

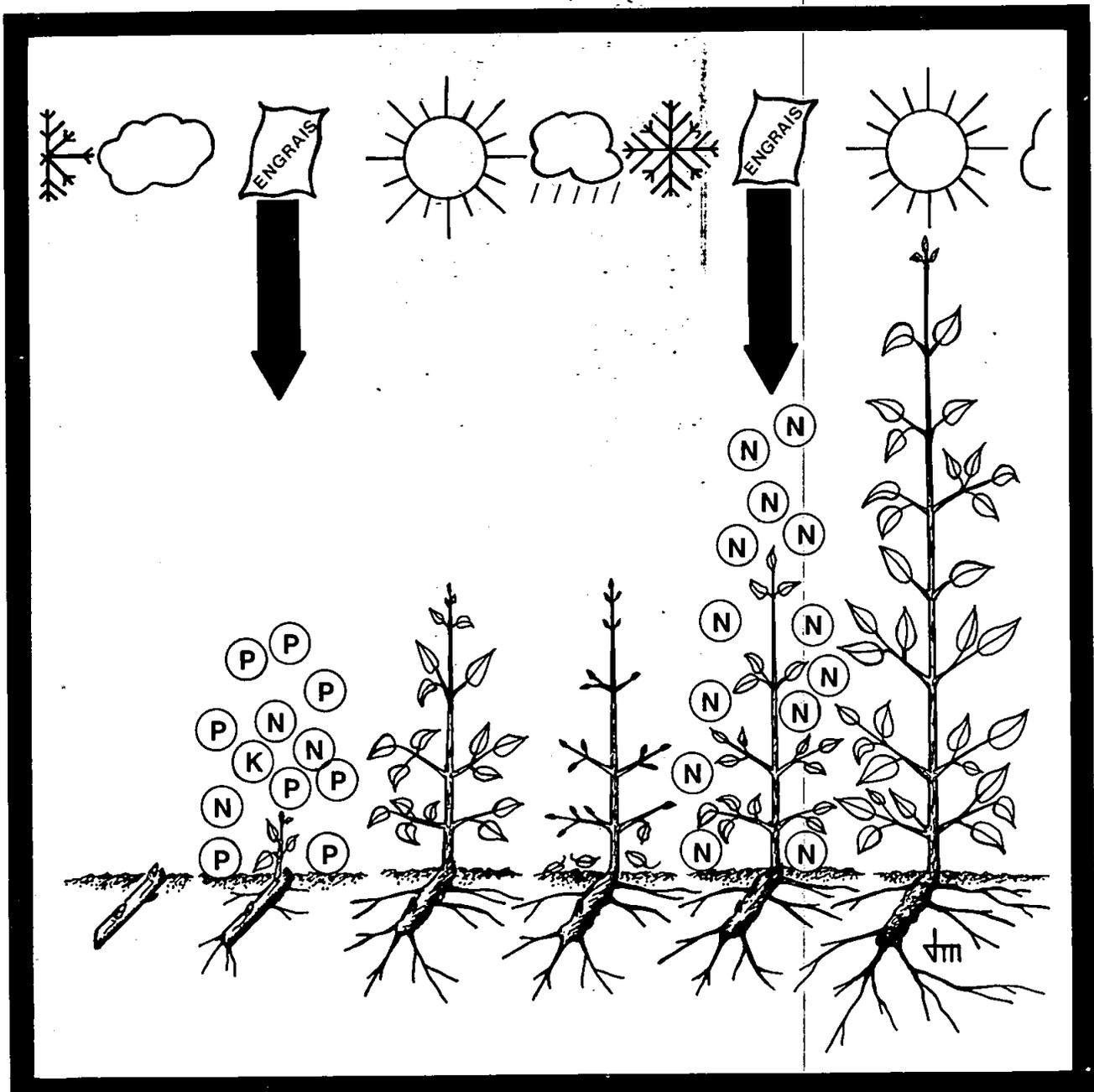


Mémoire n° 57

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT SUR LE PEUPLIER

XVI-RÉSULTATS D'ESSAI DE QUARANTE TRAITEMENTS DE FERTILISATION D'UNE PLANTATION DE BOUTURES

par Jean Ménétrier et Gilles Vallée



O.D.C. 232.425.1+232.5+237.4 (047.3)(714)
L.C. SD 408 .P85

JEAN MÉNÉTRIER est ingénieur agronome de l'École nationale supérieure d'agronomie de Nancy, France et licencié ès sciences de l'Université de Besançon, France. Il a travaillé au Service de la recherche forestière, d'abord à titre de coopérant technique, puis comme ingénieur de la SICORES (Société internationale de Coopération pour Réalisations économiques et sociales); il est maintenant chargé de recherches en popu-
liculture.

GILLES VALLÉE est bachelier ès sciences de l'Université de Montréal depuis 1959 et bachelier ès sciences appliquées (foresterie) de l'Université Laval depuis 1963. Stagiaire au Centre national de recherches forestières et à l'École nationale des eaux et forêts de Nancy en 1963-64, il reçoit en 1966 le diplôme de docteur ingénieur (pédologie) de l'Université de Nancy et entre alors au ministère des Terres et Forêts (maintenant Énergie et Ressources) comme chargé de recherches en génétique forestière. En 1968, 1969 et 1970, il est de nouveau stagiaire à la Station d'amélioration des arbres forestiers du Centre de recherches de Nancy.



RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT SUR LE PEUPLIER
XVI - RÉSULTATS D'ESSAI DE QUARANTE TRAITEMENTS
DE FERTILISATION D'UNE PLANTATION DE BOUTURES

par

JEAN MÉNÉTRIER ET GILLES VALLÉE

MÉMOIRE N° 57

SERVICE DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE
MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES

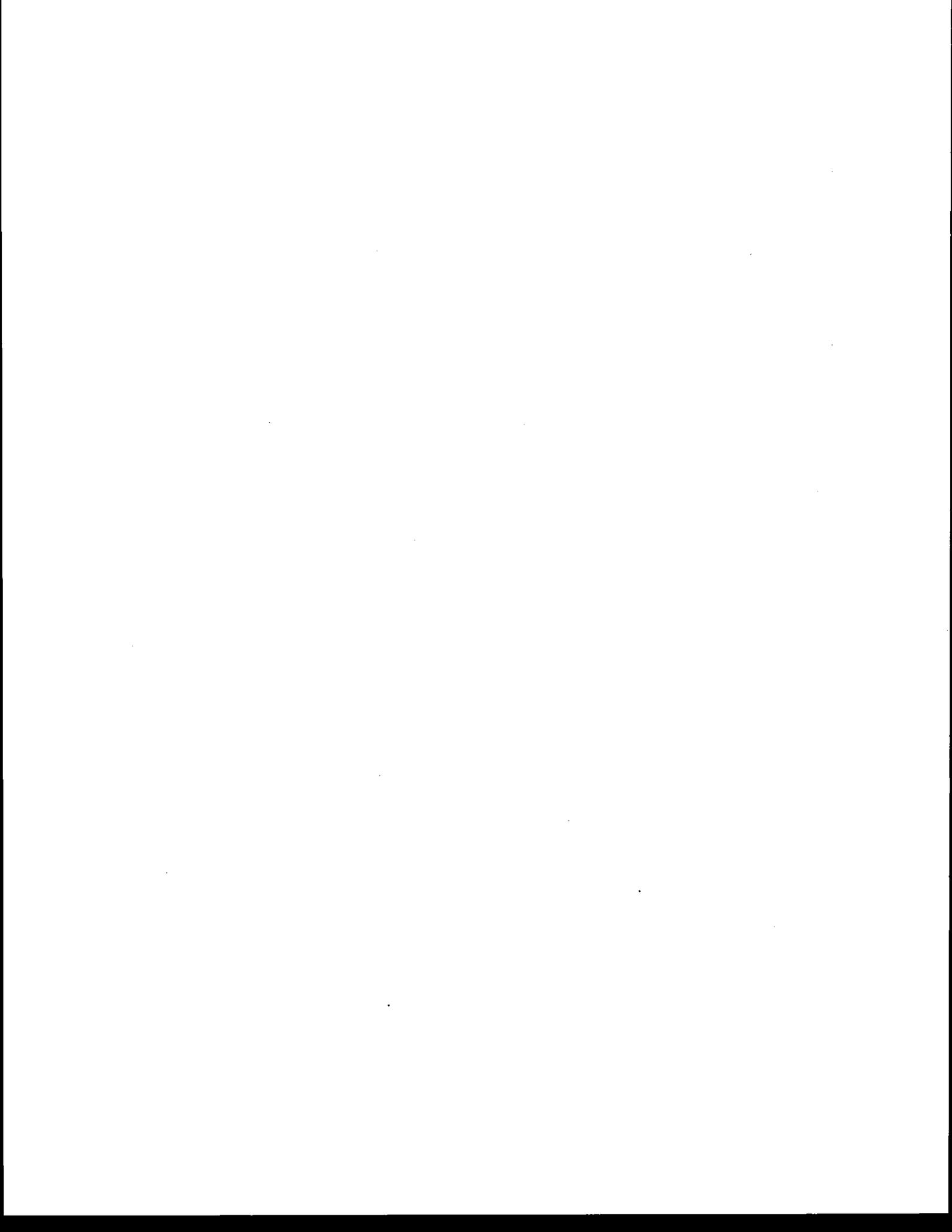
1980

ISBN 2-550-01273-9
Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

AVANT-PROPOS

Ce rapport fait partie d'une série d'études menées dans le cadre du programme de recherche et de développement sur le peuplier. Ce programme a débuté en 1971 en collaboration avec la Coopération technique franco-québécoise, impliquée jusqu'en 1974, et avec la région administrative du Bas Saint-Laurent - Gaspésie du ministère de l'Énergie et des Ressources. Nous remercions tous ces organismes pour leur participation à cette réalisation originale. Ce programme, concentré au début dans la région de l'Est-du-Québec, a été étendu aux autres régions du Québec favorables à la populiculture.

Nous remercions toutes les personnes du Service de la recherche forestière qui, par leur collaboration, ont permis la réalisation de ce rapport et en particulier MM. Y. Richard et M. Ménard de la division de biométrie et monsieur H. Gagnon pour sa contribution technique.



RÉSUMÉ

L'essai de quarante traitements de fertilisation d'une plantation de boutures de peuplier a permis de mettre en évidence le rôle essentiel de l'azote et du phosphore et plus particulièrement l'efficacité d'un apport complémentaire d'azote au début de la deuxième saison de végétation. Une dose de phosphore de 28 kg/ha planté, épanchée en bandes de 0,60 m de large, trois semaines après la plantation, et l'épandage au printemps suivant, sur bandes de 0,90 m de large, de 112 kg d'azote par hectare planté ont donné les meilleurs résultats après trois saisons de végétation et ceci pour un rapport coût-rendement des plus intéressants.

A la plantation, l'apport de phosphore seul est supérieur à celui de N seul ou de N-P et les taux foliaires de phosphore sont mieux corrélés à la croissance que le taux foliaire d'azote. Le potassium n'a pas d'effet notable sur la croissance mais semble indispensable pour des niveaux élevés de N et P. Il n'y a pas de différences significatives entre les formes d'engrais après une saison de végétation, mais après trois ans la combinaison ammonitrate + superphosphate triple + sulfate de potassium avec apport supplémentaire d'azote en 2^e année est significativement supérieure. Le principe

d'une fertilisation sur bandes et en deux temps, axée principalement sur le phosphore pour le démarrage de la plantation puis sur l'azote en 2^e ou même 3^e année, est une bonne façon d'optimiser cet investissement.

SUMMARY

The trial of forty fertilization treatments on a cuttings plantation has shown the essential role of nitrogen and phosphorus and particularly the efficiency of a nitrogen complementary supply at the beginning of the second growing season. Applying 28 kg/ha of P spread on 0,60 m wide strips three weeks after planting and 112 kg/ha of N spread on 1 m wide strips one year after gave the best results in growth and cost-yield ratio after three growing seasons. At planting time, phosphorus only is better than nitrogen only and foliar phosphorus rates are better correlated with growth than nitrogen rates. Potassium is essential only for high levels of other elements and in small quantities. There are no significant differences between types of fertilizer after one growing season, but after three years, ammonium nitrate + triple superphosphate + potassium sulphate with a supplementary dose of nitrogen in 2nd year is significantly better. The principle of strip fertilization in two stages, based on phosphorus for starting with nitrogen in the 2nd or even the 3rd year, is a good way of optimizing such an investment.

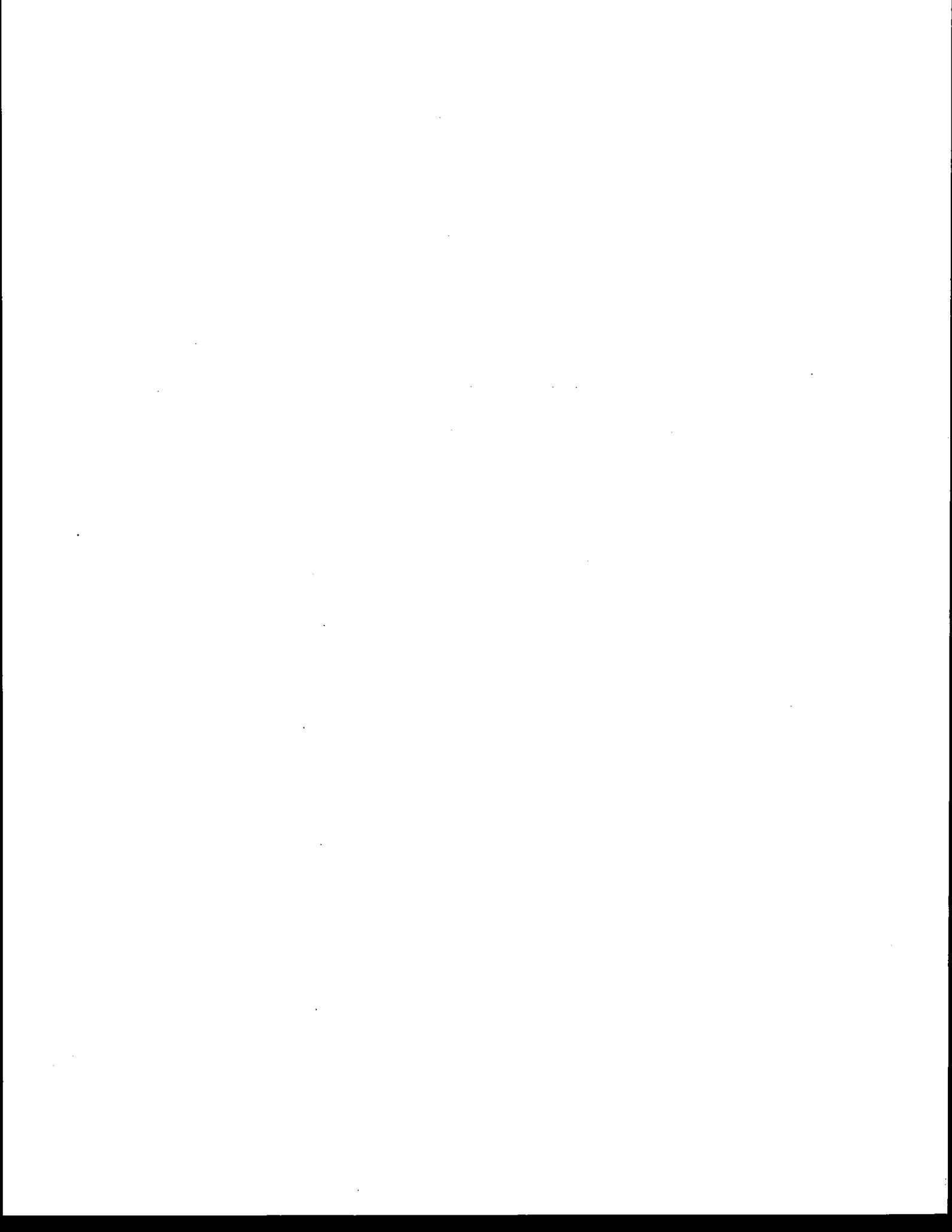


TABLE DES MATIÈRES

	page
AVANT-PROPOS	iii
RÉSUMÉ	v
<i>SUMMARY</i>	vii
TABLE DES MATIÈRES	ix
Liste des tableaux	xi
Liste des figures	xiii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I - MATÉRIEL ET MÉTHODES	3
1.1 Situation et caractéristiques de la station	3
1.2 Conditions de terrain	4
1.3 Matériel végétal et plantation	8
1.4 Choix des traitements et dispositifs	8
1.5 Observations	12
CHAPITRE II - RÉSULTATS ET ANALYSES	15
2.1 Résultats	15
2.2 Analyses statistiques des données de 1974	26
2.3 Analyses statistiques des données de 1975-1976	29
2.4 Effets des traitements étudiés	29
2.4.1 Action générale de la fertilisation	29

	page
2.4.2 Effet de l'azote	45
2.4.2.1 Effets sur la croissance	45
2.4.2.2 Effets sur le sol et la composition foliaire	47
2.4.3 Effet du phosphore	51
2.4.3.1 Effets sur les croissances	51
2.4.3.2 Effets sur le sol et la composition foliaire	53
2.4.4 Effet de la fertilisation NP	58
2.4.4.1 Effets sur la croissance	58
2.4.4.2 Effets sur le sol et la composition foliaire	62
2.4.5 Effet de l'addition de potassium à la fertili- sation NP	67
2.4.5.1 Effets sur la croissance	67
2.4.5.2 Effets sur le sol et la composition foliaire	73
CONCLUSIONS ET APPLICATIONS PRATIQUES	75
BIBLIOGRAPHIE	80

LISTE DES TABLEAUX

		page
Tableau 1	Caractéristiques climatologiques: station de Rivière-Bleue (47°26' nord - 69°03' ouest	6
Tableau 2	Résultats des analyses du sol, avant plantation (juin 1974)	7
Tableau 3	Doses d'éléments N-P-K (kg/ha planté) et composantes des traitements étudiés	9
Tableau 4	Équivalences P-P ₂ O ₅ et K-K ₂ O	11
Tableau 5	Classement et différenciation des traitements T1 à T40 pour la hauteur 1974	26
Tableau 6	Résultats de l'analyse de variance des croissan- ces (= hauteurs) 1974: 40 traitements, 4 plants par traitement, 10 répétitions	27
Tableau 7	Hauteurs moyennes des plants en 1975 et 1976 en fonction des traitements	28
Tableau 8	Analyses de variance des données 1975-1976 . .	30
Tableau 9	Récapitulatif des traitements comparés signifi- cativement différents en 1975 et 1976	31
Tableau 10	Test de Sheffé sur la hauteur 1975 (4 plants par parcelle)	32
Tableau 11	Test de Sheffé sur la hauteur 1975 (2 plants par parcelle)	33
Tableau 12	Test de Sheffé sur la croissance 1975 (2 plants par parcelle)	34

	page
Tableau 13	Test de Sheffé sur la hauteur 1976 (2 plants par parcelle) 35
Tableau 14	Test de Sheffé sur la croissance 1976 (2 plants par parcelle) 36
Tableau 15	Analyses de sol et analyses foliaires 1974 42
Tableau 16	Analyses foliaires 1975 et 1976 43
Tableau 17	Effets de l'azote sur les analyses de sol et de feuilles 48
Tableau 18	Coefficients de corrélation des taux d'azote du sol et des feuilles pour les traitements azotés (groupe A = T.1 - T.6 - T.7 - T.8 - T.9) et leurs équivalents (groupe B = T.41 - T.46 - T.47 - T.48 - T.49) 50
Tableau 19	Effets du phosphore sur les analyses de sol et de feuilles 54
Tableau 20	Coefficients de corrélation des taux de phosphore et d'autres éléments pour les traitements phosphorés 55
Tableau 21	Effets de la fertilisation NP sur les analyses de sol 62
Tableau 22	Effets de la fertilisation NP et NP + N sur les analyses foliaires 63
Tableau 23	Coefficients de corrélation des taux d'éléments du sol et des feuilles et des doses NP des traitements phospho-azotés (groupe A) et de leurs équivalents refertilisés (groupe B) 65
Tableau 24	Coefficients de corrélation des taux de N et P du sol et des feuilles pour les traitements du type N ₂₈ , 56, 84, 112 P fixe et les traitements N ₂₈ à 112. Parcelles du groupe A, 1974 66
Tableau 25	Effets de l'addition de K à NP sur les analyses de sol 70
Tableau 26	Effets de l'addition de K à NP sur l'analyse foliaire 71

