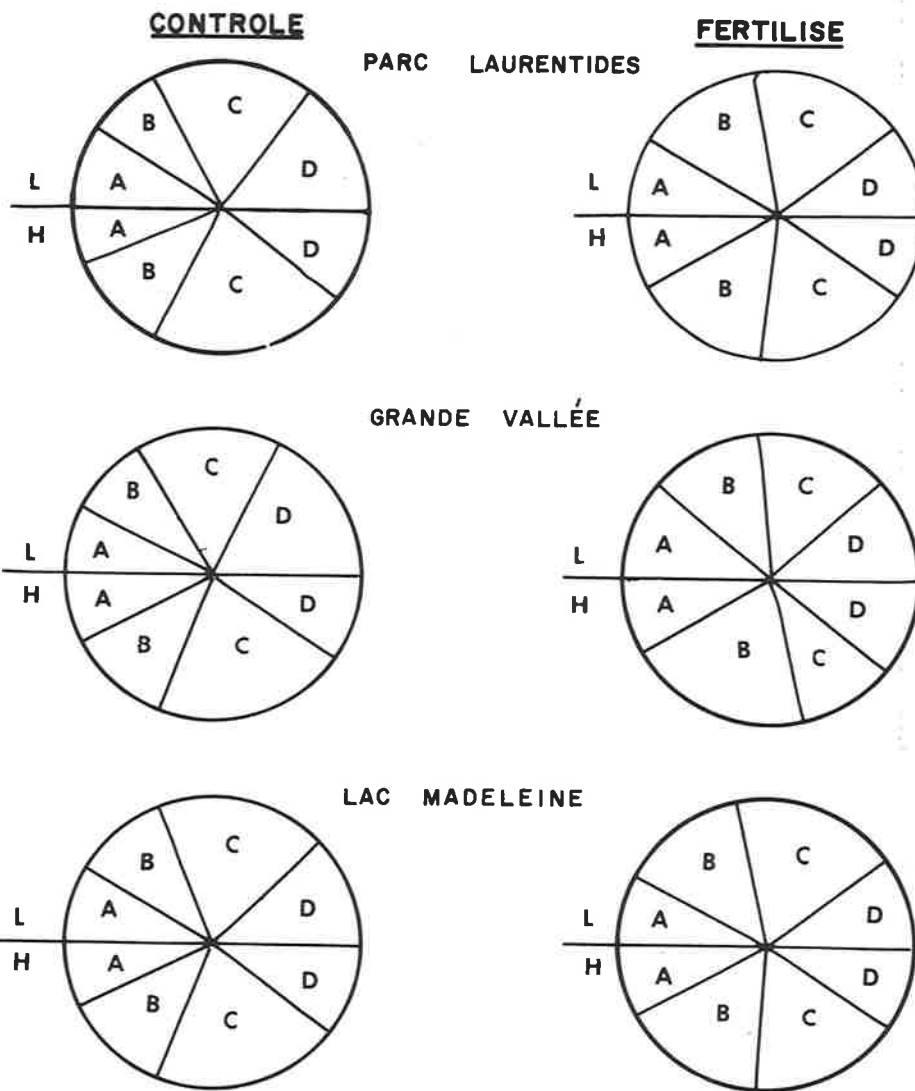


Fig.5. Distribution des principales formes azotées dans l'hydrolysate des échantillons avant et après la fertilisation avec 300 lb/acre.



RÉSULTATS EXPRIMÉS EN POURCENT DE L'AZOTE TOTAL

- A = N-Insoluble
- B = N-Distillable = N-Ammoniacal + N-Sucre aminé.
- C = N- β aminé
- D = N-non identifié

ACTION DE L'UREE EN TANT QUE REACTIF D'EXTRACTION DE LA
MATIERE ORGANIQUE D'UN HUMUS BRUT ET EFFET DE
L'ION CALCIUM SUR CETTE ACTION

par

G. Hubert

INTRODUCTION

La fertilisation avec l'urée a une action dissolvante sur la matière organique des humus forestiers bruts (1, 2, 3). Cette solubilisation peut être attribuée à deux causes: l'une chimique, alcalinisation du milieu correspondant à une libération brutale d'ammoniac; l'autre microbiologique, augmentation de l'activité microbienne favorisant la décomposition de la matière organique. Quelle qu'en soit la cause, cette solubilisation peut avoir des effets sur la croissance des arbres. Le but de ce travail consiste à voir si un apport de calcium, élément connu pour ses propriétés coagulantes sur l'humus, peut limiter cette solubilisation.

MATERIEL ET METHODES

Nous mélangeons dans des fioles coniques de 125 ml, 5 g d'humus séché à l'air et tamisé à 1 mm avec des quantités croissantes d'urée et de carbonate de calcium sous forme solide. Nous ajoutons 5 cc d'eau, agitons par intermittence, laissons reposer 18 h, et filtrons. Nous mesurons le pH et évaluons la quantité de matière organique de chacun des extraits obtenus au moyen de la densité optique à 450 m μ après avoir vérifié que l'augmentation de pH affectait peu la densité optique.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les variations de la densité optique en fonction de concentrations croissantes d'urée et de carbonate de calcium sont représentées dans la Figure 1. Des quantités croissantes d'urée extraient des quantités croissantes de matière organique. Des quantités croissantes de calcium diminuent l'extraction jusqu'à une molarité théorique en calcium de 0.035. Pour des concentrations supérieures en calcium, l'extraction de matière organique augmente. Ceci résulterait de l'augmentation consécutive de pH.

En effet, si l'on ajoute des quantités croissantes de CO_3Ca , la concentration en urée reste constante et l'on obtient alors une courbe de neutralisation typique avec un palier aux environs de 7.5. Jusqu'à ce pH le Ca a une action flocculante sur les colloïdes organiques, ce qui se traduit par une diminution de la densité optique. Ce pH correspond probablement au point isoélectrique des colloïdes: toute charge étant annulée, la tendance à la floculation est maximum. Au-delà de ce pH les colloïdes changeraient de signe et seraient redissous, ce qui se traduit par une augmentation de la densité optique.

