

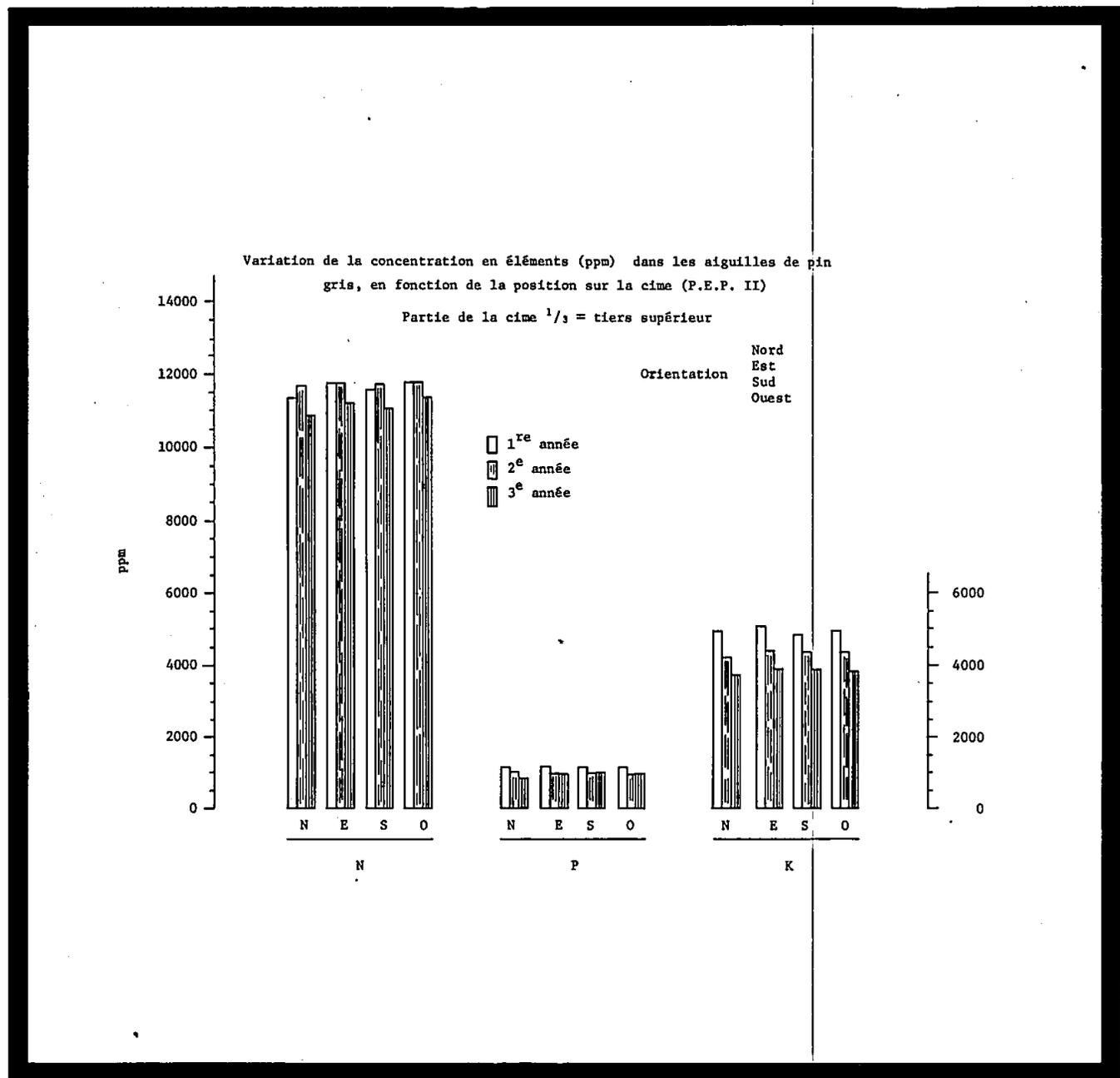


MÉMOIRE N°43

LES CONDITIONS DE FERTILITÉ DES SOLS DE LA PINÈDE GRISE RELATIONS ENTRE LA CONCENTRATION EN ÉLÉMENTS DU FEUILLAGE ET LA CROISSANCE DES ARBRES

par Gilles Sheedy

O.D.C. 114.521.5 + 232.322.41 (047.3) (714) L.C. SD 408 .F59



GILLES SHEEDY a fait ses études à la faculté de Foresterie et de Géodésie de l'université Laval où il obtenait son baccalauréat en foresterie en 1969. Il est depuis lors à l'emploi du Service de la recherche du ministère des Terres et Forêts, à titre de chargé de recherche en fertilité et fertilisation des forêts. L'université Laval lui a décerné en 1976 le diplôme de Maître ès sciences forestières.

LES CONDITIONS DE FERTILITE DES SOLS DE
LA PINEDE GRISE: RELATIONS ENTRE LA CONCENTRATION EN
ELEMENTS DU FEUILLAGE ET LA CROISSANCE DES ARBRES

par

GILLES SHEEDY

MEMOIRE N^O 43

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

1978

ERRATA

- p. 28 tabl. 11 (7e col., av.-dern. ligne) 1841 et non 1941
- p. 35 tabl. 16 (1re col., 4e ligne) B_{fh} et non B_{fn}
- p. 49 tabl. A-1 (4e col., 2e ligne) 40

Dépôt légal

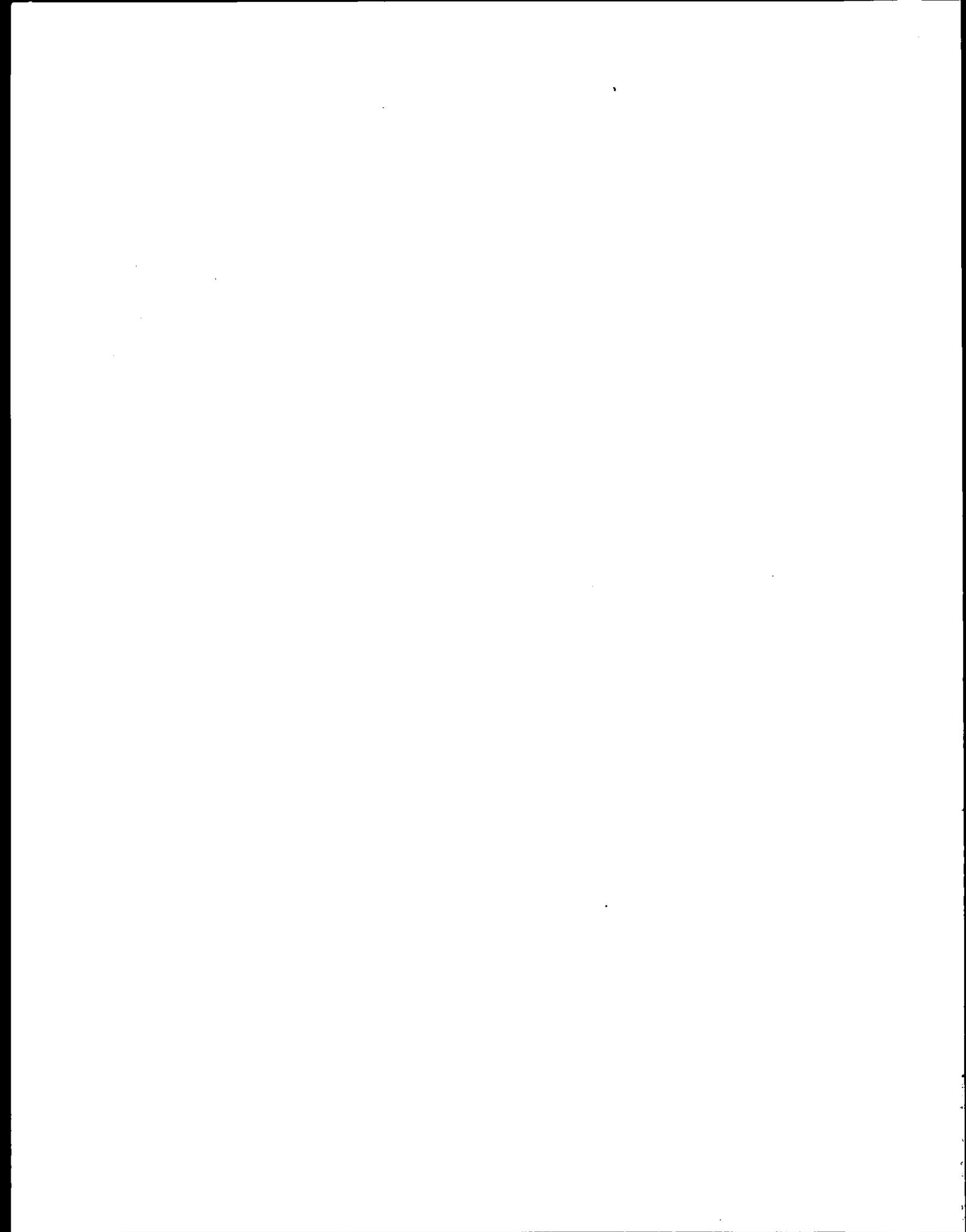
Bibliothèque nationale du Québec

AVANT-PROPOS

Ce projet a été entrepris, en 1967, sous l'égide de monsieur Laurent Marois. L'étude portait sur l'ensemble des peuplements de pin gris du Québec dans son aire de distribution naturelle et avait pour but d'étudier le statut nutritif des peuplements et les relations qui existent entre les teneurs en éléments des aiguilles et les diverses caractéristiques de croissance.

Le présent rapport a été rédigé en 1974 et ne couvre qu'une partie de ce projet. Il se limite, en effet, à la présentation des résultats pour les peuplements de 30 ans à l'époque (ils en ont plus de 40 aujourd'hui) en Mauricie. Les résultats concernant les autres peuplements étudiés (50 ans, 70 ans, 90 ans) dans les régions de la Mauricie, de Chibougamau et du Lac-St-Jean, seront éventuellement présentés dans un autre rapport.

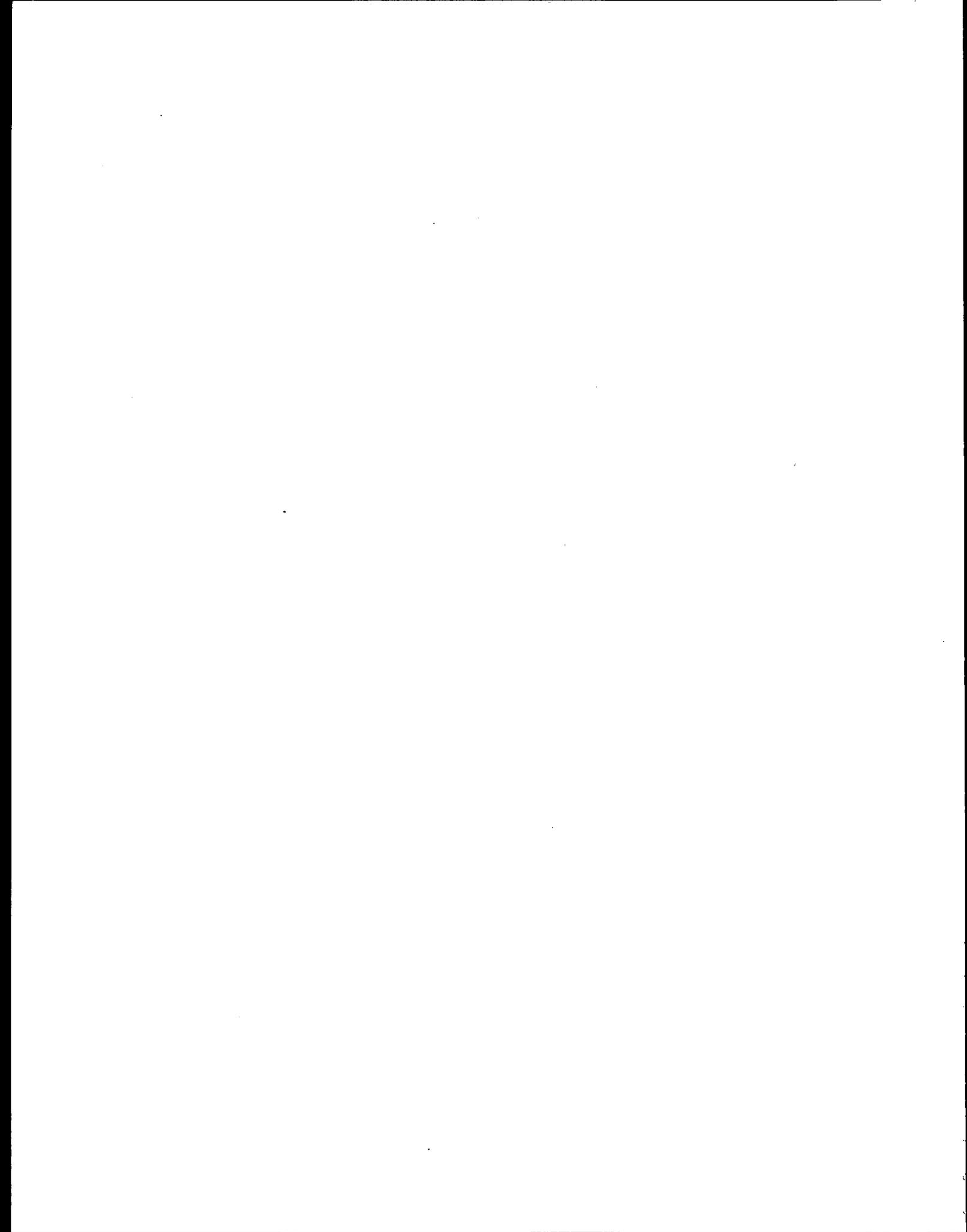
Toutes les données de base de l'inventaire ainsi que les cartes des peuplements ont été fournies par la division de la Mauricie de la compagnie *Concolidated-Bathurst*.



REMERCIEMENTS

C'est monsieur Laurent Marois qui a entrepris ce projet en 1967 et tout le travail de terrain (établissement des placettes, échantillonnage et mesurage des arbres, etc.), de même qu'une partie des travaux de laboratoire et des compilations, ont été effectués sous sa responsabilité. Nous le remercions sincèrement de nous avoir confié les dossiers de ce projet.

Nous remercions également tous ceux qui ont participé au mesurage, à l'échantillonnage, aux analyses chimiques des échantillons, aux compilations des résultats et aux analyses statistiques, de même que ceux qui ont bien voulu lire le manuscrit et participer à la correction.

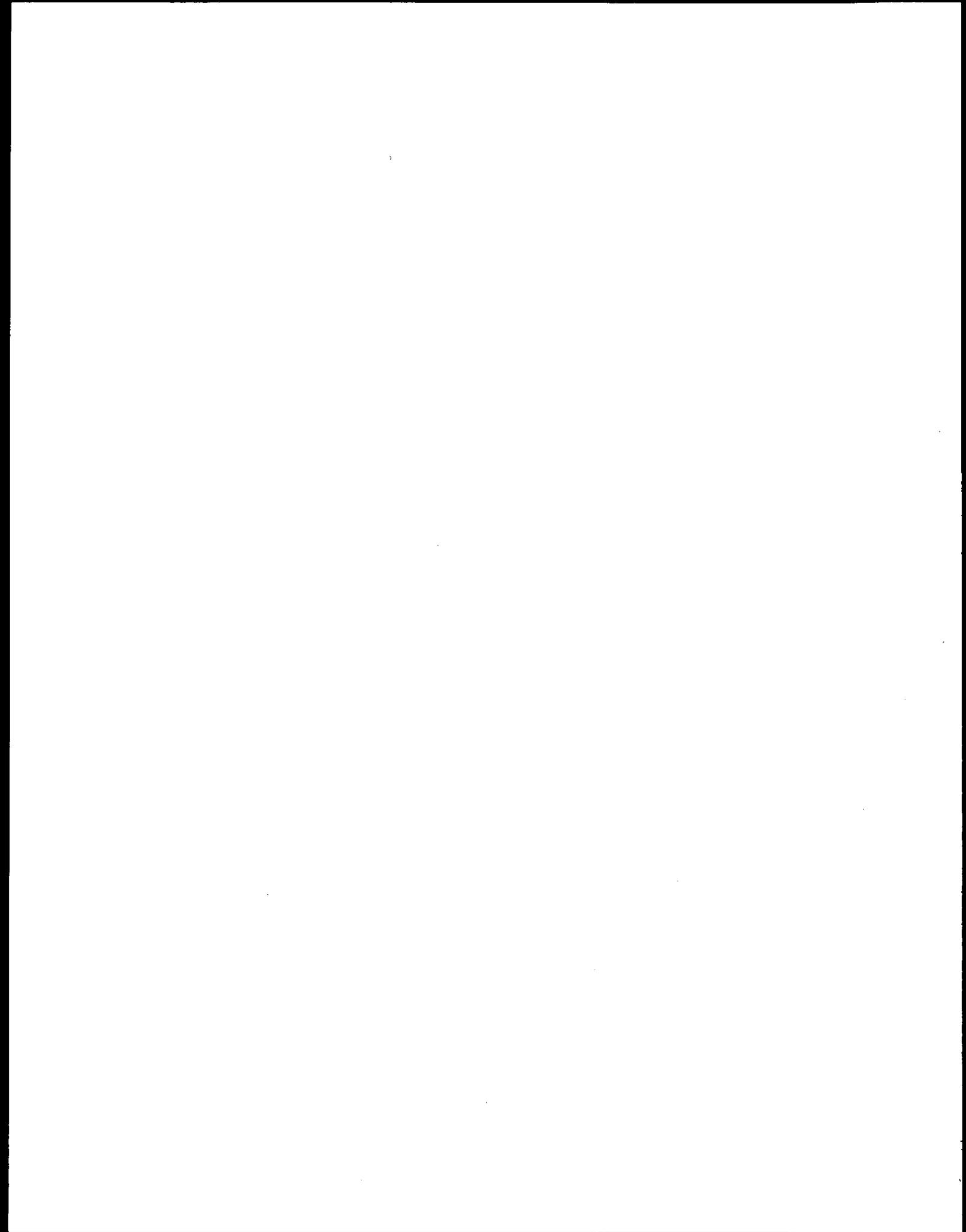


RESUME

Cette étude porte principalement sur 15 peuplements de pin gris maintenant âgés de 40 ans et dans lesquels on a étudié les variations des teneurs en éléments dans les aiguilles en fonction de la date d'échantillonnage, de la position sur la cime, de l'orientation sur la cime, de l'âge des aiguilles et de la qualité de station de ces peuplements. Cette étude porte aussi sur la recherche de relations entre les teneurs en éléments dans les aiguilles du pin gris et les caractéristiques dendrométriques des peuplements étudiés.

Les résultats montrent que les teneurs en éléments dans les aiguilles du pin gris varient selon la date d'échantillonnage, le niveau de prélèvement sur la cime, l'âge des aiguilles et la qualité de station des peuplements. Dans l'ensemble, les teneurs en éléments dans les aiguilles sont faibles et il existe des relations significatives entre les concentrations en éléments des aiguilles et certains des indices de croissance utilisés.

Ces constatations nous indiquent que le régime nutritif de ces peuplements pourrait être amélioré par une fertilisation appropriée en P, K, Mg et surtout en azote. D'autre part, il semble qu'on devrait fertiliser ces peuplements vers l'âge de 30 à 40 ans.



ABSTRACT

This study is primarily concerned with fifteen 40-year-old jack pine stands, where variations in chemical element concentrations in the needles were studied in relation with sampling date, position and orientation on the crown, age of the needles and stand quality: it is also concerned with relations between chemical element concentrations in jack pine needles and measurement characters of the stands.

Results show that concentrations vary with sampling dates, height of sampling on the crown, age of the needles and stand quality. On the whole, element concentrations are low and there are significant relations between concentrations and some of the growth indices used in the study.

These findings show that the nutritional regime of those stands could be improved by an adequate P, K, Mg and, especially, nitrogen fertilization. On the other hand, it seems that those stands should be fertilized around the ages of 30 to 40 years.

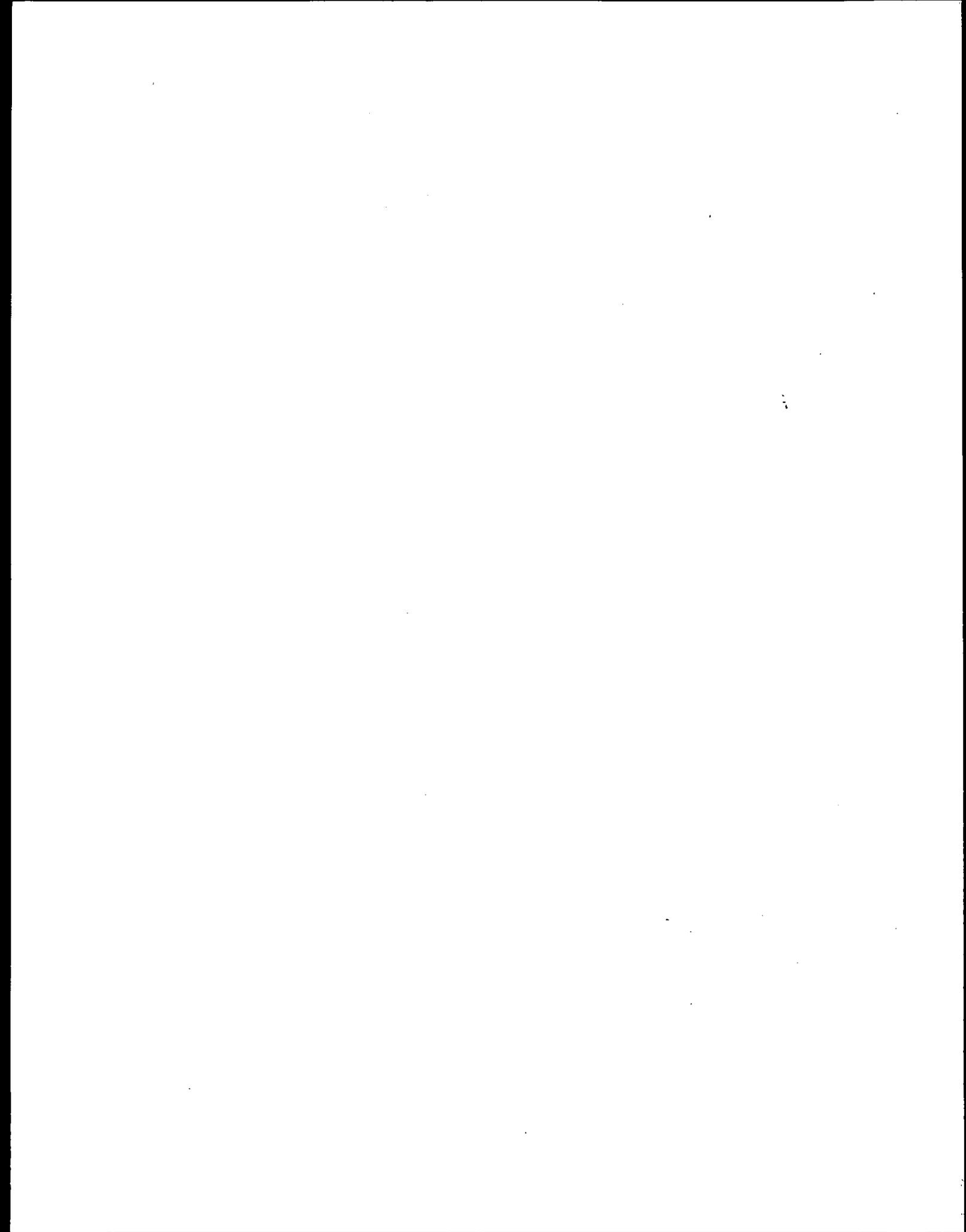


TABLE DES MATIERES

	page
AVANT-PROPOS	iii
RÉMERCIEMENTS	v
RESUME	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
TABLE DES MATIERES	xi
LISTE DES TABLEAUX	xiii
LISTE DES FIGURES	xvii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I - MATERIEL ET METHODES	3
1.1 Localisation et description générale des peuplements	3
1.2 Etudes dendrométriques et échantillonnage des aiguilles et du sol	6
1.3 Analyses du feuillage et du sol	7
1.4 Analyses statistiques	7
CHAPITRE II - RESULTATS	9
2.1 Variation selon la date d'échantillonnage	9
2.2 Variation selon le niveau de prélèvement	15
2.3 Variation selon l'âge des aiguilles	22
2.4 Calcul d'intensité d'échantillonnage	25
2.5 Relations entre la teneur en éléments minéraux et la croissance du pin gris	26
2.6 Analyses de sol	33

	page
DISCUSSION ET CONCLUSION	41
APPENDICE A	47
A-1 Caractéristiques dendrométriques	47
A-2 Caractéristiques du sol	47
A-3 Résultats des analyses foliaires par placette en fonction de la position, de l'orientation sur la cime et de l'âge des aiguilles	47
APPENDICE B	57
B-1 Caractéristiques dendrométriques par placette	57
B-2 Résultats des analyses foliaires par placette	57