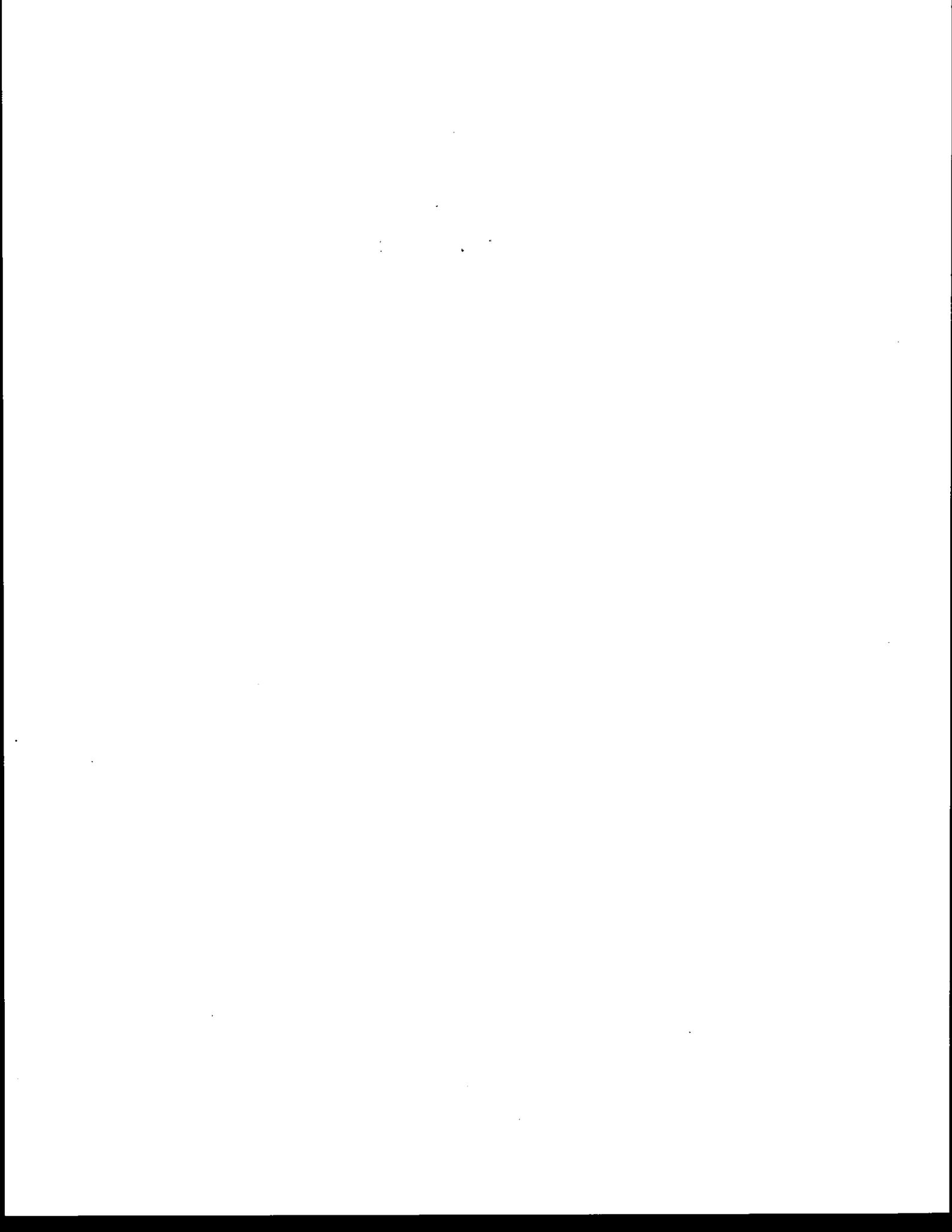
LISTE DES FIGURES

		page
Figure 1	Diagrammes ombrothermiques 1974-1975-1976 Station de Rivière-Bleue (47°26'N-69°23'O) . . .	5
Figure 2	Effets des traitements 1 à 40 sur la hauteur 1974 (Moyennes établies sur 10 blocs et 4 (a) ou 2 (b) plants par parcelle)	16
Figure 3	Effets des traitements 1 à 40 sur la hauteur 1974 (Moyennes sur blocs des groupes A et B, 2 plants par parcelle)	17
Figure 4	Effets des traitements 1 à 40 sur la hauteur 1975 (blocs du groupe A, 4 plants par parcelle) . . .	18
Figure 5	Effets des traitements 41 à 80 sur la hauteur 1975 (blocs du groupe B, 4 plants par parcelle)	19
Figure 6	Effets des traitements 1 à 40 sur la hauteur 1975 (blocs du groupe A, 2 plants par parcelle) . . .	20
Figure 7	Effets des traitements 41 à 80 sur la hauteur 1975 (blocs du groupe B, 2 plants par parcelle) . . .	21
Figure 8	Effets des traitements 1 à 40 sur la hauteur 1976 (blocs du groupe A, 2 plants par parcelle) . . .	22
Figure 9	Effets des traitements 41 à 80 sur la hauteur 1976 (blocs du groupe B, 2 plants par parcelle) . . .	23
Figure 10	Effets des traitements 1 à 40 sur le d.h.p. 1976 (blocs du groupe A, 2 plants par parcelle - moyennes sur les arbres vivants)	24

		page
Figure 11	Effets des traitements 41 à 80 sur le d.h.p. 1976 (blocs du groupe B, 2 plants par parcelle - moyennes sur les arbres vivants)	25
Figure 12	Variations du taux d'azote du sol et d'azote foliaire pour les traitements azotés des groupes A et B	49
Figure 13	Variations des taux de phosphore du sol et foliaire pour les traitements phosphorés des groupes A et B	56
Figure 14	Variations des taux foliaires des éléments N, P, K, Ca, Mg en 1974 pour les traitements phosphorés du groupe A	57
Figure 15	Évolution des hauteurs en 1974 et 1975 pour dif- férents traitements NP à rapport N/P variable . .	60

INTRODUCTION

L'établissement de plantations de peuplier à partir de boutures, pour la production de bois de trituration, nous a amené à rechercher l'effet de la fertilisation sur leur croissance juvénile. Pour compléter les informations recueillies dans d'autres expériences (Ménétrier, 1979, Sheedy et Vallée (1976)), un essai à court terme de 40 traitements de fertilisation a été installé en 1974. Il avait pour but de déterminer le rôle des éléments N, P et K (effets primaires et interactions) apportés isolément ou non à différentes doses et sous plusieurs formes, ainsi que l'intérêt d'une fertilisation azotée complémentaire au début de la deuxième saison de végétation.



CHAPITRE I

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1 SITUATION ET CARACTÉRISTIQUES DE LA STATION

Le dispositif a été installé au printemps 1974 sur la parcelle n° 3 de la ferme populicole expérimentale de Cabano, canton de Cabano, circonscription de Kamouraska-Témiscouata, latitude 47°30' nord, longitude 69°03' ouest, dans une zone de collines appalachiennes. L'altitude moyenne est de 255 m. Le sol est un podzol humo-ferrique orthique à texture de loam sableux à sablo-argileux, qui s'est développé sur un till, avec présence d'un fragipan à $\pm 0,50$ m de profondeur. Située dans le climax de l'érablière à bouleau jaune, la station est occupée par une tremblaie à épinette blanche et sapin baumier venue après feu. Pendant les trois années d'observations de cet essai, la précipitation annuelle moyenne a été de 1158 mm, dont 535 reçus du 1^{er} mai au 30 septembre et qui laissent subsister un léger déficit hydrique en juin, juillet, août. La température annuelle moyenne est de 2,5°C et l'écart des températures moyennes mensuelles varie de -16,2°C en janvier à 20,6°C en juillet. La

période sans gel avec probabilité de 50 p. cent s'étend du 6 juin au 11 septembre, d'où une saison de végétation d'environ 100 jours. Ces données classent la région dans la zone agro-climatique n° 13 à 2000-2500 degrés-jours de croissance (degrés-jours de croissance = degrés au dessus de la moyenne quotidienne de 5,5°C). Des données climatologiques plus complètes relevées à la station météorologique de Rivière-Bleue, distante de 7,5 km, sont indiquées au tableau 1 et à la figure 1. Il est intéressant d'établir un lien entre les précipitations mensuelles (courbe ombrique) et la saison de végétation. Ainsi, les mois de juillet et août 1975, mois les plus importants pour la croissance, ont été relativement secs. De telles conditions influencent évidemment les croissances obtenues et interfèrent avec le potentiel d'efficacité des traitements étudiés, d'autant plus que la profondeur du sol exploitable par les racines est limitée par la présence d'un fragipan et que le dispositif est situé sur un replat bien drainé.

1.2 CONDITIONS DE TERRAIN

La parcelle sur laquelle le dispositif est installé a été coupée à blanc puis défrichée au bélier mécanique avec râteau épierreur (lame du type Rock-rake) en 1973. Ceci a eu pour effet de bouleverser et de mélanger les horizons superficiels du sol et, dans une certaine mesure, de l'appauvrir, par décapage plus ou moins fort de l'humus en place, lors de la mise en andains des souches et déchets de coupe. Un nivelage et une préparation en surface ont été effectués par passage d'une herse à dents au printemps 1974, juste avant l'échantillonnage du sol et la plantation. Les analyses de sol (tableau 2) révèlent la faiblesse des taux d'éléments principaux et donc sa

Figure 1-DIAGRAMMES OMBROTHERMIQUES 1974-1975-1976
 Station de Rivière - Bleue (47° 26' n. - 69° 23' o.)

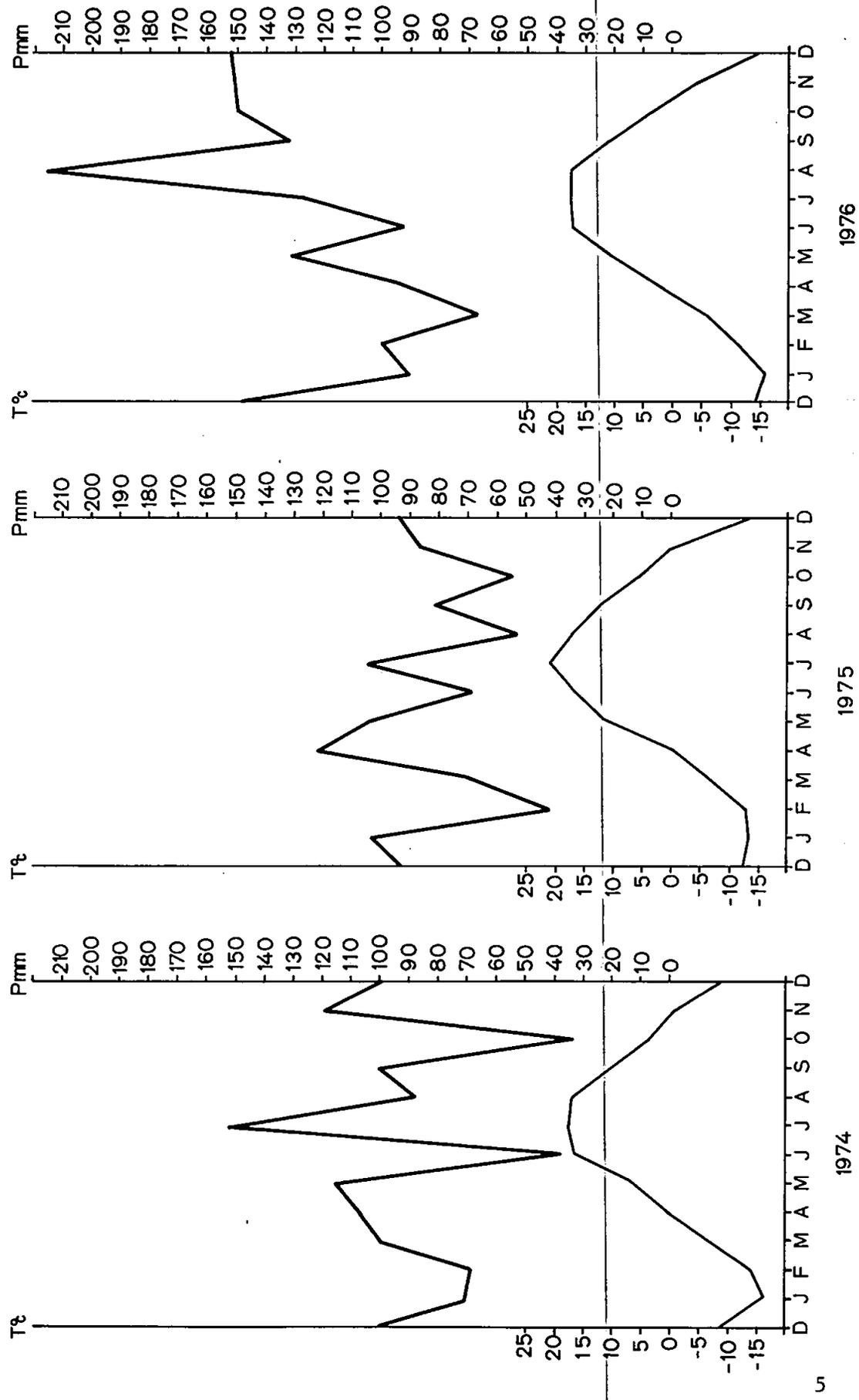


Tableau 1 Caractéristiques climatiques: station de Rivière-Bleue
(47°26' nord - 69°03' ouest)

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	T. moy. annuelle et précipitation totale annuelle
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
-1974-													
Temp. moy. (°C)	-16	-14,2	- 6,8	1,1	6,3	16,6	17,9	17,3	10,4	3,4	- 1,2	- 9	2,2°C
Temp. minimale absolue (°C)	-41,1	-31,1	-26,7	-19,4	-8,3	-1,7	4,4	1,7	-5,6	-7,8	-22,2	-27,2	
Précipitations (mm)	68,8	67,1	100,3	107,2	115,6	38,6	153,9	87,6	100,8	33,3	119,6	98,8	1091,6 mm
	*	*	*	*	*					*	*	*	
-1975-													
Temp. moy. (°C)	-13,6	-12,8	-6,4	-0,2	11,5	16,8	20,6	17,1	12,1	5,6	0	-12,7	3,17°C
Temp. minimale absolue (°C)	-38,9	-41,1	-28,9	-20	-4,4	-1,1	5	-0,5	-2,8	-8,9	-17,8	-33,9	
Précipitations (mm)	103,1	42,2	67,6	122,7	103,4	65,8	105,2	51,8	82,0	54,4	86,9	92,7	977,8 mm
	*	*	*	*							*	*	
-1976-													
Temp. moy. (°C)	-16,2	-11,7	-5,9	2,4	10,1	17,1	17,6	17,6	11,0	3,8	-3,7	-14,9	2,26°C
Temp. minimale absolue (°C)	-42,2	-31,1	-30	-13,3	-5	-1,1	2,2	2,2	-2,8	-10	-16,6	-34,4	
Précipitations (mm)	90,2	99,6	66,0	92,7	131,6	92,0	127,0	218,2	131,3	150,6	80,0	153,2	1432 mm
	*	*	*	*	*					*	*	*	
	Date dernière chute de neige		Date première chute de neige		Date dernière gelée printanière		Date première gelée autonnaie		Nb. jours avec temp. maximale de 26,7°C ou plus			Nb. jours avec temp. minimale de 0°C ou moins	
1974	7 mai		26 oct.		7 juin		11 sept.		24			209	
1975	28 avril		15 nov.		9 juin		31 août		41			183	
1976	7 mai		24 oct.		13 juin		3 sept.		39			201	

N.B.: * = Précipitations en pluie et neige.

Tableau 2 Résultats des analyses du sol, avant plantation
(juin 1974)

Analyse chimique ¹												
	M.O. %	C %	C/N	pH	N %	P 0/00	K 0/00	Ca 0/00	Mg 0/00	Mn 0/00	Na 0/00	H 0/00
Blocs du groupe A	2,88	1,67	16,3	4,9	0,10	0,07	0,05	0,17	0,018	0,003	0,06	0,07
Blocs du groupe B	2,28	1,32	14,7	5,0	0,09	0,04	0,04	0,14	0,015	0,002	0,04	0,07
Moyenne dispositif	2,58	1,49	15,5	4,9	0,095	0,05	0,05	0,16	0,016	0,003	0,05	0,07
Analyse mécanique (%) ²												
	Sable 50µm - 2 mm	Limon grossier 20µm - 50µm	Limon fin 2µm - 20µm	Limon total 2µm - 50µm	Argile <2µm	Classe texturale						
Moyenne dispositif	54,6	7,07	16,73	23,8	21,47	Loam argilo-sableux						
<p>¹ Les méthodes d'analyses utilisées (Bouyoucos pour la granulométrie, Kjeldahl pour l'azote, Bray pour le phosphore, spectrophotométrie pour les cations échangeables) sont décrites dans C.A. Black, Ed. and D.D. Evans, L.E. Ensminger, J.L. White, F.E. Clark, 1965. <u>Methods of soils analysis</u>. Agronomy n° 9, Part 1 and Part 2. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.</p> <p>² Il faut noter que la pierrosité de l'horizon superficiel exploitable par les racines est très importante: environ 30 p. cent en volume.</p>												

pauvreté relative, par rapport aux sols généralement dévolus à la populiculture.

1.3 MATÉRIEL VÉGÉTAL ET PLANTATION

Il s'agit de boutures de 37,5 cm de long et de 10 ± 3 mm de diamètre du clone hybride B-201-B (Populus deltoides Marsh. cv. 'angulata' × P. trichocarpa Torr. et Gray), plantées mécaniquement le 1^{er} juin 1974, ces boutures étant plantées obliquement avec un angle de 45° environ par rapport à l'horizontale avec l'extrémité supérieure à ras du sol. Les premières années, cette position permet d'éviter un soulèvement excessif par effet mécanique de l'alternance gel-dégel au printemps (Ménétrier, 1978). L'espacement est de 2,44 m sur la ligne et 3,66 m entre les lignes pour une densité de 1121 boutures par hectare. En 1974 et 1975 le dispositif a été entretenu par un passage annuel de cultivateur à dents avec rasettes et en 1976 par desherbage chimique général au gramoxone et dégagement manuel des broussailles sur les lignes de plantation. La présence inquiétante de charançon du saule (Cryptorhynchus lapathi L.) en 1976 a été réprimée par arrosage avec un insecticide systémique (Cygon) à base de diméthoate.

1.4 CHOIX DES TRAITEMENTS ET DISPOSITIF

Les traitements étudiés (tableau 3) diffèrent par l'absence ou la présence de l'un ou plusieurs des trois éléments fertilisants principaux N, P et K, par la proportion relative de ces éléments, par les composantes des engrais utilisés et par l'apport ou non d'une fertilisation azotée complémentaire au printemps de la deuxième saison de végétation.

Tableau 3 Doses d'éléments N-P-K (kg/ha planté) et composantes des traitements étudiés

Traitements n ^{OS}		N	P	K	Compo- santes	Traitements n ^{OS}		N	P	K	Compo- santes	
Groupe A	Groupe B*					Groupe A	Groupe B*					
1	41	0	0	0	U.S.C.	21	61	28	56	0	U.S.C.	
2	42	28	28	28		22	62	56	56	0		
3	43	56	56	56		23	63	84	56	0		
4	44	84	84	84		24	64	112	56	0		
5	45	112	112	112		25	65	56	112	0		
6	46	28	0	0		26	66	28	28	11		
7	47	56	0	0		27	67	56	56	11		
8	48	84	0	0		28	68	84	84	11		
9	49	112	0	0		29	69	112	112	11		
10	50	0	28	0		30	70	56	0	0		A.S.C.
11	51	0	56	0		31	71	56	11	0		
12	52	0	84	0		32	72	56	28	0		
13	53	28	11	0		33	73	56	56	0		
14	54	56	11	0		34	74	56	56	11		
15	55	84	11	0		35	75	56	56	56		
16	56	112	11	0		36	76	28	28	28		
17	57	28	28	0		37	77	56	56	56	U.S.S.	
18	58	56	28	0		38	78	84	84	84		
19	59	84	28	0		39	79	56	56	11		
20	60	112	28	0		40	80	56	56	56	A.S.S.	

N.B.: U.S.C. = Urée + Superphosphate triple + Chlorure de potassium
A.S.C. = Ammonitrate + Superphosphate triple + Chlorure de potassium
U.S.S. = Urée + Superphosphate triple + Sulfate de potasse
A.S.S. = Ammonitrate + Superphosphate triple + sulfate de potasse
La dose de 11 kg/ha est réellement de 11,2 kg/ha.