CONCLUSIONS

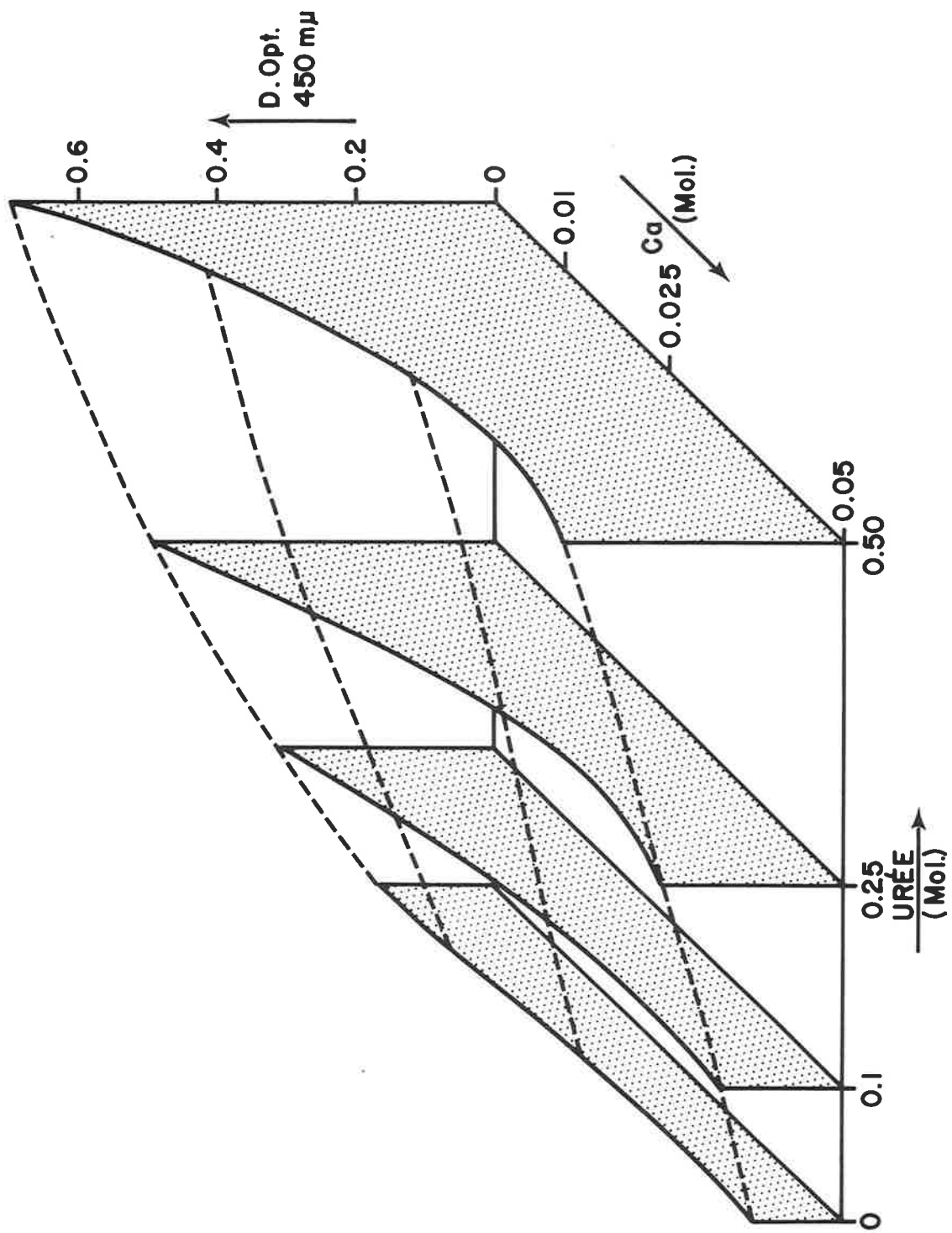
Les résultats de cette expérience préliminaire indiquent clairement que le calcium peut jouer un rôle des plus importants dans la fertilisation à l'urée en limitant la solubilisation de la matière organique.

En vue d'une meilleure appréciation du rôle du calcium en présence d'urée, nous nous proposons de répéter l'expérience sur des blocs vivants d'humus.

REFERENCES

1. Jung, J. 1958. Rohhumusmelioration mit Harnstoff. Allg. Forstzeitschu., 13: 764-765.
2. Jung, J. 1959. Vergleichende Überprüfung verschiedener Stickstoffverbindungen auf ihre chemische Reaktion mit Rohhumus und die photometrische Erfassung dieses Reaktions-effektes. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde 85: 104-112.
3. Tinsley, J., et R.J. Hance. 1962. Chemical changes in forest litter. U.K. For. Commission, Report on For. Res.

Fig. 1. Extraction de la matière organique avec des concentrations croissantes d'urée et de carbonate de calcium.



OBSERVATIONS SUR LE METABOLISME DE L'UREE DANS L'HUMUS
DE TROIS SAPINIERES DU QUEBEC

par

M.R. Roberge

RESUME

En juin 1969, trois peuplements de sapin (Abies balsamea (L.) Mill) âgés de 60 ans venus après coupe à blanc ou chablis ont été fertilisés avec de l'urée. Deux jours après l'addition de l'urée, on ne retrouvait plus que des traces d'azote sous cette forme. En fait, il restait 6 lb d'urée-N/acre où 100 lb avaient été ajoutées, 8 lb où 200 lb avaient été ajoutées, et 23 lb où 300 lb avaient été ajoutées. Le pH le plus élevé a été observé où 300 lb d'urée-N/acre avaient été ajoutées. Il a été observé dans la couche de surface d'une épaisseur d'environ 1 po.. Il était de 8.0. Enfin, la quantité d'azote sous forme d'ammonium équivalait à 90% de l'azote ajouté sous forme d'urée deux jours auparavant. Trois mois après l'addition de l'urée, on ne retrouvait plus d'azote sous cette forme. Le pH le plus élevé a été de nouveau observé où 300 lb d'urée-N/acre avaient été ajoutées. Il était de 5.6. On retrouvait dans l'humus 90% de l'azote ajouté sous forme d'urée. Cependant, 20% seulement était sous forme d'ammonium. Le reste était sous forme organique. Ces résultats indiquent que la fertilisation à l'urée a été réussie. L'urée s'est transformée en une forme assimilable pour les plantes. Cette transformation a été accompagnée d'une remontée du pH de ces humus trop acides. Aucune perte d'azote n'a été observée. Tout laisse supposer qu'il n'y aura pas de pertes dans le futur. L'étude de la transformation de l'ammonium restant en azote organique et la retransformation de l'azote organique en ammonium devrait donc être le centre des investigations à venir.

INTRODUCTION

Il est très important de connaître le sort de l'urée, les conditions de milieu qui aident ou ralentissent sa transformation, et les changements que les produits de sa transformation provoquent dans le sol. Cette connaissance est obtenue en étudiant le métabolisme de l'urée dans un certain nombre de sols contrastant par leurs propriétés.