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU		page
1	Valeurs de F dans l'analyse des variations de concentration en éléments attribuables à la date d'échantillonnage	10
2	Concentration en N, P et K (p. 100) dans les aiguilles de pin gris selon le niveau de prélèvement sur la cime et l'âge des aiguilles, dans deux placettes d'échantillonnage	16
3	Valeurs de F dans l'analyse des variations de la concentration en éléments attribuables à l'âge des aiguilles, au niveau d'échantillonnage et à l'orientation sur la cime	17
4	Concentration en N, P et K (p. 100) dans les aiguilles de pin gris selon l'orientation sur la cime et l'âge des aiguilles dans deux placettes	19
5	Contenu en N, P et K (mg/100 aiguilles) dans les aiguilles de pin gris selon le niveau de prélèvement sur la cime et l'âge des aiguilles, dans deux placettes	20
6	Masse de tissus anhydres (mg/100 aiguilles) dans les aiguilles de pin gris selon l'orientation, le niveau de prélèvement sur la cime et l'âge des aiguilles, dans deux placettes	21
7	Concentration moyenne en N, P, K, Mg et Ca (p. 100) dans les aiguilles de pin gris selon la qualité de station et l'âge des aiguilles, et valeur de F dans les analyses de variation entre les stations	23

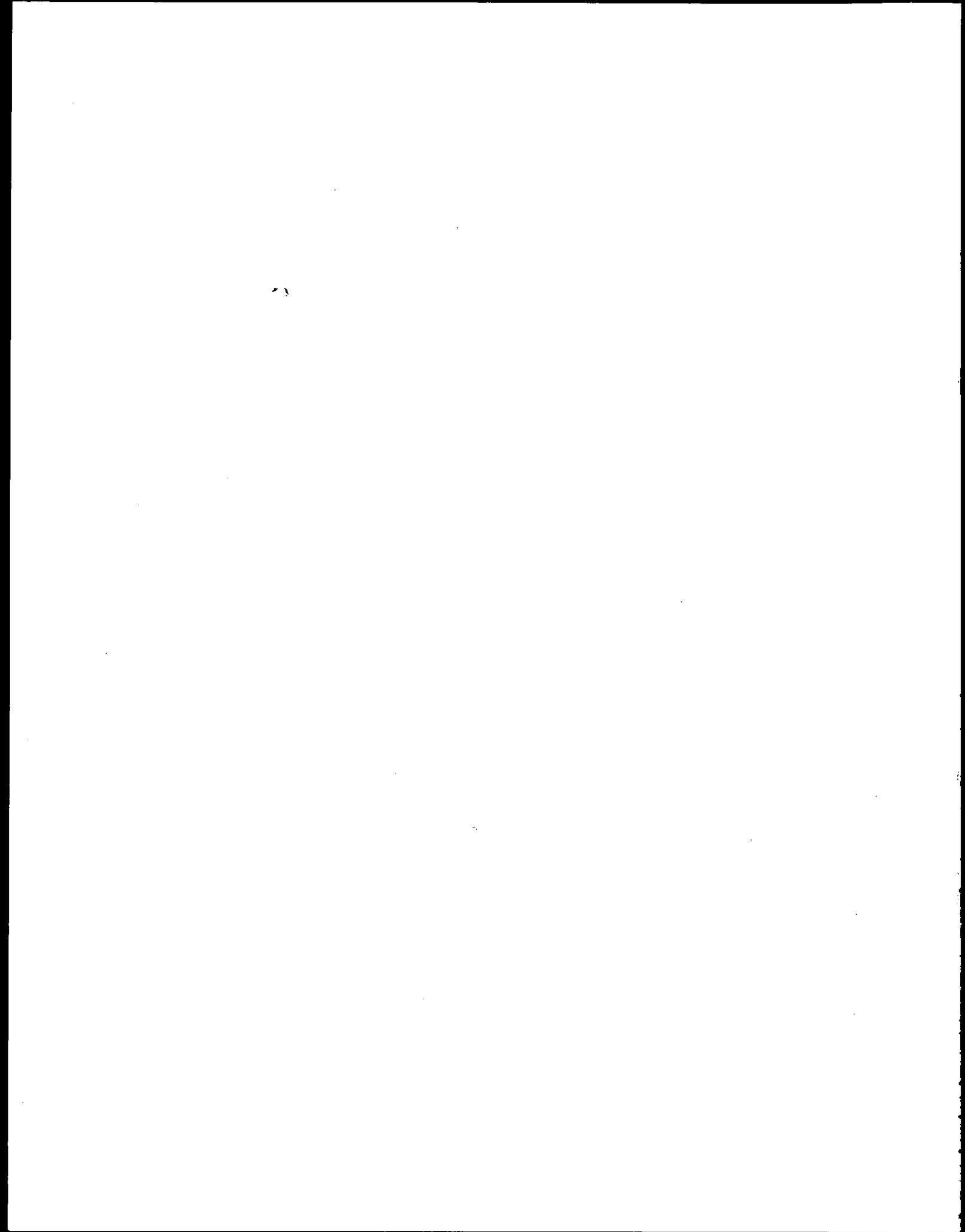
TABLEAU

page

8	Contenu moyen en N, P, K, Ca et Mg (mg/100 aiguilles) dans les aiguilles de pin gris selon la qualité de station et l'âge des aiguilles	24
9	Masse de tissus anhydres (mg/100 aiguilles) selon l'âge des aiguilles de pin gris	25
10	Nombre d'échantillons requis pour qu'un écart de 10, 15 ou 20 p. 100 entre deux moyennes soit significatif au seuil de probabilité de 0,05	27
11	Quelques caractéristiques dendrométriques des peuplements étudiés	28
12	Coefficient de corrélation linéaire (r) entre la teneur en éléments des aiguilles d'un an de pin gris et quelques données de croissance	31
13	Coefficient de corrélation linéaire (r) entre les teneurs en éléments des aiguilles de deux ans du pin gris et certains indices de croissance de cette essence	32
14	Coefficient de corrélation linéaire (r) entre les teneurs en éléments des aiguilles d'un an du pin gris	34
15	Coefficient de corrélation linéaire (r) entre des indices de croissance étudiés	34
16	Résultats des analyses de sol, station I	35
17	Résultats des analyses de sol, station II-b	36
18	Résultats des analyses de sol, station II-c	37
19	Résultats des analyses de sol, station III	38
20	Coefficients de corrélation linéaire (r) entre la teneur en éléments des aiguilles de pin gris et celle du sol, pour les horizons H et B	39
A-1	Caractéristiques dendrométriques des deux placettes étudiées	49
A-2	Croissance en diamètre et en volume, par décennie	49
A-3	Résultats des analyses de sol (PEP 1)	52

TABLEAU

		page
A-4	Résultats des analyses de sol (PEP 2)	52
B-1	Caractéristiques dendrométriques par placette	59



LISTE DES FIGURES

FIGURE		page
1	Localisation des peuplements	4
2	Variation de la teneur en N dans les aiguilles de pin gris en fonction de la date d'échantillon- nage	11
3	Variation de la teneur en P dans les aiguilles de pin gris en fonction de la date d'échantillon- nage	12
4	Variation de la teneur en K dans les aiguilles de pin gris en fonction de la date d'échantillon- nage	13
5	Variation de la concentration en N, P et K (ppm) dans les aiguilles de pin gris au cours de la période d'échantillonnage automnal	14
6	Courbes diamètre - hauteur	29
A-1	Relation entre la hauteur et le diamètre selon la qualité de station pour un peuplement de pin gris âgé de 40 ans	49
A-2	Relation entre la hauteur et le diamètre des épinettes noires dans un peuplement de pin gris âgé de 40 ans	49
A-3	Variation de la concentration en N, P et K (ppm) dans les aiguilles de pin gris de 1, 2 et 3 ans en fonction de la position sur la cime (PEP 1)	53
A-4	Variation de la concentration en éléments (ppm) dans les aiguilles de pin gris de 1, 2 et 3 ans en fonction de la position sur la cime (PEP 2)	54

FIGURE

page

A-5	Variation de la concentration en éléments (ppm) dans les aiguilles de pin gris en fonction de l'orientation sur la cime (PEP 1)	55
A-6	Variation de la concentration en éléments (ppm) dans les aiguilles de pin gris en fonction de la position sur la cime (PEP 2)	56
B-1	Hauteur totale/âge économique et quinquanion, par P.E.P., de 6 arbres et de l'ensemble des 15 P.E.P	60
B-2	Hauteur totale, par P.E.P., de 6 arbres et de l'ensemble des 15 P.E.P.	61
B-3	Age réel et âge économique, par P.E.P., de 6 arbres et de l'ensemble des 15 P.E.P.	62
B-4	Diamètre et surface terrière, par P.E.P., de 6 arbres et de l'ensemble des 15 P.E.P.	63
B-5	Accroissement annuel courant en hauteur et accroissement annuel moyen des 5 dernières années, par P.E.P., de 6 arbres et de l'ensemble des 15 P.E.P.	64
B-6	Concentration en N (p. 100) dans les aiguilles de pin gris de chacune des 15 P.E.P. étudiées	65
B-7	Concentration en P (ppm) dans les aiguilles de pin gris de chacune des 15 P.E.P. étudiées	66
B-8	Concentration en K (ppm) dans les aiguilles de pin gris de chacune des 15 P.E.P. étudiées	67
B-9	Concentration en Mg (ppm) dans les aiguilles de pin gris de chacune des 15 P.E.P. étudiées	68
B-10	Concentration en Ca (ppm) dans les aiguilles de pin gris de chacune des 15 P.E.P. étudiées	69
B-11	Nombre d'aiguilles par gramme chez le pin gris pour chacune des 15 P.E.P. étudiées	70

INTRODUCTION

Avec le développement de méthodes telles que la fertilisation des forêts naturelles, il est nécessaire d'augmenter nos connaissances sur la nutrition minérale de nos essences forestières dans leur milieu naturel. En effet, la production et l'état de santé d'un peuplement forestier dépendent, entre autres facteurs, de la nutrition minérale des arbres. Il est donc essentiel de bien connaître la façon dont cette nutrition s'effectue; l'on pourra ainsi éventuellement la corriger, par fertilisation, de la façon la plus judicieuse et obtenir la croissance (donc la production) maximale autorisée par les autres conditions de la station.

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer les conditions de fertilité du sol et le statut nutritif des arbres. Une des méthodes les plus employées est l'analyse foliaire. Cette méthode permet de mettre en évidence des carences importantes en éléments nutritifs et parfois, des anomalies physiologiques dans l'utilisation de ces éléments. En vue de prévoir une fertilisation appropriée, il est en général nécessaire de lui adjoindre d'autres techniques, telles que l'analyse des sols et l'expérimentation. L'analyse foliaire permet de déterminer les modalités de ces essais et de contrôler leurs résultats.

L'analyse foliaire peut aussi être utilisée pour étudier l'influence de divers facteurs sur la nutrition d'un peuplement, pour comparer les besoins nutritifs de différentes espèces et, parfois, comme critère de classement des stations. Ainsi, Gagnon (3) a établi que l'indice de qualité de station d'un peuplement d'épinette noire était fortement lié à la concentration en azote. En général, on exprime la teneur en éléments dans les feuilles par un pourcentage, car il a été établi que le pourcentage est un indice de la nutrition et que la croissance lui est liée.

Le but de ce travail est d'étudier les variations de la concentration des éléments en fonction de l'orientation sur la cime, du niveau de prélèvement sur la cime et de la date d'échantillonnage et de déterminer les relations qui existent entre la teneur en éléments du feuillage et la croissance des arbres.

Au Québec, le pin gris occupe le troisième rang au point de vue ressource et récolte de bois et il est reconnu comme l'une des essences les plus productives. Cette essence pionnière se rencontre surtout sur les sols sablonneux et grossiers d'origine fluvio-glaciaire; c'est une essence à croissance rapide dont le bois possède des propriétés mécaniques appréciables (une densité supérieure à celle du sapin et de l'épinette et un rendement en pâte plus élevé). On utilise de plus en plus le pin gris, tant pour le sciage que pour la pâte.

Il nous intéresse principalement de mettre à profit les renseignements apportés par cette étude dans la planification d'éventuels programmes de fertilisation des forêts de pin gris.

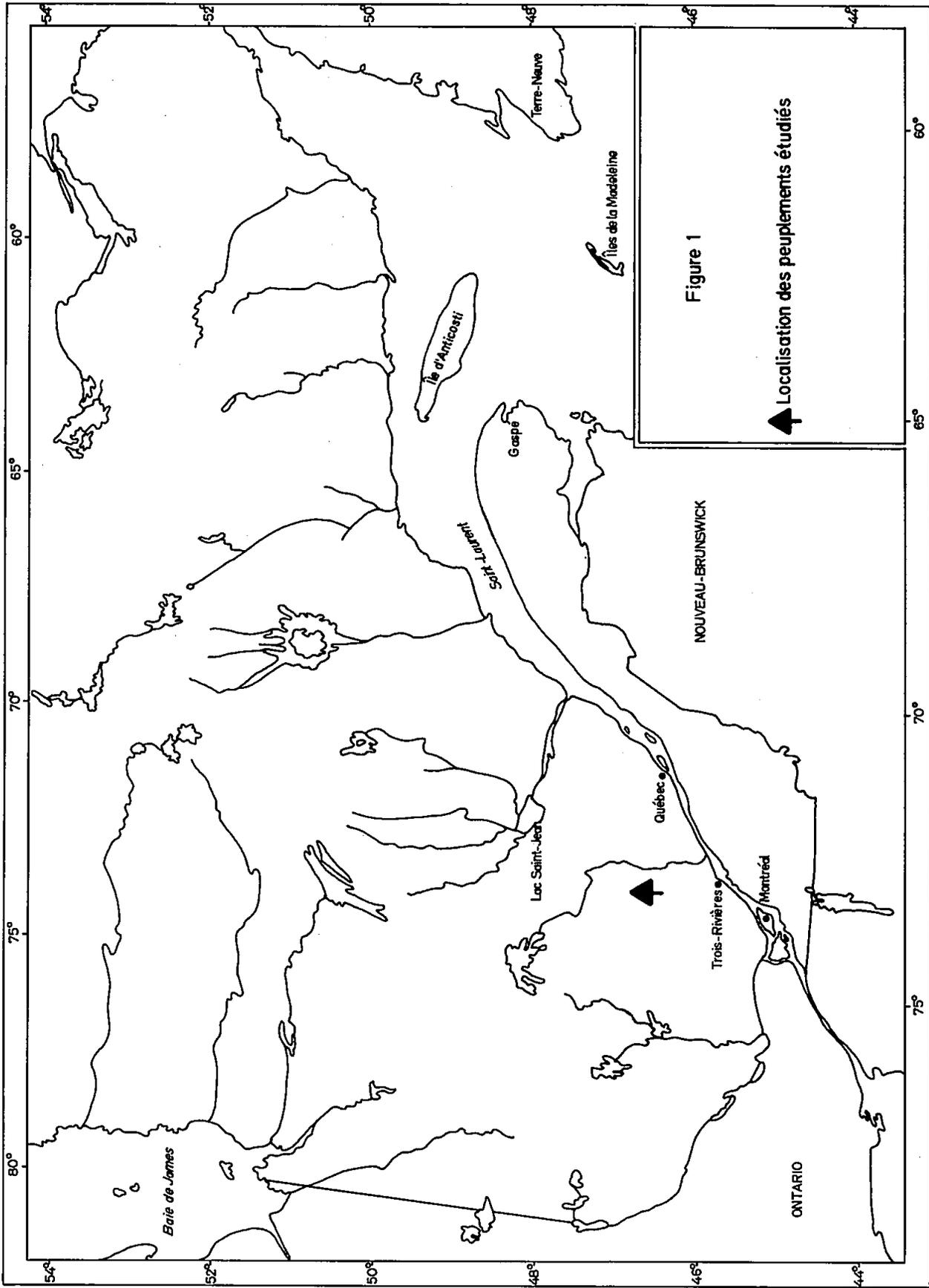
CHAPITRE I

MATERIEL ET METHODES

1.1 LOCALISATION ET DESCRIPTION GENERALE DES PEUPELEMENTS

Les peuplements choisis pour cette étude sont situés dans le bassin de la rivière à la Chienne à quelque 160 km (par voie terrestre) au nord-ouest de la ville de Trois-Rivières (fig. 1). Les travaux ont été réalisés dans la concession forestière de la compagnie Consolidated-Bathurst, unité d'aménagement de la basse Mattawin, dans la région de la forêt boréale, section Missinaibi-Cabonga (B-7) de Rowe (11), entre $73^{\circ} 24'$ et $73^{\circ} 30'$ de longitude ouest et entre $47^{\circ} 00'$ et $47^{\circ} 03'$ de latitude nord, dans le comté de Laviolette. Les peuplements étudiés occupent une superficie de 23 km^2 . L'altitude est d'environ 470 m au-dessus du niveau de la mer.

Dans cette région, la température moyenne annuelle est de $2,9^{\circ}\text{C}$; les valeurs moyennes mensuelles minimales et maximales sont atteintes en janvier (-13°C) et en juillet ($17,6^{\circ}\text{C}$). La période sans



gel est d'environ 100 jours. La précipitation annuelle moyenne est de 864 mm, dont environ 267 mm sont distribués durant la saison de croissance (2, 4, 13).

Le sol qui supporte ces peuplements est formé de dépôts de plus de 3 m d'épaisseur de sable d'origine fluvio-glaciaire. La prédominance d'une végétation de conifères et le climat de la région ont provoqué le développement de sols appartenant au grand groupe des podzols (9). Les sols typiques des peuplements de pin gris sont bien drainés et ont un humus mince du type mor et un horizon éluvié (Ae) bien développé. On retrouve parfois dans ces sols une zone solidifiée (alios) dans l'horizon B.

Les peuplements étudiés sont caractérisés par une couverture arborescente composée presque exclusivement de pin gris; une certaine proportion d'épinette noire forme le sous-étage. Ces peuplements sont postérieurs à des feux et ont environ 40 ans. En général, ils sont de qualité de station II et III et de densité variable (10). Dans ces peuplements, le sol est couvert d'un tapis de *Cladonia*, de *Kalmia*, de *Vaccinium* et de *Ledum*. D'autres peuplements de pin gris, de meilleure qualité de station (I ou II), comprennent, en plus du pin gris, une certaine proportion de bouleau à papier et de peuplier faux-tremble. Leur tapis végétal est constitué principalement de *Cornus*, de *Maianthemum*, de *Kalmia* et de *Vaccinium*. Ces peuplements sont souvent établis sur les versants des pentes, sur des sols plus riches et moins grossiers.

1.2 ETUDES DENDROMETRIQUES ET ECHANTILLONNAGE DES AIGUILLES ET DU SOL

Les études dendrométriques et l'échantillonnage des aiguilles ont été réalisés du 8 au 15 octobre 1968 dans 15 placettes d'une superficie de 0,08 ha chacune. Six arbres par place d'étude (dominants et co-dominants) ont été choisis pour des recherches sur l'âge total et l'âge économique, le diamètre à hauteur de poitrine (d.h.p.), la hauteur totale, l'accroissement annuel en hauteur, l'accroissement annuel courant, l'accroissement annuel moyen des cinq dernières années, le quinquanion¹, le diamètre à des positions variables permettant de déterminer le volume, l'indice de qualité de station, la surface terrière, la structure du peuplement et la densité du peuplement.

L'échantillonnage foliaire a porté sur les mêmes arbres; les aiguilles de 1 ou 2 et 3 ans du tiers supérieur de la cime ont été échantillonnées. Toutefois, dans deux autres placettes, les aiguilles ont été échantillonnées sur dix arbres à trois niveaux différents sur la cime (1/3 supérieur, 1/3 médian, 1/3 inférieur), selon quatre orientations différentes (nord, sud, est et ouest) et trois âges (1, 2 et 3). Dans une de ces placettes, les aiguilles ont été échantillonnées sur cinq arbres durant une période de deux mois à intervalle de 15 jours (du 7 septembre au 31 octobre 1967), un an avant l'échantillonnage de 15 placettes.

L'échantillonnage du sol a été effectué dans chacune des placettes étudiées.

¹ Le quinquanion est la longueur totale des cinq entrenœuds au-dessus du d.h.p.

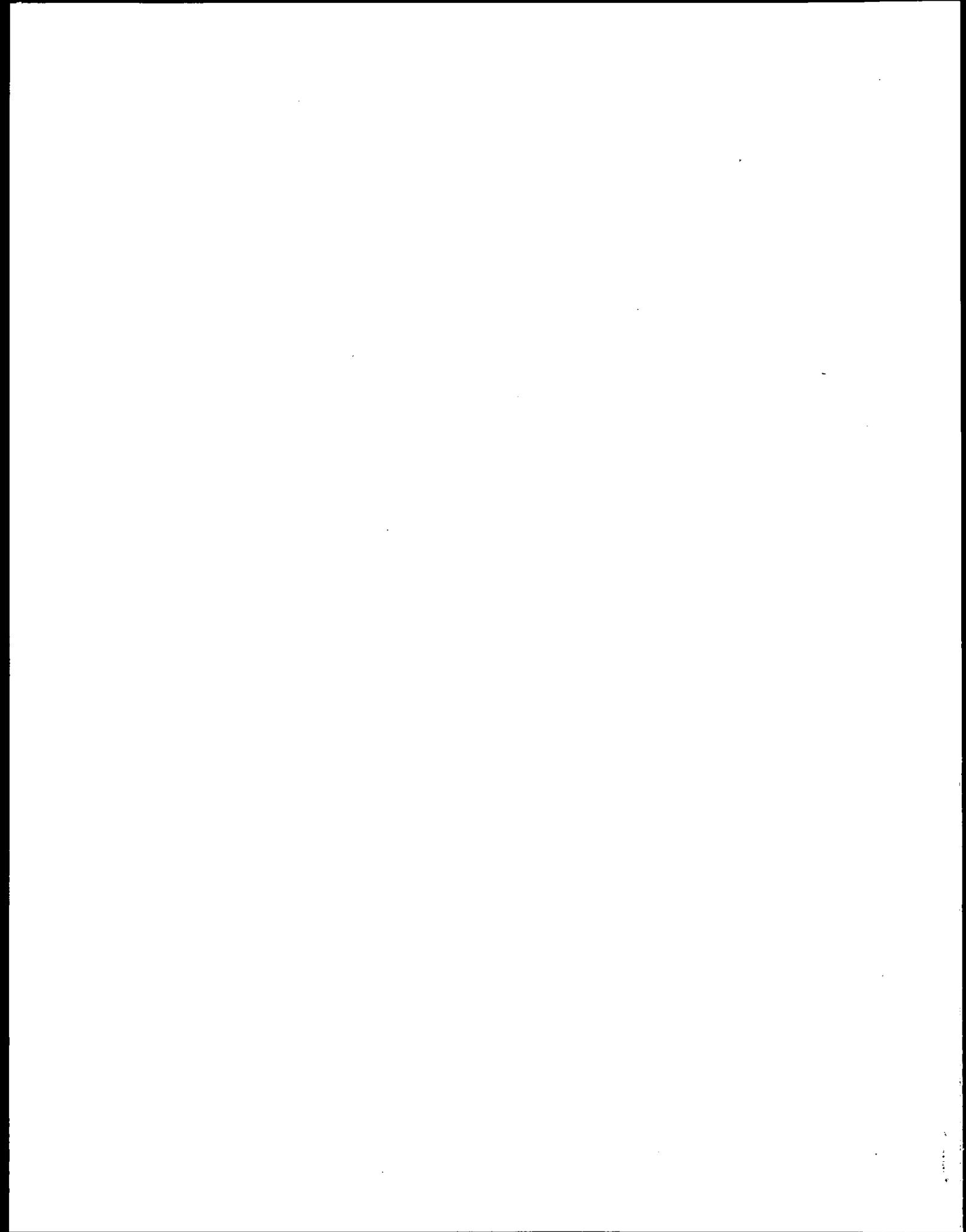
1.3 ANALYSE DU FEUILLAGE ET DU SOL

Les échantillons foliaires ont été analysés pour les éléments N, P, K, Mg et Ca selon les méthodes utilisées au laboratoire du Service de la recherche (7). Les échantillons ont été séchés pendant 24 heures, pesés et broyés à 20 mailles. L'azote total a été déterminé par la méthode micro-Kjeldahl, le phosphore total par colorimétrie et les cations K, Mg et Ca, par spectrophotométrie d'émission (absorption atomique).