* Les traitements du groupe B ont reçu 224 kg/ha d'urée épandue en bandes, à la deuxième saison de végétation.

Les éléments N-P-K sont apportés à partir des trois engrais de base suivants: urée (46-0-0), superphosphate de chaux triple (0-46-0) et chlorure de potassium (0-0-60). L'ammonitrate (34-0-0) et le sulfate de potassium (0-0-50) ne sont utilisés que pour certains traitements afin de comparer l'effet d'autres formes d'engrais azotés ou potassiques.

Les doses de départ des éléments N-P-K sont de 0, 28, 54, 86 et 112 kg/ha planté. A partir des trois engrais de base, les traitements T.1 à T.5 fournissent ces trois éléments aux doses ci-dessus et en équilibre.

L'azote et le phosphore s'étant révélés être dans des expériences passées (Barnéoud et Bonduelle 1970, Blackmon et White 1972, Garbaye et Leroy 1973, Ménétrier 1979), les éléments ayant le plus d'impact sur la croissance, les traitements T.6 à T.25 permettent d'étudier l'effet de diverses combinaisons de doses de ces éléments.

Les essais réalisés à ce jour, n'ayant pas toujours démontré catégoriquement l'effet du potassium sur la croissance, plusieurs traitements équilibrés en N et P sont répétés, mais avec une faible dose de potassium sous forme de chlorure (T.26 à T.29). Le chlorure pouvant être toxique pour le peuplier, l'un de ces traitements et trois des cinq traitement de base sont appliqués avec du potassium sous forme de sulfate (T.26 à T.39). Le même principe de répétition de certains traitements est appliqué pour étudier l'effet de la forme de l'azote. Ainsi, les traitements T.30 à T.35 et T.40 sont à base d'ammonitrate, superphosphate triple et chlorure ou sulfate de potassium. Les équivalences éléments-oxydes figurent au tableau 4.

Tableau 4 Équivalences P-P₂O₅ et K-K₂O

Équivalences (kg/ha planté)	Doses d'éléments P ou K (kg/ha planté)				
	11	28	56	84	112
P ₂ O ₅	25,7*	64,2	128,5	192,7	256,9
K ₂ O	13,5*	33,7	67,5	101,2	135
* L'équivalence est calculée à partir de la dose exacte de l'élément qui est de 11,2 kg/ha.					

Le dispositif de départ est du type blocs complets, avec 40 traitements, 4 boutures par parcelle linéaire et 10 répétitions. Au printemps 1975, il a été divisé en deux parties. L'une comprend les six blocs n^{os} 1-2-3-7-8-9 (groupe A) et l'autre, les quatre blocs n^{os} 4-5-6-10 (groupe B). Ces blocs du groupe B ont reçu une fertilisation complémentaire en urée, au printemps 1975, au taux de 224 kg/ha planté. Ceci nous a amené à considérer l'essai comme un dispositif à 80 traitements et nombre de répétitions inégal, chacun des 40 traitements initiaux restant identique dans les blocs du groupe A et ayant son équivalent avec en plus la fertilisation azotée supplémentaire dans les blocs du groupe B (traitements n^{os} 41 à 80).

L'épandage a été fait manuellement trois semaines après la plantation, période la plus favorable (Ménétrier, 1979), en plaçant l'engrais sur une bande de 0,60 m de large couvrant la ligne de plantation. Les doses d'engrais (kg/ha) indiquées au tableau 3 sont les doses par hectare de plantation. Elles sont en réalité concentrées sur 16,4 p. cent de la superficie plantée.

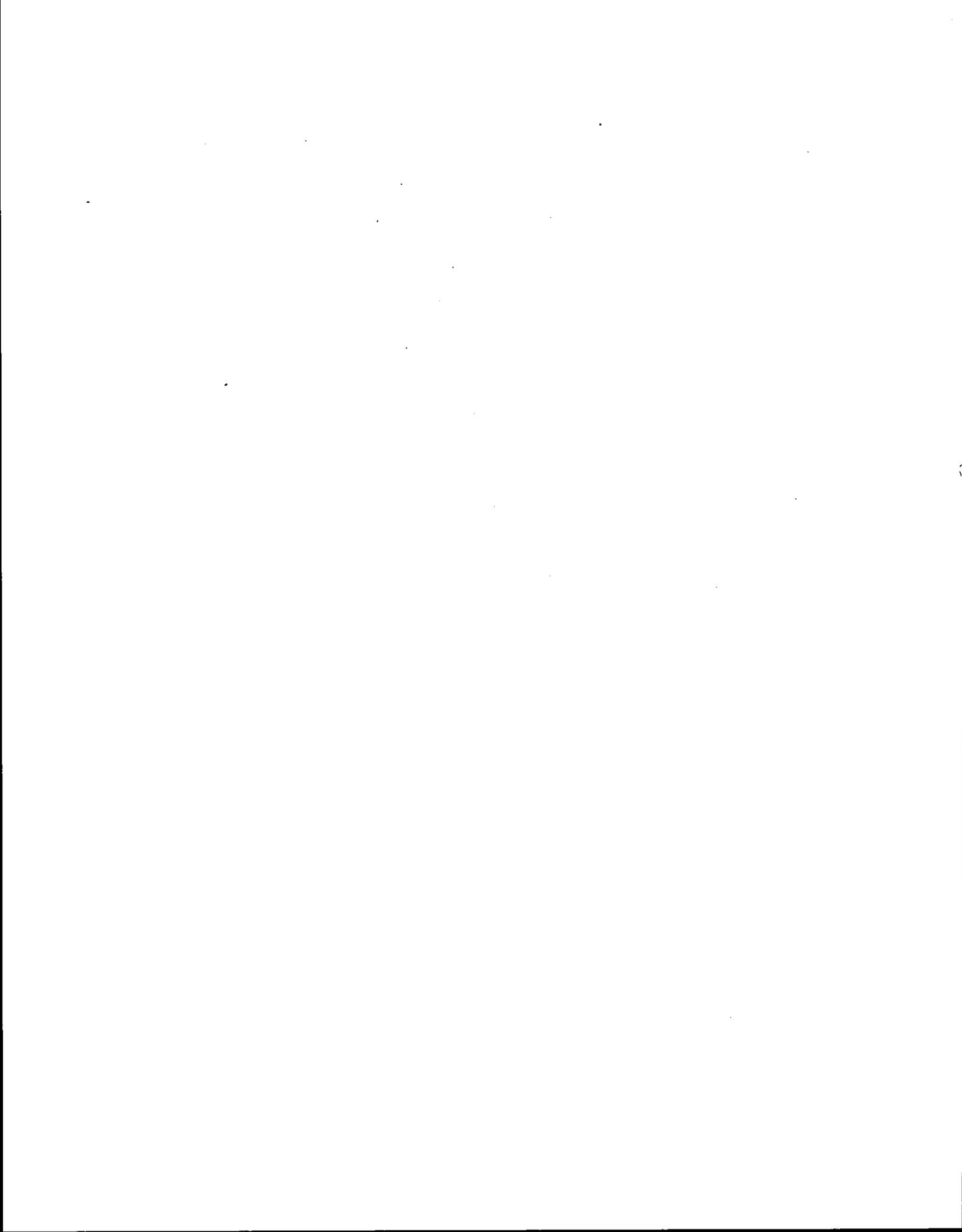
En 1975, l'urée a été distribuée avec un épandeur du type pendulaire (Vicon) qui concentrait principalement l'engrais en une bande d'environ 0,90 m de largeur, soit 25 p. cent de la superficie plantée.

1.5 OBSERVATIONS

Des mesures sur la hauteur des plants, le diamètre à 1,37 m et le taux de survie ont été effectuées sur 3 années (1974-1975-1976). Elles n'ont pas été poursuivies plus longtemps pour éviter les interférences possibles entre les traitements au niveau des racines après trois saisons de végétation. D'ailleurs, cet essai à court terme n'avait pour but que de déterminer l'efficacité de la fertilisation pour le démarrage de la plantation. Les observations ont porté sur les quatre boutures de chaque parcelle en 1974 et 1975. Mais par précaution, dès 1975 et en 1976, l'analyse des données a été faite à partir des deux boutures centrales de chaque parcelle linéaire, à cause de l'espacement plus faible sur la ligne (2,44 m) et du développement des racines certainement plus important dans cette direction qui est celle du sous-solage effectué par la planteuse et du mode d'épandage de l'engrais.

Le sol n'a été analysé qu'en 1974 par prélèvement d'échantillons dans les quinze premiers centimètres. Quinze échantillons uniformément répartis sur l'ensemble du dispositif ont été prélevés au moment de la plantation, avant fertilisation. Un nouvel échantillonnage après fertilisation a été fait à la fin du mois d'août, en même temps que l'échantillonnage foliaire, en prenant sur la bande fertilisée deux échantillons par parcelle, pour chaque traitement et dans

trois blocs, les deux échantillons de chaque parcelle étant mélangés ensuite pour l'analyse. L'échantillonnage foliaire a été réalisé à la fin d'août 1974, 1975 et 1976 par prélèvement de feuilles bien développées dans le tiers supérieur des plants, pour chaque traitement, pour cinq blocs en 1974 (trois du groupe A et deux du groupe B) et sur tous les blocs en 1975 et 1976 (six du groupe A et quatre du groupe B). Les échantillons des traitements identiques sont regroupés pour l'analyse des tissus (limbes + pétioles).



CHAPITRE II

RÉSULTATS ET ANALYSES

2.1 RÉSULTATS

Les résultats des mesures des hauteurs 1974-1975-1976 sont exprimés aux tableaux 5 et 7 et graphiquement aux figures 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10, et 11 pour les diamètres 1976. Cette visualisation des résultats permet de mieux saisir et de comparer leur variabilité relative selon les traitements. Chaque couple de graphiques représente les hauteurs ou diamètres moyens de quarante traitements, tous les traitements concernant l'interaction NP étant regroupés dans le graphique de droite pour plus de clarté. Pour 1974 et 1975 la représentation des moyennes obtenues avec deux ou quatre plants par parcelle permet de juger des dissemblances ou similitudes des résultats. Toutes les courbes reliant des points non spécifiquement différenciés concernent les traitements à base d'urée, superphosphate triple et chlorure de potassium.

Figure 2-EFFETS DES TRAITEMENTS 1 à 40 SUR LA HAUTEUR (H) 1974
 (Moyennes établies sur 10 blocs et 4 (a) ou 2 (b) plants par parcelle)

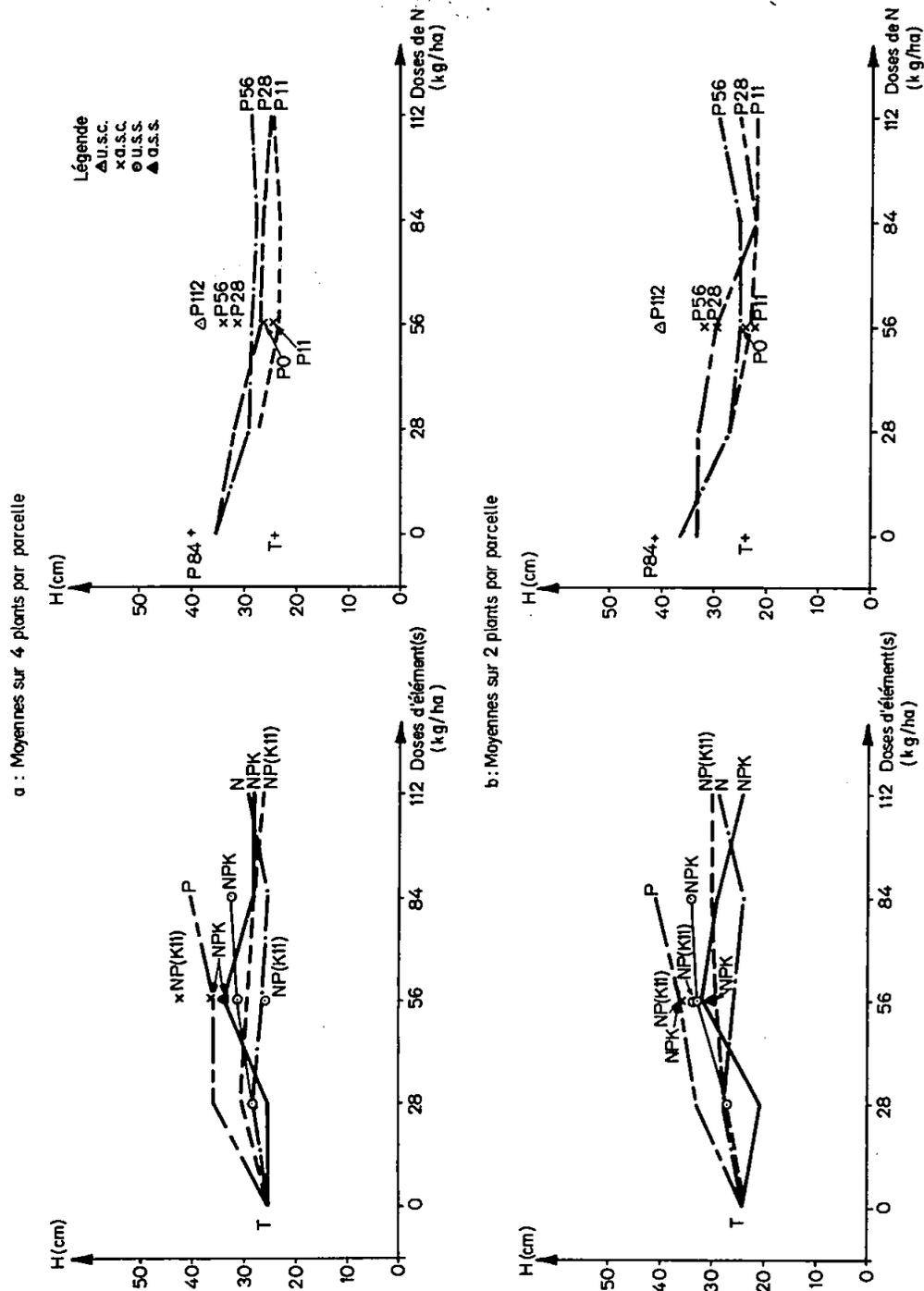


Figure 3-EFFETS DES TRAITEMENTS 1à40 SUR LA HAUTEUR 1974
(Moyennes sur blocs des groupes A et B 2 plants par parcelle)

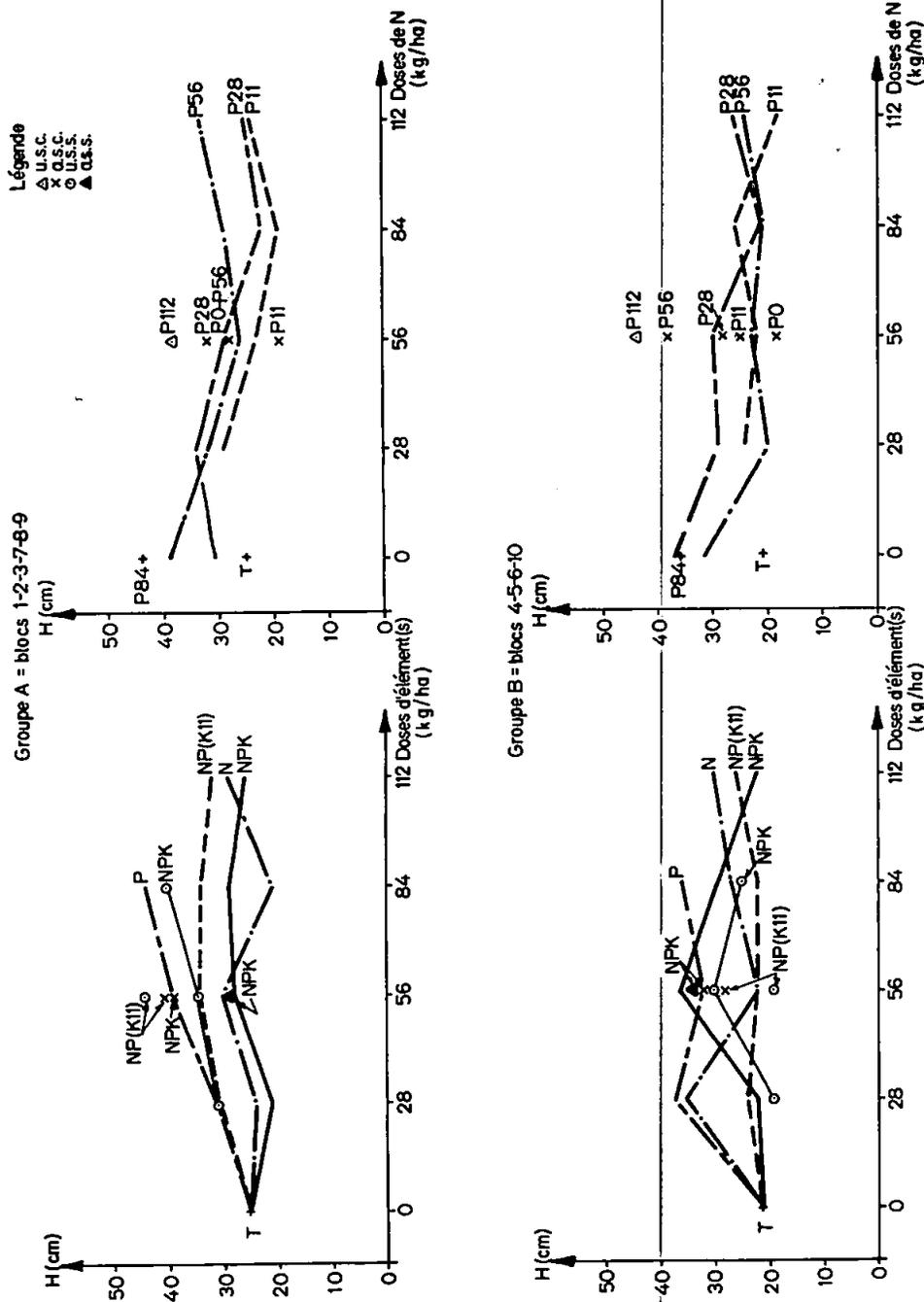


Figure 4- EFFET DES TRAITEMENTS 1 à 40 SUR LA HAUTEUR 1975
 (blocs du groupe A, 4 plants par parcelle)

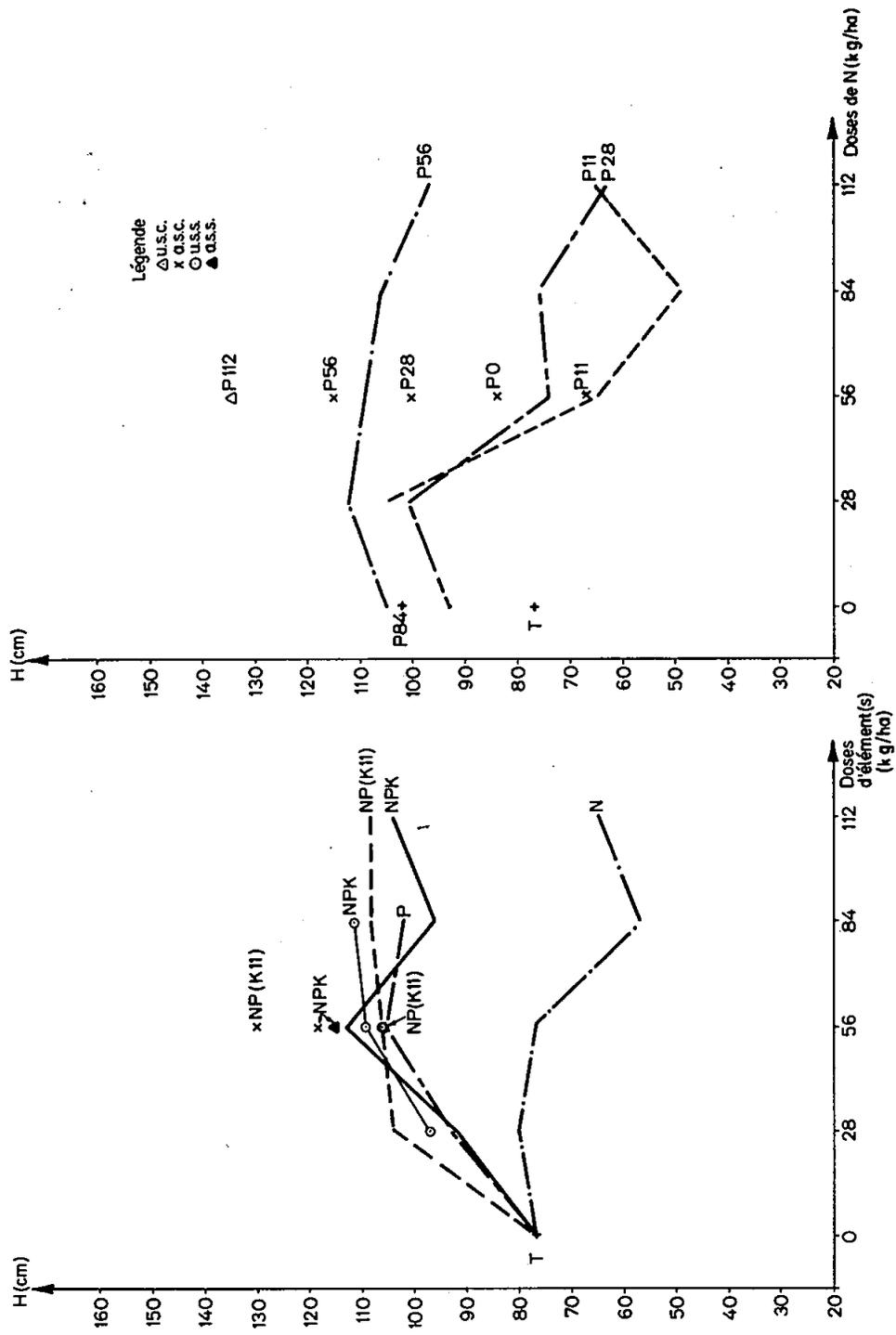


Figure 5 - EFFETS DES TRAITEMENTS 41 à 80 SUR LA HAUTEUR 1975
(blocs du groupe B, 4 plants par parcelle)