La présente étude vise la connaissance du métabolisme de l'urée dans l'horizon de surface ou humus du sol de trois sapinières du Québec. Elle s'inscrit parmi d'autres études du même genre en cours au Québec dans des humus de pessières (20), de bétulaies (18), et de pineraies (3). Ces humus contrastent par leurs propriétés. Leur étude après addition d'urée contribue à une connaissance éventuelle du métabolisme de l'urée dans le sol forestier québécois. Cette connaissance permettra de conseiller ou de déconseiller à bon escient l'utilisation de l'urée dans un milieu forestier donné.

La présente étude s'inscrit aussi parmi trois autres études du même genre entreprises récemment ailleurs qu'au Québec (4, 15, 16). A la connaissance de l'auteur, aucune autre étude à part ces six études ne touche ou n'a touché le domaine du métabolisme de l'urée dans les sols forestiers.

Une analyse en profondeur de ces six études montre que l'urée offre des avantages marqués sur tous les autres fertilisants azotés connus pour la fertilisation des sols forestiers acides et frais. Cette analyse montre en plus que plusieurs autres études sont nécessaires pour obtenir une connaissance satisfaisante du métabolisme de l'urée dans les sols forestiers.

Ce papier traite de la transformation de l'urée en ammonium observée dans une sapinière du Parc des Laurentides, dans une du Lac Madeleine, et dans une de Grande-Vallée, Québec. Il traite aussi des changements observés dans le pH, les quantités d'ammonium, et les quantités totales d'azote des humus au cours de la première saison de croissance suivant la fertilisation avec de l'urée de ces sapinières. Les résultats indiquent que l'urée s'est transformée très rapidement. Cette transformation a été accompagnée d'une accumulation d'ammonium et d'une augmentation de pH dans l'humus très acide et frais des trois sapinières. L'ammonium est resté sur le complexe adsorbant de l'humus pour être subséquentement en grande partie transformé en azote organique par les microbes. Ces résultats permettent de conclure à un succès.

MATERIELS ET METHODES

Les places d'études sont dans des secteurs expérimentaux du Service Canadien des Forêts situés dans le Parc des Laurentides, au Lac Madeleine, et à Grande-Vallée (12). Les échantillons d'humus ont été prélevés en juin avant fertilisation, à intervalles de 2, 10, 50, et 100 jours après fertilisation. Dans chacune des huit places d'études de chaque secteur et à chaque temps de prélèvement, au moins 24 carottes de 2 pouces de diamètre ont été prélevées. Les carottes ont été immédiatement séparées horizontalement en couches d'humus qui ont été placées dans des sacs de polythène. Les carottes ont été séparées en la couche L, la litière d'une épaisseur d'environ 1 pouce, en la couche F₁, la partie

supérieure d'une épaisseur d'environ 1 pouce de la couche de fermentation, et en la couche F₂, la partie inférieure d'une épaisseur de 2 à 6 pouces de la couche de fermentation. Il n'y avait pas de couche H ou d'humification.

Les 24 échantillons de chaque couche ont été subséquemment placés à 5°C, à l'état humide, et à la noirceur. Ils ont été broyés dans un hache viande de manière à passer à travers un tamis de 4 mm et homogénéisés. Chaque couche d'humus de chaque place d'étude ainsi composée de 24 échantillons a été ensuite replacée à 5°C dans les mêmes conditions de milieu jusqu'à analyses pour le pH, l'ammonium, les nitrates, la matière organique, l'azote total, et l'urée.

Les méthodes d'analyses ont été les mêmes que celles employées et décrites dans une publication antérieure (17).

RESULTATS

Tous les résultats sont rapportés au poids sec (105°C, poids constant). Ils sont la moyenne d'au moins deux déterminations analytiques faites sur chaque couche d'humus de chaque place d'étude. Aucune accumulation de nitrates n'a été observée et aucune donnée sur cette forme azotée n'est présentée.

Propriété des humus prélevés en juin au début de la saison de croissance.

Les valeurs moyennes des propriétés des humus prélevés en juin avant la fertilisation sont consignées par secteur expérimental (Tableau 1). On constate des différences importantes entre ces moyennes établies à partir des deux déterminations analytiques faites sur chaque couche d'humus de chaque place d'étude. Les places du Parc des Laurentides contenaient plus d'humus, d'azote total, et d'ammonium que celles du Lac Madeleine et de Grande-Vallée. Par contre l'humus des places du Parc des Laurentides avait un rapport C/N plus bas que celles du Lac Madeleine et de Grande-Vallée. Le pH des humus des places du Parc des Laurentides était égal à celui des humus des places du Lac Madeleine mais plus bas que celui des humus des places de Grande-Vallée. Les humus des places du Lac Madeleine et de Grande-Vallée ne différaient pas dans aucune des autres propriétés étudiées.

Des différences importantes existaient entre les humus des trois secteurs expérimentaux. Il n'y avait par contre pas de différences importantes entre les valeurs moyennes des propriétés des humus des deux places d'étude de chaque traitement à l'intérieur du secteur expérimental (Tableau 2). Une étude rapide des moyennes consignées dans ce tableau permet de constater que l'écart entre les moyennes d'une propriété de l'humus d'un secteur expérimental est égal ou inférieur à 10%. Seules les moyennes de contenu en humus des places de Grande-Vallée ont un écart supérieur à 10%. On peut établir avec certitude l'origine de cet écart.

A l'intérieur du secteur expérimental, on a constaté des différences peu importantes entre les valeurs moyennes des propriétés des humus. On sait notamment que ces moyennes ont été établies à partir des deux déterminations analytiques faites sur chaque couche d'humus de chaque place d'étude d'un même traitement. Aussi bien, constate-t-on des différences peu importantes entre les valeurs moyennes des propriétés des couches d'humus des deux places d'études de chaque traitement à l'intérieur du secteur expérimental (Tableaux 3, 4, et 5). Une étude rapide des moyennes consignées dans ces tableaux permet de constater que l'écart entre les moyennes d'une propriété d'une couche d'humus d'un secteur expérimental est environ égal à 20%.

Les valeurs des propriétés des couches d'humus de chaque place d'étude de chacun des traitements ne sont pas présentées. A l'intérieur du secteur expérimental, l'écart était aussi environ égal à 20%.