Les échantillons du sol ont été séchés à l'air libre puis tamisés et broyés. L'azote total a été déterminé par la méthode micro-Kjeldahl, le fer échangeable et le phosphore disponible par colorimétrie, le fer libre, l'aluminium, le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium et le manganèse, par spectrophotométrie d'absorption atomique. Le carbone organique a été déterminé par oxydation humide.

1.4 ANALYSES STATISTIQUES

Les analyses statistiques des résultats consistent en analyses de variance appropriées au problème de dépendance des données. Le test de Tukey est utilisé pour déterminer les différences significatives entre les moyennes au seuil de 0,05. En plus de ces analyses et comme complément, des corrélations linéaires ont été analysées entre les divers paramètres de croissance et les teneurs en éléments minéraux des arbres (5).



CHAPITRE II

RESULTATS

2.1 VARIATION SELON LA DATE D'ECHANTILLONNAGE

Les concentrations en N, P et K des aiguilles augmentent sensiblement du 7 au 21 septembre pour les trois âges et diminuent par la suite graduellement (fig. 2, 3 et 4). Les variations sont significatives pour les trois éléments considérés (tableau 1). L'analyse statistique appliquée à des paires d'échantillonnages consécutifs montre toutefois l'existence de périodes de stabilité de concentration. Cette analyse indique, par exemple, que les concentrations en éléments du 5 et du 31 octobre ne sont pas différentes statistiquement. Ainsi, les 15 placettes qui font l'objet de cette étude ont été échantillonnées durant une période de stabilité des concentrations puisque l'échantillonnage de ces parcelles s'est fait du 8 au 15 octobre. De même, les concentrations en éléments varient significativement avec l'âge des aiguilles (tableau 1 et fig. 5). Ainsi, les concentrations moyennes en P et K des aiguilles d'un an sont supérieures ou égales à celles des autres

années. La concentration en N, toutefois, est plus variable dans les aiguilles d'un an et de deux ans mais diminue dans les aiguilles de trois ans (fig. 5). La concentration en azote des aiguilles varie significativement d'un arbre à un autre.

Le contenu en éléments des aiguilles montre des variations semblables à celles observées pour les concentrations (fig. 2, 3 et 4).

Tableau 1

Valeurs de F dans l'analyse des variations de concentration en éléments attribuables à la date d'échantillonnage

Constituant	Elements		
	N	P	K
Date (D)	11,9**	10,1**	5,9**
Age des aiguilles (A)	8,5**	4,3*	114,8**
Interaction ($D \times A$)	2,1	0,7	0,8
Entre les arbres	4,3*	2,5	1,7

** Significatif au seuil 0,01

* Significatif au seuil 0,05

Figure 2

Variation de la teneur en N dans les aiguilles de pin gris
en fonction de la date d'échantillonnage
(moyenne de cinq arbres)

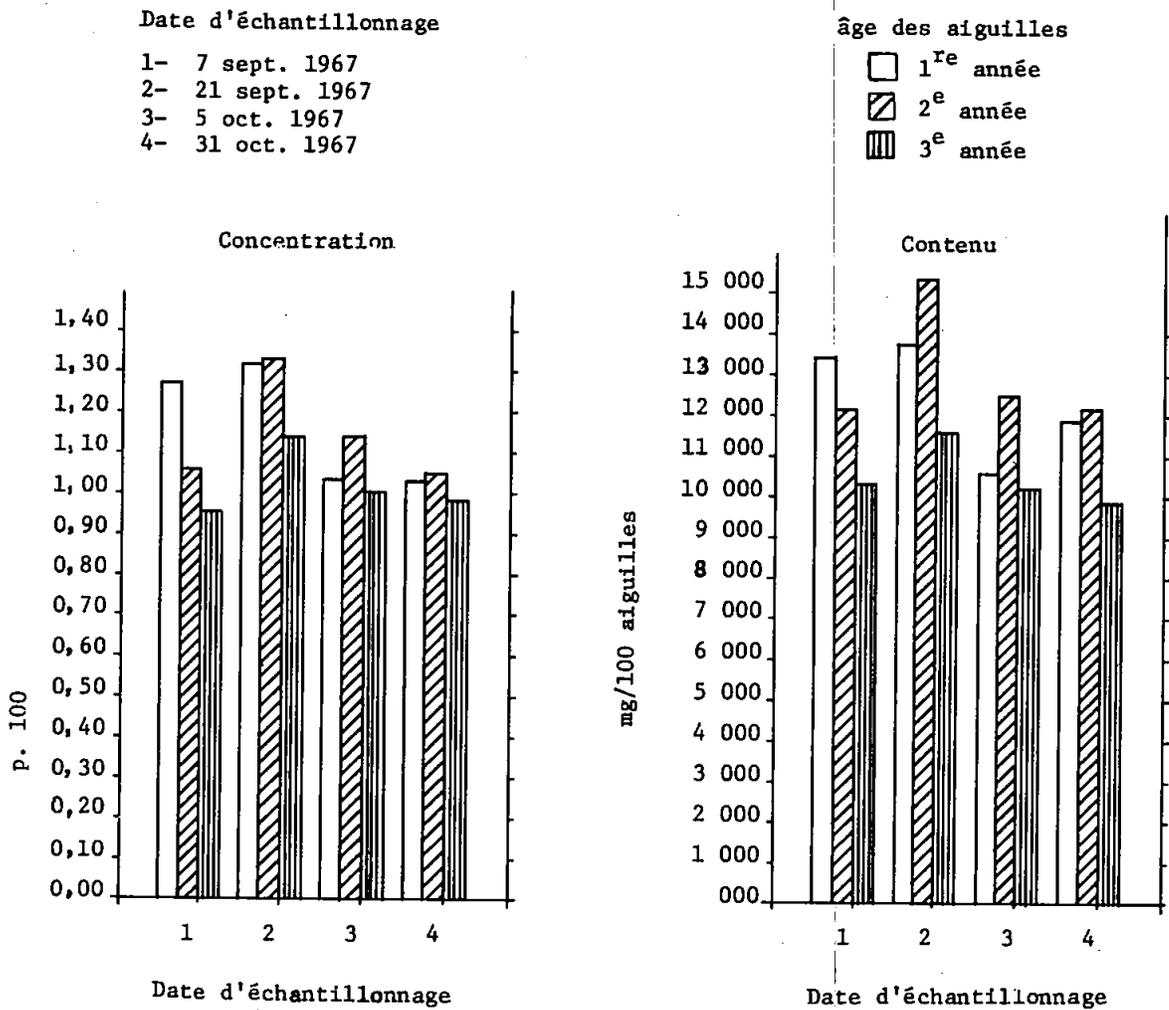


Figure 3

Variation de la teneur en P dans les aiguilles de pin gris
en fonction de la date d'échantillonnage
(moyenne de cinq arbres)

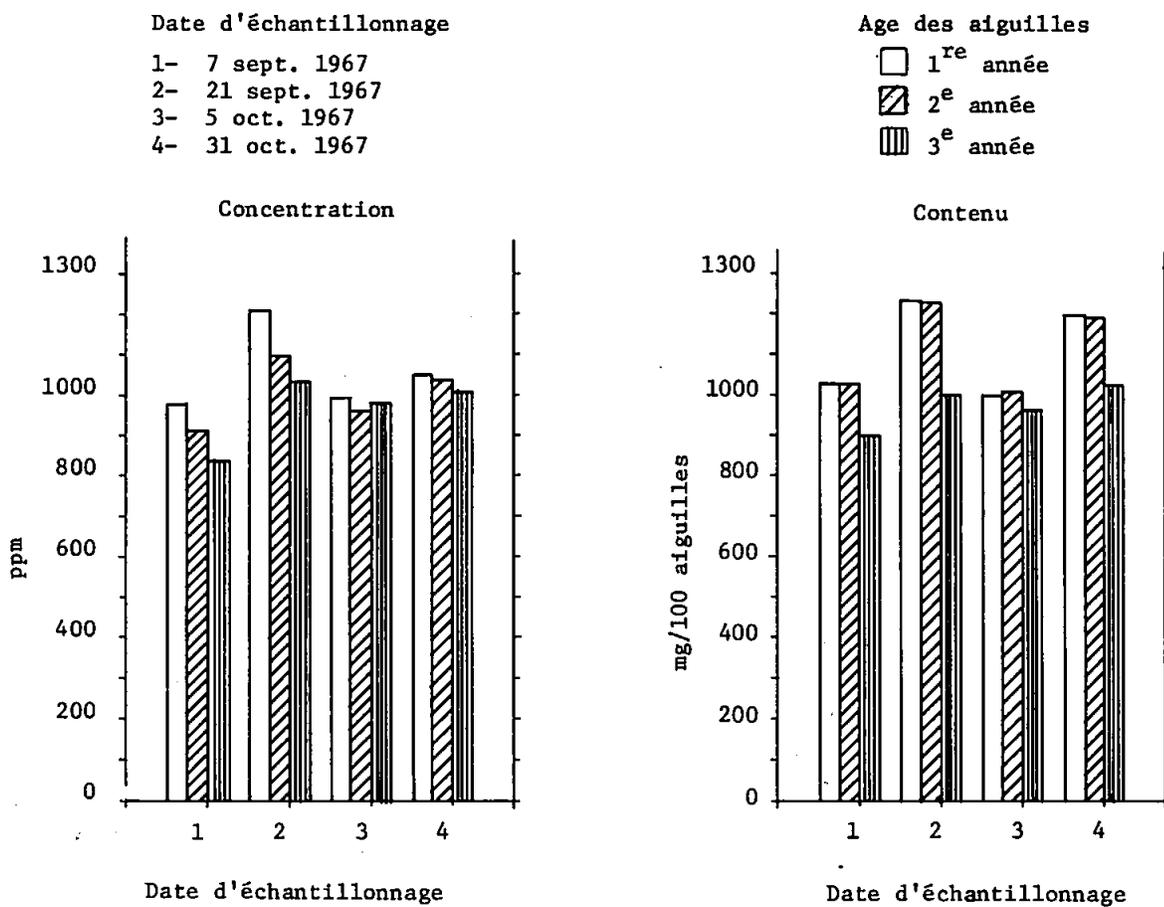


Figure 4

Variation de la teneur en K dans les aiguilles de pin gris
 en fonction de la date d'échantillonnage
 (moyenne de cinq arbres)

Date d'échantillonnage

- 1- 7 sept. 1967
- 2- 21 sept. 1967
- 3- 5 oct. 1967
- 4- 31 oct. 1967

âge des aiguilles

- 1^{re} année
- ▨ 2^e année
- ▩ 3^e année

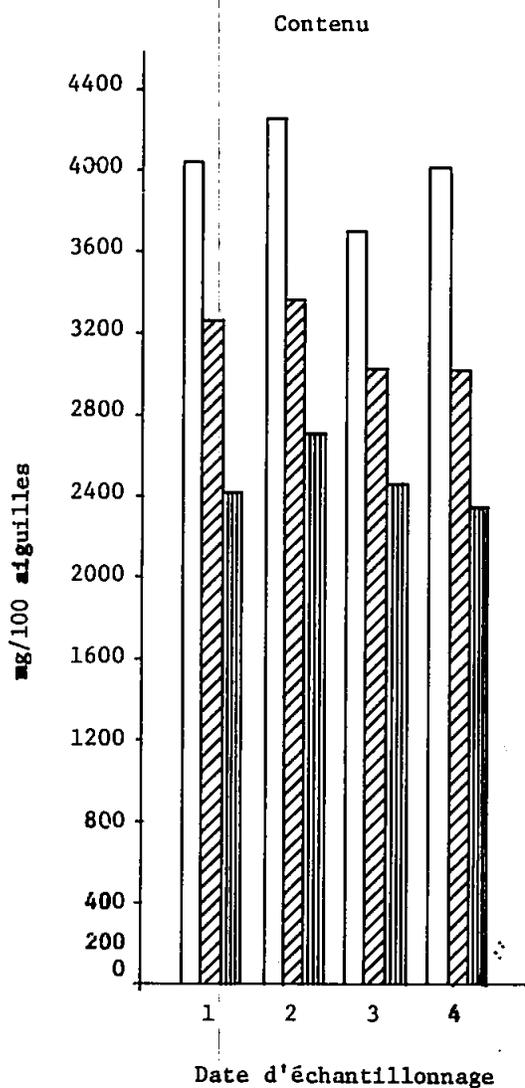
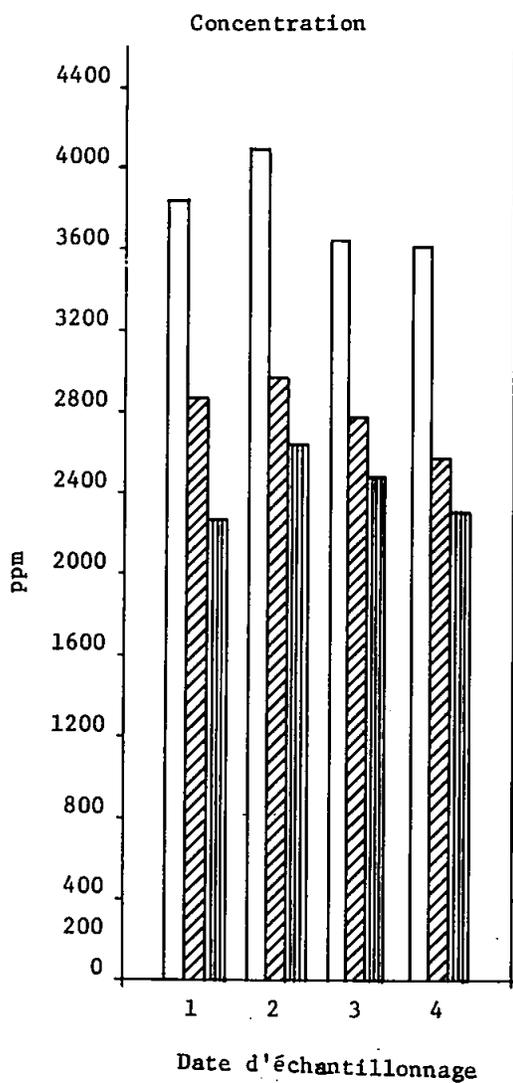
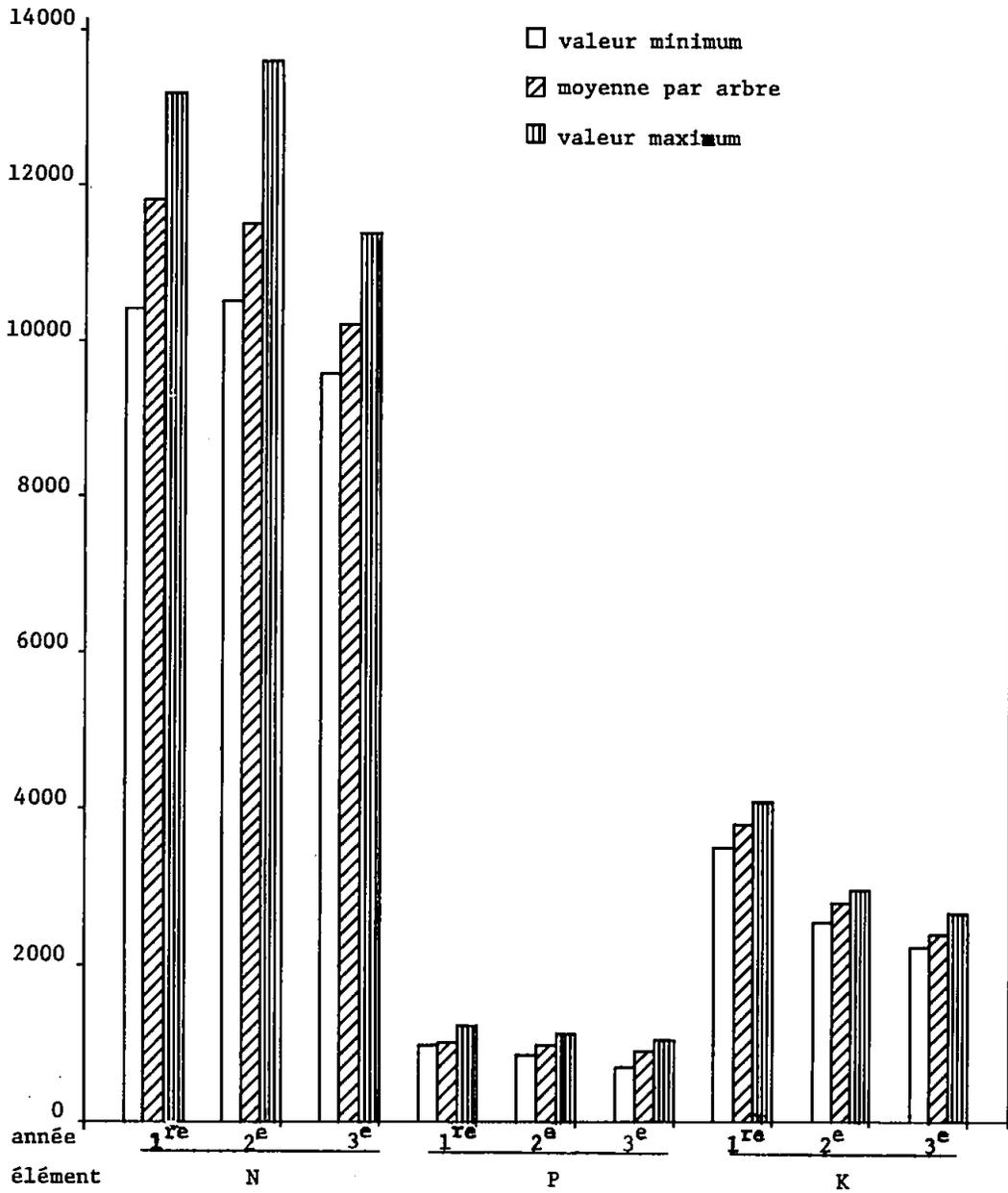


Figure 5

Variation de la concentration en N, P et K (ppm) dans les aiguilles de pin gris au cours de la période d'échantillonnage automnal



2.2 VARIATION SELON LE NIVEAU DE PRELEVEMENT ET L'ORIENTATION SUR LA CIME

Les caractéristiques dendrométriques des deux placettes qui ont été utilisées pour cette étude sont présentées à l'appendice A. La principale différence entre ces placettes réside dans le nombre de tiges et le volume par hectare (tableau A-1). On remarquera aussi que l'accroissement en volume et en diamètre est à son maximum pour la période de 11 à 20 ans et diminue graduellement par la suite (tableau A-2). Cette constatation indique que la période de 30 à 40 ans pourrait être la période la plus favorable à l'application des fertilisants pour stimuler la croissance de ces peuplements.

Les résultats des analyses de sol et des analyses des aiguilles de ces parcelles sont consignés aussi à l'appendice A (tableaux A-3 et A-4 et figures A-3 à A-6).

L'analyse du feuillage prélevé aux tiers supérieur, médian et inférieur de la cime des arbres de ces peuplements révèle une diminution générale des concentrations en P et en K des aiguilles du haut vers le bas de la cime alors que les concentrations en N des aiguilles du tiers supérieur de la cime sont en général inférieures ou égales à celles des autres niveaux. Toutefois, pour les aiguilles de deux ans, la concentration en N diminue du haut vers le bas comme pour les autres éléments étudiés (tableau 2 et appendice A).

L'analyse de variance montre d'ailleurs qu'il existe une différence entre les niveaux de prélèvement sur la cime pour les éléments P et K de chacune des parcelles (tableau 3). Cette analyse montre aussi

Tableau 2

Concentration en N, P et K (p. 100) dans les aiguilles de pin gris selon le niveau de prélèvement sur la cime et l'âge des aiguilles, dans deux placettes

Elément	Niveau de la cime	Age des aiguilles					
		1 an	2 ans	3 ans	1 an	2 ans	3 ans
N	sup.	1,11	1,14	1,05	1,16	1,19	1,10
	méd.	1,13	1,14	1,09	1,17	1,18	1,14
	inf.	1,12	1,13	1,08	1,16	1,15	1,10
P	sup.	0,12	0,11	0,10	0,12	0,11	0,10
	méd.	0,12	0,10	0,09	0,12	0,10	0,10
	inf.	0,11	0,09	0,09	0,11	0,10	0,09
K	sup.	0,58	0,45	0,37	0,51	0,45	0,39
	méd.	0,51	0,43	0,38	0,48	0,43	0,38
	inf.	0,50	0,41	0,37	0,45	0,39	0,36

Tableau 3

Valeurs de F dans l'analyse des variations de la concentration en éléments attribuables à l'âge des aiguilles, au niveau d'échantillonnage et à l'orientation sur la cime (deux placettes de 10 arbres chacune)

Placette	Élément	Valeur de F			
		Age	Niveaux	Orientation	Arbre
1	N	31,8**	1,7	0,5	21,7**
	P	228,1**	67,4**	1,7	8,8**
	K	153,4**	8,9**	1,2	19,8**
2	N	27,2**	2,4	1,9	84,3**
	P	202,9**	11,7**	2,0	60,8**
	K	55,7**	12,5**	1,1	14,0**
Entre les deux placettes		Valeurs de F			
		N	P	K	
		78,7**	5,5*	18,6**	

* indique une différence significative au seuil de 0,05

** indique une différence significative au seuil de 0,01

une variation significative selon l'âge des aiguilles pour les trois éléments. Il existe de plus une différence significative entre les concentrations en éléments des deux placettes étudiées.

D'autre part, les variations des concentrations en éléments (N, P, K) dans les aiguilles prises à des orientations différentes (nord, sud, est, ouest) ne sont pas significatives. Il existe cependant des variations importantes dans les concentrations en éléments des aiguilles provenant d'arbres différents.

Lorsque les résultats sont exprimés en contenu d'éléments (mg par 100 aiguilles), le sens des variations attribuables à la position et à l'orientation sur la cime est semblable pour les aiguilles de 1, 2 et 3 ans et pour les trois éléments considérés (tableau 5). En effet, la masse de tissus anhydres et le contenu en N, P et K des aiguilles diminuent du haut vers le bas de la cime (tableaux 5 et 6).

Cette étude montre que le choix d'une position définie sur la cime pour l'échantillonnage des tissus a une importance réelle.

A la suite de cette étude, nous avons choisi d'échantillonner les aiguilles du tiers supérieur de la cime dans les quinze placettes étudiées. Lowry et Oward (6) ont trouvé, d'ailleurs, de meilleures corrélations entre l'indice de site et la concentration en éléments des aiguilles provenant de ce niveau d'échantillonnage.