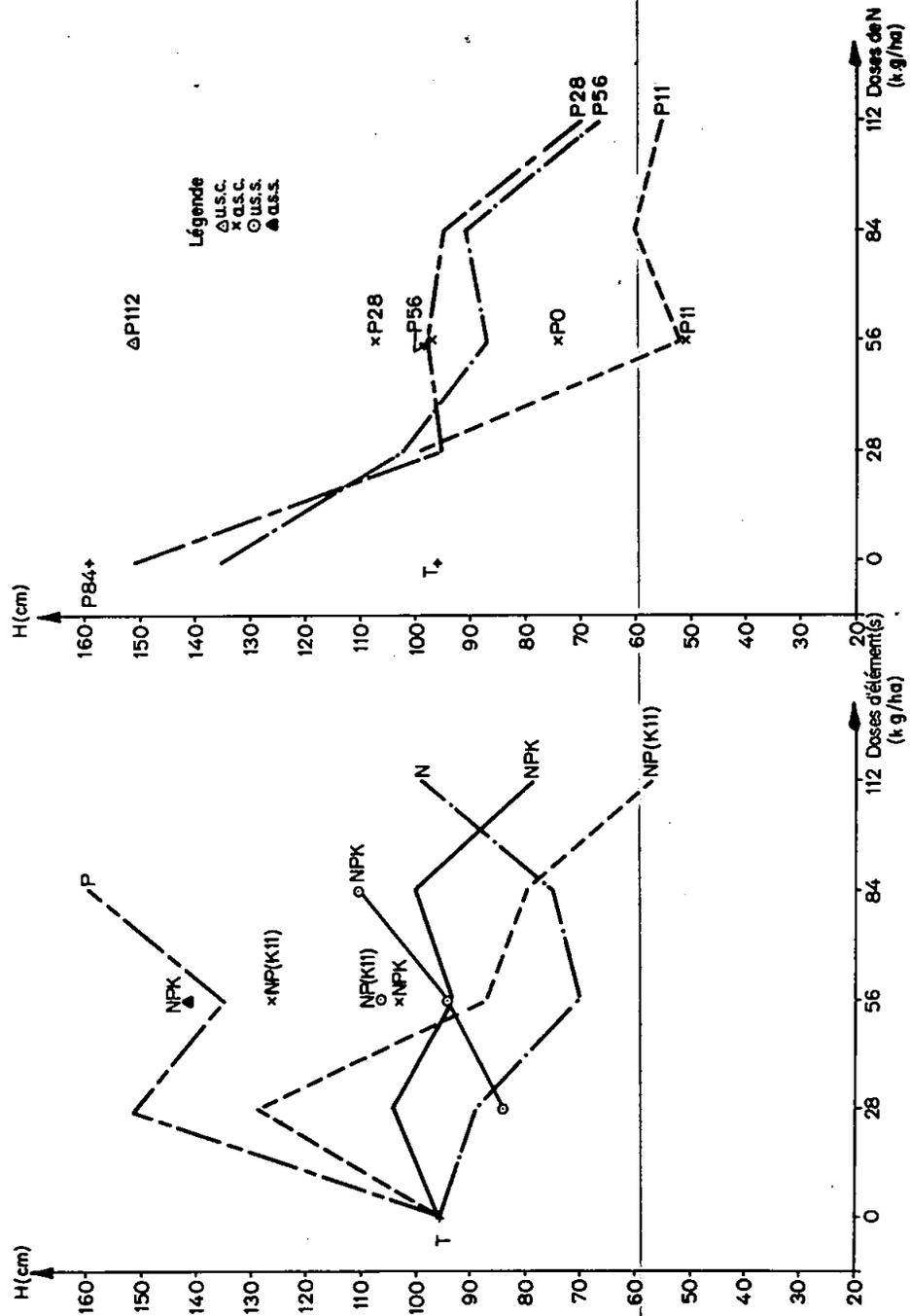


Figure 6- EFFETS DES TRAITEMENTS 1 à 40 SUR LA HAUTEUR 1975
(blocs du groupe A, 2 plants par parcelle)

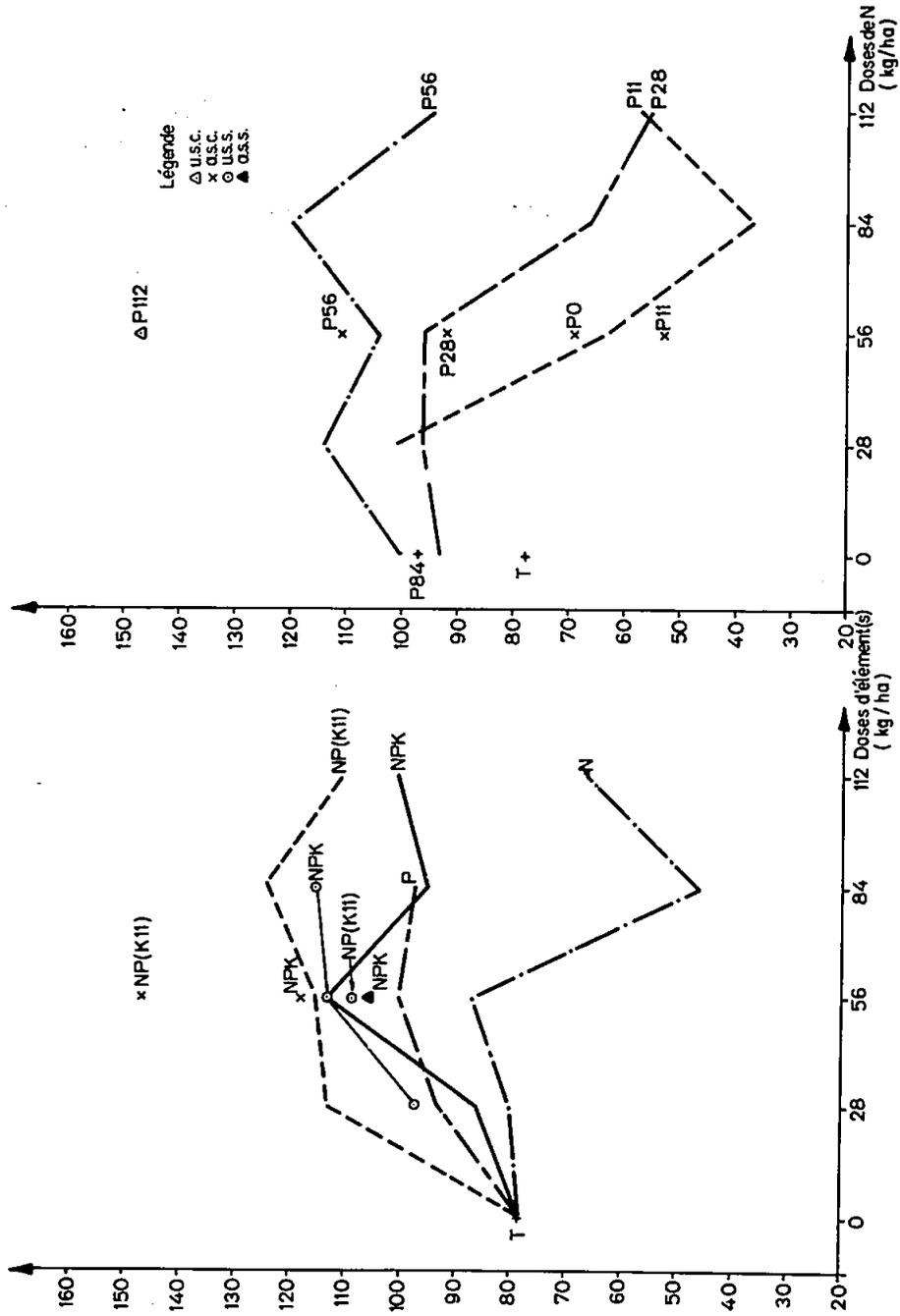


Figure 7 - EFFETS DES TRAITEMENTS 41 à 80 SUR LA HAUTEUR 1975
 (blocs du groupe B, 2 plants par parcelle)

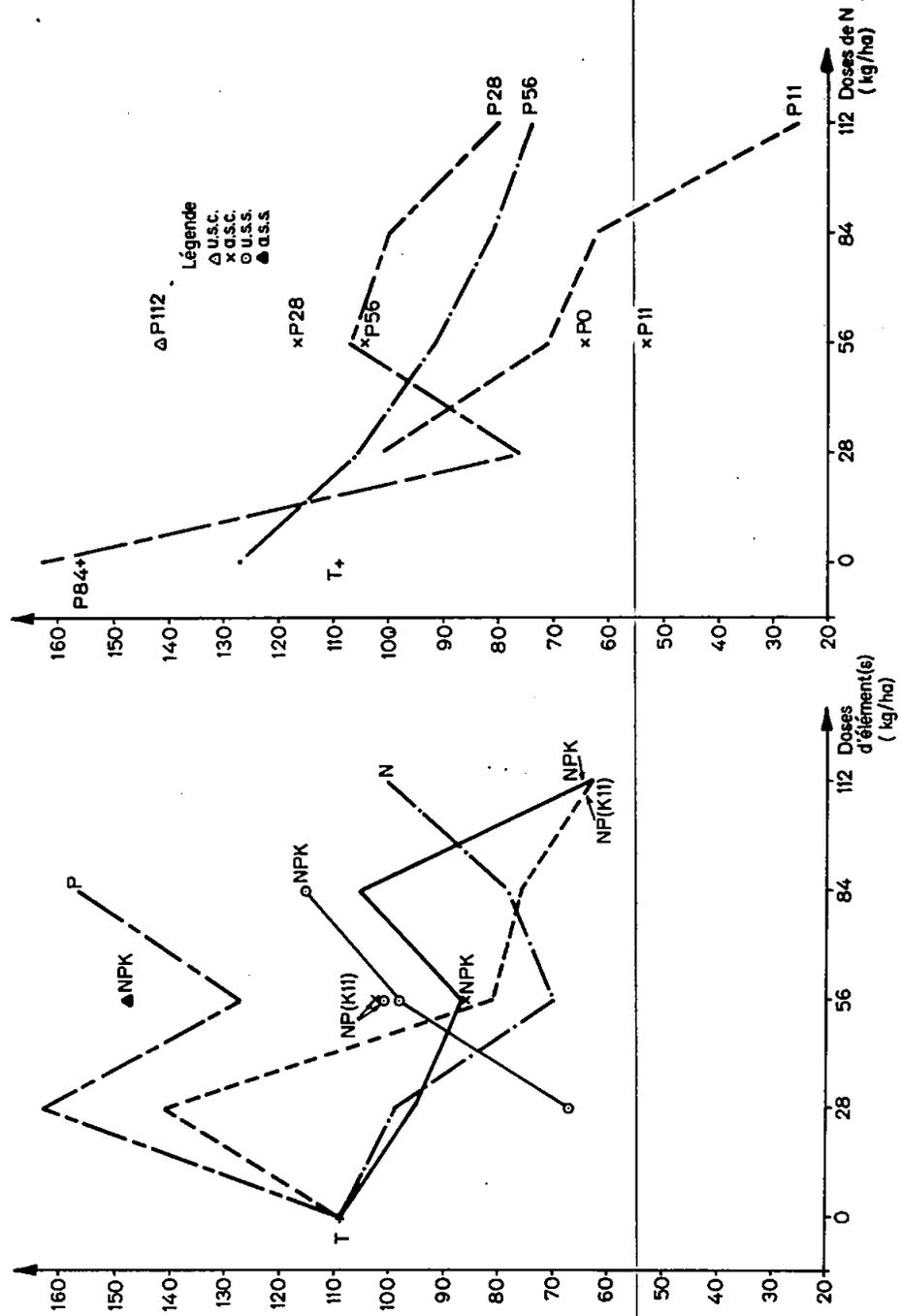


Figure 8- EFFETS DES TRAITEMENTS 1 à 40 SUR LA HAUTEUR 1976
 (blocs du groupe A, 2 plants par parcelle)

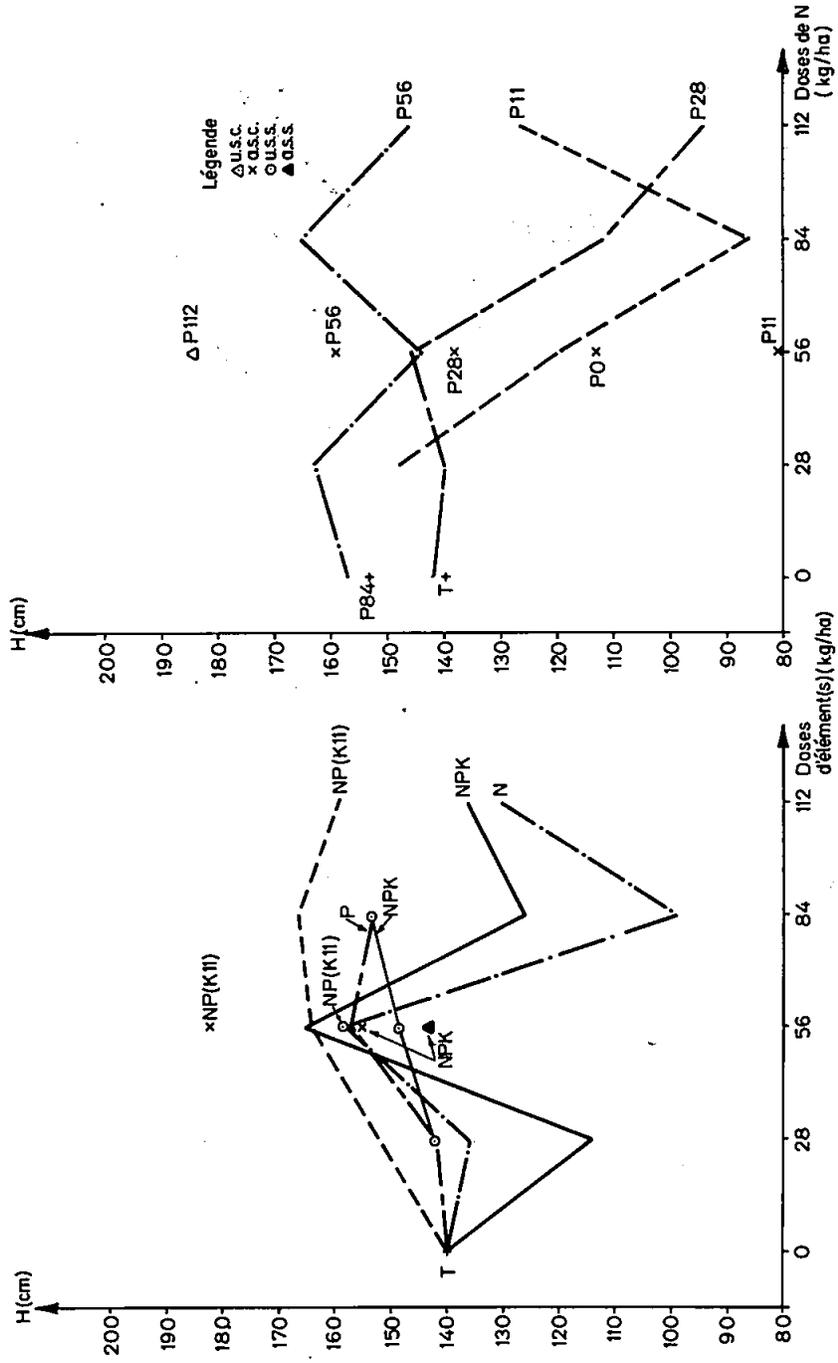


Figure 9 - EFFETS DES TRAITEMENTS 41 à 80 SUR LA HAUTEUR 1976
 (blocs du groupe B, 2 plants par parcelle)

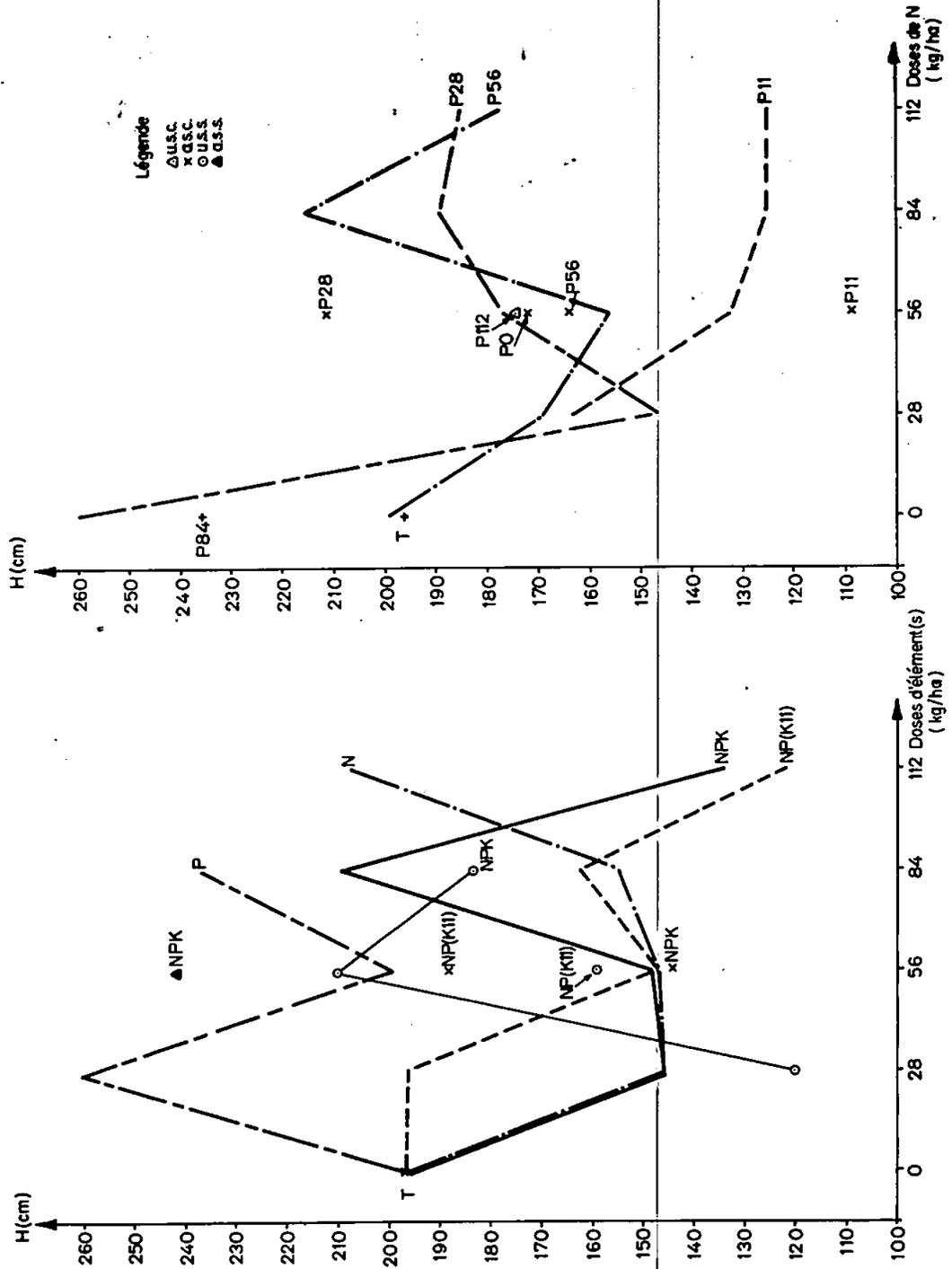


Figure 10 EFFETS DES TRAITEMENTS 1 à 40 SUR LE D.H.P. 1976
 (blocs du groupe A-2 plants par parcelle-moyennes sur les
 arbres vivants)