L'examen des résultats présentés dans les Tableaux 3, 4, et 5 indique que l'acidité croît en allant de L au F₂ ou avec la profondeur de la couche d'humus dans les trois secteurs expérimentaux. Le rapport C/N, par contre, décroît avec la profondeur de la couche d'humus au Parc des Laurentides. Il décroît aussi du L au F₁ au Lac Madeleine et à Grande-Vallée. Mais à ces deux endroits, il croît du F₁ au F₂ pour atteindre dans cette dernière couche une valeur égale ou supérieure à celle du L. C'est là sans doute une autre conséquence des origines différentes des peuplements des trois secteurs expérimentaux. En effet, celui du Parc des Laurentides origine de coupe à blanc et ceux du Lac Madeleine et de Grande-Vallée originent de chablis.

Propriétés des humus prélevés au Parc des Laurentides au cours de la saison de croissance.

Des différences importantes existaient entre les humus des trois secteurs expérimentaux, mais des différences peu importantes ont été observées entre les humus des huit places d'un secteur expérimental avant fertilisation au début de la saison de croissance. Malgré les différences importantes entre les humus des secteurs, seules les propriétés des humus prélevés au Parc des Laurentides ont été étudiées à différents intervalles au cours de la saison de croissance. Sans fertilisation, aucune des propriétés des humus étudiés a beaucoup changé. Immédiatement après fertilisation, les quantités d'humus et d'azote total et les rapports C/N des humus avaient changé proportionnellement à la quantité d'azote ajouté. Ces valeurs sont demeurées stationnaires par la suite. Mais des changements dans les quantités d'ammonium et les pH ont été observés dans chacun des humus tout au long de la saison de croissance après fertilisation à l'urée.

Deux jours après l'addition de l'urée, on ne retrouvait plus que des traces d'azote sous cette forme. En fait, il restait 6 lb d'urée-N/acre où 100 lb avaient été ajoutées, 8 lb où 200 lb avaient été ajoutées, et 23 lb où 300 lb avaient été ajoutées.

La disparition de l'urée a été accompagnée d'une apparition correspondante d'azote sous forme d'ammonium et d'une augmentation de pH dans l'humus. C'est deux jours après l'addition de l'urée que les plus grandes quantités d'ammonium et les plus hauts pH ont été observés. Ils ont continuellement diminué par la suite dans l'humus.

Il va de soi que les changements dans les quantités d'ammonium et les pH observés dans les humus ont été observés dans les couches d'humus. Les Figures 1 et 2 montrent les changements observés dans chacune des couches avec chacune des quantités d'urée ajoutée. Chez la couche L, on constate une quantité maximum d'ammonium et le pH le plus élevé deux jours après la fertilisation. Ils ont continuellement diminué par la suite. Plus on a ajouté d'urée plus les quantités maximales d'ammonium et les pH se sont élevés. Le pH atteint 8.0 où 300 lb d'urée-N/acre ont été ajoutées.

Chez la couche F₁, on observe une quantité maximum d'ammonium et le pH le plus élevé dix jours après la fertilisation. Cette couche contenait alors entre 60 et 70% de l'azote ajouté et accusait une augmentation de pH allant de 1.5 à 3.4 unités.

Chez la couche F₂, on a dû attendre 50 jours avant d'observer une quantité maximum d'ammonium et le pH le plus élevé. Cette couche contenait alors environ 30% de l'azote ajouté encore sous forme d'ammonium et accusait une augmentation maximum de pH de 1.6 unités.

Propriétés des humus prélevés en septembre à la fin de la saison de croissance.

Il y avait des différences marquées entre les secteurs expérimentaux mais il n'y en avait pas à l'intérieur des secteurs avant fertilisation. Les différents taux d'urée ajoutée ont provoqué des différences marquées à l'intérieur des secteurs. Ces différences ont été observées tout au long de la saison de croissance dans le secteur du Parc des Laurentides. Elles ont été de plus observées à la fin de la

saison de croissance aussi bien au Parc des Laurentides qu'au Lac Madeleine et à Grande-Vallée. Le Tableau 6 présente les différences observées entre les valeurs moyennes des propriétés des humus des deux places d'études de chaque traitement avant fertilisation et les valeurs moyennes 100 jours après fertilisation.

On note, entre les quantités d'humus et d'azote total des places des différences sensiblement égales aux quantités d'azote ajouté. Les rapports C/N ont baissé généralement d'autant plus que plus d'azote a été ajouté. Les pH ont augmenté de 0.4 à 1.6 unités.

Alors que, 2 jours après la fertilisation, on retrouvait sous forme d'ammonium 90% de l'azote ajouté, 100 jours après la fertilisation, on n'en retrouvait plus que 20% sous cette forme. Cette valeur était à peu près égale dans les trois secteurs. Elle était aussi à peu près égale avec les trois taux d'urée ajoutée.

Les différences du Tableau 6 ont comme base les valeurs moyennes des propriétés des humus établies à partir des deux déterminations analytiques faites sur chaque couche d'humus de chaque place d'étude d'un même traitement. Voyons maintenant les mêmes différences mais cette fois par couche d'humus (Tableaux 7, 8, et 9).

On note que les plus grandes différences dans l'azote total et dans l'ammonium se situaient au niveau de la couche F_2 . Par contre la baisse des rapports C/N et l'augmentation des pH se sont surtout fait sentir dans la couche F_1 .

DISCUSSION

En juin 1969, une expérience a été commencée dans trois secteurs expérimentaux situés dans trois localités différentes du Québec pour étudier les effets d'une fertilisation à l'urée sur des sapinières. Il était nécessaire que les propriétés des humus diffèrent entre les blocs mais ne diffèrent pas à l'intérieur des blocs avant fertilisation.

L'urée ajoutée au sol doit d'abord être dissoute dans l'eau. Cette dissolution est grande et rapide. Elle rend l'urée sujette au délavage bien qu'une petite partie puisse être absorbée par les sols (5).

L'urée se dissout rapidement dans l'eau et est aussi généralement convertie rapidement en NH_3 et CO_2 . Cette conversion rapide prévient la plupart du temps les pertes d'urée par délavage (21). Le court laps de temps observé entre l'addition d'urée et sa transformation dans l'humus du Parc des Laurentides incite à croire à un comportement de l'urée dans ce milieu semblable à celui généralement observé.

Le sort réservé au NH_3 dérivé de l'urée est identique à celui réservé à n'importe lequel fertilisant ammoniacal dissout dans l'eau du sol (1). Il peut être transformé ou pas en ammonium, en nitrates ou en azote organique.