Cependant, lorsque les buts de l'échantillonnage ne sont pas la recherche de relations entre la croissance des arbres et la teneur en éléments des aiguilles, il devient plus avantageux

Tableau 4

Concentration en N, P et K (p. 100) dans les aiguilles
de pin gris selon l'orientation sur la cime et
l'âge des aiguilles dans deux placettes

Élément	Orientation sur la cime	Age des aiguilles					
		P.E.P. 1			P.E.P. 2		
		1 an	2 ans	3 ans	1 an	2 ans	3 ans
N	Nord	1,11	1,13	1,09	1,14	1,17	1,09
	Est	1,11	1,13	1,06	1,18	1,18	1,12
	Sud	1,13	1,13	1,07	1,16	1,17	1,11
	Ouest	1,13	1,15	1,07	1,18	1,18	1,14
P	Nord	0,12	0,10	0,09	0,12	0,10	0,09
	Est	0,11	0,10	0,09	0,12	0,10	0,10
	Sud	0,12	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10
	Ouest	0,12	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10
K	Nord	0,51	0,43	0,38	0,48	0,41	0,37
	Est	0,53	0,42	0,36	0,49	0,43	0,38
	Sud	0,53	0,42	0,39	0,47	0,42	0,38
	Ouest	0,54	0,44	0,38	0,49	0,43	0,39

Tableau 5

Contenu en N, P et K (mg/100 aiguilles) dans les aiguilles
de pin gris selon le niveau de prélèvement sur la cime
et l'âge des aiguilles dans deux placettes

Élément	Niveau de la cime	Age des aiguilles					
		P.E.P. 1			P.E.P. 2		
		1 an	2 ans	3 ans	1 an	2 ans	3 ans
N	sup.	11,35	13,49	12,32	12,55	14,29	12,68
	méd.	10,91	12,96	11,43	11,24	12,59	11,96
	inf.	9,53	11,42	10,64	8,94	10,00	9,02
P	sup.	1,23	1,30	1,29	1,30	1,32	1,15
	méd.	1,16	1,14	0,94	1,15	1,07	1,05
	inf.	0,94	0,91	0,89	0,85	0,87	0,74
K	sup.	5,93	5,32	4,34	5,52	5,40	4,50
	méd.	4,93	4,89	3,99	4,61	4,59	3,99
	inf.	4,25	4,14	3,64	3,47	3,39	3,95

Tableau 6

Masse de tissus anhydres (mg/100 aiguilles) dans les aiguilles de pin gris selon l'orientation, le niveau de prélèvement sur la cime et l'âge des aiguilles, dans deux placettes

Orientation	Niveau de la cime	Age des aiguilles					
		1 an	2 ans	3 ans	1 an	2 ans	3 ans
		P.E.P. 1			P.E.P. 2		
Nord	sup.	1010	1176	1190	1075	1205	1149
	méd.	943	1111	1042	971	1099	1124
	inf.	826	1064	1031	709	826	781
Est	sup.	1042	1163	1136	1053	1235	1099
	méd.	952	1190	1000	943	1020	990
	inf.	862	1020	1000	719	794	752
Sud	sup.	1031	1176	1219	1075	1176	1176
	méd.	971	1136	1031	971	1087	1020
	inf.	909	1042	1000	855	961	855
Ouest	sup.	1010	1219	1149	1124	1190	1190
	méd.	1000	1111	1124	961	1064	1064
	inf.	806	917	909	800	901	893
Moyenne	sup.	1023	1183	1173	1082	1201	1153
	méd.	966	1137	1049	961	1067	1049
	inf.	851	1011	985	771	870	820

d'échantillonner dans le tiers inférieur de la cime. L'échantillonnage à ce niveau est plus facile et la précision des résultats est aussi bonne, pour le pin gris du moins (8).

2.3 VARIATION SELON L'AGE DES AIGUILLES

Les résultats des études portant sur la date d'échantillonnage et sur le niveau de prélèvement des tissus sur la cime (fig. 5 et tableaux 2 et 3) ont permis de constater des variations dans les concentrations en éléments attribuables à l'âge des aiguilles. Une évaluation plus précise de ces variations, pour le tiers supérieur de la cime, a été obtenue en considérant l'ensemble des peuplements étudiés (tableau 7). Les résultats de cette évaluation montrent que la concentration en N des aiguilles de deux ans est supérieure à celle des aiguilles d'un an et de trois ans alors que les concentrations en P et en K des aiguilles diminuent avec l'âge et que la concentration en Ca augmente dans les aiguilles plus vieilles. Ces variations sont significatives pour les éléments N, P, K et Ca (tableau 7). D'ailleurs, comme on l'a vu pour les études qui portent sur la date et sur les niveaux d'échantillonnage, les variations dans les concentrations en éléments attribuables à l'âge des aiguilles sont décelables à partir d'un échantillonnage beaucoup plus restreint.

L'expression des résultats en mg/100 aiguilles révèle par contre une augmentation du contenu en éléments avec l'âge des aiguilles (tableau 8). Cette augmentation découle de la forte augmentation de la masse unitaire des aiguilles avec l'âge (tableau 9).

Tableau 7

Concentration moyenne en N, P, K, Mg et Ca (p. 100) dans les aiguilles de pin gris selon la qualité de station et l'âge des aiguilles (tiers supérieur de la cime) et valeur de *F* dans les analyses de variation entre les stations

Station	Age des aiguilles		N	P	K	Mg	Ca
I	1 an	a ¹	1,12	a 0,12	a 0,41	a 0,09	a 0,18
	2 ans	b	1,25	b 0,11	b 0,35	a 0,09	ab 0,30
	3 ans	b	1,22	b 0,11	b 0,35	a 0,09	b 0,44
II-b	1 an	a	1,06	a 0,12	a 0,42	a 0,08	a 0,15
	2 ans	b	1,12	a 0,11	b 0,34	a 0,08	ab 0,24
	3 ans	b	1,11	a 0,11	b 0,32	a 0,08	b 0,35
II-c	1 an	a	1,04	a 0,12	a 0,40	a 0,08	a 0,16
	2 ans	a	1,06	b 0,11	b 0,33	a 0,08	ab 0,26
	3 ans	a	1,06	b 0,11	b 0,32	a 0,08	b 0,35
III	1 an	a	1,05	a 0,12	a 0,35	a 0,08	a 0,13
	2 ans	a	1,10	a 0,11	b 0,30	a 0,08	ab 0,19
	3 ans	a	1,06	a 0,11	b 0,29	a 0,08	b 0,27
Moyenne	1 an	a	1,09	a 0,12	a 0,40	a 0,08	a 0,16
	2 ans	b	1,17	b 0,11	b 0,34	a 0,08	ab 0,26
	3 ans	b	1,15	b 0,11	b 0,33	a 0,08	b 0,38
Valeur de <i>F</i> (entre les stations)	1 an		0,6	0,34	3,57	0,38	1,41
	2 ans		5,23**	0,46	1,74	0,49	2,01
	3 ans		6,38**	0,25	4,99*	0,99	3,65

¹ Les moyennes par élément portant le même indice alphabétique ne présentent pas de différence significative entre elles.

* différence significative au seuil de 0,05

** différence significative au seuil de 0,01

Tableau 8

Contenu moyen en N, P, K, Ca et Mg (mg/100 aiguilles) dans les aiguilles de pin gris selon la qualité de station et l'âge des aiguilles (tiers supérieur de la cime)

	Age des aiguilles	N	P	K	Mg	Ca
		Poids de 100 aiguilles (g)				
I	1 an	a 9,47	a 1,03	a 3,50	a 0,72	a 1,52
	2 ans	b 12,92	a 1,11	ab 3,66	ab 0,90	b 3,08
	3 ans	b 14,51	b 1,32	b 4,17	b 1,02	c 5,20
II-b	1 an	a 9,22	a 1,01	a 3,71	a 0,72	a 1,25
	2 ans	ab 11,27	a 1,11	a 3,45	a 0,87	b 2,43
	3 ans	b 12,54	a 1,28	a 3,59	a 0,94	c 3,91
II-c	1 an	a 8,91	a 0,95	a 3,17	a 0,64	a 1,27
	2 ans	b 11,23	ab 1,02	a 3,18	a 0,75	ab 2,50
	3 ans	b 12,24	b 1,18	a 3,38	a 0,83	b 3,69
III	1 an	a 8,33	a 0,90	a 2,80	a 0,62	a 1,06
	2 ans	b 10,44	a 0,94	a 2,85	a 0,80	a 1,80
	3 ans	c 11,71	a 1,16	b 3,20	a 0,88	b 2,95
Moyenne	1 an	a 9,08	a 0,98	a 3,34	a 0,68	a 1,32
	2 ans	b 11,69	a 1,06	a 3,35	b 0,83	b 2,59
	3 ans	c 12,98	b 1,24	b 3,66	c 0,92	c 4,14

¹ Les moyennes portant le même indice alphabétique ne présentent pas de différence significative entre elles.

Tableau 9

Masse de tissus anhydres (mg/100 aiguilles) selon l'âge des aiguilles de pin gris (tiers supérieur de la cime)	
Age des aiguilles	Masse ¹
1 an	833
2 ans	999
3 ans	1129

¹ Moyenne de 90 arbres. Les différences entre les âges sont très significatives.

D'autre part, il est intéressant de constater que les teneurs en éléments des aiguilles sont en général plus élevées (N, K, Mg, Ca) dans les meilleures stations (I et II), indiquant ainsi un meilleur niveau de fertilité du sol pour ces stations. L'analyse de variance entre les stations montre d'ailleurs qu'il existe des différences significatives entre les stations pour ce qui est des concentrations en N et en K des aiguilles. Les résultats des analyses de sol présentés plus loin dans ce chapitre confirment cette observation.

2.4 CALCUL DE L'INTENSITE D'ECHANTILLONNAGE

A partir des données fournies par ce travail, nous avons calculé l'intensité de prélèvement nécessaire pour déceler des différences significatives entre deux moyennes.

Pour des échantillons prélevés au tiers supérieur de la cime, cette évaluation montre (tableau 10) qu'un écart de 20 p. 100 entre les moyennes des concentrations en N, P, K et Mg est significatif

lorsque l'échantillonnage groupe 5 arbres; ce même écart est significatif pour le Ca lorsque l'échantillonnage groupe 10 arbres. Toutefois, pour un écart moins marqué (10 p. 100 par exemple), l'échantillonnage doit grouper plus d'arbres. Le tableau 10 montre aussi que ce nombre d'arbres à échantillonner diminue légèrement avec l'âge des aiguilles (sauf pour le Mg); ce nombre est à son minimum pour les aiguilles de deux ans. Toutefois, pour ce qui est de l'étude qui porte sur les niveaux d'échantillonnage, on remarque que le nombre d'arbres à échantillonner pour qu'un écart donné (10 p. 100) sur les moyennes des concentrations soit significatif, varie peu avec les niveaux d'échantillonnage et que ce nombre est à son minimum pour les aiguilles d'un an. Cependant, l'échantillonnage n'a porté que sur 20 arbres pour cette étude alors que pour l'étude sur les relations entre les indices de croissance et les concentrations foliaires, l'échantillonnage portait sur 90 arbres. Ce dernier échantillonnage devrait donc être plus précis.

2.5 RELATIONS ENTRE LA TENEUR EN ELEMENTS MINERAUX ET LA CROISSANCE DU PIN GRIS

Nous avons groupé les placettes en quatre stations de qualité différente selon les caractéristiques dendrométriques (tableau 11, fig. 6 et appendice B). L'analyse de variance effectuée sur ces données montre d'ailleurs qu'il existe des différences significatives entre les hauteurs, les volumes par hectare et les surfaces terrières des quatre stations. Il existe d'autre part des différences significatives dans les concentrations en N et en K des aiguilles pour ces stations (tableau 7). Il existe de plus des variations importantes dans les

Tableau 10

Nombre d'échantillons requis pour qu'un écart de 10, 15
ou 20 p. 100 entre deux moyennes soit significatif
au seuil de probabilité de 0,05

Elément	Age des aiguilles	Concentration (p.100)			Tiers de la cime		
					Sup.		Inf.
N	1	5	3	3	4	4	5
	2	5	3	3	7	5	5
	3	5	3	3	7	8	6
P	1	13	8	5	7	5	6
	2	6	4	3	7	6	5
	3	6	4	3	7	6	7
K	1	8	5	4	15	13	17
	2	7	4	3	21	13	17
	3	6	4	3	16	18	19
Mg	1	9	5	4	non disponible		
	2	9	5	4			
	3	13	7	5			
Ca	1	31	15	10	non disponible		
	2	20	10	7			
	3	21	11	7			

Tableau 11

Quelques caractéristiques dendrométriques des peuplements étudiés

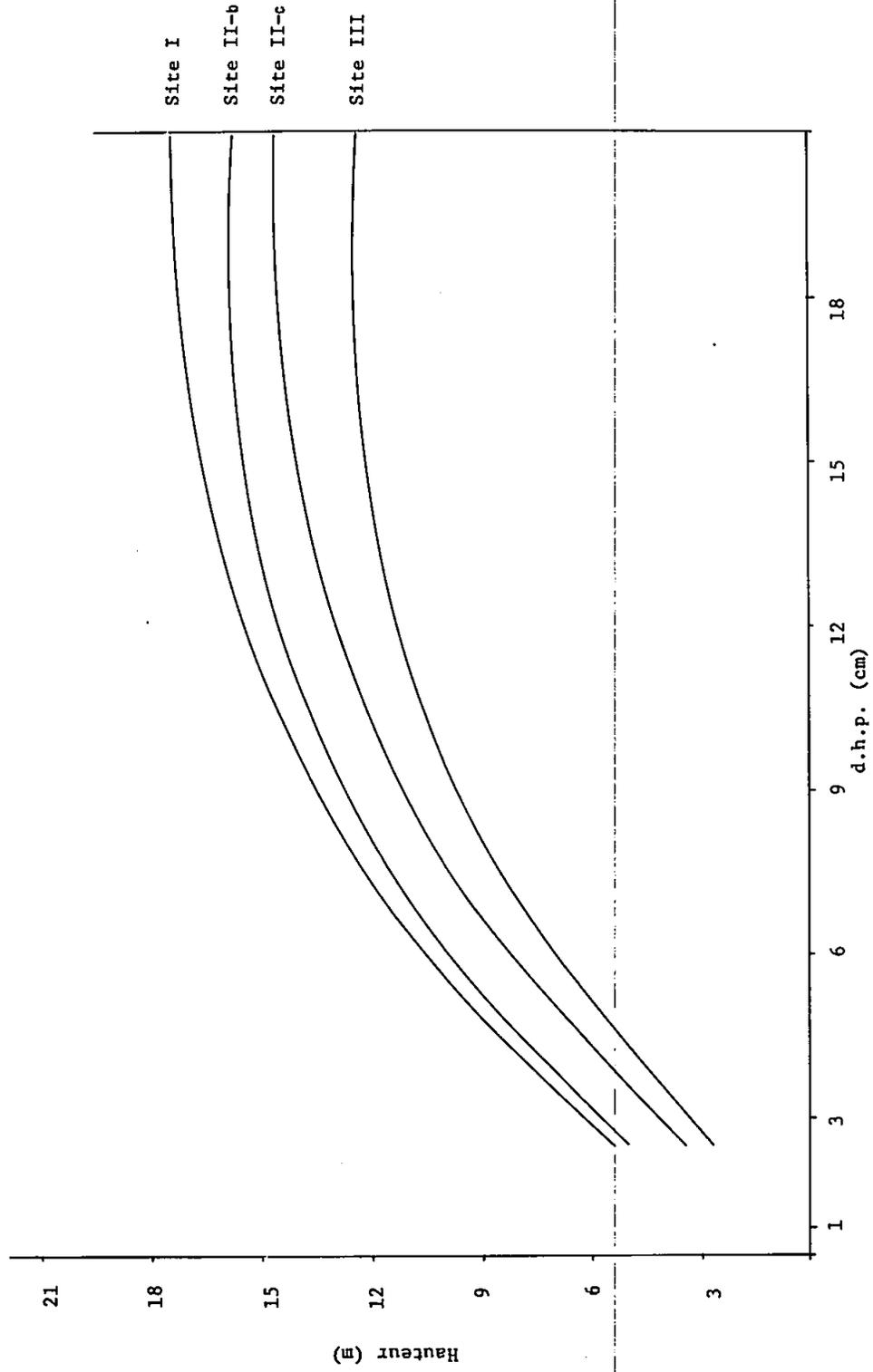
Qualité de stations et densité	Nombre de parcelles échantillonnées	Nombre d'arbres échantillonnés	Age moyen	d.h.p. moyen (cm)	Hauteur moyenne (m)	Nombre de tige par ha	Surface terrière (m^2/ha)	Volume total (m^3/ha)	Volume marchand (m^3/ha)
I	5	30	39	11,2	11,9	2137	24,6	158,8	126,3
II-b	3	18	38	9,9	10,1	1947	18,8	104,4	78,9
II-c	5	30	39	9,9	9,4	1703	15,4	82,3	61,9
III	2	12	38	9,1	8,2	1285	11,2	53,5	37,8
Moyenne totale	15	90	38	10,2	10,2	1941	18,5	108,4	83,3
Valeur de F				1,8	5,2*	0,8	21,7**	50,5	35,0

* indique une différence significative au seuil de 0,05

** indique une différence significative au seuil de 0,01

Figure 6

Courbes diamètre - hauteur
Peuplement de pin gris
Age 40 ans



résultats par parcelle pour une station donnée et dans les résultats par arbre pour chacune des parcelles, ce qui explique en partie les faibles relations obtenues avec les indices de croissance.

Les résultats des analyses chimiques et des mesures dendrométriques, par placette, sont présentés à l'appendice B. Nous avons mesuré les relations entre quelques indices de croissance des arbres et la teneur en éléments minéraux des aiguilles pour l'ensemble des 15 placettes étudiées (tableaux 12 et 13). Cette étude montre qu'il existe des relations positives significatives entre le rapport hauteur/âge économique, la concentration en K et Mg des aiguilles d'un an et la concentration en Mg des aiguilles de 2 ans. Le d.h.p., pour sa part, est lié significativement à la concentration en P et en K des aiguilles d'un an et à la concentration en Mg des aiguilles de 2 ans. L'accroissement annuel courant est lié positivement avec la concentration en Mg des aiguilles d'un an. Il en est de même pour l'accroissement annuel des cinq dernières années. Le quinquanion est lié à la concentration en Mg des aiguilles d'un an et à la concentration en K des aiguilles de 2 ans.

Il existe aussi des relations positives significatives entre la masse unitaire des aiguilles et les contenus en éléments. Ces derniers sont d'ailleurs fortement liés entre eux (tableau 12). D'autres relations significatives existent entre le contenu en N, P et Mg des aiguilles et le d.h.p., entre le contenu en K et l'accroissement annuel courant, l'accroissement annuel des cinq dernières années et le quinquanion. Celui-ci est aussi lié significativement avec le contenu en P et en Mg des feuilles.

Tableau 12

Coefficient de corrélation linéaire (r) entre la teneur en éléments des aiguilles d'un an du pin gris et quelques données de croissance

Indice de croissance	Concentration en élément					Masse	Contenu en éléments				
	N	P	K	Mg	Ca		N	P	K	Mg	Ca
H / Ae	0,13	0,18	0,31	0,23	0,07	0,04	0,11	0,13	0,19	0,17	0,27**
d.h.p.	0,05	0,35**	0,33**	0,04	-0,00	0,19	0,25*	0,29**	0,18	0,33**	0,08
A.A.C.	-0,02	-0,03	-0,042	0,27*	-0,03	0,15	0,06	0,03	0,23*	0,09	-0,13
A.A. 5	-0,06	-0,03	0,08	0,27**	0,00	0,09	0,00	0,12	0,22*	0,19	-0,07
Quin.	0,16	0,12	0,17	0,24*	-0,05	0,17	0,19	0,21*	0,29*	0,22*	0,07
M.	0,12	0,05	0,04	0,30**	0,00	1,00	0,90**	0,93**	0,91**	0,77**	0,45**

H/Ae : hauteur sur âge économique

d.h.p.: diamètre à hauteur de poitrine

A.A.C. accroissement annuel courant

A.A.5: accroissement annuel moyen des 5 dernières années

Quin.: quinquantion

M.: masse de tissus anhydre

* corrélation linéaire significative au seuil de 0,05

** corrélation linéaire significative au seuil de 0,01

Tableau 13

Coefficient de corrélation linéaire (r) entre les teneurs
en éléments des aiguilles de 2 ans du pin gris et
certains indices de croissance de cette essence

Indice de croissance	Eléments				Eléments			Eléments			
	N	P	K	Mg	Ca			N	P	K	Mg
H / Ae	0,19	0,12	0,17	0,31**	0,18		P	0,28**			
d.h.p.	0,07	0,12	-0,01	0,25	0,07		K	0,37**	0,26*		
A.A.C.	0,01	0,09	0,05	0,01	-0,01		Mg	0,25*	0,32**	0,08	
A.A.5	0,06	0,10	0,06	0,16	0,08		Ca	0,34**	0,05	0,13	0,38**
Quin.	0,13	0,05	0,28**	0,17	0,05						

* Corrélation linéaire significative au seuil de 0,05

** Corrélation linéaire significative au seuil de 0,01

Enfin, il existe des relations significatives entre les concentrations en éléments des feuilles (tableau 14). Ainsi, la concentration en N des aiguilles est liée significativement à la concentration en P, K et Mg. La concentration en K est elle-même liée au P et au magnésium. D'autre part, les indices de croissance sont aussi liés entre eux (tableau 15). Ainsi, l'indice hauteur sur âge économique est lié au diamètre, à l'accroissement annuel courant, à l'accroissement annuel des cinq dernières années et au quinquanion. De plus, le quinquanion est lié au d.h.p. et à l'accroissement annuel des cinq dernières années, lequel est aussi lié à l'accroissement annuel courant.

On remarque que l'azote est l'élément le plus souvent lié aux autres alors que l'indice hauteur sur âge économique est l'indice de croissance le plus souvent lié aux autres indices de croissance utilisés.

Dans l'ensemble, les concentrations en éléments dans les aiguilles de pin gris des peuplements étudiés sont faibles et en-dessous des seuils de fertilité proposés par Swan (12). Il semble donc que le régime nutritif de ces peuplements pourrait être amélioré par la fertilisation.

2.6 ANALYSES DE SOL

Les résultats des analyses de sol sont présentés pour chacune des stations aux tableaux 16 à 19.

Tableau 14

Coefficient de corrélation linéaire (r) entre les teneurs
en éléments des aiguilles d'un an du pin gris

	Concentration				Contenu			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
P	0,29**				0,91**			
K	0,32**	0,37**			0,85**	0,90**		
Mg	0,27**	0,10	0,24*		0,85**	0,91**	0,81**	
Ca	0,02	-0,06	0,06	0,06	0,53**	0,49**	0,49**	0,46**

Tableau 15

Coefficient de corrélation linéaire (r) entre
les indices de croissance étudiés

Indice de croissance				
	d.h.p.	A.A.C.	A.A.5	Quin.
H / AE	0,35**	0,21*	0,32**	0,34**
d.h.p.		-0,01	0,11	0,31**
A.A.C.			0,68**	0,03
A.A.5				0,25*

Tableau 16

Résultats des analyses de sol. Station I

Horizon	N (p. 100)	M.O. (p. 100)	C (p. 100)	C/N	pH (eau)	P disp. (ppm)	Cations échangeables (m. é./100 g de sol)							Total	H. éch.	CEC (m.é./ 100 g)	P. 100 Satura- tion en bases
							Fe	Mg	Mn	K	Na	Ca					
F	1,30	77,66	45,05	34,6	3,8	1,94	0,05	3,37	0,27	1,86	1,10	11,80	18,45	91,87	110,3	16,7	
H	0,80	51,02	29,59	36,9	2,3	128	0,02	2,86	0,16	1,47	0,40	9,05	13,96	49,77	63,7	21,9	
Ae	0,04	1,36	0,79	19,7	3,9	11	0,03	0,30	0,01	0,11	0,34	0,42	1,21	3,79	5,0	24,2	
B _{fn}	0,13	4,60	2,67	20,5	4,7	26	0,04	0,19	traces	0,10	0,36	0,41	1,10	10,64	11,7	9,4	
B _f	0,01	0,28	0,17	17,0	1,0	3	traces	0,04	traces	0,01	traces	0,02	0,07	0,84	0,9	7,7	
C ₁	0,04	0,81	0,47	11,7	5,1	67	0,03	0,15	traces	0,06	0,27	0,34	0,85	1,07	1,9	44,4	
C ₂		0,02	0,01	2,0	1,0	45	0,01	0,04	traces	0,01	0,14	0,12	0,32	0,41	0,7	43,8	

Tableau 17

Résultats des analyses de sol. Station II-b

Horizon	N (p. 100)	M.O. (p. 100)	C (p. 100)	C/N	pH (eau)	P disp. (ppm)	Cations échangeables (m. é./100 g de sol)						Total	H éch.	CEC	P. 100 Saturation en bases
							Fe	Mg	Mn	K	Na	Ca				
H	0,98	77,99	45,24	46,2	3,3	175	0,08	2,17	0,31	2,24	1,24	9,97	16,01	85,19	101,2	15,8
Ae	0,01	0,56	0,32	32,0	2,6	26	traces	0,98	traces	0,50	0,29	0,24	2,01	0,81	2,8	0,7
B _f	0,10	3,30	1,91	19,1	4,8	18	0,02	0,13	0,01	0,07	0,56	0,55	1,34	2,72	4,1	33,0
C	0,02	0,51	0,30	12,5	4,7	90	0,02	0,11	0,01	0,05	0,47	0,36	1,02	0,59	1,6	63,0

Tableau 18

Résultats des analyses de sol. Station II -c

Horizon	N (p. 100)	M.O. (p. 100)	C (p. 100)	C/N	pH (eau)	P disp. (ppm)	Cations échangeables (m. é./100 g de sol)							Total des cations	H éch.	CEC	p. 100 Satura- tion en bases
							Fe	Mg	Mn	K	Na	Ca					
L	1,18	77,85	45,16	38,3	3,7	197	0,14	3,93	0,70	1,85	1,86	13,26	21,74	93,79	115,5	18,8	
H	0,35	17,93	10,40	29,7	1,0	40	0,07	0,49	0,07	0,33	0,50	1,73	3,19	8,83	12,0	26,5	
Ae	0,03	1,23	0,71	23,7	2,7	16	0,02	0,10	traces	0,04	0,78	0,31	1,25	0,85	2,1	0,6	
B _f	0,11	5,14	2,98	27,1	4,7	16	0,04	0,13	0,01	0,06	0,64	0,33	1,21	3,91	5,1	23,6	
C	traces	0,13	0,07	9,4	3,5	153	0,03	0,10	traces	0,04	0,49	0,36	1,02	0,15	1,2	87,8	

Tableau 19

Résultats des analyses de sol. Station III

Horizon	N (p. 100)	M.O. (p. 100)	C (p. 100)	C/N	pH (eau)	P disp. (ppm)	Cations échangeables (m. é/100 g de sol)						Total	H éch.	CEC	P. 100 Saturation en bases
							Fe	Mg	Mn	K	Na	Ca				
H	1,15	59,39	34,45	30,0	3,3	119	0,11	1,69	0,05	1,23	2,02	7,55	12,66	99,19	111,8	11,3
Ae	0,02	0,72	0,42	21,0	3,7	488	0,03	0,16	0,01	0,14	0,77	0,48	1,60	5,43	7,0	22,7
B _f	0,14	5,10	2,96	21,1	4,8	18	0,03	0,14	0,01	0,05	0,43	0,36	1,03	3,60	4,6	22,2
C ₁	0,01	0,41	0,24	24,0	4,8	85	0,03	0,14	0,01	0,09	0,53	0,31	1,11	4,74	5,8	19,0
C ₂	0,03	0,11	0,06	2,0	4,5	169	0,03	0,15	0,01	0,06	0,70	0,36	1,31	traces	1,3	100,0

Les teneurs en éléments du sol varient légèrement avec les stations. Le niveau des éléments dans le sol est relativement faible même si la croissance du pin gris semble normale.