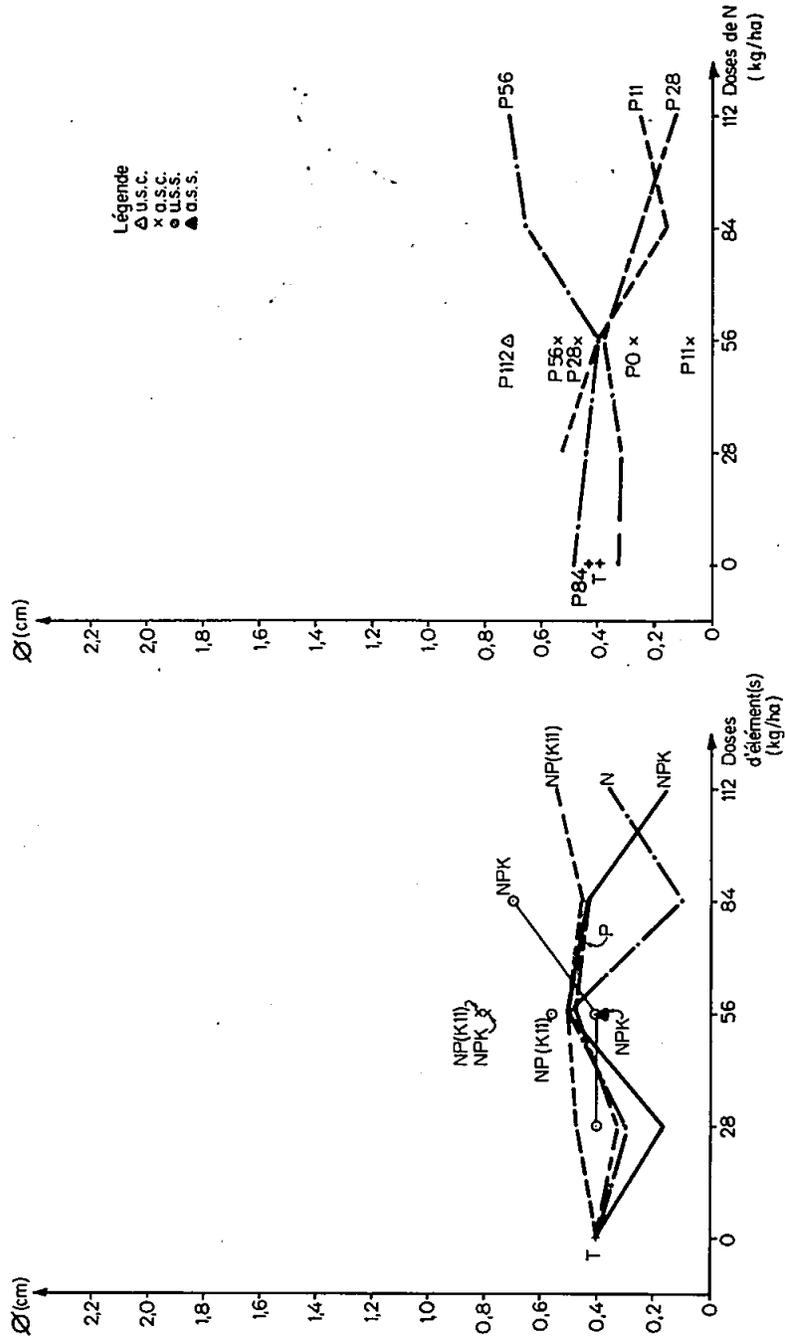
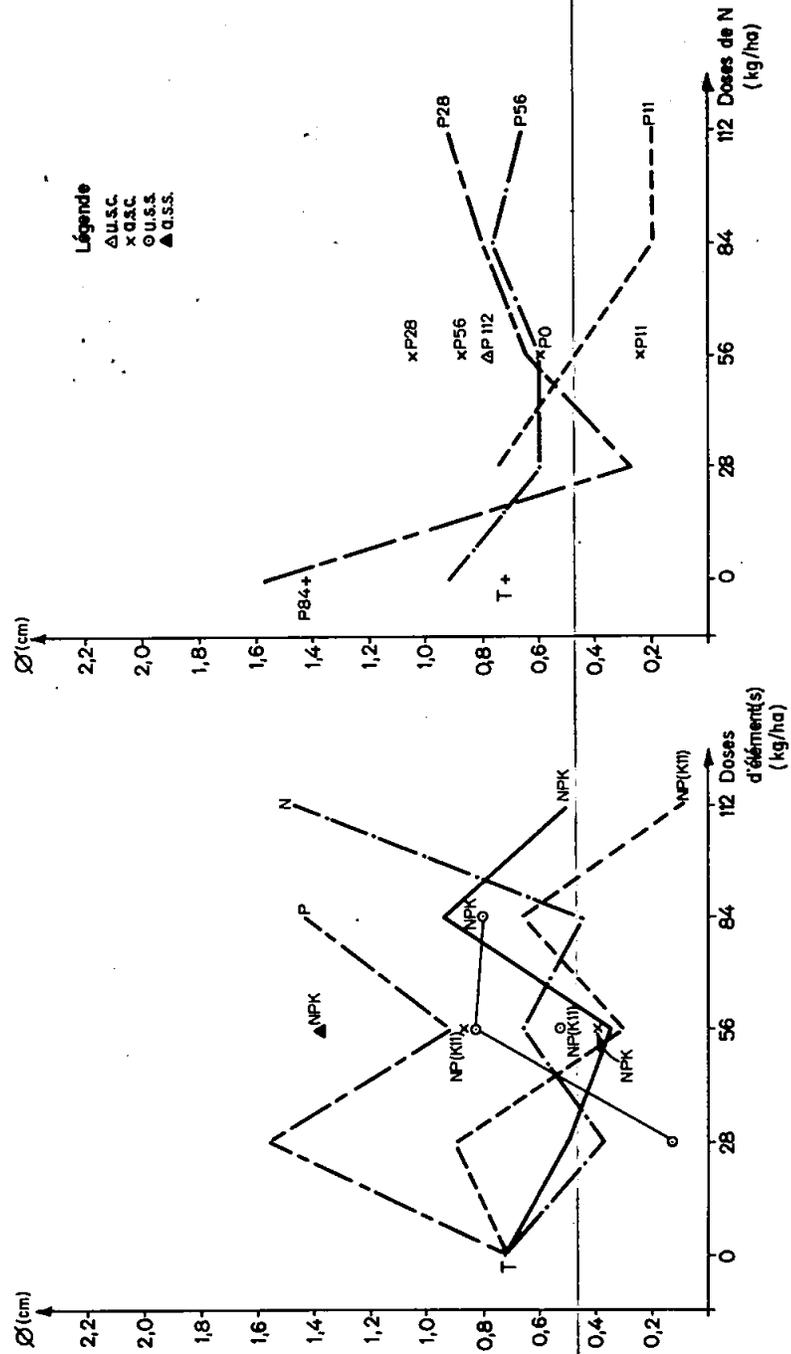


Figure 11 EFFETS DES TRAITEMENTS 41 à 80 SUR LE D.H.P. 1976
 (Blocs du groupe B-2 plants par parcelle-moyennes sur les
 arbres vivants)



2.2 ANALYSES STATISTIQUES DES DONNÉES DE 1974

En 1974, l'analyse de variance qui a porté sur les croisances de 4 plants par parcelle pour les 40 traitements de départ indique une différence hautement significative entre les traitements et entre les blocs (tableau 6). La croissance moyenne 1974 est de 29,7 cm, en comparaison de 42 cm pour le meilleur traitement.

Tableau 5 Classement et différenciation des traitements T.1 à T.40 pour la hauteur 1974.

Composantes et n ^{os} des traitements				Moyennes 1974 (cm)
U.S.C.	A.S.C.	U.S.S.	A.S.S.	
15				23,5
14				23,8
16				24,7
1-8-20	31			25,3
2		39		25,6
29				25,9
7	30			26,2
19				26,5
18				26,8
13				27,1
5-23-28				27,7
4-6		36		28,0
24				28,3
9-22				28,7
21-27				28,9
26				29,3
		37		30,8
17	32			31,1
				31,7
3		38		32,0
				32,3
			40	33,8
	33			34,1
10-11	35			34,4
25				35,7
12				38,7
	34			40,2
				42,0

Tableau 6. Résultats de l'analyse de variance des croissances (= hauteurs) 1974: 40 traitements, 4 plants par traitement, 10 répétitions.

Source de variation	D.L.	F calculé	Signification
Traitements	39-351	3,26	**
Blocs	9-351	9,88	**

N.B.: ** = Significatif au seuil de 0,01

Un test de Tukey (Steel and Torrie, 1960) sur les blocs permet de les séparer ainsi:

- Blocs:

N ^{OS} des blocs	{	groupe A :	3-9	2	8	7	1	
		groupe B :	4-5-10		6			
Hauteurs moy. 1974 (cm) :		25,3	26,5	31,4	31,7	32,3	34,7	35,3

Les hauteurs moyennes obtenues pour les blocs des groupes A et B sont de 30,6 et 28,0 cm. Les hauteurs moyennes des blocs du groupe B, destinés à recevoir une dose d'urée en 1975, sont donc légèrement plus faibles.

- Traitements:

Le test de Tukey sur les traitements nous indique une différence significative de 14 cm entre les traitements (tableau 5). Notons que pour déterminer la différence significative, la table des Upper percentage points of the Studentized Range a été extrapolée, à cause du grand nombre de traitements de cette expérience.

2.3 ANALYSES STATISTIQUES DES DONNÉES DE 1975-1976

Nous avons vu qu'à partir de 1975, le dispositif comprenait 80 traitements et un nombre de répétitions inégal. Les analyses statistiques effectuées sur les données de 1975 et 1976 ont donc porté sur ces 80 traitements. Mais nous avons estimé qu'à la fin de 1975, compte tenu de la hauteur des plants, il n'y avait aucun risque d'interférence au niveau des racines et qu'il était intéressant de comparer, pour cette année, les résultats obtenus sur les quatre boutures de chaque parcelle avec ceux portant sur les deux boutures centrales, le même principe ayant été retenu pour la présentation graphique des résultats (tableaux 4, 5, 6, 7). Les résultats des analyses de variance ainsi effectuées pour les années 1975 et 1976 figurent au tableau 8.

L'analyse est complétée par des tests de Sheffé (analyses multiples) (Sheffé, 1959) qui mettent en évidence l'effet de certains traitements ou de groupes de traitements spécifiques, définis préférentiellement, lors de la mise en équation du protocole expérimental, pour leur intérêt potentiel déjà décelé dans d'autres expériences (Ménétrier, 1979). Les traitements significativement différents sont récapitulés au tableau 9, en fonction des variables et des années. Les résultats des tests sont présentés aux tableaux 9, 10, 11, 12, 13 et 14.

2.4 EFFETS DES TRAITEMENTS ÉTUDIÉS

2.4.1 ACTION GÉNÉRALE DE LA FERTILISATION

Dès la 1^{re} saison de végétation les traitements étudiés sont significativement différents (tableau 6). Le test de Tukey montre que 14 traitements ont donné des croissances initiales supérieures à la

Tableau 8 Analyses de variance des données 1975-1976

Facteurs considérés	Moyennes générales (cm)	D.L.	F calculé et signification
Hauteur moy. 1975 (80 trait.-4 bout.)	95,0	79-318	2,71 **
Hauteur moy. 1975 (80 trait.-2 bout.)	94,6	79-303	2,00 **
Croissance 1975 (80 trait.-2 bout.)	66,9	79-304	2,37 **
Hauteur moy. 1976 (80 trait.-2 bout.)	156,1	79-282	1,61 **
Croissance 1976 (80 trait.-2 bout.)	57,8	79-281	2,75 **

** = significatif au seuil de 0,01

Tableau 9 Récapitulatif des traitements comparés significativement différents en 1975 et 1976

(▲) = significatif au seuil de 0,05 - ■ = significatif au seuil de 0,01 - — = traitement supérieur

Type général de comparaison	Traitements comparés					Type général de comparaison	Variables étudiées					Traitements comparés	
	H.75-4b	H.75-2b	C.75-2b	H.76-2b	C.76-2b		H.75-4b	H.75-2b	C.75-2b	H.76-2b	C.76-2b		
1 Fertilisation X vs Fertilisation X+N	1					6 P+N vs NPK (formes) ± N						42-43-44 vs 50-51-52	
	4	vs 41											50 vs 3
	9	vs 40											51 vs 3
	10	vs 50											52 vs 35
	12	vs 57											50 vs 35
	18	vs 20											51 vs 35
	19	vs 39											52 vs 37
	20	vs 60											51 vs 37
	22	vs 62											52 vs 37
	23	vs 63											50 vs 40
2 Témoïn ou Témoïn + N vs Fertilisation X (N, NP, P, NPK) ± N	24	vs 64				7 N vs NP ± N						52 vs 40	
	28	vs 68											6-7-8 vs 21-22-23
	32	vs 72											6-7-8 vs 57-58-59
	33	vs 73											6-7-8 vs 61-62-63
	34	vs 77											13-14-15 vs 21-22-23
	36	vs 77											17-18-19 vs 57-58-59
	37	vs 79											13-14-15 vs 57-58-59
	39	vs 79											13-14-15 vs 61-62-63
	40	vs 80											17-18-19 vs 61-62-63
	41	vs 80											17-18-19 vs 57-58-59
3 N vs N (formes, doses), P, P+N	1 à 40	vs 41 à 80				8 NP (doses) ± N vs NP (doses) ± N						21-22-23 vs 53-54-55	
	1	vs 51											17-18-19 vs 53-54-55
	41	vs 43											21-22-23 vs 61-62-63
	3	vs 41											17-18-19 vs 57-58-59
	1	vs 21											61-62-63 vs 53-54-55
	41	vs 66											17-18-19 vs 53-54-55
	22	vs 71											21-22-23 vs 53-54-55
	26	vs 41											21-22-23 vs 57-58-59
	7	vs 30											22 vs 62
	6-7-8	vs 10-11-12											22 vs 65
4 P vs P (doses), P+N, NPK, NPK+N NP, NP+N	6-7-8	vs 50-51-52				9 NP (formes) ± N vs NP (formes) ± N						18 vs 72	
	10-11-12	vs 50-51-52											22 vs 73
	2-3-4	vs 10-11-12											62 vs 73
	10-11-12	vs 53-54-55											13-14-15 vs 17-18-19 vs 21-22-23 vs 71-72-73
	50-51-52	vs 53-54-55											53-54-55 vs 57-58-59 vs 61-62-63
	10-11-12	vs 13-14-15											66-67-68 vs 26-27-28
	10-11-12	vs 21-22-23											34 vs 39
	10-11-12	vs 33-34-35											34 vs 74
	10-11-12	vs 57-58-59											39 vs 79
	10-11-12	vs 61-62-63											37 vs 77
5 P vs NPK équilibré (formes)	10-11-12	vs 15-19-23				10 NPK vs NPK+N vs (équilibré ou non)						40 vs 80	
	10-11-12	vs 16-20-24											3 vs 77
	10-11-12	vs 55-59-63											3 vs 80
	10-11-12	vs 56-60-64											35 vs 77
	52	vs 61											35 vs 80
													35 vs 80
													37 vs 80
													43 vs 80
													75 vs 80
													77 vs 80

Tableau 10 Test de Scheffé sur la hauteur 1975 (4 plants par parcelle)

Traitements comparés significativement différents	Différence (m)	F	Seuil de signification	Fertilisation correspondante
10 vs 50	-0,59	8,18	**	P ₂₈ vs P ₂₈ +N
12 vs 52	-0,56	7,45	**	P ₈₄ vs P ₈₄ +N
29 vs 59	-0,51	5,68	*	N ₁₁₂ P ₁₁₂ K ₁₁ vs N ₁₁₂ P ₁₁₂ K ₁₁ +N
1 vs 51	-0,58	7,88	**	N ₀ P ₀ K ₀ vs N ₀ P ₅₆ K ₀ +N
41 vs 65	-0,54	5,88	*	N ₅₆ P ₁₁₂ K ₀ +N
6-7-8 vs 10-11-12	-0,86	7,35	**	N ₂₈ -56-84 vs P ₂₈ -56-84
6-7-8 vs 50-51-52	-2,30	41,99	**	N ₂₈ -56-84 vs P ₂₈ -56-84+N
10-11-12 vs 50-51-52	-1,44	16,44	**	P ₂₈ -56-84 vs P ₂₈ -56-84+N
2-3-4 vs 50-51-52	-1,43	16,21	**	N ₂₈ -56-84P ₂₈ -56-84K ₂₈ -56-84 vs P ₂₈ -56-84+N
50-51-52 vs 53-54-55-57-58-59-61-62-63	5,52	33,55	**	P ₂₈ -56-84+N vs N ₂₈ -56-84P ₁₁ -28-56+N
10-11-12 vs 13-14-15	0,80	6,42	*	P ₂₈ -56-84 vs N ₂₈ -56-84P ₁₁
10-11-12 vs 53-54-55	0,88	6,19	*	P ₂₈ -56-84 vs N ₂₈ -56-84P ₁₁ +N
10-11-12 vs 15-19-23	0,69	4,78	*	N ₈₄ -P ₁₁ -28-56 vs P ₂₈ -56-84
10-11-12 vs 16-20-24	0,86	7,29	**	P ₂₈ -56-84 vs N ₁₁₂ P ₁₁ -28-56
10-11-12 vs 56-60-64	1,08	9,31	**	P ₂₈ -56-84 vs N ₁₁₂ P ₁₁ -28-56+N
52 vs 61	0,56	6,26	*	P ₈₄ +N vs N ₂₈ P ₅₆ +N
42-43-44 vs 50-51-52	-1,48	13,71	**	N ₂₈ -56-84-P ₂₈ -56-84K ₂₈ -56-84+N vs P ₂₈ -56-84+N
52 vs 3	0,46	4,99	*	P ₈₄ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.C.)
52 vs 35	0,41	3,90	*	P ₈₄ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.C.)
50 vs 37	0,43	4,36	*	P ₂₈ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.S.)
52 vs 37	0,50	5,90	*	P ₈₄ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.S.)
52 vs 40	0,44	4,57	*	P ₈₄ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)
6-7-8 vs 21-22-23	-1,12	12,49	**	N ₂₈ -56-84 vs N ₂₈ -56-84P ₅₆
6-7-8 vs 57-58-59	-0,74	4,34	*	N ₂₈ -56-84 vs N ₂₈ -56-84P ₂₈ +N
13-14-15 vs 21-22-23	-1,07	11,26	**	N ₂₈ -56-84P ₁₁ vs N ₂₈ -56-84P ₅₆
17-18-19 vs 21-22-23	-0,75	5,57	*	N ₂₈ -56-84P ₂₈ vs N ₂₈ -56-84P ₅₆
21-22-23 vs 53-54-55	1,15	10,40	**	N ₂₈ -56-84P ₅₆ vs N ₂₈ -56-84P ₁₁ +N
62 vs 65	-0,63	7,92	**	N ₂₈ P ₅₆ +N vs N ₅₆ P ₁₁₂ +N
22 vs 65	-0,41	4,04	*	N ₅₆ P ₅₆ vs N ₅₆ P ₁₁₂ +N
25 vs 62	0,46	5,14	*	N ₅₆ P ₁₁₂ vs N ₅₆ P ₅₆ +N
43 vs 80	-0,48	4,61	*	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.C.) + N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)+N
77 vs 80	-0,47	4,28	*	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.S.) + N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.) + N

* = Significatif au seuil de 0,05 (F critique = 3,87)

** = Significatif au seuil de 0,01 (F critique = 6,72)

Traitements soulignés = traitements supérieurs

Sauf indication spécifique entre parenthèses, les composantes sont à base d'U.S.C.