Le NH_3 est transformé en ammonium partout où il y a une source d'ions hydrogénés. Cette transformation est instantanée et complète à 99% dans les milieux qui ont un pH égal à 7.0 (22). Elle est complète à 90% dans les milieux qui ont un pH égal à 8.0. Malgré l'augmentation de pH observée dans les humus acides étudiés, il ressort que le NH_3 dérivé de l'urée a dû être instantanément et presque complètement converti en ammonium.

Ce n'est donc qu'avec un pH égal ou supérieur à 7.0 que peut survenir la volatilisation de l'ammoniac (7, 11, 14). La volatilisation à de tels pH n'est cependant encore possible que si le sol devient sec. L'humus de la sapinière du Parc des Laurentides est resté frais au moins pendant les 15 premiers jours après la fertilisation. Il en a été probablement ainsi au Lac Madeleine et à Grande-Vallée. Il est connu que les sols de la forêt boréale demeurent frais non seulement au début mais pendant toute la saison de croissance (23). Il va de soi que, dans de telles conditions d'acidité et de fraîcheur des humus des sapinières étudiées, la volatilisation de NH_3 ait pu être minime, sinon nulle. L'acidité de la couche la plus profonde de l'humus suffit à elle seule à éliminer la possibilité de pertes de NH_3 par délavage.

A des pH élevés, le NH_3 et le NH_4 peuvent être oxydés en nitrites et en nitrates (14). Les nitrites et les nitrates demeurent dans la solution du sol et sont facilement délavés. Les analyses des humus indiquent qu'il n'y a vraisemblablement pas eu de nitrification dans les milieux étudiés.

A des pH bas, le NH_3 est transformé en NH_4 qui existe dans le sol soit sous forme adsorbée sur les colloïdes du sol, soit sous forme soluble dans la solution du sol (8, 9). L'ammonium adsorbé sur les colloïdes du sol est en équilibre avec l'ammonium dans la solution du sol. Pour une quantité donnée d'ammonium ajouté, plus grande est la capacité d'adsorption d'un sol, moindre est la quantité d'ammonium dans la solution du sol. Moindres aussi sont les risques de pertes par délavage de l'ammonium. A la lumière des quantités d'ammonium

soluble observées dans un autre humus (19), il est permis de croire que très peu d'ammonium soluble a été présent en tout temps dans les humus des trois sapinières étudiées.

Sans égard au pH, on prévoit une transformation de l'ammonium et des nitrates en azote organique quand le sol a un rapport C/N d'au moins 25 (2, 13). Sans doute, les rapports C/N élevés des trois humus étudiés ont-ils favorisé considérablement la transformation de l'ammonium en azote organique. Aussi sera-t-il intéressant de savoir si cette transformation va se continuer et quand le phénomène inverse se déclenchera. Une meilleure connaissance de la composition des humus, de la nature de leurs hydrates de carbone, de l'interaction possible de leurs protéines avec certaines substances diminuant leur susceptibilité à l'attaque enzymatique et, partant, freinant leur minéralisation, faciliterait beaucoup l'interprétation des résultats de ces études futures.

Le degré relatif de disponibilité de plusieurs éléments essentiels augmente avec la réaction du sol jusqu'à un pH de 5 à 6 (26). Aussi la plupart des espèces de conifères s'accommodent mieux d'un pH de 5 à 6. Il est donc probable que l'augmentation de pH observée dans l'humus des trois sapinières étudiées est heureuse.

Même si le pH a augmenté et si une quantité appréciable d'ammonium a été disponible pendant toute la saison de croissance, il est certain, que les arbres n'ont pu soutirer de l'humus plus qu'une dizaine de lb/acre d'azote (24). Cet azote a sans doute été compensé

par l'azote apporté par la pluie (25). Il est peu vraisemblable, par ailleurs, que la fixation d'azote gazeux par les microorganismes ait pu contribuer à approvisionner significativement l'humus (6, 10).

Une grande proportion de l'azote ajouté a été retrouvée dans les humus des trois sapinières. Compte tenu du fait que, vraisemblablement, peu de l'azote ajouté ait pu être perdu par délavage ou volatilisation, peu de l'azote ajouté soit passé dans les arbres, et peu d'addition naturelle d'azote soit survenue, il apparaît normal qu'il en soit ainsi.

CONCLUSIONS

Le présent travail réunit les résultats de recherche sur le métabolisme de l'urée dans trois humus différents par leur origine et leurs propriétés. Ces résultats ont été obtenus pendant la saison de croissance qui a immédiatement suivi la fertilisation à l'urée.

L'urée s'est transformée très rapidement. Les pertes d'urée ou des produits azotés de sa transformation semblent avoir été négligeables dans ces humus de sapinières. Des résultats identiques ont été obtenus dans un humus de pessière de Baie Comeau (20). On ne peut cependant généraliser sans rappeler que les quantités maximales d'urée utilisées dans l'une et l'autre des études n'étaient pas excessives. De plus, ces quantités étaient proportionnelles au pouvoir tampon, au pouvoir adsorptif, et à la fraîcheur de l'humus, et inversement proportionnelles au pouvoir nitrifiant des humus. Plus on augmente les quantités d'urée au-delà du maximum permissible, plus on augmente les chances de pertes entre autres par volatilisation (3, 4, 15, 16).

L'urée s'est transformée en ammonium qui était disponible pour les microorganismes et les plantes. Les microorganismes l'ont abondamment utilisée et l'ont transformée en azote organique. Les plantes l'ont peu utilisée. Dans les deux cas, cette utilisation est normale.

Les résultats à date indiquent que l'urée offre des avantages marqués sur tous les autres fertilisants azotés connus pour la fertilisation des sols des sapinières québécoises.

REFERENCES

1. Baldwin, G.S., et J.W. Ketcheson. 1958. Influence of soil texture, reaction and temperature on the uptake of nitrogen from three nitrogen fertilizers. *Can. J. Soil Sci.* 38: 134-142.
2. Bernier, B., et M.R. Roberge. 1962. Etude in vitro sur la minéralisation de l'azote organique dans les humus forestiers. Influence des litières forestières. *Fonds Rech. For. Univ. Laval, Contrib.* 9, 47 p.
3. Bernier, B., D. Carrier, et W.A. Smirnoff. 1969. Preliminary observations on nitrogen losses through ammonia volatilization following urea fertilization of soil in a jack pine forest. *Natur. Can.* 96: 251-255.
4. Bhure, N.D. 1970. Some factors affecting release of nitrogen from more humus under different forest stands. *Dept. Fish. For., Can. For. Servi., Inf. Rep. N-X-40.* 12 p.