L'étude des relations entre la teneur en éléments du sol (horizon H) et celle des aiguilles montre qu'il existe une relation positive significative pour la teneur en K; aucune autre relation significative n'a pu être observée (tableau 20).

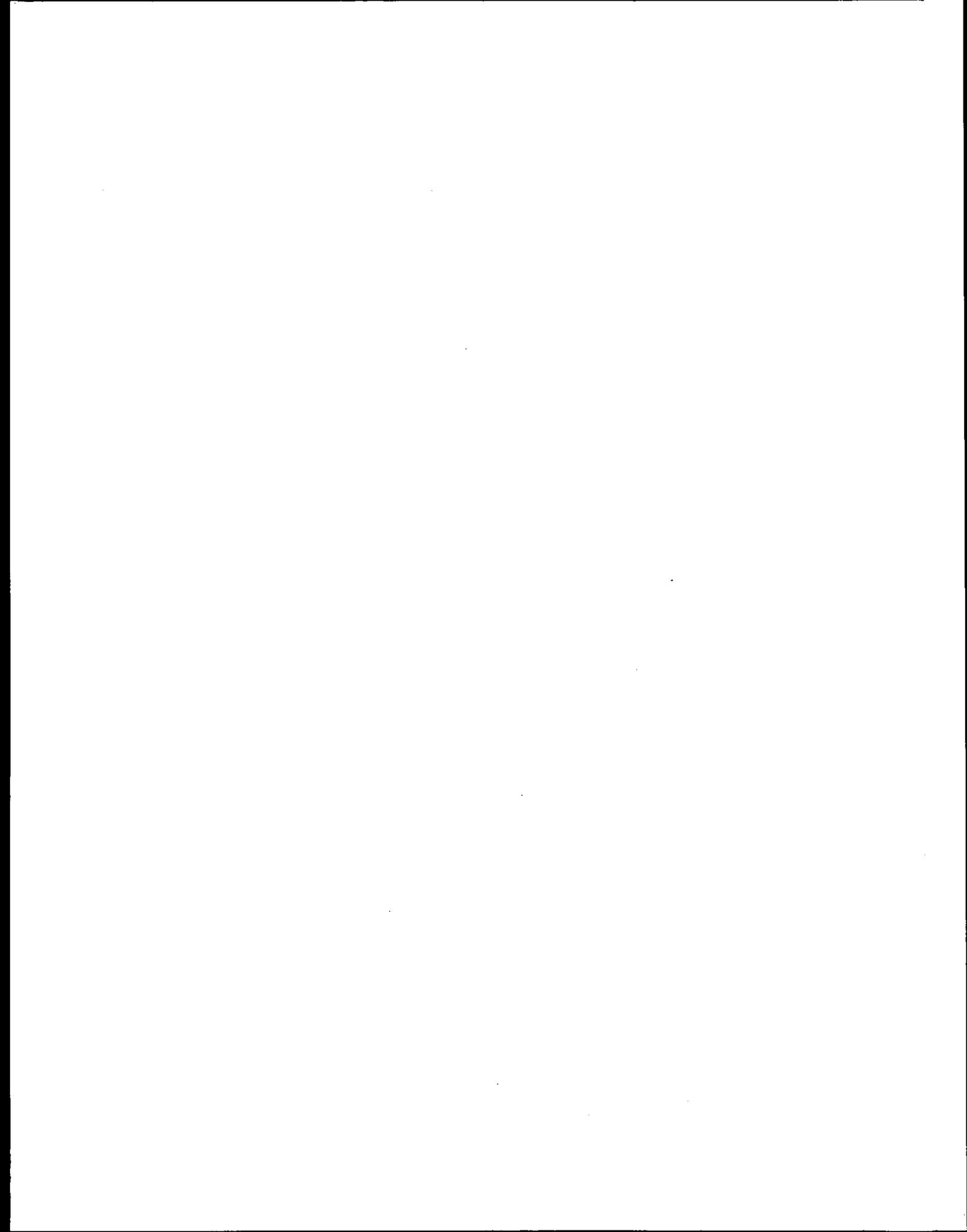
Dans l'ensemble, ces résultats concordent avec ceux des analyses foliaires. En effet, dans les deux cas, les teneurs en éléments sont faibles mais légèrement supérieures dans les stations de meilleure qualité.

Tableau 20

Coefficients de corrélation linéaire (r) entre la teneur en éléments des aiguilles de pin gris et celle du sol
Pour les horizons H et B

Horizon	Elements				
	N	P	K	Mg	Ca
H	0,20	0,10	0,65*	0,31	-0,12
B	-0,03	0,33	0,29	0,34	-0,28

* Corrélation significative au seuil de 0,05



CHAPITRE III

DISCUSSION ET CONCLUSION

La teneur en éléments minéraux des aiguilles du pin gris varie selon l'âge des aiguilles, le niveau de prélèvement des échantillons sur la cime et la date d'échantillonnage à l'automne. Il existe aussi des variations importantes dans les teneurs en éléments minéraux entre les stations, les placettes et les arbres individuels. Ces résultats concordent bien dans l'ensemble avec ceux des travaux publiés par Morrison (8) et Lowry et Oward (6) sur le pin gris et par Brazeau et Bernier (1) sur le sapin baumier. Les premiers auteurs précisent aussi que la période automnale est la plus propice à l'échantillonnage foliaire du pin gris et qu'on peut s'attendre à des variations significatives si l'échantillonnage s'étale sur une assez longue période. Les variations observées semblent cependant se faire progressivement et n'ont guère de signification à l'intérieur d'une période s'étalant sur 3 à 4 semaines. L'analyse des variations de concentration attribuables à la date d'échantillonnage des 15 placettes étudiées a été

réalisée à l'intérieur d'une période de stabilité suffisante des concentrations pour que les relations entre les indices de croissance considérés et la teneur en éléments minéraux du feuillage n'en soient pas influencées.

L'orientation sur la cime ne semble pas affecter significativement les teneurs en éléments des aiguilles. Pour ce qui est des niveaux d'échantillonnage, cette étude montre bien qu'il existe des variations significatives entre les concentrations foliaires en éléments des tiers supérieur, médian et inférieur de la cime. Toutefois, compte tenu du nombre d'échantillons requis pour une précision suffisante des moyennes, il semble que l'échantillonnage peut s'effectuer aussi bien au niveau inférieur qu'au niveau supérieur de la cime. D'ailleurs, le nombre d'échantillons requis pour une précision suffisante des moyennes est plus affecté par l'âge des aiguilles que par le niveau d'échantillonnage. Ce nombre est à son minimum pour les aiguilles de deux ans. Il ressort donc de cette étude que le choix du niveau d'échantillonnage sur la cime dépend surtout du but poursuivi. Ainsi, lorsqu'il s'agit d'établir des relations entre des indices de croissance et les concentrations en éléments, il a été établi que les aiguilles du tiers supérieur de la cime, âgées d'un an, constituent le meilleur matériel pour ce genre d'étude (6).

Les concentrations en éléments varient significativement aussi avec l'âge des aiguilles. Les teneurs en P et en K sont maximales dans les aiguilles d'un an, alors que les teneurs en N et en Ca sont maximales dans les aiguilles de 2 ans. La concentration en Mg varie peu avec l'âge des aiguilles. Il y a aussi une variation des concentrations en éléments

entre les stations. Les stations de meilleure qualité ont en général des teneurs en éléments plus élevées.

Pour restreindre le nombre d'échantillons à analyser, il semble qu'il faudrait de préférence échantillonner les aiguilles de deux ans. Cependant, lorsqu'il s'agit de déterminer l'existence de relations entre certains indices de croissance et les teneurs en éléments dans les aiguilles, cette étude montre que c'est avec les aiguilles d'un an que l'on obtient le plus grand nombre de relations significatives. L'existence de telles relations peut être une indication de limitations de croissance attribuables à une carence éventuelle d'éléments nutritifs. Dans ce cas-ci, on a observé que l'azote est lié aux concentrations en P, K et Mg des aiguilles et que ces dernières sont elles-mêmes liées à un ou plusieurs indices de croissance considérés dans cette étude. On a observé aussi que, dans l'ensemble, les concentrations en éléments des aiguilles sont faibles et inférieures aux seuils de fertilité proposés par Swan (14). Les résultats des analyses de sol confirment cette observation. Les principaux éléments qui semblent limiter la croissance du pin gris à l'intérieur de la région et du groupe de peuplements considérés sont l'azote, le phosphore et particulièrement, le potassium et le magnésium. Il semble donc que le régime nutritif de ces peuplements pourrait être amélioré par l'addition de ces éléments au sol. Ainsi, une fertilisation en N pourrait affecter positivement les teneurs en N, P, K et Mg des aiguilles, ces éléments étant liés à la concentration en azote. Une fertilisation en P, K et Mg devrait avoir aussi un effet sur la croissance des arbres puisque ces éléments sont liés positivement

à certains indices de croissance. Il semble cependant que c'est surtout la fertilisation en N qui affecte la croissance du pin gris (14).

D'autre part, à partir des observations dendrométriques effectuées pour cette étude, il semble que le meilleur âge pour l'application des engrais à ces peuplements serait celui de 30 à 40 ans. En effet, c'est durant cette période que la croissance du pin gris semble ralentir le plus.

Les coefficients de corrélation mesurés sont faibles, ce qui s'explique en partie lorsqu'on observe les grandes variations qui existent dans les teneurs en éléments des aiguilles, d'un arbre à l'autre et d'une placette à l'autre.

Les fortes relations trouvées entre les contenus en éléments (mg/100 aiguilles) et la masse de 100 aiguilles ne sont pas surprenantes puisque les contenus en éléments s'obtiennent par le produit des concentrations par la masse de 100 aiguilles.

La quantité d'éléments par 100 aiguilles exprime aussi une vigueur de l'arbre liée à la croissance. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'il est préférable d'utiliser les concentrations plutôt que les contenus en éléments comme moyen d'expression de la composition minérale du feuillage.

REFERENCES

- 1- BRAZEAU, M. et B. BERNIER, 1973. *Composition minérale du feuillage du sapin baumier selon les modalités d'échantillonnage et relations avec quelques indices de croissance*. Nat. Can., 100: 265-275.
- 2- FERLAND, M.G. et R.M. GAGNON, 1967. *Climat du Québec méridional*. Min. Rich. Natur. Québec, Rapp. Tech. MP-13, 93 p.
- 3- GAGNON, J.D., 1964. *Relationship between site index and foliage nitrogen at two crown levels for mature black spruce*. For. chron., 40: 169-174.
- 4- GAGNON, R.M., 1969. *Fréquences annuelles des précipitations au Québec méridional*. Natur. Can. 96: 551-554.
- 5- KIRK, R.E., 1968. *Experimental design: procedures for the behavioral science*. California, Brooks Cole, 577 p.
- 6- LOWRY, G.L. et P.M. OWARD, 1968. *Nutrient content of black spruce and jack pine needles. Seasonal variations and recommended sampling procedures*. P.R.R.I.C., W.R. 10, 54 p.
- 7- MARTIN, D., 1972. *Principes et techniques d'analyses de sols et de tissus végétaux*. Québec, Ministère des Terres et Forêts, Service de la recherche. 175 p.
- 8- MORRISSON, I.K., 1972. *Variation with crown position and leaf age in content of seven elements in leaves of Pinus banksiana Lamb.* Can. J. For. Res., 2 (2): 89-94.
- 9- NATIONAL SOIL SURVEY COMMITTEE, 1970. *The system of soil classification for Canada*. Can. Dep. Agric. Ottawa. 270 p.
- 10- PLONSKI, W.L., 1960. *Normal yield tables for black spruce, jack pine, aspen, white birch, tolerant hardwoods, white pine and red pine for Ontario*. Ont. Dep. Lands and Forests, Silv. Series Bull. 2, 39 p.
- 11- ROWE, J.S., 1959. *Forest regions of Canada*. Can. Dep. North. Aff. Nat. Res., Forest Br. Bull. 123, 71 p.

- 12- SWAN, H.S.D., 1969. *Relationship between nutrient supply, growth and nutrient concentrations in the foliage of black spruce and jack pine.* P.P.R.I.C., W.R. 19, 46 p.
- 13- VILLENEUVE, G.-O., 1967. *Sommaire climatique du Québec.* Min. Rich. Natur. Québec, Rap. Tech. M-24, 1, 168 p.
- 14- WEETMAN, G.F. et D. ALGAR, 1974. *Jack pine nitrogen fertilization and nutrition studies: tree year results.* Can. J. For. Res. 4: 381-398.

APPENDICE A

1- Caractéristiques dendrométriques

Les caractéristiques dendrométriques des deux placettes étudiées sont présentées aux tableaux A-1 et A-2 et aux figures A-1 et A-2.

2- Caractéristiques du sol

Les résultats des analyses de sol pour ces deux placettes sont présentés aux tableaux A-3 et A-4. On remarque que les teneurs en N et en P du sol sont faibles et que le rapport C/N est élevé.

3- Résultats des analyses foliaires par placette en fonction de la position, de l'orientation sur la cime et de l'âge des aiguilles

Les figures A-3 à A-6 présentent un sommaire des résultats des analyses foliaires effectuées dans les deux placettes étudiées.

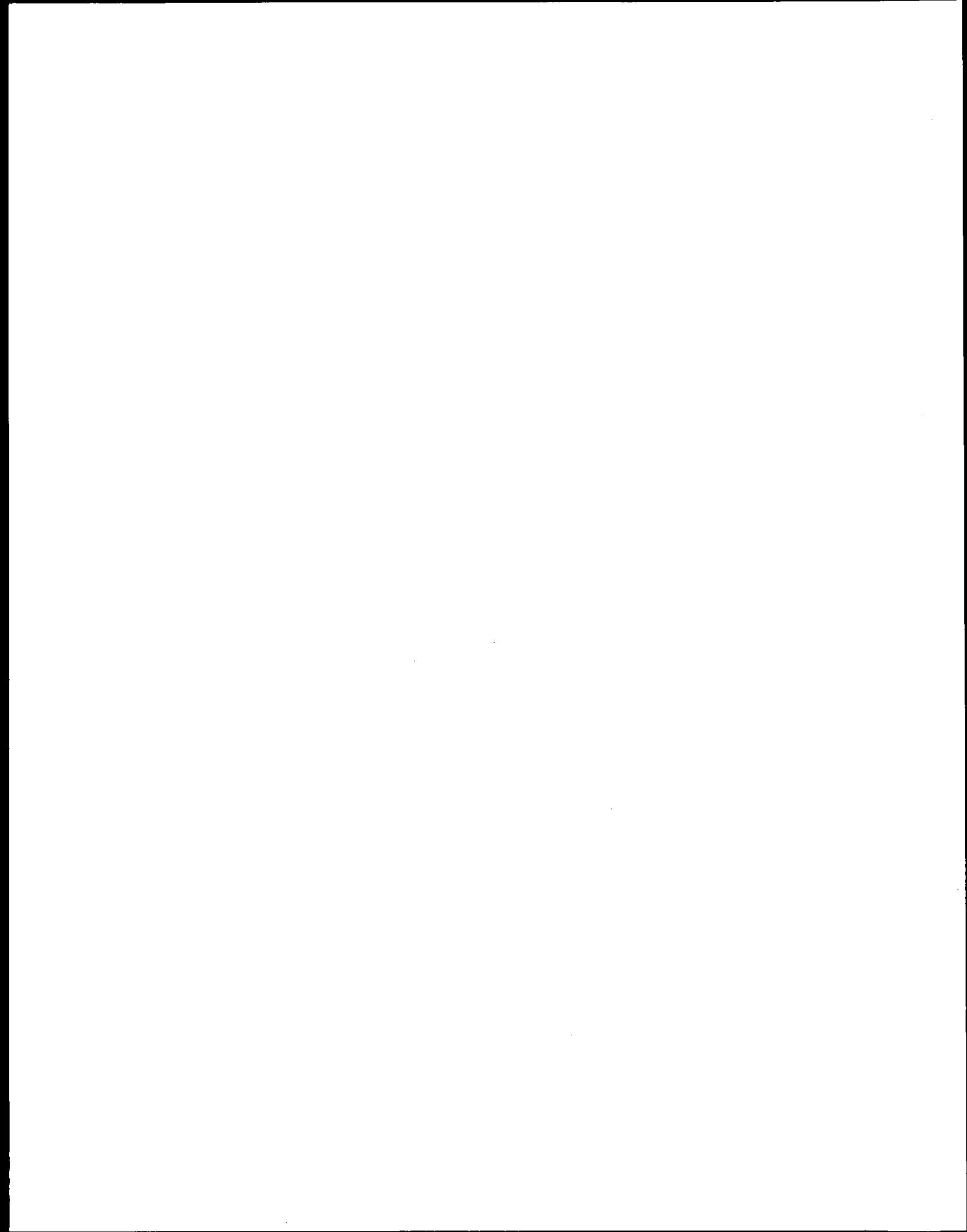


Tableau A-1

Caractéristiques dendrométriques des deux placettes étudiées

P.E.P.	Site	Densité	Age	Essence	d.h.p. (cm)	Hauteur (m)	Nombre de tiges/ha	Volume (m ³ /ha)
1	I	b	40	Pin gr.	12,2	11,8	1161	90,7
				Ep. n	5,6	5,5	729	8,6
				Moy.	9,7	9,3		
				Total			1890	99,3
2	II	c		Pin gr.	12,7	10,2	556	40,8
				Ep. n	5,1	5,5	86	0,7
				Moy.	11,7	9,6		
				Total			682	41,5

Tableau A-2

Croissance en diamètre et en volume, par décennie

P.E.P.	Décennies				
	0-10 ans	11-20 ans	21-30 ans	31 ans +	
1	Crois. Diam (cm)	5,08	5,69	3,71	1,88
	Crois. Vol. (m ³)	0,013	0,048	0,096	0,13
2	Crois. Diam (cm)	3,45	4,83	4,11	2,54
	Crois. Vol. (m ³)	0,008	0,025	0,057	0,091

* Volume total brut, échantillons pris à 0,3 m de la souche, moyenne pour 40 observations (10 arbres x 4 observations)

Figure A-1

Relation entre la hauteur et le diamètre selon la qualité
de station pour un peuplement de pin gris âgé de 40 ans

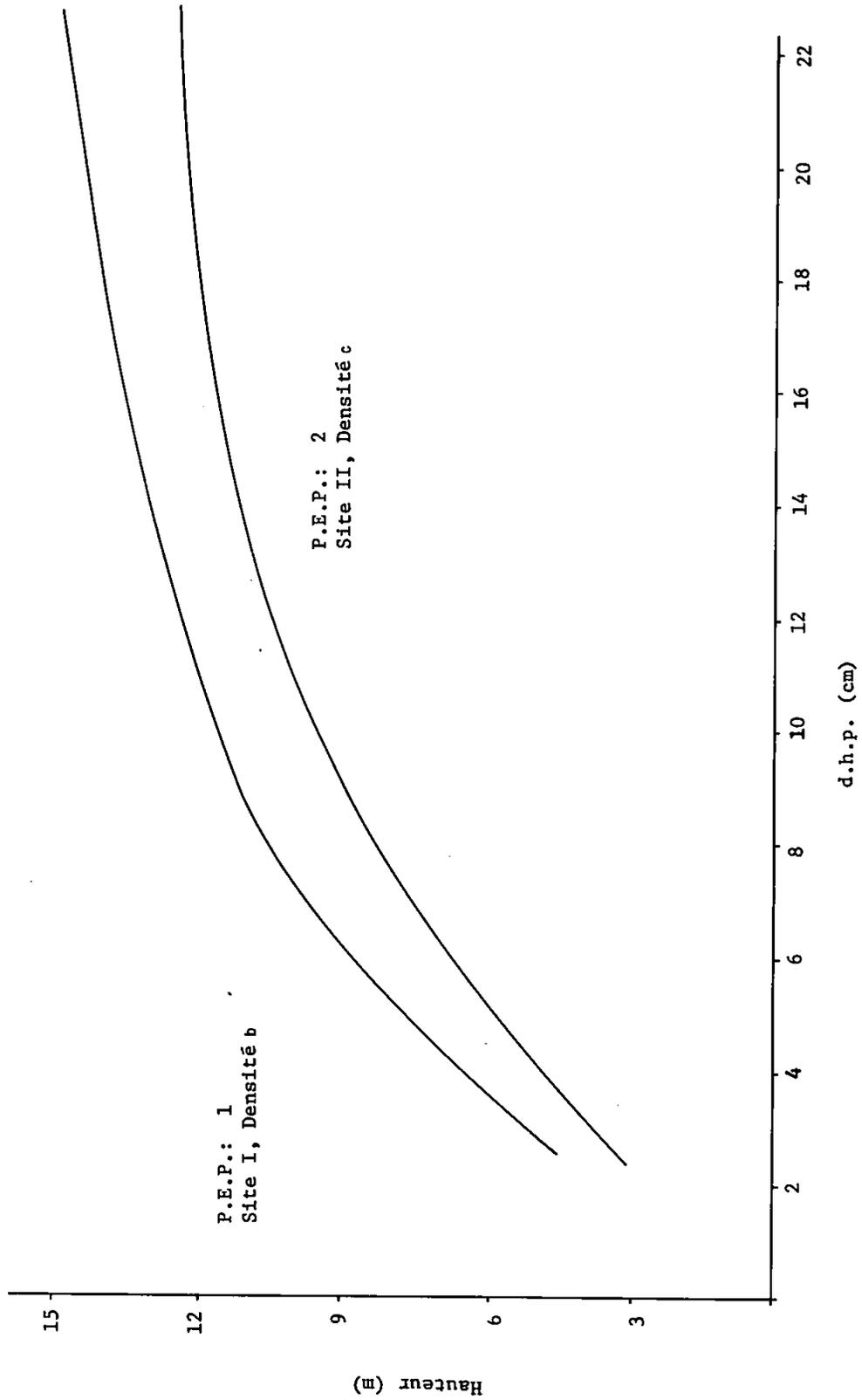


Figure A-2

Relation entre la hauteur et le diamètre des épinettes noires
dans un peuplement de pin gris âgé de 40 ans