Tableau 11 Test de Sheffé sur la hauteur 1975 (2 plants par parcelle)

Traitements composés significativement différents	Différence (m)	F	Seuil de signification	Fertilisation correspondante
10 vs 50 12 vs 52	-0,70 -0,59	5,89 4,14	* *	P ₂₈ P ₈₄ vs $\frac{P_{28+N}}{P_{84+N}}$
6-7-8 vs 50-51-52	-2,34	22,58	**	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs $\frac{P_{28-56-84+N}}$
10-11-12 vs 50-51-52	-1,56	10,27	**	P ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs $\frac{P_{28-56-84+N}}$
2-3-4 vs 50-51-52	-1,53	9,90	**	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈₋₅₆₋₈₄ K ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs $\frac{P_{28-56-84+N}}$
50-51-52 vs 53-54-55-57-58-59-61-62-63	5,44	16,35	**	vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₁₁₋₂₈₋₅₆ +N
10-11-12 vs 13-14-15	0,89	4,77	*	P ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₁₁
10-11-12 vs 16-20-24	0,85	4,31	*	P ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs N ₁₁₂ P ₁₁₋₂₈₋₅₆
10-11-12 vs 56-60-64	1,12	5,98	*	P ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs N ₁₁₂ P ₁₁₋₂₈₋₅₆ +N
42-43-44 vs 50-51-52 50 vs 40	-1,59 0,58	7,91 4,00	** *	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈₋₅₆₋₈₄ K ₂₈₋₅₆₋₈₄ +N vs $\frac{P_{28-56-84+N}}$ P _{28+N} vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)
6-7-8 vs 21-22-23	-1,26	8,91	**	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs $\frac{N_{28-56-84}P_{56}}$
13-14-15 vs 21-22-23 21-22-23 vs 53-54-55	-1,37 1,04	-10,93 4,50	** *	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₁₁ vs $\frac{N_{28-56-84}P_{56}}$ N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₅₆ vs $\frac{N_{28-56-84}P_{11+N}}$
43 vs 80 75 vs 80	-0,60 -0,61	4,31 4,53	* *	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.C.)+N vs $\frac{N_{56}P_{56}K_{56}(A.S.S.)+N}$ N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.C.)+N vs $\frac{N_{56}P_{56}K_{56}(A.S.S.)+N}$

* = Significatif au seuil de 0,05 (F critique = 3,87)

** = Significatif au seuil de 0,01 (F critique = 6,72)

Tableau 12 Test de Sheffé sur la croissance 1975 (2 plants par parcelle)

Traitements comparés significativement différents	Différence (m)	F	Seuil de signification	Fertilisation correspondante
12 vs 52	-0,66	8,21	**	P ₈₄ vs P _{84+N}
28 vs 68	0,42	3,92	*	N ₈₄ P ₈₄ K ₁₁ vs N ₈₄ P ₈₄ K ₁₁ +N
32 vs 72	-0,43	4,23	*	N ₅₆ P ₂₈ (A.S.) vs N ₅₆ P ₂₈ (A.S.)+N
1 vs 51	-0,45	4,57	*	N ₀ P ₀ K ₀ vs P ₅₆ +N
1 vs 21	-0,38	4,03	*	N ₀ P ₀ K ₀ vs N ₂₈ P ₅₆
6-7-8 vs 50-51-52	-1,99	25,62	**	N ₂₈ -56-84 vs P ₂₈ -56-84+N
10-11-12 vs 50-51-52	-1,69	18,96	**	P ₂₈ -56-84 vs P ₂₈ -56-84+N
2-3-4 vs 50-51-52	-1,12	8,24	**	N ₂₈ -56-84P ₂₈ -56-84K ₂₈ -56-84 vs P ₂₈ -56-84+N
50-51-52 vs 53-54-55-57-58-59-61-62-63	4,68	18,93	**	P ₂₈ -56-84+N vs N ₂₈ -56-84P ₁₁ -28-56+N
10-11-12 vs 21-22-23	-0,91	7,51	**	P ₂₈ 56-84 vs N ₂₈ 56-84P ₅₆
42-43-44 vs 50-51-52	-1,43	10,06	**	N ₂₈ -56-84P ₂₈ -56-84K ₂₈ -56-84+N vs P ₂₈ -56-84+N
50 vs 35	0,46	3,91	*	P ₂₈ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.C.)
50 vs 40	0,46	3,94	*	P ₂₈ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)
6-7-8 vs 21-22-23	-1,21	12,83	**	N ₂₈ -56-84 vs N ₂₈ -56-84P ₅₆
13-14-15 vs 21-22-23	-1,26	14,40	**	N ₂₈ -56-84P ₁₁ vs N ₂₈ -56-84P ₅₆
17-18-19 vs 21-22-23	-0,78	5,47	*	N ₂₈ -56-84P ₂₈ vs N ₂₈ -56-84P ₅₆
13-14-15 vs 57-58-59	-0,79	4,42	*	N ₂₈ -56-84P ₁₁ vs N ₂₈ -56-84P ₂₈ +N
21-22-23 vs 53-54-55	1,21	9,47	**	N ₂₈ -56-84P ₅₆ vs N ₂₈ -56-84P ₁₁ +N
25 vs 62	0,46	4,03	*	N ₅₆ P ₁₁ 2 vs N ₅₆ P ₅₆ +N
34 vs 39	0,45	5,22	*	N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ (A.S.C.) vs N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ (U.S.S.)
43 vs 80	-0,52	5,07	*	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.C.)+N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)+N
75 vs 80	-0,49	4,59	*	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.C.)+N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)+N

* = Significatif au seuil de 0,05 (F critique = 3,87)

** = Significatif au seuil de 0,01 (F critique = 6,72)

Tableau 13 Test de Scheffé sur la hauteur 1976 (2 plants par parcelle)

Traitements comparés significativement différents	Différence (m)	F	Seuil de signification	Fertilisation correspondante
9 vs 49	-0,78	3,96	*	N112 vs N112+N
10 vs 50	-1,18	9,82	**	P28 vs P28+N
12 vs 52	-0,82	4,77	*	P84 vs P84+N
19 vs 59	-0,77	5,05	*	N84P28 vs N84P28+N
20 vs 60	-0,91	6,46	*	N112P28 vs N112P28+N
32 vs 72	-0,73	4,48	*	N56P28(A.S.) vs N56P28(A.S.)+N
40 vs 80	-0,98	8,16	**	N56P56K56(A.S.S.) vs N56P56K56(A.S.S.)+N
1 à 40 vs 41 à 80	-12,02	25,19	**	NxPxKx vs NxPxKx+N
6-7-8 vs 50-51-52	-2,05	10,50	**	N28-56-84 vs P28-56-84+N
10-11-12 vs 50-51-52	-2,42	14,55	**	P28-56-84 vs P28-56-84+N
2-3-4 vs 50-51-52	-2,89	20,68	**	N28-56-84P28-56-84 vs P28-56-84+N
50-51-52 vs 53-54-55-57-58-59-61-62-63	6,11	11,86	**	P28-56-84+N vs N28-56-84P11-28-56+N
42-43-44 vs 50-51-52	-1,92	6,73	**	N28-56-84P28-56-84K28-56-84+N vs P28-56-84+N
50 vs 3	0,95	6,32	*	P28+N vs N56P56K56(U.S.C.)
50 vs 35	1,06	7,83	**	P28+N vs N56P56K56(A.S.C.)
52 vs 35	0,81	4,59	*	P84+N vs N56P56K56(A.S.C.)
50 vs 37	1,12	8,82	**	P28+N vs N56P56K56(U.S.S.)
52 vs 37	0,87	5,36	*	P84+N vs N56P56K56(U.S.S.)
50 vs 40	1,17	9,65	**	P28+N vs N56P56K56(A.S.S.)
52 vs 40	0,93	6,02	*	P84+N vs N56P56K56(A.S.S.)
6-7-8 vs 61-62-63	-1,48	5,16	*	N28-56-84 vs N28-56-84P56+N
13-14-15 vs 21-22-23	-1,18	4,56	*	N28-56-84P11 vs N28-56-84P56
13-14-15 vs 57-58-59	-1,58	6,40	*	N28-56-84P11 vs N28-56-84P28+N
13-14-15 vs 61-62-63	-1,86	8,35	**	N28-56-84P11 vs N28-56-84P56+N
17-18-19 vs 61-62-63	-1,43	5,06	*	N28-56-84P28 vs N28-56-84P56+N
53-54-55-57-58-59-61-62-63 vs 31-32-33	3,42	5,59	*	N28-56-84P11-28-56+N vs N56P11-28-56(A.S.)
40 vs 80	-0,98	8,16	**	N56P56K56(A.S.S.) vs N56P56K56(A.S.S.)+N
3 vs 80	-0,76	4,87	*	N56P56K56(U.S.C.) vs N56P56K56(A.S.S.)+N
35 vs 80	-0,87	6,34	*	N56P56K56(A.S.C.) vs N56P56K56(A.S.S.)+N
37 vs 80	-0,93	7,32	**	N56P56K56(U.S.S.) vs N56P56K56(A.S.S.)+N
43 vs 80	-0,93	6,11	*	N56P56K56(U.S.C.)+N vs N56P56K56(A.S.S.)+N
75 vs 80	-0,98	6,68	*	N56P56K56(A.S.C.)+N vs N56P56K56(A.S.S.)+N

* = Significatif au seuil de 0,05 (F critique = 3,88)
 ** = Significatif au seuil de 0,01 (F critique = 6,73)

Tableau 14 Test de Scheffé sur la croissance 1976 (2 plants par parcelle)

Traitements comparés significativement différents	Différence (m)	F	Seuil de signification	Fertilisation correspondante
1 vs 41	-0,30	5,24	*	N ₀ P ₀ K ₀ vs N ₀ P ₀ K ₀ +N
4 vs 44	-0,70	18,40	**	N ₈₄ P ₈₄ K ₈₄ vs N ₈₄ P ₈₄ K ₈₄ +N
10 vs 50	-0,43	9,31	**	P ₂₈ vs P ₂₈ +N
18 vs 58	-0,30	5,18	*	N ₅₆ P ₂₈ vs N ₅₆ P ₂₈ +N
19 vs 59	-0,38	8,52	**	N ₈₄ P ₂₈ vs N ₈₄ P ₂₈ +N
20 vs 60	-0,48	12,80	**	N ₁₁₂ P ₂₈ vs N ₁₁₂ P ₂₈ +N
22 vs 62	-0,29	4,27	*	N ₅₆ P ₅₆ vs N ₅₆ P ₅₆ +N
23 vs 63	-0,55	14,31	**	N ₈₄ P ₅₆ vs N ₈₄ P ₅₆ +N
24 vs 64	-0,33	5,46	*	N ₁₁₂ P ₅₆ vs N ₁₁₂ P ₅₆ +N
28 vs 68	-0,40	7,94	**	N ₈₄ P ₈₄ K ₁₁ vs N ₈₄ P ₈₄ K ₁₁ +N
32 vs 72	-0,37	7,97	**	N ₅₆ P ₂₈ vs N ₅₆ P ₂₈ +N
34 vs 74	-0,31	4,41	*	N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ (A.S.C.) vs N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ (A.S.C.)+N
37 vs 77	-0,37	6,79	**	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.S.) vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.S.)+N
39 vs 79	-0,28	4,20	*	N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ (U.S.S.) vs N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ (U.S.S.)+N
40 vs 80	-0,51	15,23	**	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.) vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)+N
1 à 40 vs 41 à 80	-9,39	107,90	**	N ₀ P ₀ K ₀ vs N ₀ P ₀ K ₀ +N
41 vs 43	0,29	4,17	*	N ₀ P ₀ K ₀ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ +N
3 vs 41	-0,42	10,33	**	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ vs N ₀ P ₀ K ₀ +N
22 vs 41	-0,48	13,90	**	N ₅₆ P ₅₆ vs N ₀ P ₀ K ₀ +N
26 vs 41	-0,36	7,64	**	N ₅₆ P ₁₁₂ vs N ₀ P ₀ K ₀ +N
7 vs 30	0,32	6,43	*	N ₅₆ (U.) vs N ₅₆ (A)
6-7-8 vs 50-51-52	-0,77	9,88	**	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs P ₂₈₋₅₆₋₈₄ +N
10-11-12 vs 50-51-52	-0,80	11,20	**	P ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs P ₂₈₋₅₆₋₈₄ +N
2-3-4 vs 10-11-12	-0,46	5,36	*	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈₋₅₆₋₈₄ K ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs P ₂₈₋₅₆₋₈₄
2-3-4 vs 50-51-52	-1,26	28,01	**	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈₋₅₆₋₈₄ K ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs P ₂₈₋₅₆₋₈₄ +N
10-11-12 vs 53-54-55-57-58-59-61-62-63	-1,45	7,10	**	P ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₁₁₋₂₈₋₅₆ +N
10-11-12 vs 57-58-59	-0,55	5,66	*	P ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈ +N
10-11-12 vs 61-62-63	-0,75	9,80	**	P ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₅₆ +N
10-11-12 vs 55-59-63	-0,82	10,49	**	P ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs N ₈₄ P ₁₁₋₂₈₋₅₆ +N
10-11-12 vs 56-60-64	-0,74	8,58	**	P ₅₈₋₅₆₋₈₄ vs N ₁₁₂ P ₁₁₋₂₈₋₅₆ +N
50 vs 3	0,51	12,90	**	P ₂₈ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.C.)
51 vs 3	0,26	3,92	*	P ₅₆ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.C.)
52 vs 3	0,35	5,96	*	P ₈₄ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.C.)
50 vs 35	0,53	14,02	**	P ₂₈ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.C.)
51 vs 35	0,28	4,61	*	P ₅₆ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.C.)
52 vs 35	0,37	6,73	**	P ₈₄ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.C.)
50 vs 37	0,57	16,11	**	P ₂₈ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.S.)
51 vs 37	0,32	5,97	*	P ₅₆ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.S.)
52 vs 37	0,41	8,20	**	P ₈₄ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.S.)
50 vs 40	0,51	12,73	**	P ₂₈ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)
52 vs 40	0,34	5,85	*	P ₈₄ +N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)
6-7-8 vs 57-58-59	-0,52	4,80	*	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈ +N
6-7-8 vs 61-62-63	-0,72	8,59	**	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₅₆ +N
13-14-15 vs 57-58-59	-0,78	11,04	**	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₁₁ vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈ +N
13-14-15 vs 61-62-63	-0,98	16,31	**	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₁₁ vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₅₆ +N
17-18-19 vs 61-62-63	-1,10	21,05	**	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈ vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₅₆ +N
17-18-19 vs 57-58-59	-0,90	15,07	**	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈ vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈ +N
21-22-23 vs 61-62-63	-1,02	20,31	**	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₅₆ vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₅₆ +N
61-62-63 vs 53-54-55	-0,60	4,45	*	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₅₆ +N vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₁₁ +N
17-18-19 vs 53-54-55	-0,50	3,88	*	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈ vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₁₁ +N
21-22-23 vs 57-58-59	-0,89	14,47	**	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₅₆ vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈ +N
22 vs 62	-0,29	4,27	*	N ₅₆ P ₅₆ vs N ₅₆ P ₅₆ +N
18 vs 72	-0,44	11,65	**	N ₅₆ P ₂₈ vs N ₅₆ P ₂₈ (A.S.)+N
13-14-15-17-18-19-21-22-23 vs 71-72-73	-2,00	11,87	**	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₁₁₋₂₈₋₅₆ vs N ₅₆ P ₁₁₋₂₈₋₅₆ (A.S.)+N
53-54-55-57-58-59-61-62-63 vs 31-32-33	2,56	22,33	**	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₁₁₋₂₈₋₅₆ +N vs N ₅₆ P ₁₁₋₂₈₋₅₆ (A.S.)
66-67-68 vs 26-27-28	0,52	4,73	*	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈₋₅₆₋₈₄ K ₁₁ +N vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈₋₅₆₋₈₄ K ₁₁
34 vs 74	-0,31	4,41	*	N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈₋₅₆₋₈₄ K ₁₁ +N vs N ₂₈₋₅₆₋₈₄ P ₂₈₋₅₆₋₈₄ K ₁₁
39 vs 79	-0,28	4,20	*	N ₂₈ P ₅₆ K ₁₁ (U.S.S.) vs N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ (U.S.S.)+N
37 vs 77	-0,37	6,79	**	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.S.) vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.S.)+N
40 vs 80	-0,51	15,23	**	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.) vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)+N
3 vs 77	-0,31	4,77	*	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.C.) vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.S.)+N
3 vs 80	-0,51	15,43	**	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.C.) vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)+N
35 vs 77	-0,33	5,46	*	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.C.) vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.S.)+N
35 vs 80	-0,53	16,77	**	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.C.) vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)+N
37 vs 80	-0,57	19,28	**	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.S.) vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)+N
63 vs 80	-0,38	7,26	**	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (U.S.C.)+N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)+N
75 vs 80	-0,48	11,43	**	N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.C.)+N vs N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ (A.S.S.)+N

* = Significatif au seuil de 0,05 (F critique = 3,88)
 ** = Significatif au seuil de 0,01 (F critique = 6,73)

moyenne de 29,7 cm. La différence de hauteur entre le témoin (T.1) et le meilleur traitement (T.34 = $N_{56}P_{56}K_{11}$ - A.S.C.) atteint 66 p. cent.

Les trois meilleurs traitements pour la croissance 1974 sont le T.34 (= $N_{56}P_{56}K_{11}$ - A.S.C.), suivi du T.12 (= P_{84}) et du T.25 (= $N_{56}P_{112}$ - U.S.).

Parmi ces quatorze traitements non significativement différents, tous ceux équilibrés $N_{56}P_{56}K_{56}$ (T.3 - T.35 - T.37 - T.40) sont représentés pour les quatre types de composantes (U.S.C. - A.S.C. - U.S.S. - A.S.S.), le traitement 35 (= $N_{56}P_{56}K_{56}$ - A.S.C.) avec azote sous forme d'ammonitrate devançant les autres.

Notons aussi la présence des trois traitements n'apportant que du phosphore (T.10 - T.11 - T.12) respectivement classés aux 4^e et 2^e rangs, ceci soulignant l'importance de l'élément P l'année de la plantation.

Parmi les autres traitements classés dans les quatorze premiers, tous sauf trois (T.26 - T.34 - T.38) fournissent exclusivement N et P (T.17 - T.25 - T.32 - T.33).

Exception faite du T.32, la dose de phosphore est égale ou supérieure à la dose d'azote pour ces quatorze traitements et cette relation apparaît plus constante et plus importante que la dose de potassium. Le classement de ces quatorze traitements ne montre pas en 1974 d'influence prépondérante des doses ou formes de K et de la forme de N, sur la croissance.

Au niveau du rapport coûts-croissance obtenue, c'est le T.10 (= P_{28}) qui est le plus avantageux.

En 1975 et 1976 les traitements sont significativement différents pour la hauteur et la croissance annuelle (tableau 8). Les différences atteignent 85,7 p. cent pour la hauteur 1976, entre le témoin (T.1 = $N_0P_0K_0$) et le meilleur traitement (T.50 = $P_{28} + N$). L'écart de hauteur entre le moins bon et le meilleur traitement varie de 25 à 163 cm en 1975 (mesures sur les deux boutures centrales) et de 80 à 260 cm en 1976, le témoin (T.1 = $N_0P_0K_0$) mesurant respectivement aux mêmes dates 78 et 140 cm.

En 1976 la hauteur moyenne des tiges pour les quatre-vingts traitements est de 156 cm mais trente-six traitements donnent une hauteur supérieure. Parmi ceux-ci se trouvent cinq des quatorze meilleurs traitements de 1974 (respectivement dans l'ordre T.25 - T.34 - T.3 - T.33 - T.11) et onze de leurs équivalents azotés (T.50 - T.80 - T.52 - T.72 - T.77 - T.51 - T.66 - T.74 - T.78 - T.65 - T.73). Aux dix premières places pour la hauteur 1976 se retrouvent les traitements T.50 (= $P_{28} + N = 260$ cm), T.80 (= $N_{56}P_{56}K_{56} - A.S.C. + N = 241$ cm), T.52 (= $P_{84} + N = 236$ cm), T.72 (= $N_{56}P_{28} - A.S.C. + N = 210$ cm), T.77 (= $N_{56}P_{56}K_{56} - U.S.S. + N = 209$ cm), T.51 (= $P_{56} + N = 199$ cm), T.63 (= $N_{84}P_{56} + N = 215$ cm), T.44 (= $N_{86}P_{86}K_{86} + N = 209$ cm), T. 49 (= $P_{112} + N = 207$ cm), et T. 41 (= $N_0P_0K_0 + N = 197$ cm). De ces traitements avec apport d'azote en deuxième année, six appartiennent aux quatorze meilleurs traitements de 1974.