5. Broadbent, F.E., G.N. Hill et K.B. Tyler. 1958. Transformations and movement of urea in soils. *Soil. Ser. Soc. Amer. Proc.* 22: 303-307.
6. Brouzes, R., J. Lasik, et R. Knowles. 1969. The effect of organic amendment, water content, and oxygen on the incorporation of $^{15}\text{N}_2$ by some agricultural and forest soils. *Can. J. Microbiol.* 15: 899-905.
7. Clarks, F.E., W.E. Beard, et D.H. Smith. 1960. Dissimilar nitrifying capacities of soils in relation to losses of applied N. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 24: 50-54.
8. Coffee, R.C., et W.V. Bartholomew. 1964. Ammonia sorption and retention by plant residue materials. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28: 482-485.
9. Coffee, R.C. et W.V. Bartholomew. 1964. Some aspects of ammonia sorption by soil surfaces. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28: 485-490.
10. Delwiche, C.C., et J. Wijler. 1956. Non-symbiotic nitrogen fixation in soil. *Plant Soil* 7: 113-129.
11. Ernst, J.W., et H.F. Massey. 1960. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 24: 87-90.
12. Gagnon, J.D., et M. Boudoux. 1969. Fertilisation en forêt naturelle au Québec. *Dept. Fish. For. Can., For. Br., Rapp. Int. Q-14.* 16 p.

13. Harmsen, G.W., et D.A. Schreven. 1955. Mineralization of organic nitrogen in soil. In. A.G. Norman (ed), *Advances in Agronomy*, Academic Press, N.Y. 7: 299-395.
14. Hiltbold, A.E., et F. Adams. 1960. Effects of nitrogen volatilization on soil acidity changes due to applied nitrogen. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 24: 45-47.
15. Makendrapa, M.K., E.D. Ogden, et J.G. Simard. 1969. Preliminary studies on ammonia volatilization from urea fertilized soil under a black spruce stand. Dept. Fish. For. Can., For. Br., Int. Rep. M-43, 30 p.
16. Overrein, L.N. 1968. Lysimeter studies on tracer nitrogen in forest soil: I. Nitrogen losses by leaching and volatilization after addition of urea -- N.¹⁵. *Soil Sci.* 106: 280-290.
17. Roberge, M.R., et R. Knowles. 1966. Ureolysis, immobilization, and nitrification in black spruce (*Picea mariana* Mill) humus. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30: 201-204.
18. Roberge, M.R. 1968. Condition of sM-yB-Be and of yB-nM-sM-bF-rS experimental areas of the Dudswell Forest before improvement cutting and urea fertilization. Dept. For. Rur. Dev. Can., For. Br., Typed Rep. 26 p.
19. Roberge, M.R. 1969. Nitrogen in soil solution of acid forest soils. Dept. Fish. For., Can. For. Serv., Typed Rep. 39 p.
20. Roberge, M.R., G.F. Weetman, et R. Knowles. 1970. An ecological and microbiological study of urea fertilization and thinning in a black spruce stand. In C.T. Youngberg and C.B. Davey (ed.), *Tree growth and forest soils*. Corvallis: Oregon State Univ. Press, p. 73-96.

21. Simpson, D.M.H., et S.W. Melsted. 1963. Urea hydrolysis and transformation in some Illinois soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27: 48-50.
22. Warren, K.S. 1962. Ammonia toxicity and pH. Nature 195: 47-49.
23. Weetman, G.F. 1962. Nitrogen relations in a black spruce (Picea mariana Mill.) stand subject to various fertilizers and soil treatments. Woodl. Res. Index, Pulp Pap. Res. Inst. Can. 129, 112 p.
24. Weetman, G.F. 1964. Clear cutting, planting, thinning, and nitrogen fertilization of black spruce-feather moss site. Woodl. Res. Index Pulp Pap. Res. Inst. Can. 156, 14 p.
25. Weetman, G.F., et V. Timmer. 1967. Feather moss growth and nutrient content under upland black spruce. Woodl. Res. Index, Pulp. Pap. Res. Inst. Can. 183, 38 p.
26. Wilde, S.A. 1958. Forest soils. Their properties and relations to silviculture. The Ronald Press Co., N.Y.

Tableau 1. Valeurs moyennes des propriétés des humus de chaque secteur expérimental avant fertilisation.

Secteur Expérimental	Humus (lb/acre)	Azote total (lb/acre)	C/N	pH	NH ₄ -N (lb/acre)
Parc des Laurentides	61,200	1,090	26	3.7	15
Lac Madeleine	45,600	590	38	3.8	5
Grande-Vallée	40,900	500	40	4.5	5

Tableau 2. Valeurs moyennes des propriétés des humus des deux places d'études de chaque traitement et de chaque secteur expérimental avant fertilisation.

Urée - N (lb/acre)	Humus (lb/acre)	Azote total (lb/acre)	C/N	pH	NH ₄ -N (lb/acre)
Parc des Laurentides					
0	61,200	1,070	26	3.7	14
100	66,200	1,100	28	3.7	16
200	55,500	1,000	26	3.7	15
300	61,900	1,210	26	3.6	15
Lac Madeleine					
0	47,100	620	39	3.8	5
100	45,500	610	36	3.8	4
200	46,400	590	34	4.1	6
300	43,300	530	36	3.6	4
Grande Vallée					
0	44,100	540	43	4.7	5
100	42,300	520	40	4.5	5
200	43,700	500	41	4.3	5
300	33,500	470	38	4.7	5

Tableau 3. Valeurs moyennes des propriétés de chaque couche d'humus des deux places d'études de chaque traitement du secteur du Parc des Laurentides avant fertilisation.

Urée - N (lb/acre)	Humus (lb/acre)	Azote total (lb/acre)	C/N	pH	NH ₄ -N (lb/acre)
L					
0	9,600	150	32	4.1	2
100	10,000	200	25	4.0	4
200	7,000	150	27	4.2	3
300	8,100	170	29	4.1	2
F ₁					
0	19,800	370	26	3.7	4
100	25,300	460	29	3.6	5
200	19,600	430	26	3.8	3
300	20,700	480	28	3.7	5
F ₂					
0	31,800	550	25	3.5	8
100	30,900	440	29	3.6	7
200	28,900	420	25	3.6	9
300	33,100	560	24	3.5	8

Tableau 4. Valeurs moyennes des propriétés de chaque couche d'humus des deux places d'études de chaque traitement du secteur du Lac Madeleine avant fertilisation.