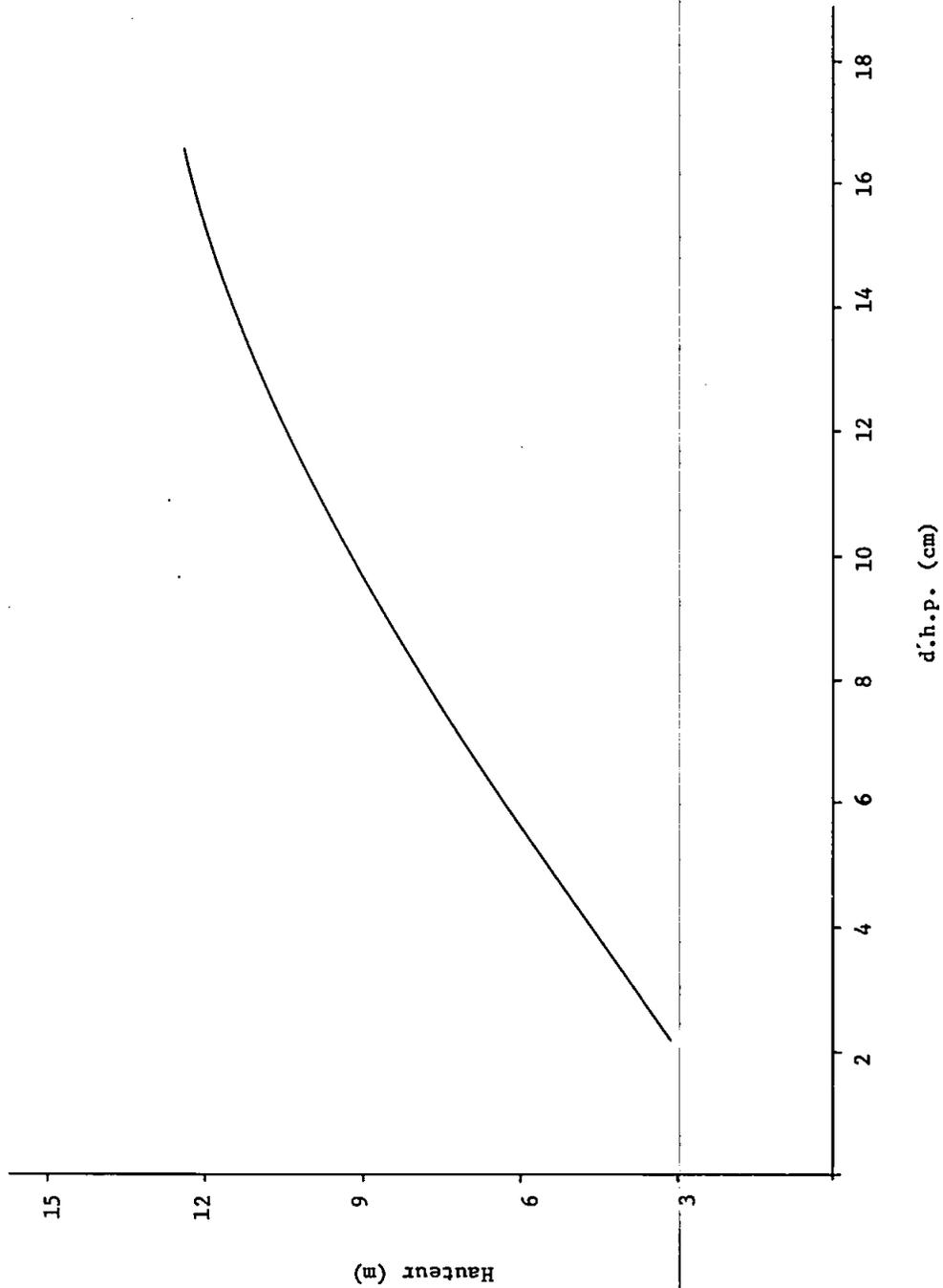


Tableau A-3

Résultats des analyses de sol (P.E.P. 1)

Horizon	F-H	Ae	Bf	C
pH	3,55	3,85	4,60	5,45
Azote (p. 100)	0,97	0,04	0,06	0,01
Carbone (p. 100)	48,08	0,50	2,72	0,06
C/N	49,60	12,50	42,50	10,00
P disp. (ppm)	40,00	traces	50,00	19,00

Tableau A-4

Résultats des analyses de sol (P.E.P. 2)

Horizon	F-H	Ae	Bfh	Bf	C
pH	3,5	3,75	5,25	5,3	5,15
Azote (p. 100)	1,01	0,03	0,08	traces	traces
Carbone (p. 100)	47,41	0,58	1,35	0,06	0,06
C/N	46,9	19,3	16,9	30,0	30,0
P disp. (ppm)	30,00	traces	5,0	12,0	5,0

Figure A-3

Variation de la concentration en N, P et K dans les aiguilles de pin gris de 1, 2 et 3 ans, en fonction de la position sur la cime (P.E.P. 1)

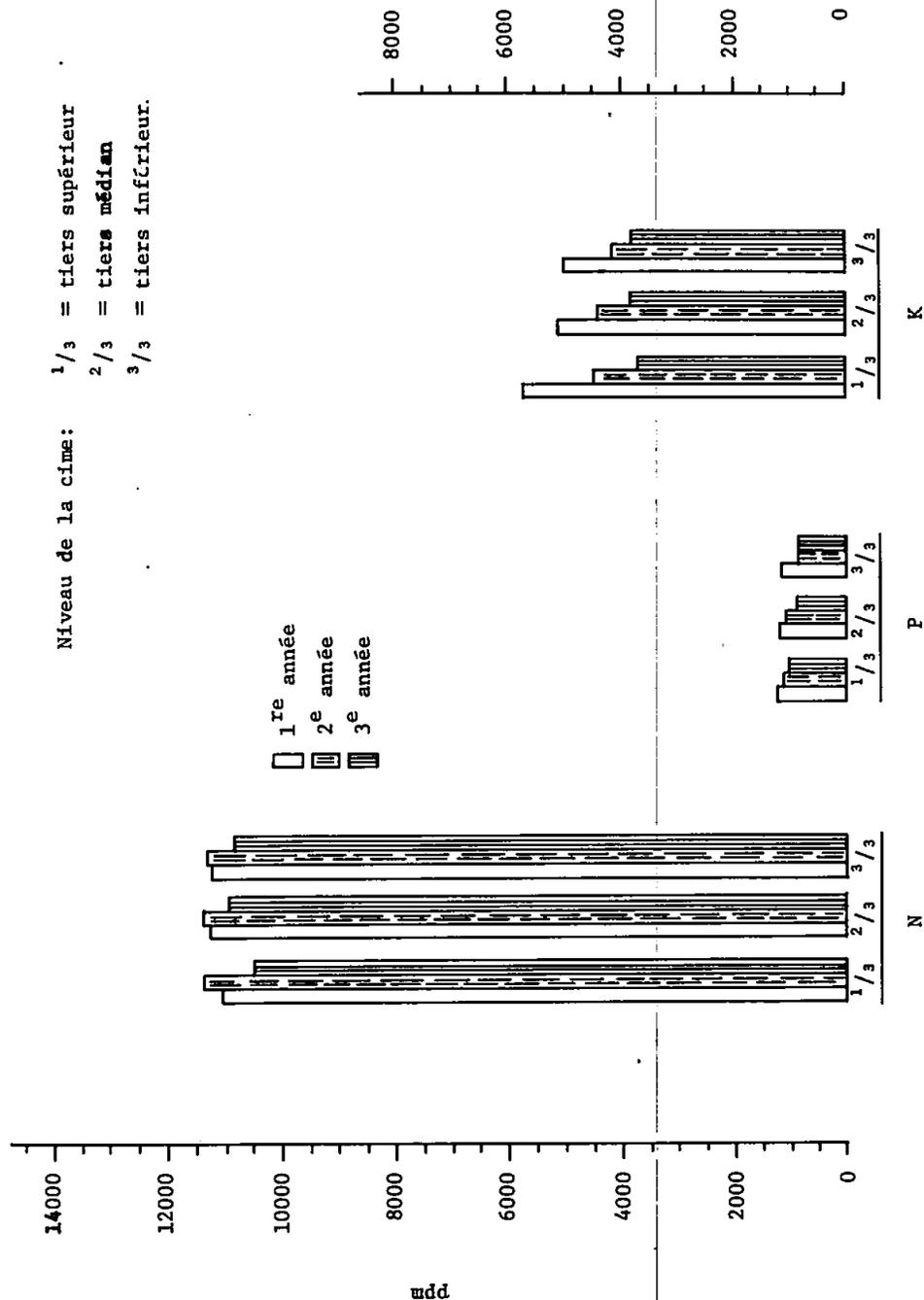


Figure A-4

Variation de la concentration en N, P et K (ppm) dans les aiguilles de pin gris de 1, 2 et 3 ans, en fonction de la position sur la cime (P.E.P. 2)

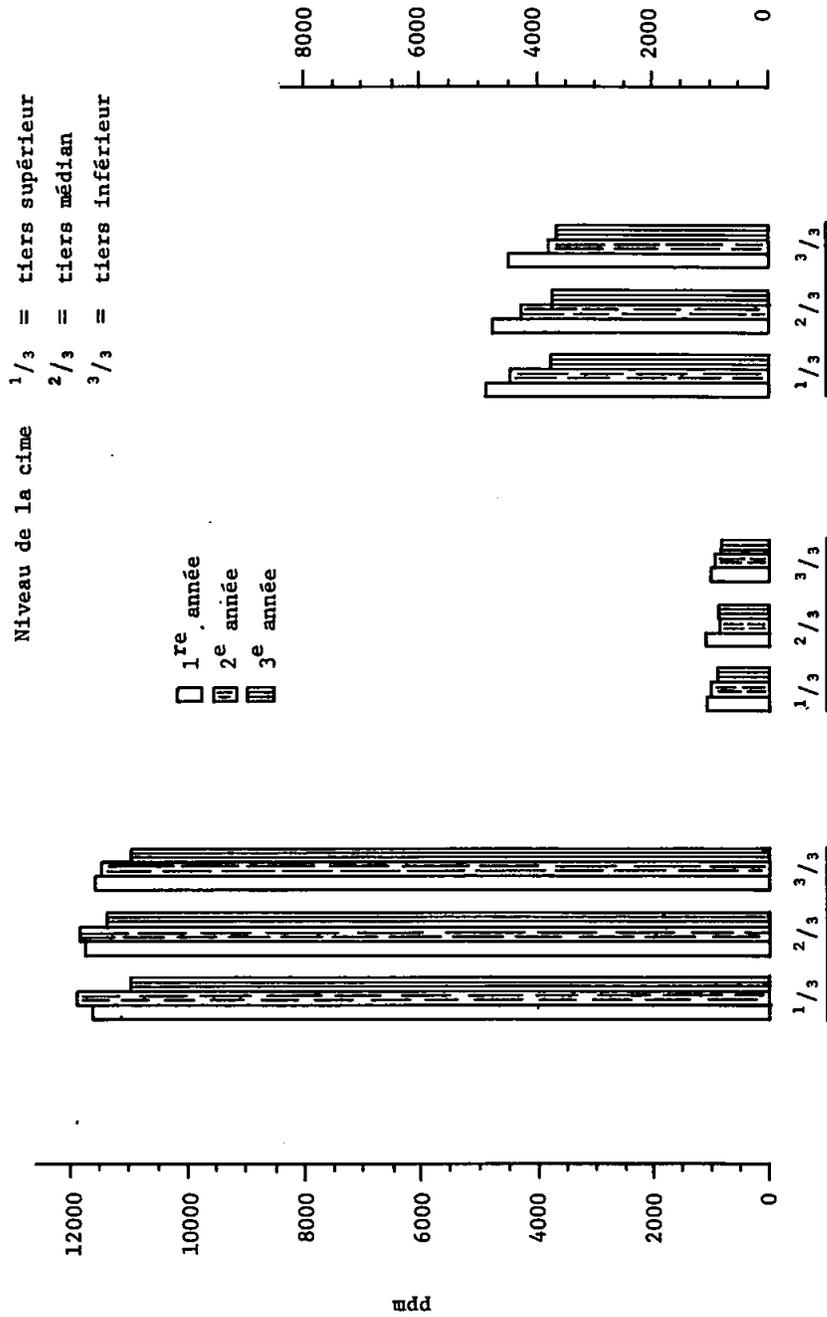


Figure A-5

Variation de la concentration en N, P et K (ppm) dans les aiguilles de pin gris, en fonction de l'orientation sur la cime (P.E.P. 1)

Partie de la cime 1/3 = tiers supérieur

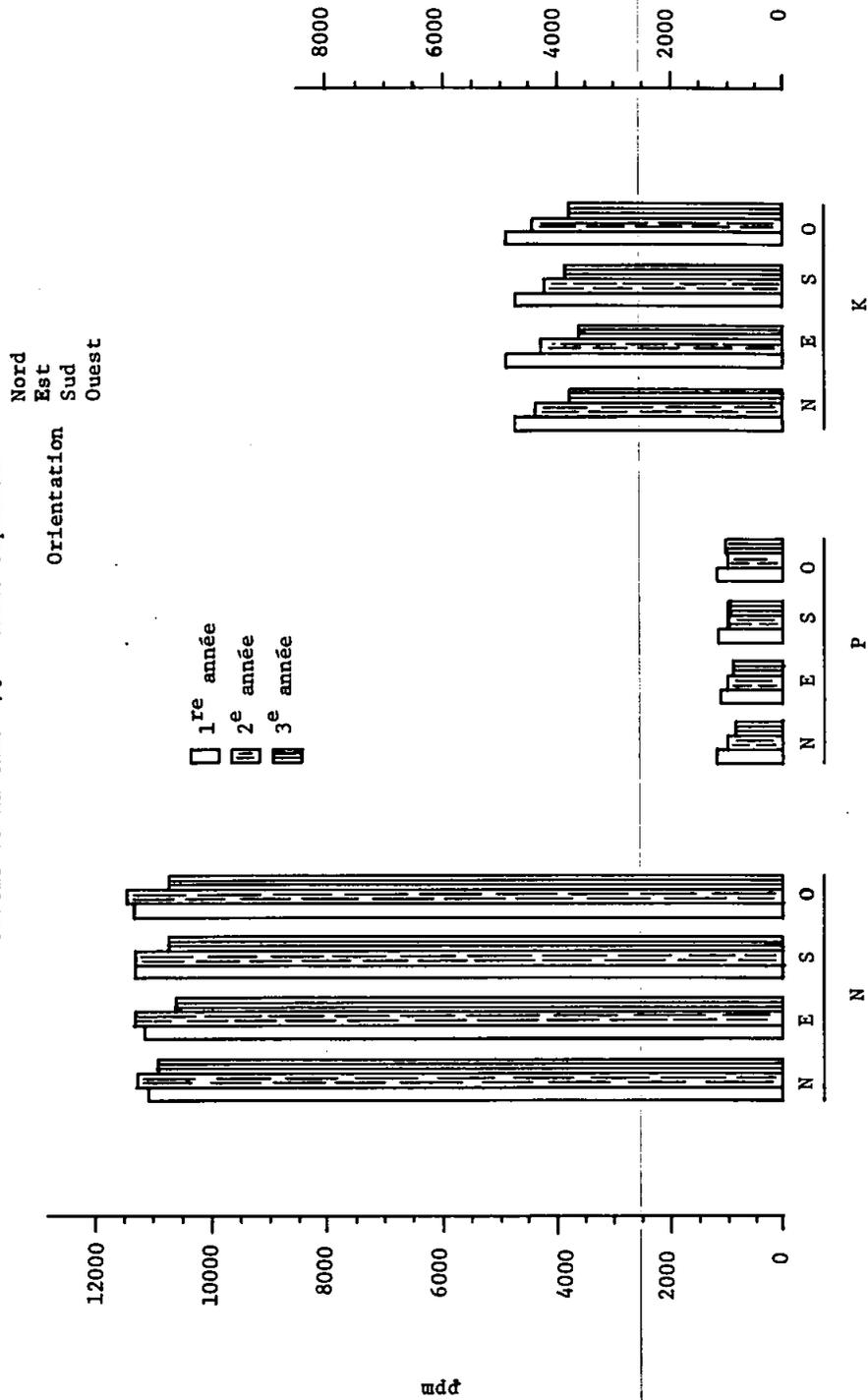
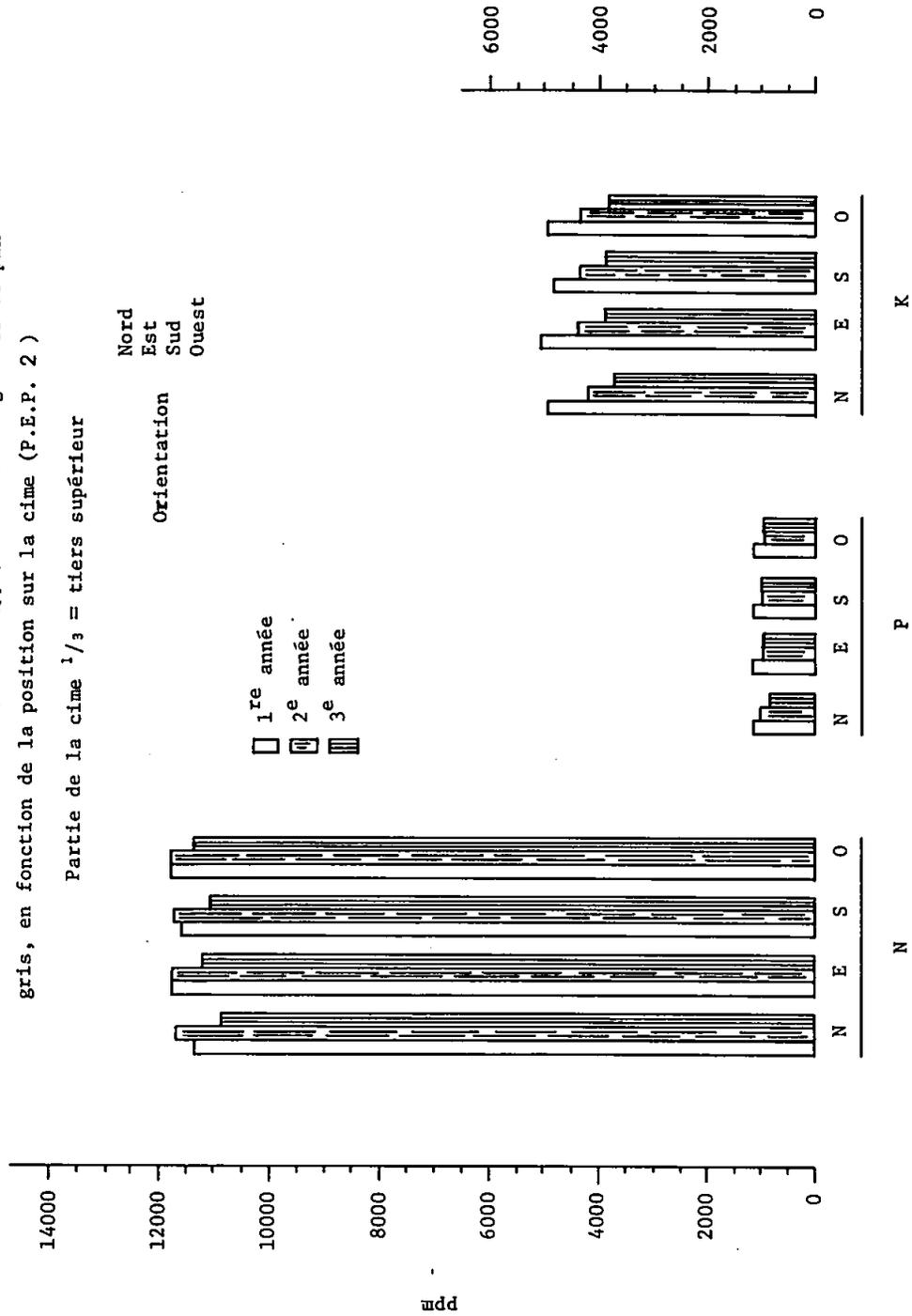


Figure A-6

Variation de la concentration en éléments (ppm) dans les aiguilles de pin gris, en fonction de la position sur la cime (P.E.P. 2)



APPENDICE B

1- Caractéristiques dendrométriques par placette

Les mesures dendrométriques des 15 placettes étudiées sont présentées au tableau B-1 et aux figures B-1 à B-5.

2- Résultats des analyses foliaires par placette

Les résultats des analyses foliaires de masse de tissus anhydres par placette sont présentés aux figures B-6 à B-11.

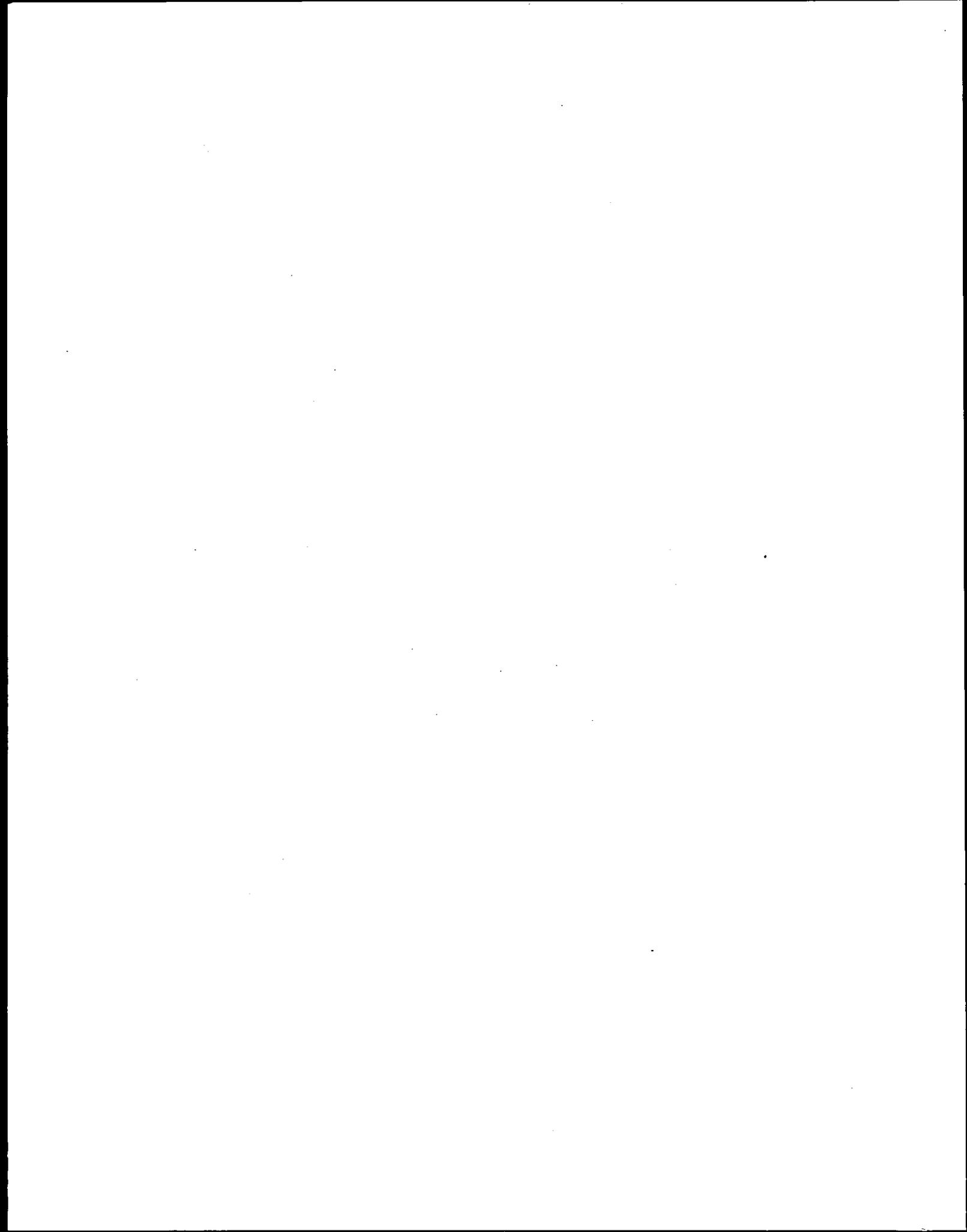


Tableau B-1

Caractéristiques dendrométriques par placette

P.E.P.	d.h.p. (cm)	H. totale moyenne (m)	Nombre de tiges par hectare	Surface terrière (m ³ /ha)	Volume total (m ³ /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)
1	12,7	13,8	1656	23,2	166,1	140,0
2	13,2	13,2	1446	23,8	165,1	141,
3	9,1	10,8	3361	26,2	154,4	105,8
4	10,9	11,7	2286	25,3	158,8	124,1
5	11,7	11,7	1952	24,1	149,7	120,5
\bar{X} ¹	11,2	11,9	2137	24,6	158,8	126,3
6	9,9	11,2	2150	19,1	104,4	73,4
7	9,9	10,0	2113	20,7	117,4	89,8
8	9,6	8,7	1581	16,5	91,5	73,6
\bar{X}	9,9	9,9	1947	18,7	104,4	78,9
9	11,2	9,3	828	11,2	64,5	53,4
10	7,6	7,2	2879	18,0	85,1	60,5
11	8,6	8,9	1964	14,9	75,6	52,0
12	11,7	10,8	1211	15,9	89,7	71,8
13	11,9	11,7	1631	16,7	96,8	72,1
\bar{X}	10,2	9,6	1702	15,3	82,3	61,9
14	9,6	8,2	889	8,3	38,7	27,0
15	8,9	8,3	1680	14,0	68,2	48,4
\bar{X}	9,1	8,3	1285	11,2	53,4	37,7
M ²	10,1	9,9	1768	17,5	99,7	76,2

¹ \bar{X} = moyenne par station

² M = moyenne générale de toutes les stations

Figure B-1

Relation hauteur totale/âge économique et quinquantion, par P.E.P.
de 6 arbres et de l'ensemble des 15 P.E.P.