Sans apport d'azote en deuxième année, des quatorze traitements supérieurs à la moyenne en 1974, seul le T.10 (= P_{28}) n'atteint pas 95 cm en 1975, soit la hauteur moyenne 1975 de l'ensemble des traitements (T.1 à T.80). En 1976, d'autres traitements de ce groupe

s'ajoutent à la liste de ceux qui sont inférieurs à la hauteur moyenne de 156 cm, que seuls les traitements T.25, T.34, T.3, T.33, T.11 déjà mentionnés ci-avant surpassent. Donc, sauf pour T.11 (= P₅₆) qui est d'ailleurs en position limite en 1976 (hauteur = 157 cm), les traitements avec phosphore seulement, qui se classaient bien en 1974, sont dépassés en 1975 et 1976 par ceux ayant fourni N-P, aux doses N₅₆P₅₆ ou N₅₆P₁₁₂ kg/ha ou même N-P-K et qui sont les seuls à être classés au-dessus de la moyenne, ceci indépendamment de la forme de N, ce qui montre la nécessité de la fertilisation azotée la première année si l'on ne prévoit pas de nouvel apport d'azote en deuxième année.

Restant parmi les vingt premiers, les traitements T.25 (= N₅₆P₁₁₂K₀ - U.S.C.) et T.34 (=N₅₆P₅₆K₁₁ - A.S.C.) classés aux 3^e et 5^e rangs en 1975 avec des hauteurs respectives de 147 et 146 cm, se placent encore très bien en 1976 aux 15^e (T.25 = 184 cm) et 17^e (T.34 = 182 cm) rangs, soit très près de leurs équivalents avec N en 2^e année, T.65 (=N₅₆P₁₁₂K₀ - U.S.C. + N, 20^e rang avec 174 cm) et T. 74 (=N₅₆P₅₆K₁₁ - A.S.C. + N, 13^e rang avec 188 cm). Donc, sur le plan coût-croissance, sans refertilisation azotée en 2^e année, le T.34 (182 cm) est le plus intéressant, par rapport à T.25 (184 cm) et T.3 (165 cm) et même à T.33 (159 cm) car il apporte aussi un peu de potassium (11 kg/ha). Trois ans après la fertilisation, la différence de hauteur entre T.34 et le témoin T.1 est encore de 42 cm soit 30 p. cent.

La hauteur moyenne des traitements avec apport d'azote en 2^e année (groupe B, T.41 à T.80) est significativement supérieure à celle des traitements du groupe A (T.1 à T.40), pour la hauteur et

la croissance 1976. L'apport d'azote en 2^e année a donc un effet global positif qui se manifeste encore et surtout en 1976, ce qui s'expliquerait par un meilleur stockage de cet azote par des plants âgés de deux ans, favorisant un meilleur développement ultérieur. Ainsi même le T.41 (= $N_0P_0K_0 + N$) qui se classe au 10^e rang pour la hauteur 1976 est supérieur aux meilleurs traitements du groupe A (T.25 - T.34 - T.3) privés de cet apport de N. Les traitements T.50, T.51, T.52 à base de phosphore seulement la 1^{re} année, plus azote la 2^e année, se classent parmi les premiers en 1975 et 1976. Le T.10 (=P.28), classé 4^e en 1974 et alors jugé le plus avantageux, voit son équivalent azoté (T.50 = $P_{28} + N$) se retrouver en tête de tous les traitements pour la hauteur 1976 et reste donc très intéressant à retenir.

Les analyses de sol effectuées sur les échantillons prélevés deux mois après la fertilisation 1974, montrent pour les meilleurs traitements (tableau 15) un redressement général du niveau de fertilité. Le taux moyen d'azote passe à 0,16 p. cent, celui du phosphore à 0,18 p. mille, celui du potassium à 0,14 p. mille et le rapport C/N baisse à la valeur de 13. Cette amélioration est cependant variable selon les traitements et les éléments considérés. Pour les quatorze meilleurs traitements et le T.34, le taux d'azote n'augmente que d'environ 40 p. cent par rapport au témoin (T.1), le taux de phosphore est presque quadruplé et les taux de K, Ca et Mg sont doublés. Pour le T.10 qui ne fournit que du phosphore, notons l'augmentation du simple au double des taux de P, Ca et Mg, ce qui est normal, car le superphosphate triple fournit aussi ces éléments. Au niveau foliaire par contre, même si l'influence du T.10 sur les taux

des divers éléments se fait généralement moins ressentir que celle des autres traitements, elle est relativement importante, même pour le taux 1974 d'azote foliaire, qui augmente de 25 p. cent par rapport au témoin. Ceci peut expliquer la croissance obtenue avec les traitements apportant P seulement, croissance certainement liée à un développement plus important du système racinaire et donc à une meilleure exploitation des éléments nutritifs disponibles.

L'analyse de sol d'août 1974 pour les 14 meilleurs traitements correspond à celle de sols propres à la populiculture ou à la plantation d'espèces assez exigeantes. Hormis pour les valeurs du phosphore et du calcium qui restent un peu faibles par rapport aux standards couramment admis pour les espèces exigeantes, la concentration foliaire moyenne des autres éléments pour les quatorze meilleurs traitements peut servir de référence pour ce type d'hybrides.

Les résultats des analyses foliaires 1975 et 1976 figurent au tableau 16. Le déclassement du T.10 pour sa croissance ces deux années-là se manifeste aussi au niveau du taux d'azote foliaire qui est proche de celui du témoin (T.1), inférieur à celui de l'ensemble des traitements du groupe A, mais relativement moins diminué que dans le cas du T.34, qui en 1974 bénéficiait de l'apport de N-P-K et pour lequel l'impact du phosphore sur le développement racinaire n'a peut-être pas joué autant puisque les trois éléments étaient disponibles. De plus, et certainement à cause d'un effet résiduel de ce traitement, le développement supérieur obtenu en 1975 et 1976 avec le T.34 peut être la cause d'un effet de dilution de l'azote, comme des autres éléments, dans une biomasse foliaire plus importante (Zöttl, 1973) où

Tableau 15 Analyses de sol et analyses foliaires 1974

Analyses de sol 1974:										
		M.O. %	C %	C/N	pH	N %	P 0/00	K 0/00	Ca 0/00	Mg 0/00
Juin 1974	Ensemble du dispositif avant fertilisation	2,6	1,5	15,5	4,9	0,10	0,06	0,05	0,16	0,016
Août 1974	Témoin (T.1)	2,6	1,5	13,8	4,8	0,11	0,04	0,05	0,12	0,014
	Moyenne pour les 14 traitements	3,6	2,1	14	4,5	0,15	0,22	0,17	0,43	0,032
	T.10 (=P ₂₈)	3,9	2,3	17,4	4,8	0,13	0,14	0,06	0,37	0,026
	T.34 (=56-56-11-A.S.C.)	4,0	2,3	14,4	4,8	0,16	0,17	0,13	0,32	0,032
Analyses foliaires 1974:										
						N %	P %	K %	Ca %	Mg %
Témoin (T.1)						1,83	0,12	1,14	0,48	0,17
Moyenne 14 traitements						2,43	0,15	1,53	0,40	0,16
T.10 (=P ₂₈)						2,29	0,14	1,25	0,53	0,19
T.34 (=56-56-11-A.S.C.)						2,55	0,19	1,60	0,37	0,15
Valeurs extrêmes pour les 14 traitements						1,99 (T.37)	0,08 (T.32)	1,14 (T.17- T.32)	0,29 (T.37)	0,12 (T.37)
- minimales										
- maximales						2,86 (T.25)	0,21 (T.12)	2,33 (T.40)	0,65 (T.11)	0,25 (T.11)

Tableau 16 Analyses foliaires 1975 et 1976

Éléments		N	P	K	Ca	Mg
		%	%	%	%	%
Traitements et année						
T.1 (=N ₀ P ₀ K ₀)	1975	2,36	0,17	1,40	0,36	0,14
	1976	1,99	0,18	0,95	0,24	0,21
T.41 (=N ₀ P ₀ K ₀ + N)	1975	2,92	0,14	1,10	0,32	0,14
	1976	3,15	0,20	1,52	0,48	0,19
T.34 (=N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ - A.S.C.)	1975	2,08	0,15	1,16	0,39	0,15
	1976	2,08	0,20	1,97	0,56	0,24
T.74 (=N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ - A.S.C. + N)	1975	3,00	0,16	1,00	0,39	0,14
	1976	2,23	0,22	1,64	0,48	0,19
T.10 (=P ₂₈)	1975	2,13	0,19	1,53	0,37	0,15
	1976	2,04	0,24	1,98	0,53	0,23
T.50 (=P ₂₈ + N)	1975	2,89	0,19	0,89	0,32	0,15
	1976	2,81	0,26	1,47	0,43	0,24
Moyenne des 10 meilleurs traitements en 1976	1975	2,98	0,17	1,29	0,34	0,13
	1976	2,87	0,21	1,58	0,46	0,19
Moyenne, traitements du groupe A	1975	2,27	0,17	1,32	0,35	0,13
	1976	2,18	0,22	1,96	0,52	0,20
Moyenne, traitements du groupe B	1975	2,87	0,15	1,13	0,33	0,13
	1976	2,68	0,22	1,56	0,44	0,17

le contenu total en azote serait plus important à considérer que la concentration. Les taux des autres éléments restent semblables ou augmentent beaucoup (cas de P et K en 1975 et notamment P, K, Ca en 1976) dans le cas de T.10. Pour T.34, la tendance est à la baisse pour N, P et K en 1975 puis au redressement général en 1976.

L'effet positif sur la croissance de l'apport d'azote en 2^e année se manifeste fortement aussi au niveau de l'analyse foliaire, particulièrement pour l'azote dont le taux moyen atteint 2,8 p. cent. Notons l'interaction négative générale de cet apport d'azote sur les taux de K, Ca et Mg en 1975 comme en 1976, alors que les taux de phosphore sont peu affectés et restent plus stables. L'analyse foliaire du T.50 traduit bien les résultats de croissance obtenus avec les traitements fournissant P la première année et N l'année suivante.

En dehors de l'effet des facteurs incontrôlables du milieu, il ne semble pas y avoir de lien spécifique entre les traitements d'un même groupe, leurs composantes et le taux de survie. Entre les traitements semblables avec U.S.C. (T.2 - T.3 - T.4 - T.27) ou U.S.S. (T.36 T.37 - T.38 - T.39), la variation du taux de survie est inférieure à 4 p. cent en 1975 comme en 1976, celui-ci étant le plus fort pour les traitements du type U.S.S. Les taux de survie moyens en 1974 sont respectivement de 89 et 79 p. cent pour les traitements du groupe A et B. Ils passent à 85 et 78 p. cent en 1975 et 82 et 62 p. cent en 1976. Il y a donc une légère baisse du taux de survie dans les blocs du groupe A en 1975 et en 1976. Mais ce sont finalement les blocs du groupe B qui accusent le taux de survie moyen le plus faible, ceci étant en partie dû à une mortalité accentuée dans les parcelles où

l'excès d'azote ou le déséquilibre en éléments fertilisants (N très supérieur à P) sont manifestes. Une analyse de variance des nombres d'arbres vivants mesurés en 1975 et 1976 (observations sur les deux arbres centraux) nous indique une différence significative (probabilité de 0,95) entre les traitements du groupe A et ceux du groupe B en 1975, et une différence hautement significative (probabilité de 0,99) en 1976. Ceci confirme donc l'effet général de la dose azotée de 2^e année sur le taux de survie. Concurrence, aoûtéme tardif et gel des pousses, développement de maladies (Cytospora sp.), limite de rusticité du clone sont en conséquence les causes cumulatives de mortalité. Sans remettre en cause les meilleurs résultats de 1976, il faut toutefois tenir compte pour certains traitements, principalement ceux du groupe B, de l'incidence de la mortalité sur un nombre d'observations déjà restreint au départ (2 arbres par parcelle).

2.4.2 EFFET DE L'AZOTE

2.4.2.1 Effets sur la croissance

En 1974, il n'y a aucune différence significative entre les traitements apportant seulement de l'azote (T.6 - T.7 - T.8 - T.9 - T.30) et le témoin. Notons aussi les croissances identiques obtenues avec le T.7 (=N₅₆ - urée) et le T.30 (=N₅₆ - ammonitrate). Tous ces traitements avec azote seulement donnent une croissance 1974 inférieure à la moyenne du dispositif.

En 1975, ils n'ont toujours pas d'effet favorable mais, au contraire, un effet nettement dépressif (figure 4), pour les fortes doses des traitements T.8 (=N₈₄) et T.9 (=N₁₁₂).

L'application d'azote en 2^e année n'améliore pas l'effet de ces traitements et leur position par rapport au T.41 (= témoin + N), qui se rapproche du T.49 (=N₁₁₂ + N) (figure 5), pour lequel la concentration peut intervenir sur la dynamique de l'azote et des autres éléments.

L'effet de l'application d'azote de 1975 améliore le classement de certains traitements NP et NPK (figure 7) mais est négatif pour la plupart et non significatif, ni entre eux, ni par rapport au témoin fertilisé (T.41), ce dernier bénéficiant d'un effet relativement plus favorable de cet apport d'azote car il n'est pas affecté par la mortalité ou par les problèmes de déséquilibre dans l'alimentation des plants. L'effet négatif a d'ailleurs tendance à augmenter pour les traitements qui avaient déjà reçu NP ou NPK aux doses plus fortes de 84 ou 112 kg/ha.

Il existe par contre une différence significative positive en faveur des traitements qui n'avaient reçu que du phosphore en 1974. Dès 1975 et en 1976 aussi, les T.50 - T.51 - T.52 sont significativement supérieurs aux T.10 - T.11 - T.12.

Les constatations énoncées en 1974 et 1975, concernant les traitements T.6 - T.7 - T.8 - T.9 - T.30, restent semblables en 1976, malgré une différence significative positive pour la croissance 1976 de T.30 par rapport à T.7.

L'absence générale de différences significatives en 1975 et 1976 sur les hauteurs des traitements NP ou NPK à base d'urée ou d'ammonitrate, ne permet pas de confirmer la supériorité de l'une ou l'autre des deux formes d'azote.

Un effet à long terme de l'apport d'azote en 2^e année se manifeste en 1976, puisque l'ensemble des traitements du groupe B est significativement supérieur aux traitements du groupe A (tableau 9). Ceci confirme donc l'intérêt de l'application supplémentaire d'azote, d'autant plus que le T.41, qui se classe dixième pour la hauteur 1976, est donc aussi valable et même supérieur à beaucoup de traitements NP, NPK, NP + N et NPK + N. Pour les meilleurs traitements NP + N (T.63 - T.72) et NPK + N (T.44, T.77, T.80) en 1976, nous constatons que ceux-ci montraient en 1975 des croissances peu différentes de celles de leurs équivalents (T.23, T.32, T.4, T.37, T.40) n'ayant pas reçu d'azote cette année-là. Cette observation, plus l'impact généralement (négatif, mentionné précédemment, de l'addition d'azote en 2^e année sur les traitements NP et NPK permet de penser qu'il vaudrait mieux faire cette fertilisation azotée supplémentaire en 3^e année, ce qui réduirait encore les risques de déséquilibre alimentaire.

En conclusion, la fertilisation en azote l'année de la plantation est d'autant plus défavorable que la dose fournie est plus forte. Un effet positif important à long terme est obtenu par fertilisation azotée en 2^e ou même en 3^e année, sur des arbres installés, ayant développé, grâce à une fertilisation phosphorée, un système racinaire plus apte à assimiler les éléments nutritifs présents ou fournis et à mieux rentabiliser l'investissement consenti.

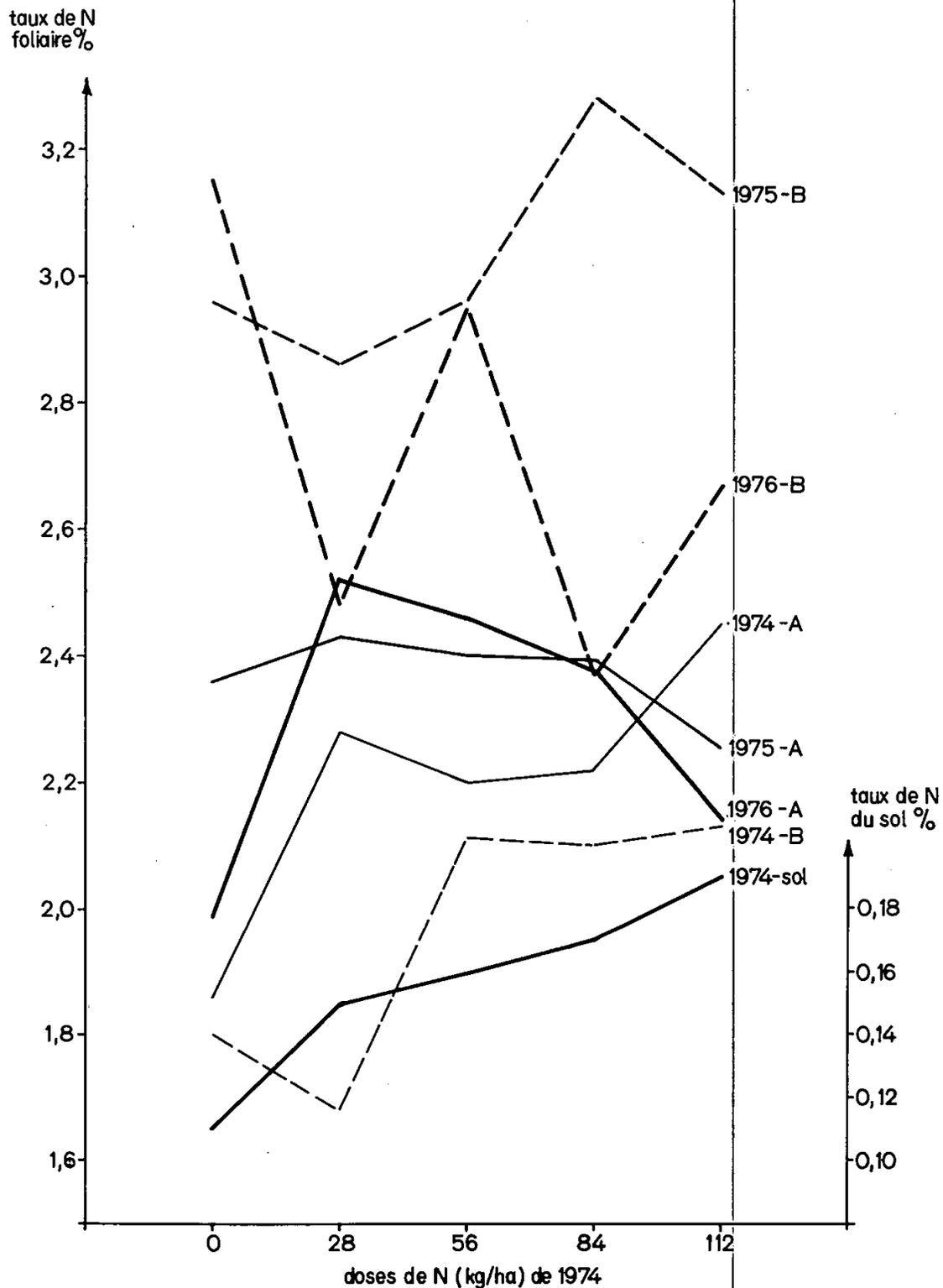
2.4.2.2 Effets sur le sol et la composition foliaire

Au niveau du sol, deux mois après la fertilisation, les doses d'azote ont provoqué une légère acidification (tableau 17), le taux d'azote a augmenté (de 0,11 à 0,19 p. cent) ainsi que les taux de