Urée - N (lb/acre)	Humus (lb/acre)	Azote total (lb/acre)	C/N	pH	NH ₄ -N (lb/acre)
L					
0	6,800	80	42	4.3	1
100	6,700	90	33	4.2	1
200	5,000	50	37	4.3	1
300	5,700	60	34	4.2	1
F ₁					
0	16,200	240	34	4.0	2
100	17,200	260	31	3.9	1
200	13,900	220	30	4.1	2
300	13,800	220	30	3.8	1
F ₂					
0	24,100	300	41	3.6	2
100	21,600	260	42	3.5	2
200	27,500	320	36	4.0	3
300	23,800	250	40	3.4	2

Tableau 5. Valeurs moyennes des propriétés de chaque couche d'humus des deux places d'études de chaque traitement du secteur de Grande-Vallée avant fertilisation.

Urée - N (lb/acre)	Humus (lb/acre)	Azote total (lb/acre)	C/N	pH	NH ₄ -N (lb/acre)
L					
0	6,000	80	38	5.1	1
100	5,900	70	38	4.9	1
200	5,600	70	35	4.9	1
300	5,500	60	38	5.1	1
F ₁					
0	14,000	220	33	5.0	2
100	13,000	200	31	4.8	2
200	13,900	200	33	4.7	2
300	11,000	250	32	5.1	2
F ₂					
0	29,100	260	50	4.4	2
100	23,400	250	46	4.2	2
200	24,200	230	48	4.0	2
300	17,000	160	44	4.3	2

Tableau 6. Différences entre les valeurs moyennes des propriétés des humus des deux places d'études de chaque traitement et de chaque secteur expérimental avant fertilisation et les valeurs 100 jours après fertilisation.

Urée - N (lb/acre)	Augmentation d'humus (lb/acre)	Augmentation d'azote total (lb/acre)	Baisse de C/N	Augmentation de pH	Augmentation de NH ₄ -N (lb/acre)
Parc des Laurentides					
0	0	0	0	0	0
100	100	80	4	0.6	27
200	200	150	3	0.6	30
300	300	240	6	1.4	84
Lac Madeleine					
0	0	0	0	0	0
100	100	60	4	0.6	28
200	200	130	8	0.7	44
300	300	220	12	1.6	91
Grande-Vallée					
0	0	0	0	0	0
100	100	80	2	0.4	16
200	200	160	8	0.6	43
300	300	240	8	1.3	68

Tableau 7. Différences entre les valeurs moyennes des propriétés de chaque couche d'humus des deux places d'études de chaque traitement du secteur du Parc des Laurentides avant fertilisation et les valeurs 100 jours après fertilisation.

Urée - N (lb/acre)	Augmentation d'humus (lb/acre)	Augmentation d'azote total (lb/acre)	Baisse de C/N	Augmentation de pH	Augmentation de NH ₄ -N (lb/acre)
L					
0	0	0	0	0	0
100	0	10	2	0.6	7
200	0	20	6	0.7	4
300	100	50	11	1.6	11
F ₁					
0	0	0	0	0	0
100	0	10	5	1.0	11
200	100	30	7	0.7	10
300	100	70	11	1.9	29
F ₂					
0	0	0	0	0	0
100	100	60	4	0.2	9
200	100	100	2	0.5	18
300	100	130	1	1.0	44

Tableau 8. Différences entre les valeurs moyennes des propriétés de chaque couche d'humus des deux places d'études de chaque traitement du secteur du Lac Madeleine avant fertilisation et les valeurs 100 jours après fertilisation.

Urée - N (lb/acre)	Augmentation d'humus (lb/acre)	Augmentation d'azote total (lb/acre)	Baisse de C/N	Augmentation de pH	Augmentation de NH ₄ -N (lb/acre)
L					
0	0	0	0	0	0
100	0	10	4	0.7	4
200	0	20	10	1.3	4
300	100	40	14	1.8	10
F ₁					
0	0	0	0	0	0
100	0	20	8	0.9	10
200	100	30	10	1.3	20
300	100	70	12	2.2	35
F ₂					
0	0	0	0	0	0
100	100	40	4	0.4	14
200	100	100	8	0.3	20
300	100	100	10	1.2	46

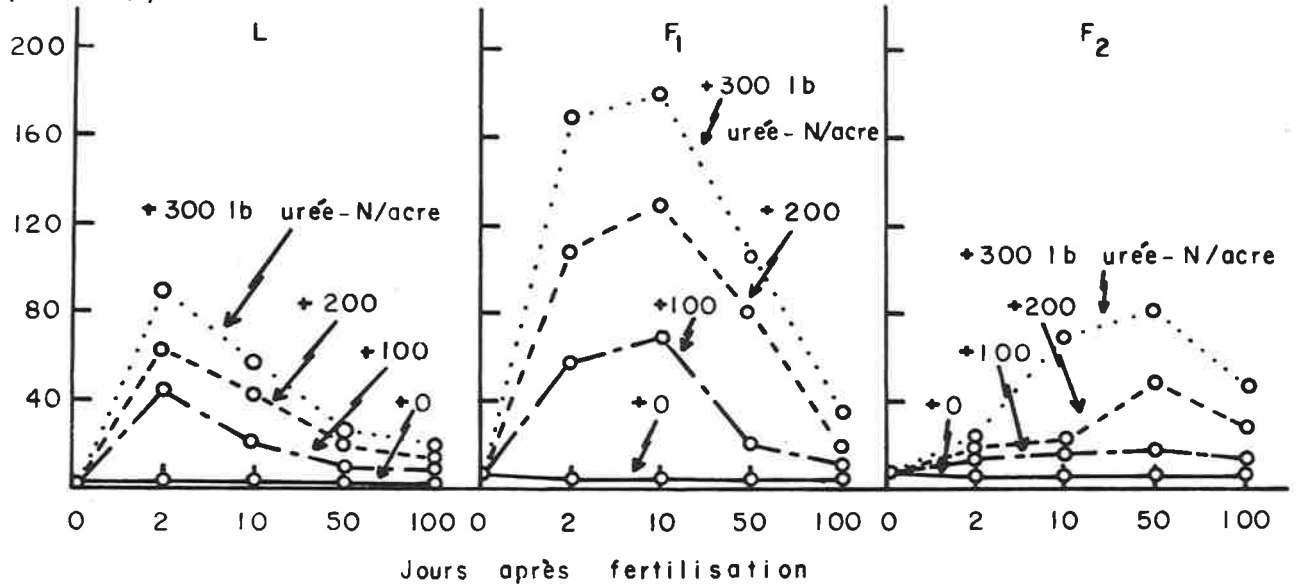
Tableau 9. Différences entre les valeurs moyennes des propriétés de chaque couche d'humus des deux places d'études de chaque traitement du secteur de Grande-Vallée avant fertilisation et les valeurs 100 jours après fertilisation.