- valeur minimale
- ▨ moyenne par arbre
- ▩ valeur maximale

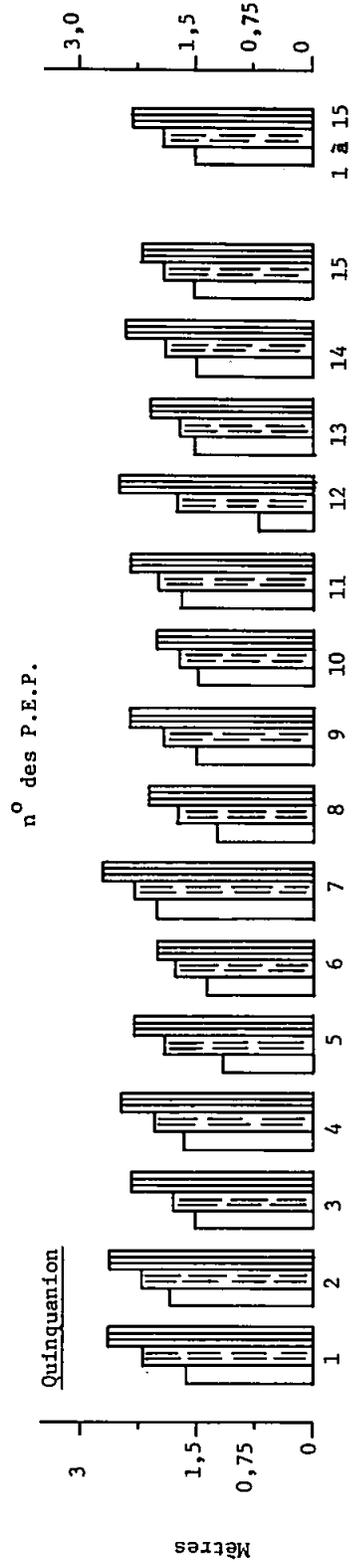
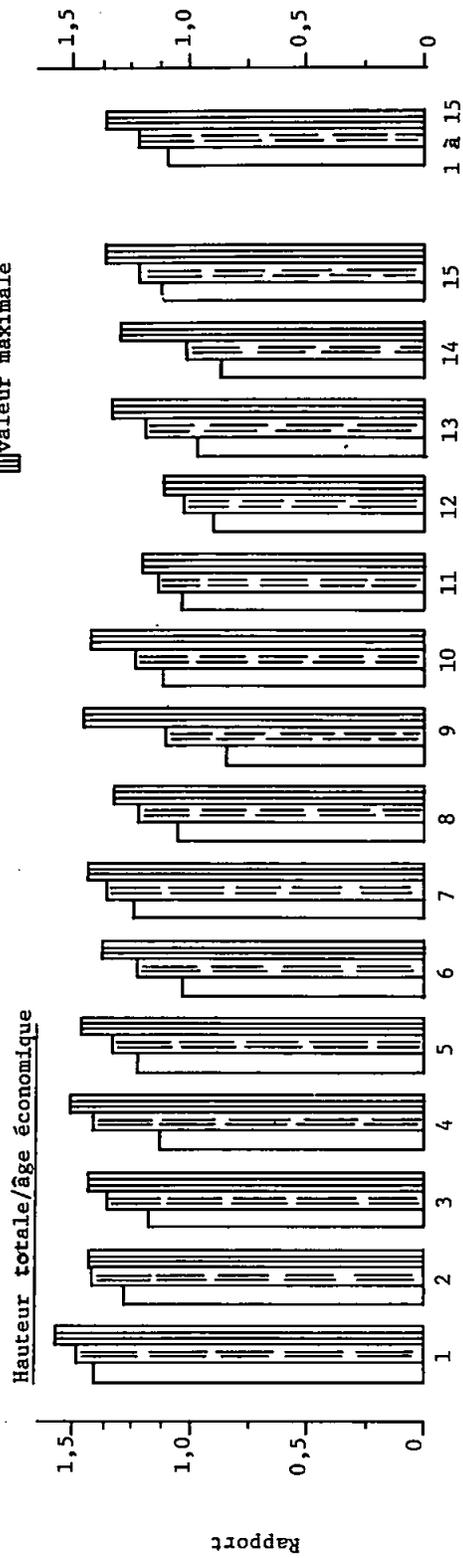
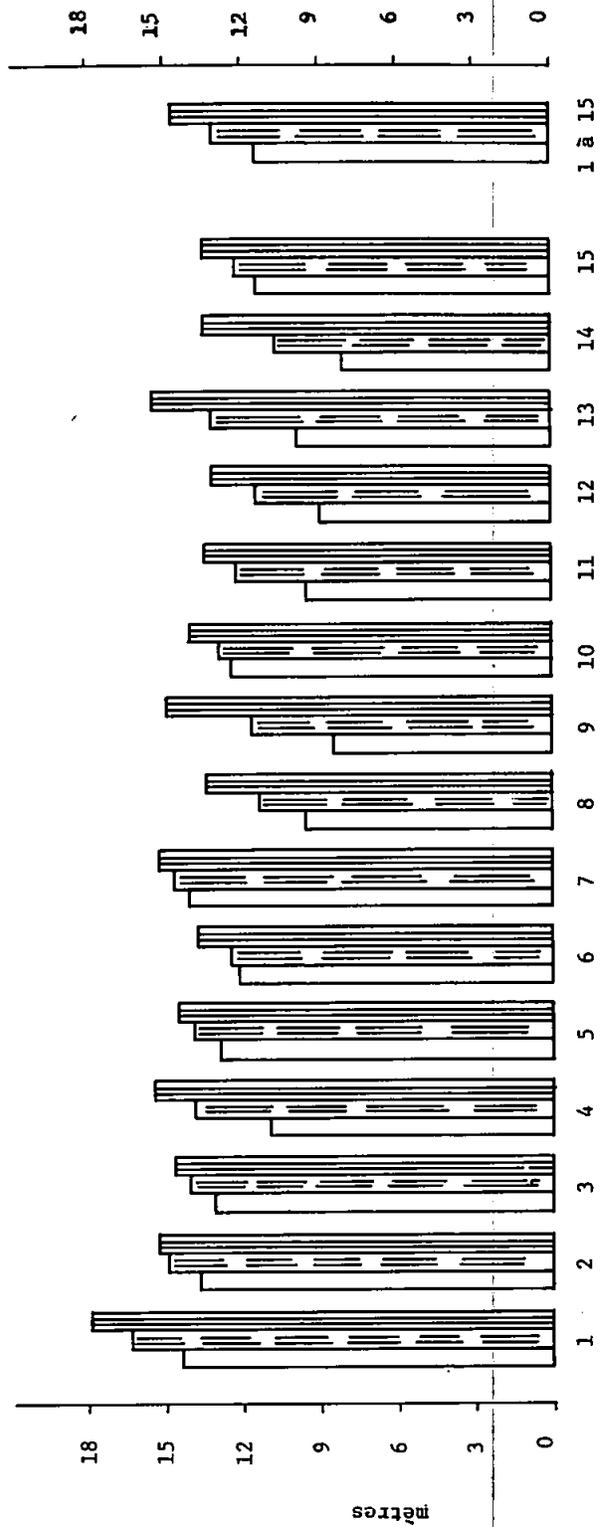


Figure B-2

Hauteur totale, par P.E.P. de 6 arbres
et de l'ensemble des 15 P.E.P.

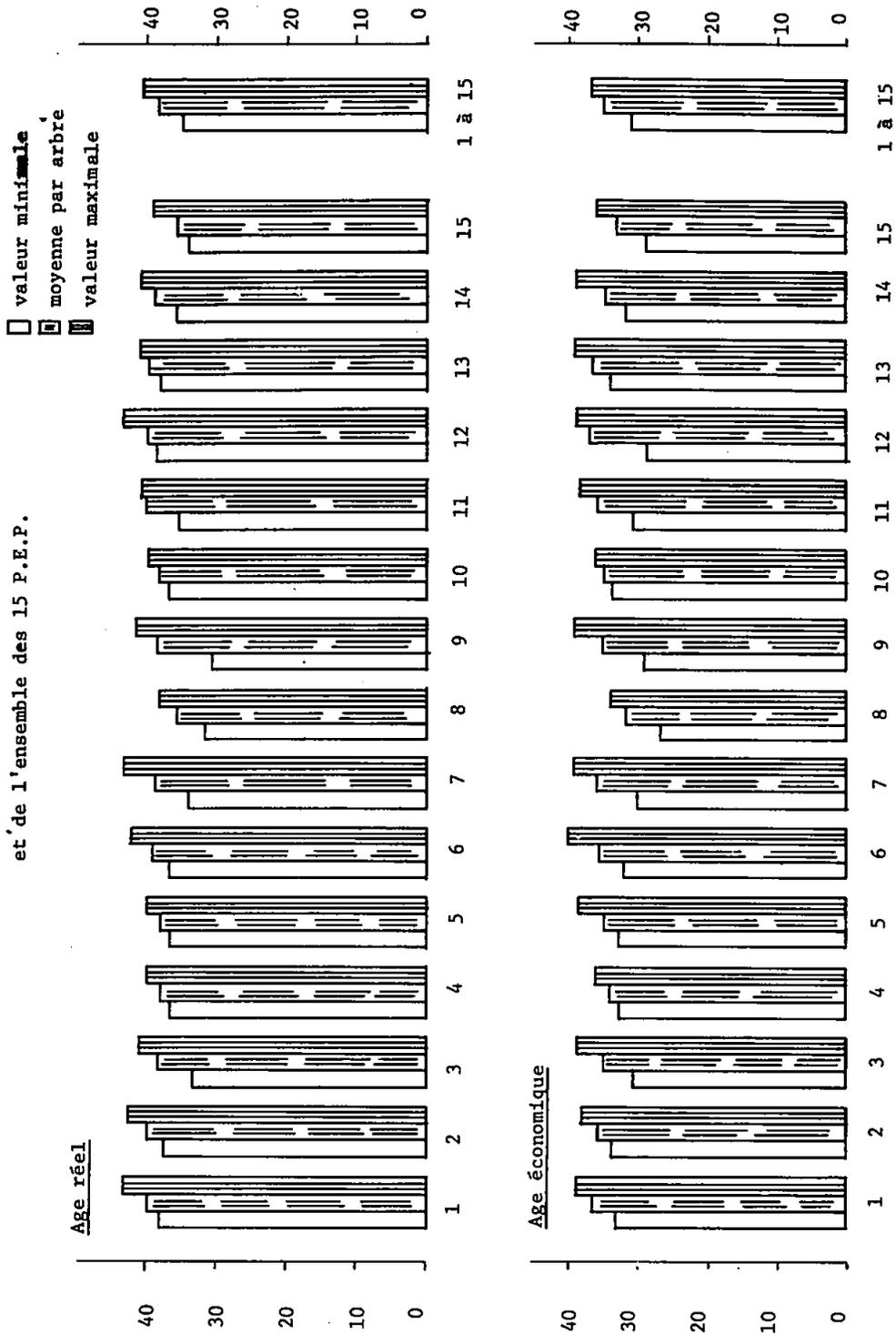
□ valeur minimale
 ▨ moyenne par arbre
 ▩ valeur maximale



n° des P.E.P.

Figure B-3

Âge réel et âge économique, par P.E.P. de 6 arbres
et de l'ensemble des 15 P.E.P.

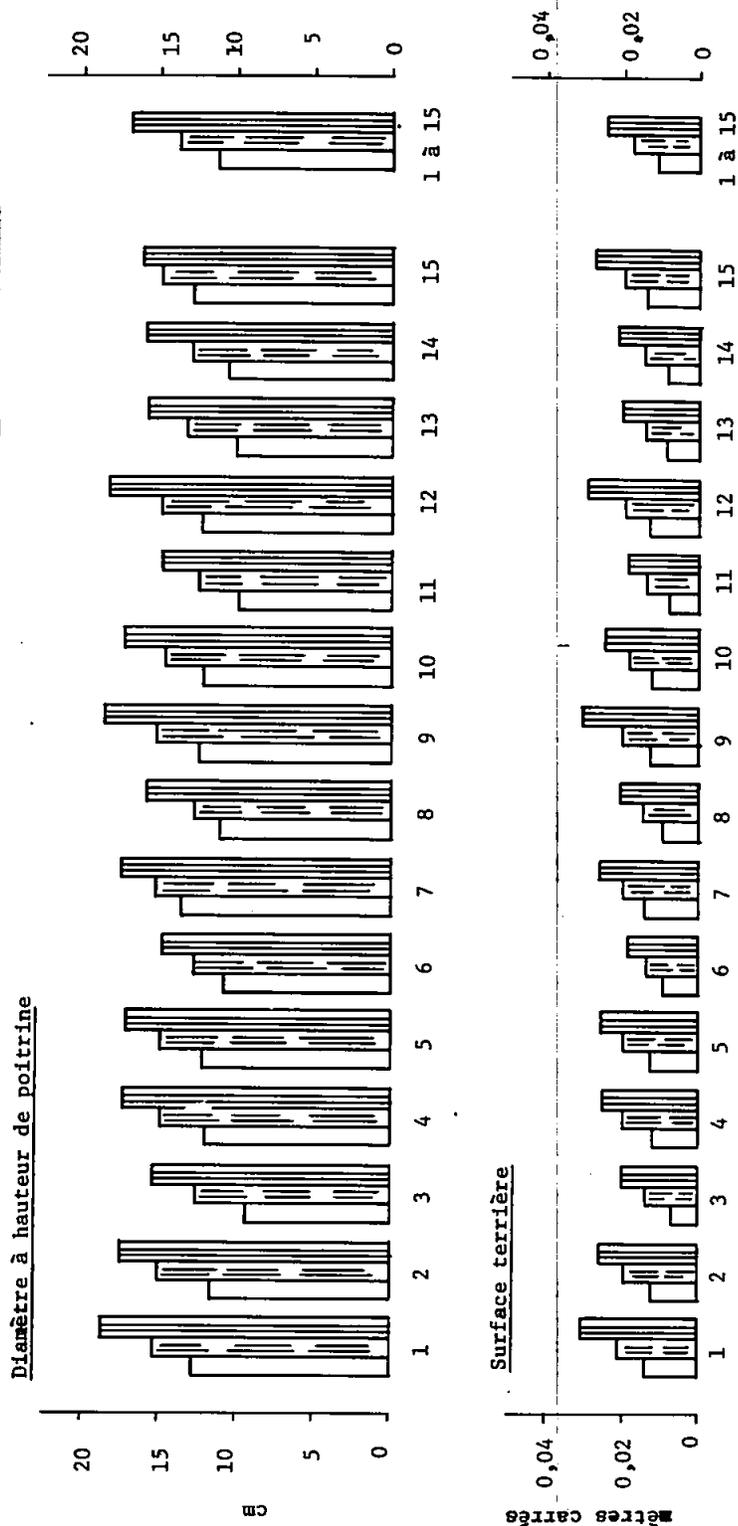


n° des P.E.P.

Figure B-4

Diamètre et surface terrière, par P.E.P., de
6 arbres et de l'ensemble des 15 P.E.P.

□ valeur minimale
▤ moyenne par arbre
▨ valeur maximale



n° des P.E.P.

Figure B-5

Accroissement annuel courant en hauteur et accroissement annuel moyen des 5 dernières années, par P.E.P. de 6 arbres et de l'ensemble des 15 P.E.P.

- valeur minimale
- ▨ moyenne par arbre
- ▩ valeur maximale

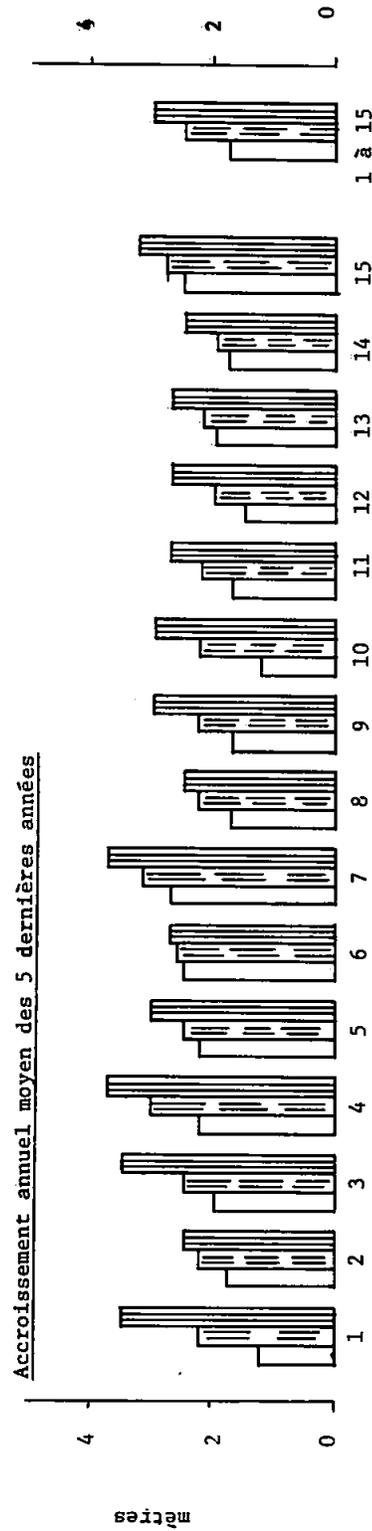
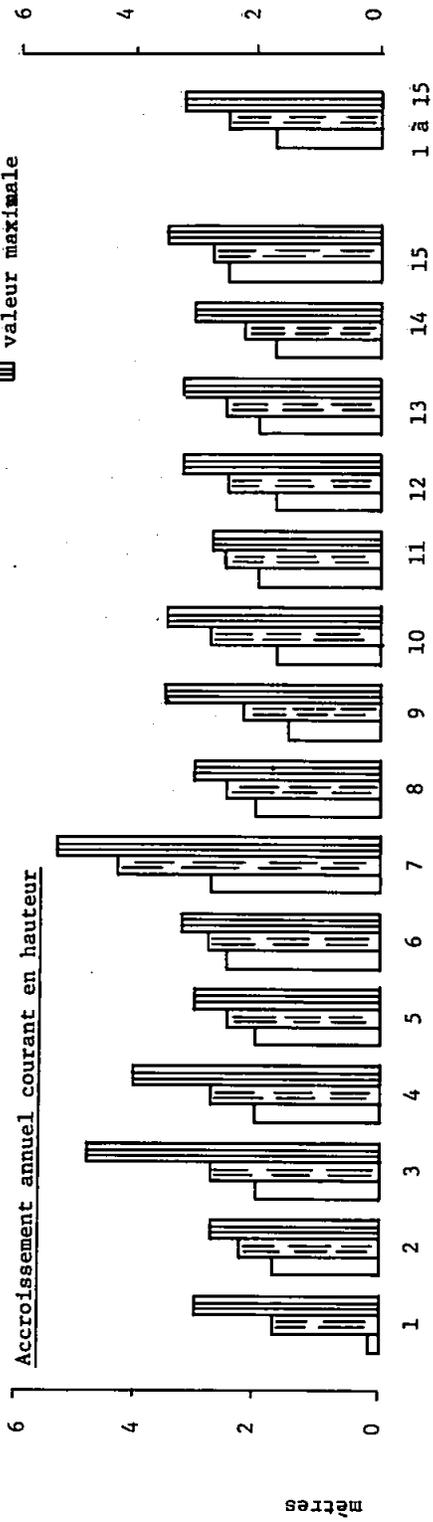


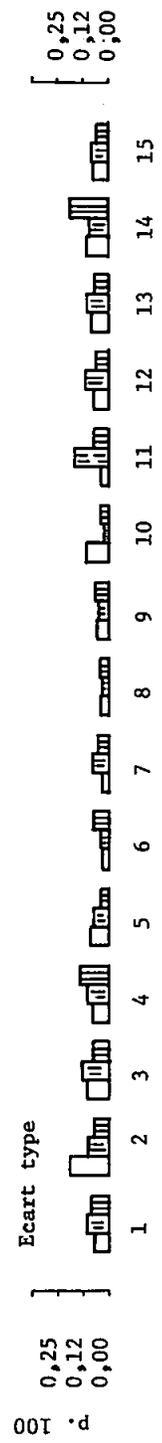
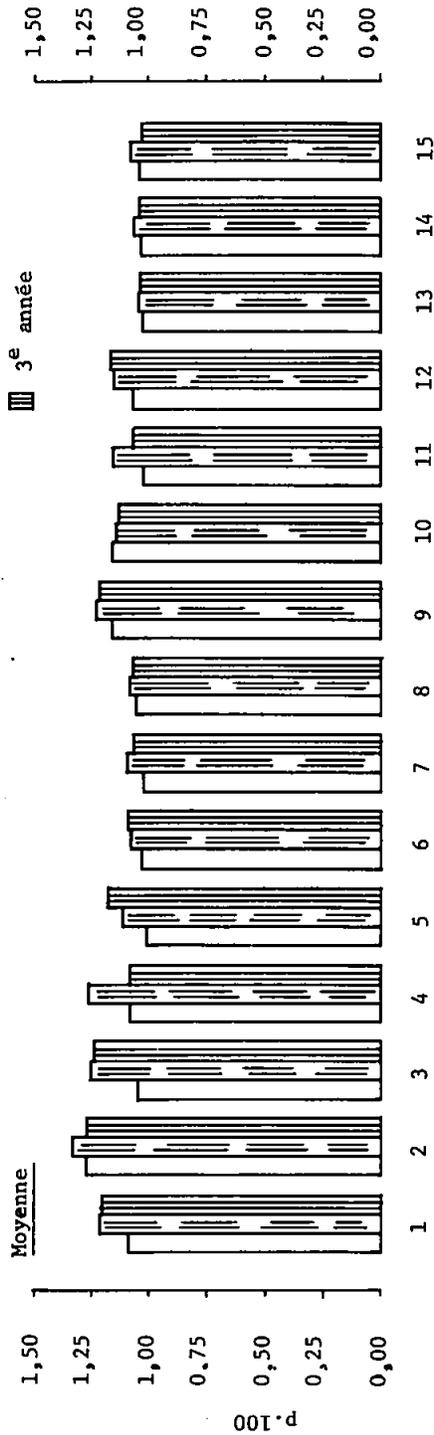
Figure B-6

Concentration en N (p. 100) dans les aiguilles de pin gris de chacune des 15 P.E.P. étudiées

(moyenne et écart type par P.E.P. de 6 arbres)

Age des aiguilles

- 1^{re} année
- ▨ 2^e année
- ▩ 3^e année



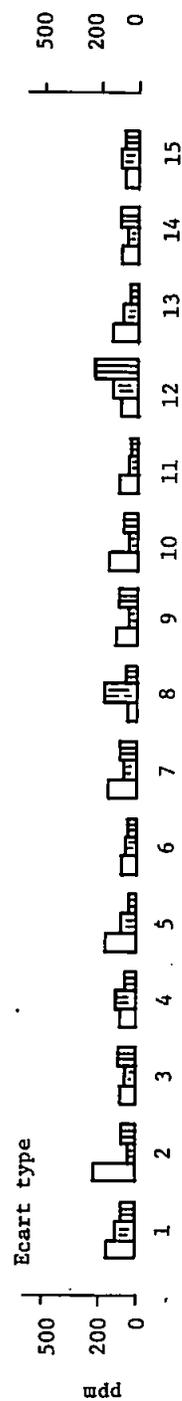
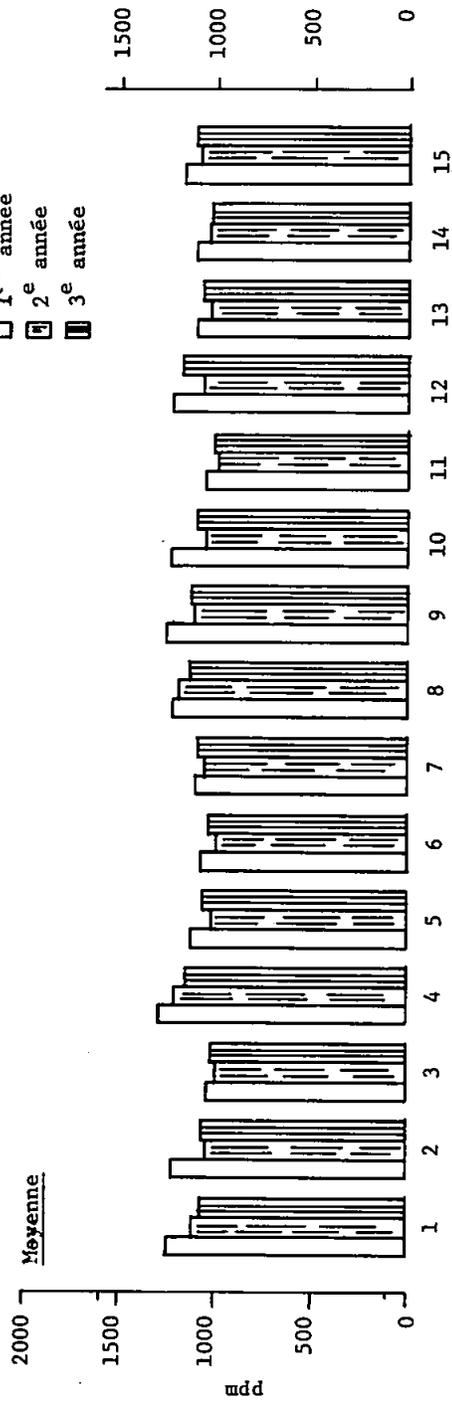
n° des P.E.P.

Figure B-7

Concentration en P (ppm) dans les aiguilles de pin gris de chacune des 15 P.E.P. étudiées

(moyenne et écart type par P.E.P. de 6 arbres)

Age des aiguilles
 □ 1^{re} année
 ▤ 2^e année
 ■ 3^e année



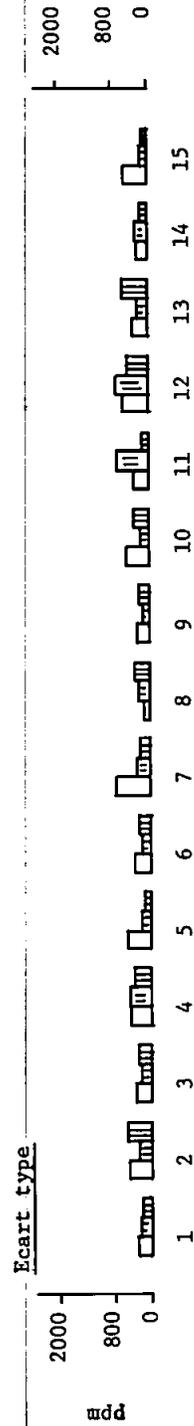
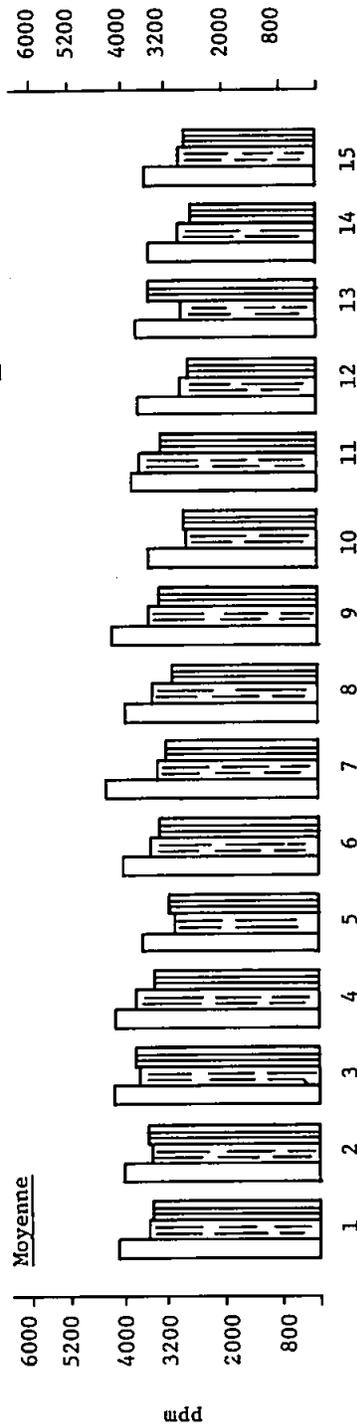
n° des P.E.P.

Figure B-8

Concentration en K (ppm), dans les aiguilles de pin gris
de chacune des 15 P.E.P. étudiées

(moyenne et écart type par P.E.P. de 6 arbres)

Age des aiguilles
 □ 1^{re} année
 ▤ 2^e année
 ▨ 3^e année



n° des P.E.P.

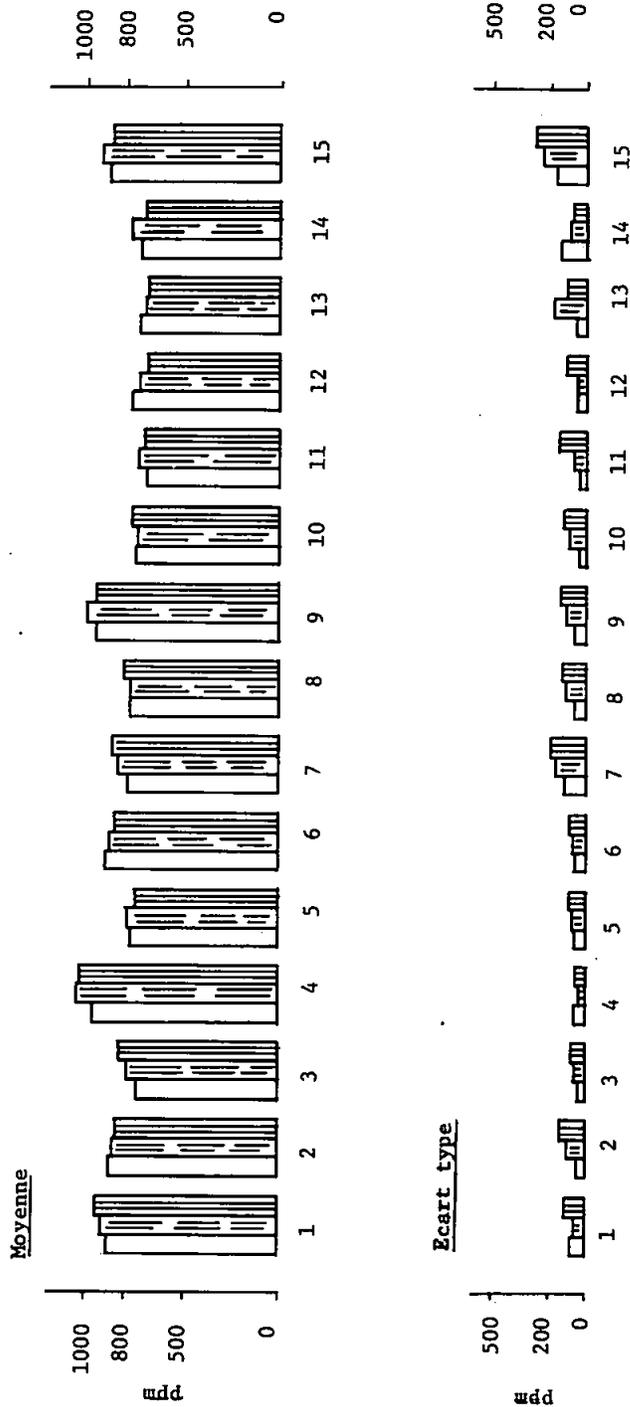
Figure B-9

Concentration en Mg (ppm) dans les aiguilles de pin gris
de chacune des 15 P.E.P. étudiées

(moyenne et écart type par P.E.P. de 6 arbres)

Age des aiguilles

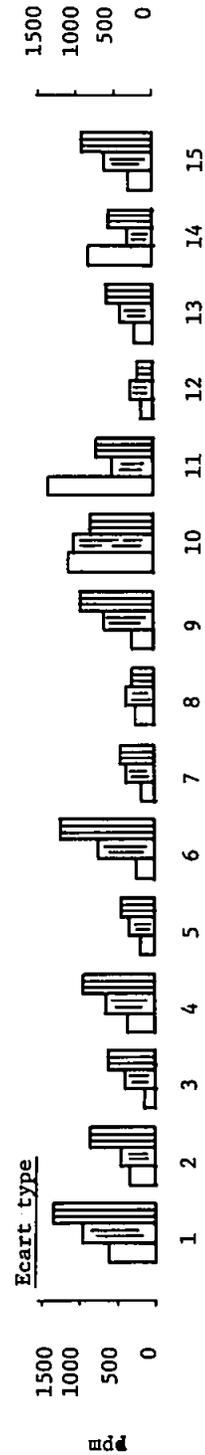
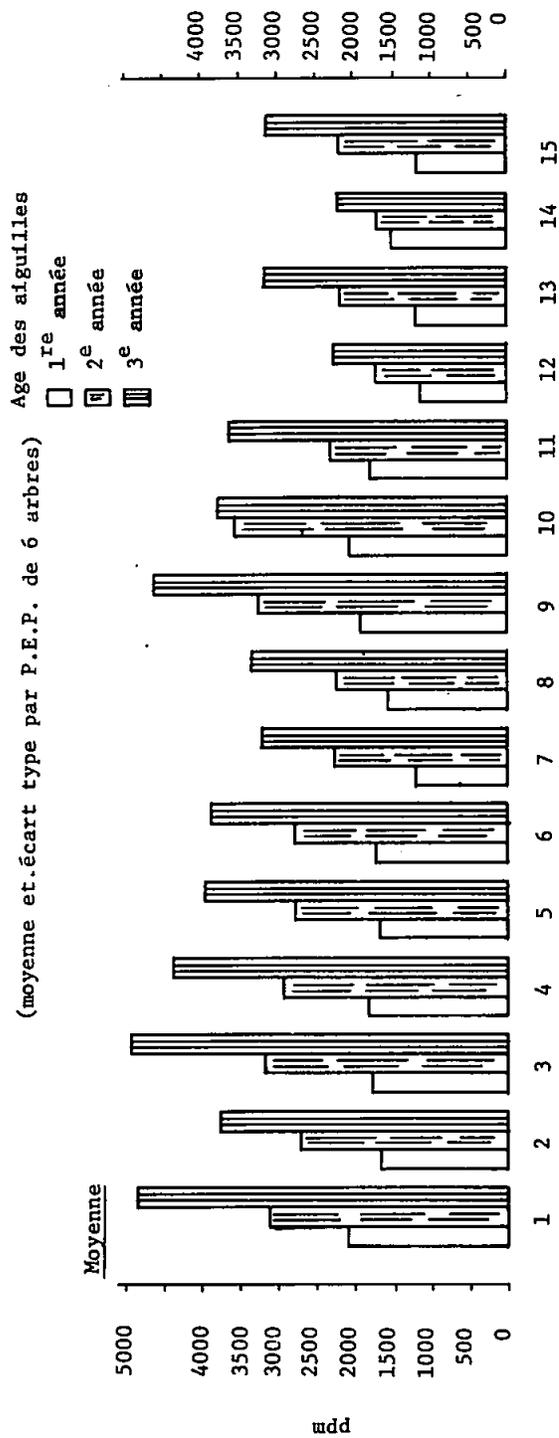
- 1^{re} année
- ▨ 2^e année
- ▩ 3^e année



n° des P.E.P.

Figure B-10

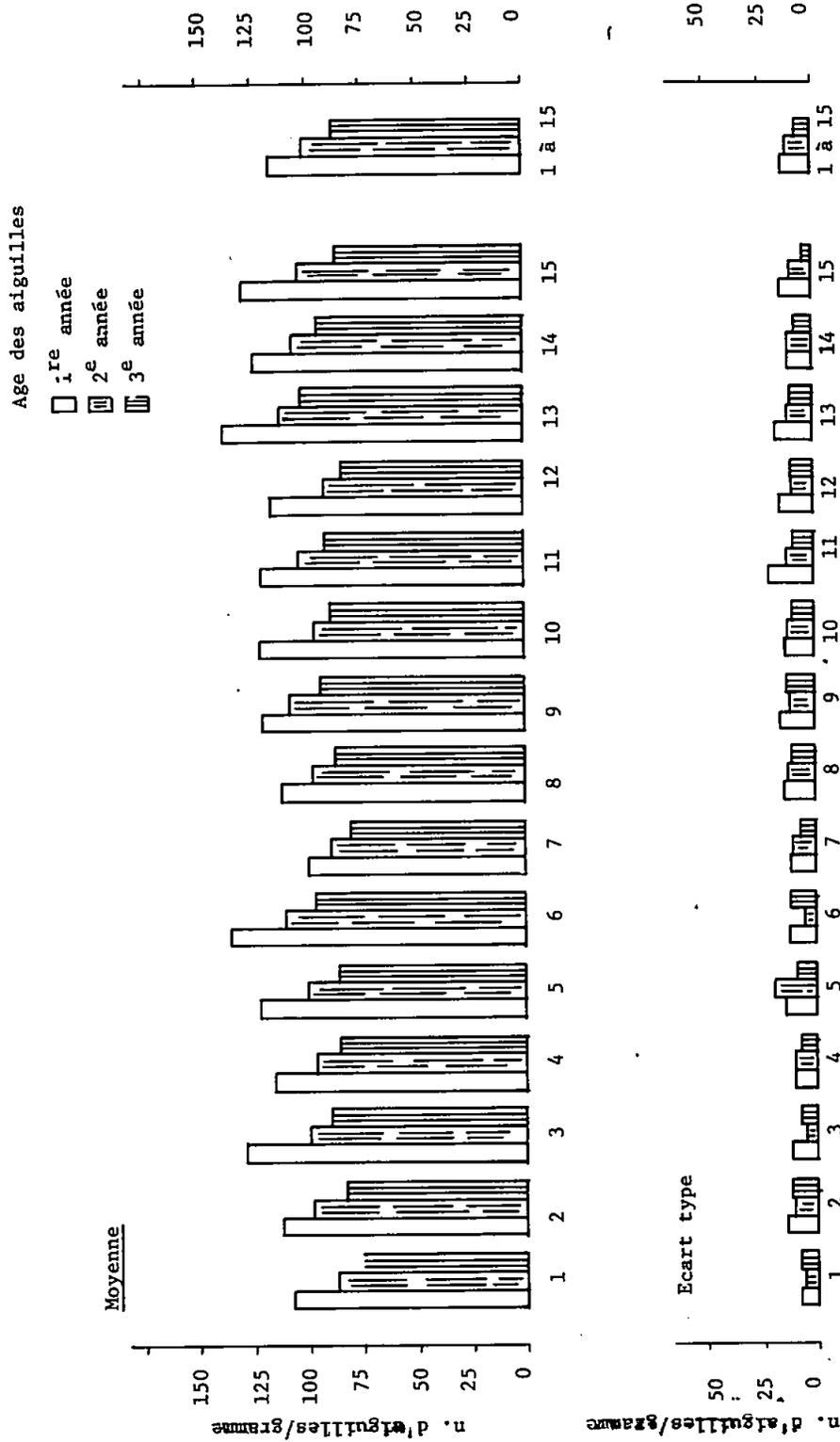
Concentration en Ca (ppm) dans les aiguilles de pin gris
de chacune des 15 P.E.P. étudiées

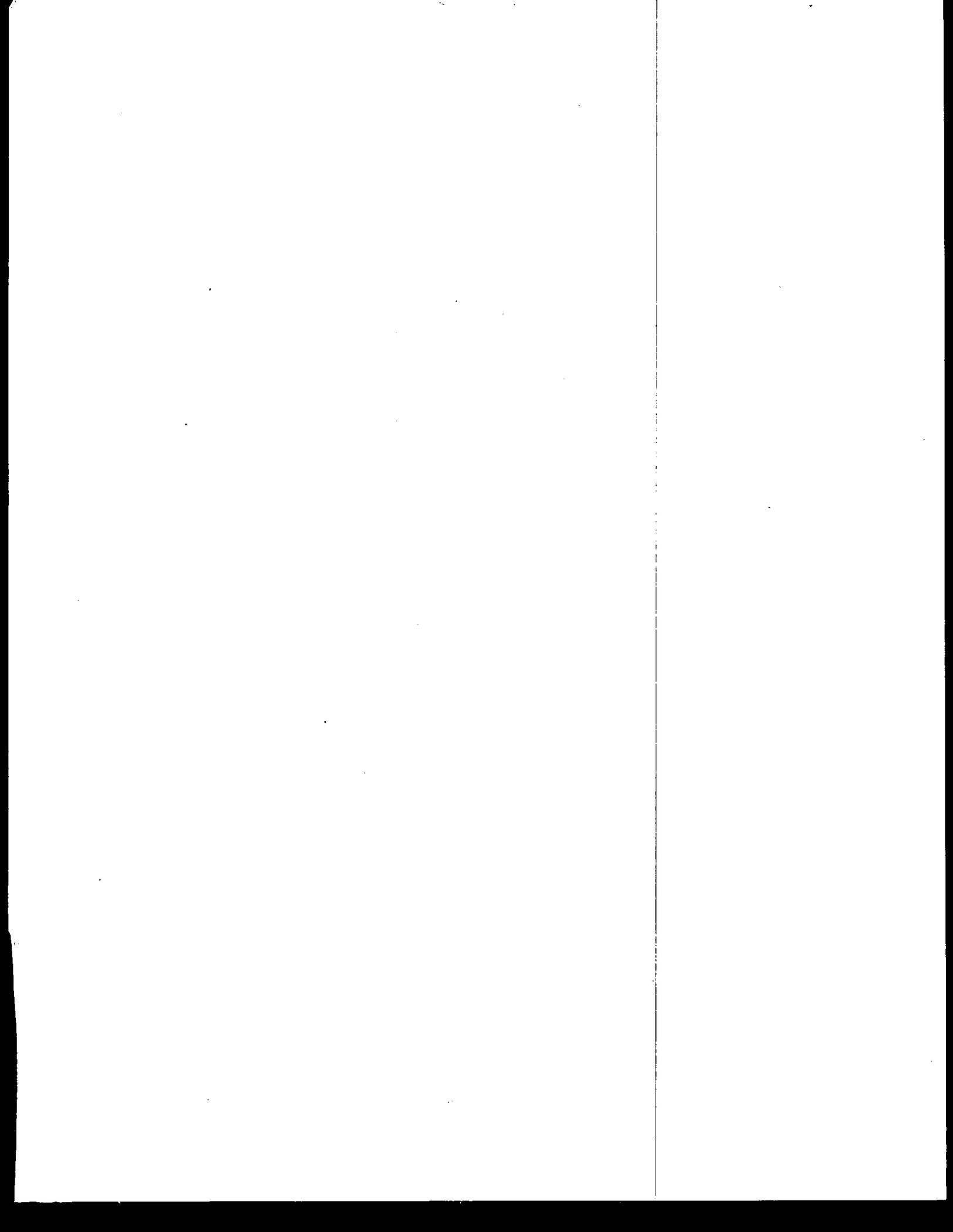


n° des P.E.P.

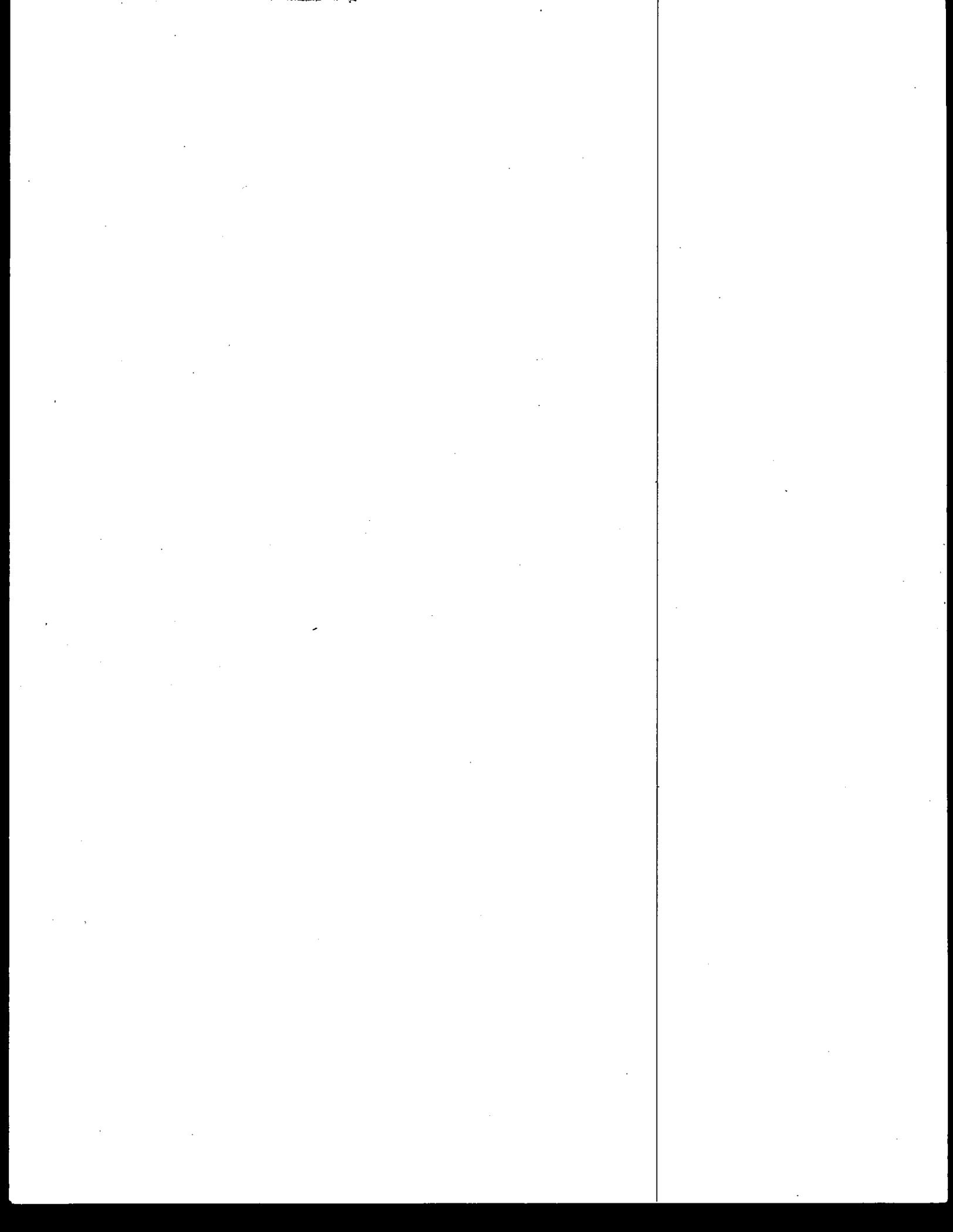
Figure B-11

Nombre d'aiguilles par gramme chez le pin gris, pour chacun des 15 P.E.P. étudiés
(moyenne et écart type par P.E.P. de 6 arbres et pour l'ensemble des 15 P.E.P.)





**Achévé d'imprimer à
Québec en décembre 1978, sur
les presses du Service des impressions en régie
du Bureau de l'Éditeur officiel
du Québec**



Le ministère des Terres et Forêts reconnaît ses responsabilités dans le domaine de la recherche forestière; elle constitue pour lui une source indispensable de renseignements lui permettant de prendre des décisions éclairées pour la définition et l'application de ses politiques relatives à la production de matière ligneuse et d'espaces boisés. De plus, le développement de l'industrie forestière dépend dans une large mesure de la vitalité des organismes de recherches forestières.



Éditeur officiel du Québec
Imprimé au Québec