Urée - N (lb/acre)	Augmentation d'humus (lb/acre)	Augmentation d'azote total (lb/acre)	Baisse de C/N	Augmentation de pH	Augmentation de $\text{NH}_4\text{-N}$ (lb/acre)
L					
0	0	0	0	0	0
100	0	20	4	0.6	3
200	0	30	8	1.1	7
300	100	50	10	1.5	9
F ₁					
0	0	0	0	0	0
100	0	20	4	0.6	7
200	100	50	12	1.0	17
300	100	70	16	1.5	24
F ₂					
0	0	0	0	0	0
100	100	40	2	0.3	6
200	100	80	6	0.6	19
300	100	120	4	0.8	35

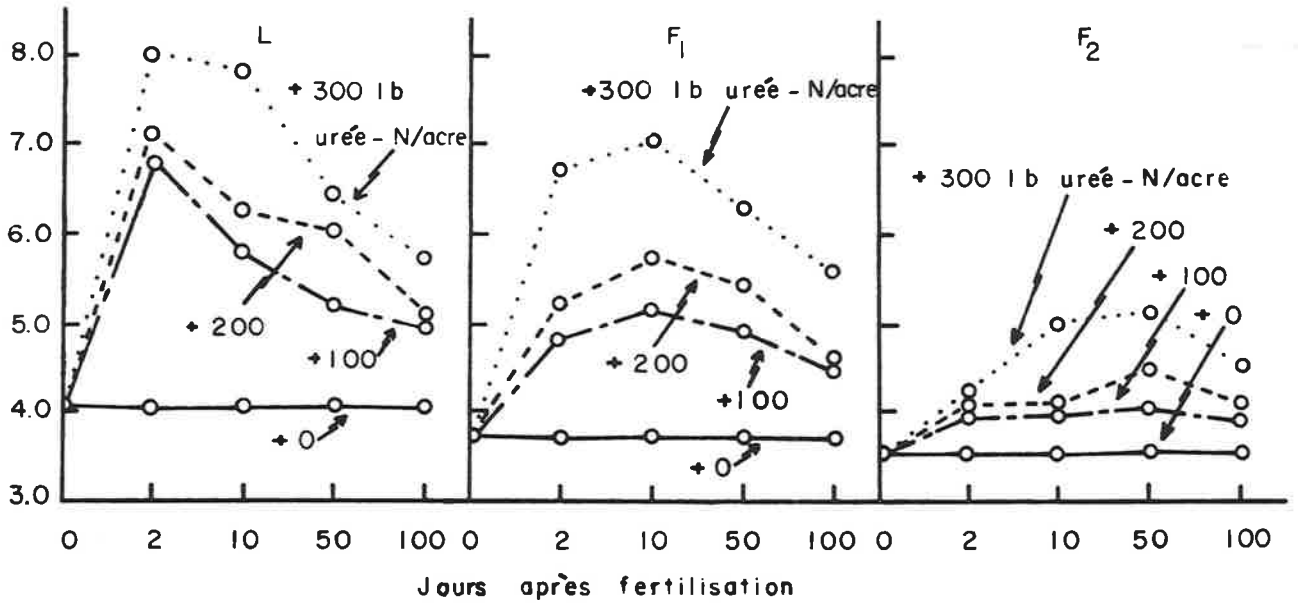
Fig. 1. Quantités d'ammonium observées à différents intervalles au cours de la saison de croissance dans chaque couche d'humus des deux places d'études de chaque traitement du secteur expérimental du Parc des Laurentides. Noter que les quantités maximales d'ammonium ont été observées à des moments différents dans les trois couches d'humus.

Fig. 2. Réactions observées à différents intervalles au cours de la saison de croissance dans chaque couche d'humus des deux places d'études de chaque traitement du secteur expérimental du Parc des Laurentides. Noter la concordance entre les quantités d'ammonium observées et les pH observés à différents intervalles.

$\text{NH}_4\text{-N}$
(lb /acre)



pH



CONCLUSIONS

A cette phase préliminaire de l'étude sur les modifications que la fertilisation azotée à raison de 100, 200 et 300 lb/N/acre peut apporter sur le milieu forestier de sapinières du Québec, il ressort que :

1. Le choix des milieux étudiés a été judicieux tant à cause de l'homogénéité du sol que des peuplements à l'intérieur d'un secteur expérimental.
2. Le dispositif expérimental employé, à cause de sa flexibilité, permet de passer facilement et avec très grande précision de l'accroissement en diamètre, à l'accroissement en volume total.
3. Par le biais de l'examen d'un modèle mathématique décrit, les failles du dispositif expérimental actuel pourront être décelées et le dispositif amélioré sans avoir à recommencer l'expérience.
4. Tenant compte des diamètres initiaux, nulle part la fertilisation n'a fait sentir son effet un an après son application.
5. Une première observation des blessures et défauts apparents sur les arbres nous permet de croire, à la lumière d'autres similaires, que les conditions pathologiques des peuplements étudiés sont représentatives de celles que l'on retrouve ailleurs dans de tels peuplements.
6. La mobilisation de l'azote ammoniacal atteint son maximum peu de temps après l'addition de l'urée au sol et il se produit un lessivage intensif des substances humiques de l'humus.

7. L'addition de calcium en même temps que celle de l'urée qui, in vitro, limite la solubilisation de la matière organique, pourrait jouer le même rôle in situ.
8. L'urée s'est rapidement transformée en ammonium disponible pour les microorganismes et les plantes. Les microorganismes l'ont abondamment utilisée et transformée en azote organique alors que les plantes l'ont peu utilisée.

TRAVAIL FUTUR A COURT TERME (1971)

Durant le cours de l'année 1971, soit trois ans après la fertilisation, on se propose d'évaluer les effets de cette fertilisation sur: la croissance en diamètre, le volume total et marchand, et l'évolution de la structure des peuplements; les différentes strates de la végétation du sous-bois, incluant la régénération, et le contenu de l'humus et l'absorption des arbres en éléments nutritifs; l'évaluation des conditions pathologiques des arbres; l'évolution des formes azotées de l'humus du milieu; du rôle du calcium sur des blocs vivants de l'humus des milieux étudiés; et sur le bilan de l'azote ajouté sous forme d'urée.