Tableau 17 Effets de l'azote sur les analyses de sol et de feuilles

Analyses de sol - août 1974										
	M.O. %	C %	C/N	pH	N %	P 0/00	K 0/00	Ca 0/00	Mg 0/00	
T.1	2,6	1,5	13,8	4,8	0,11	0,04	0,05	0,12	0,014	
T.6	3,6	2,1	13,8	4,0	0,15	0,05	0,06	0,15	0,020	
T.7	3,4	2,0	12,4	4,1	0,16	0,02	0,07	0,16	0,021	
T.8	3,9	1,9	11,2	4,2	0,17	0,02	0,08	0,20	0,023	
T.9	3,9	2,3	11,8	4,0	0,19	0,04	0,08	0,22	0,024	
T.30	3,0	2,1	13,0	4,4	0,16	0,03	0,08	0,29	0,034	
Analyses foliaires										
	N %		P %		K %		Ca %		Mg %	
	Groupe A	Groupe B								
T.1 (=N ₀ P ₀ K ₀)	1974	1,86	0,13	0,11	1,12	1,15	0,46	0,50	0,17	0,16
	1975	2,36	0,17	0,14	1,40	1,10	0,36	0,32	0,14	0,14
	1976	1,99	0,18	0,20	0,95	1,52	0,24	0,48	0,21	0,19
T.6 (=N ₂₈ - Urée)	1974	2,28	0,12	0,07	1,18	0,93	0,49	0,38	0,21	0,16
	1975	2,43	0,17	0,17	1,45	1,13	0,32	0,33	0,13	0,14
	1976	2,52	0,25	0,19	1,98	1,64	0,53	0,40	0,23	0,16
T.7 (=N ₅₆ - Urée)	1974	2,20	0,10	0,12	1,24	1,15	0,39	0,36	0,16	0,26
	1975	2,40	0,16	0,15	1,21	0,97	0,40	0,30	0,14	0,13
	1976	2,46	0,19	0,25	1,79	1,75	0,52	0,44	0,23	0,16
T.8 (=N ₈₄ - Urée)	1974	2,22	0,09	0,11	1,10	1,35	0,48	0,32	0,17	0,15
	1975	2,39	0,15	0,19	1,32	1,08	0,37	0,35	0,12	0,15
	1976	2,38	0,19	0,22	1,88	1,71	0,47	0,41	0,20	0,19
T.9 (=N ₁₁₂ - Urée)	1974	2,45	0,08	0,09	1,08	1,23	0,35	0,33	0,15	0,15
	1975	2,25	0,16	0,16	1,42	0,99	0,34	0,35	0,13	0,16
	1976	2,14	0,22	0,20	1,85	1,43	0,56	0,43	0,25	0,20
T.30 (=N ₅₆ - Ammonitrate)	1974	2,45	0,09	0,11	1,15	1,15	0,40	0,30	0,20	0,13
	1975	2,35	0,17	0,16	1,29	1,06	0,32	0,26	0,12	0,13
	1976	2,14	0,21	0,21	1,90	1,69	0,58	0,43	0,25	0,21

Figure 12-VARIATIONS DES TAUX D'AZOTE DU SOL ET D'AZOTE FOLIAIRE POUR LES TRAITEMENTS AZOTES DES GROUPES A ET B



K, Ca, Mg et Mn, le taux de P restant stable ou diminuant. La corrélation entre les doses de N et le taux dans le sol est de 0,95 (tableau 18).

En 1974, le taux d'azote foliaire augmente avec les doses (coefficient de corrélation de 0,82), mais non proportionnellement. La différence est surtout importante entre le témoin (T.1) et les T.6 - T.7 - T.8, ce qui appuie la conclusion de l'inutilité de doses d'azote trop élevées, d'autant plus qu'en 1975 et 1976, c'est pour les doses faibles (28 et 56 kg/ha) que le taux de N foliaire est le plus élevé et la hauteur des arbres la meilleure.

L'addition d'azote de 1975 augmente de façon plus ou moins uniforme, mais assez fortement le taux de N foliaire (T.41 - T.46 - T.47 - T.48 - T.49), taux qui, sauf pour T.41, tend à diminuer en 1976 et ceci plus fortement pour les traitements ayant déjà fourni plus d'azote en 1974.

Tableau 18 Coefficients de corrélation des taux d'azote du sol et des feuilles pour les traitements azotés (groupe A = T.1 - T.6 - T.7 - T.8 - T.9) et leurs équivalents (groupe B = T.41 - T.46 - T.47 - T.48 - T.49)

	Doses de N	N. sol août 1974	N. foliaire			N. foliaire		
			A-1974	A-1975	A-1976	B-1974	B-1975	B-1976
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈
x ₁	-	0,959	0,824	-0,592	0,112	0,881	-	-
x ₂		-	0,938	-0,434	0,347	0,700	-	-
x ₃			-	-0,357	0,438	0,430	-	-
x ₄				-	0,670	-	-	-
x ₅					-	-	-	-
x ₆						-	0,741	-0,091
x ₇							-	-0,615
x ₈								-

Le même effet est constaté pour les traitements du groupe A, ceci étant caractéristique de l'effet choc de l'azote et provoquant une interaction généralement négative sur l'assimilation et les taux des autres éléments. Ainsi en 1974, l'augmentation des doses de N tend surtout à faire diminuer le taux de P et agit moins sur K, Ca et Mg. En 1975, les taux de P et de K augmentent et se réajustent pour les parcelles du groupe A, tandis que pour le groupe B, l'addition d'azote agit cette fois plus fortement sur le taux de K. La tendance est à la normalisation en 1976.

2.4.3 EFFET DU PHOSPHORE

2.4.3.1 Effets sur les croissances

En 1974, dès la première saison de végétation, l'effet du phosphore est très marqué; les traitements T.10 - T.11 - T.12 apportant seulement du phosphore aux doses respectives de 28, 56, 84 kg/ha, se classent parmi les six meilleurs, le T.12 (=P₈₄) étant au 2^e rang et donnant une croissance initiale supérieure au témoin de 58,9 p. cent. Le gain de croissance atteint 41,1 p. cent pour les T.10 et T.11. Bien que s'amenuisant par rapport au témoin, l'effet positif des T.10 - T.11 - T.12 se maintient encore en 1975 et 1976.

Aucune des comparaisons faites entre les traitements T.10 - T.11 - T.12 et les traitements équilibrés N₅₆P₅₆K₅₆, quelles que soient les formes azotées ou potassiques, n'a révélé de différences significatives. L'apport de phosphore seul en 1974 est significativement meilleur que l'apport d'azote seul aux mêmes doses.

En 1975, les T.10 - T.11 - T.12 sont devancés par des traitements du groupe B et par une quinzaine de traitements du groupe

A, du type NP ou NPK qui ont tous, sauf deux, fourni en 1974, au moins 56 kg/ha d'azote sous forme d'urée ou d'ammonitrate, en association à une quantité égale ou supérieur de phosphore. Citons parmi eux les T.25 (=N₅₆P₁₁₂) et T.34 (=N₅₆P₅₆K₁₁ - A.S.C.) qui en sont les plus différents. L'importance de l'azote en première année n'est donc pas à négliger.

Les mêmes traitements avec apport d'azote en 2^e année, soit T.50 - T.51 - T.52, reprennent la tête du classement (tableau 7). Leur accroissement moyen, mesuré sur les deux plants centraux, est de 114 cm en 1975 par rapport à 52 cm et 87 cm seulement pour le témoin T.1 et son équivalent T.41. Mesurée sur quatre et sur deux plants, la hauteur moyenne des T.50 - 51 - 52 est de 148 et 145 cm en 1975. Elle passe en 1976 à 232 cm (moyenne sur les deux plants centraux), soit 65,7 p. cent de plus que le témoin (T.1) et 17,8 p. cent de plus que le témoin avec azote (T.41). Le T.50 (=P₂₈ + N) se classe premier pour la hauteur 1976 avec 260 cm. Les traitements T.50 - T.51 - T.52 sont donc d'autant plus intéressants qu'ils sont finalement supérieurs en 1976, à tous les traitements du groupe A, ne bénéficiant pas de cet apport d'azote en 2^e année. Ils sont même significativement supérieurs à certains traitements apportant soit N, P, NPK ou NP + N (tableaux 10, 11, 13). Notons que des facteurs incontrôlés ont pu intervenir pour le T.51 (=P₅₆ + N) dont l'infériorité par rapport au T.50 et T.52 s'est accentuée d'année en année. A cause de cette anomalie les comparaisons faites entre les traitements N₅₆P₅₆K₅₆ avec différentes formes d'engrais et le T.51 ne sont significatives que pour la croissance 1976 (tableau 14) et au bénéfice de ce dernier.

Il n'y a cependant pas plus de différence significative, en 1975 comme en 1976, entre les T.50, T.51 et T.52 qu'il n'y en a entre T.10, T.11 et T.12, la concentration en P par unité de surface étant quand même importante même pour T.10 (=P₂₈) à cause du mode d'épandage en bandes.

A la fin de la deuxième saison de végétation, pour les traitements du groupe A, la dose de 56 kg/ha de P, seul ou associé à N apparaît comme un optimum. L'addition d'azote accentue la croissance des traitements T.50, T.51 et T.52 et leur intérêt au niveau des coûts. Ainsi ils sont significativement supérieurs en 1976 (tableau 9) aux traitements équilibrés N₅₆P₅₆K₅₆ (quels que soient les engrais utilisés) et plus avantageux que ces derniers ou que certains traitements NPK + N (T.80, T.77).

De toutes les considérations précédentes nous retiendrons donc l'efficacité et l'intérêt de l'association phosphore plus azote, surtout si celui-ci est apporté en deuxième année sur des plants dont le système racinaire mieux développé est logiquement plus apte à utiliser et accumuler l'azote fourni.

2.4.3.2 Effets sur le sol et composition foliaire

L'influence des doses croissantes de phosphore (P₀, P₂₈, P₅₆, P₈₄) se fait fortement ressentir au niveau du sol et des feuilles (tableau 19) en 1974, année de l'application. Pour le sol, les coefficients de corrélation (tableau 20) sont élevés pour P (0,982), K (0,955) et Ca (0,916). Entre le P foliaire et le P du sol le coefficient de corrélation est de 0,878. Le taux de phosphore foliaire augmente beaucoup pour T.11 et T.12 par rapport à T.0 et T.10 (figure 13).

Tableau 19 Effets du phosphore sur les analyses de sol et de feuilles

Analyses de sol - août 1974										
	M.O. %	C %	C/N	pH	N %	P 0/00	K 0/00	Ca 0/00	Mg 0/00	
T.1	2,6	1,5	13,8	4,8	0,11	0,04	0,05	0,12	0,014	
T.10	3,9	2,3	17,4	4,8	0,13	0,14	0,06	0,37	0,026	
T.11	2,4	1,4	14,1	5,0	0,10	0,21	0,06	0,36	0,018	
T.12	3,5	2,0	14,4	5,0	0,14	0,25	0,07	0,49	0,026	
Analyses foliaires - août 1974										
	N %		P %		K %		Ca %		Mg %	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T.1 (=N ₀ P ₀ K ₀) 1974	1,86	1,80	0,13	0,11	1,12	1,15	0,46	0,50	0,17	0,16
1975	2,36	2,92	0,17	0,14	1,40	1,10	0,36	0,32	0,14	0,14
1976	1,99	3,15	0,18	0,20	0,95	1,52	0,24	0,48	0,21	0,19
T.10 (=P ₂₈) 1974	2,18	2,40	0,13	0,15	1,14	1,35	0,44	0,53	0,20	0,18
1975	2,13	2,89	0,19	0,19	1,53	0,89	0,37	0,32	0,15	0,15
1976	2,04	2,81	0,24	0,26	1,98	1,47	0,53	0,43	0,23	0,24
T.11 (=P ₅₆) 1974	2,34	2,32	0,21	0,19	1,45	1,13	0,58	0,71	0,23	0,27
1975	2,04	3,21	0,17	0,23	1,60	1,04	0,40	0,33	0,14	0,13
1976	2,24	2,58	0,23	0,18	2,00	1,37	0,51	0,38	0,22	0,16
T.12 (=P ₈₄) 1974	2,60	2,24	0,21	0,22	1,33	1,38	0,64	0,55	0,26	0,22
1975	1,99	2,58	0,19	0,15	1,43	0,90	0,38	0,34	0,14	0,14
1976	2,09	2,82	0,23	0,19	1,90	1,34	0,52	0,45	0,22	0,16

Tableau 20 Coefficients de corrélation des taux de phosphore et d'autres éléments pour les traitements phosphorés

	Doses de P (engrais) x ₁	Taux de P (sol) x ₂	P foliaire						N fol. A 1974 x ₉	K fol. A 1974 x ₁₀	Mg fol. A 1974 x ₁₁	Ca fol. A 1974 x ₁₂
			A 1974 x ₃	A 1975 x ₄	A 1976 x ₅	B 1974 x ₆	B 1975 x ₇	B 1976 x ₈				
x ₁	-	0,982	0,894	0,447	0,667	0,998	0,220	-0,395	0,993	0,768	1,00	0,915
x ₂	-	-	0,878	0,439	0,776	0,991	-	-	0,985	0,802	0,982	0,854
x ₃	-	-	-	0,000	0,426	0,905	-	-	0,839	0,949	0,894	0,963
x ₄	-	-	-	-	0,639	-	-	-	-	-	-	-

Figure 13-VARIATIONS DES TAUX DE PHOSPHORE
DU SOL ET FOLIAIRE POUR LES TRAI-
TEMENTS PHOSPHORÉS DES GROUPES
A ET B

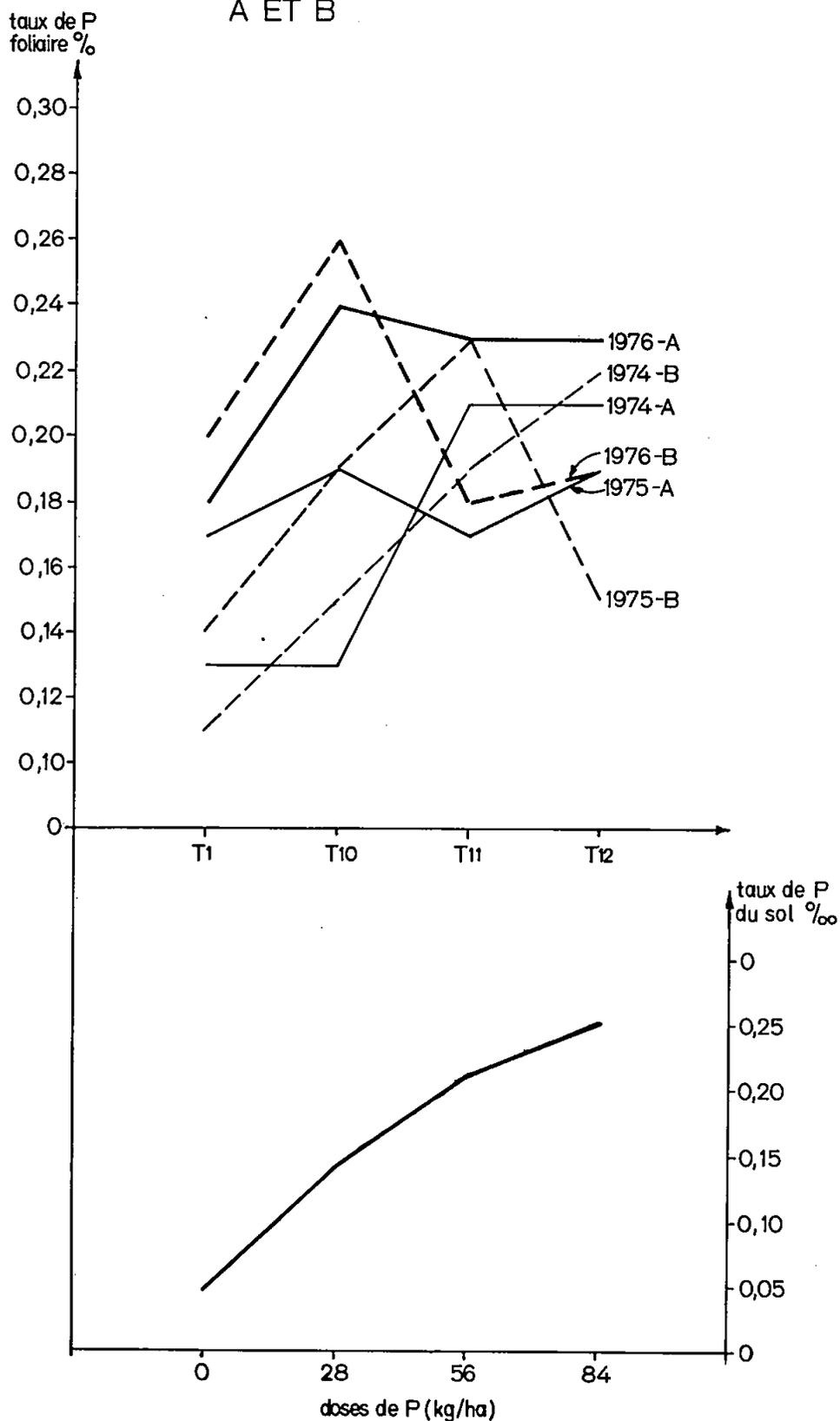
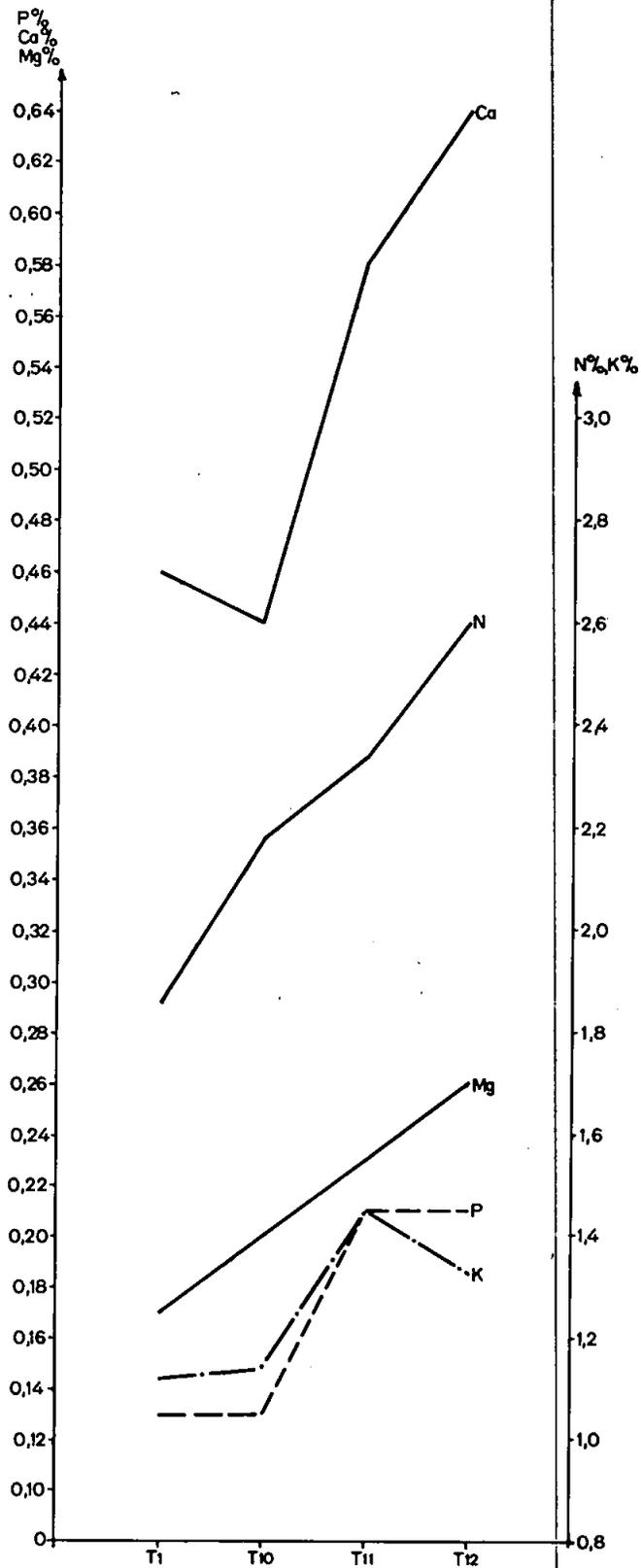


Figure 14-VARIATIONS DES TAUX FOLIAIRES DES ÉLÉMENTS
N, P, K, Ca, Mg, EN 1974, POUR LES TRAITEMENTS
PHOSPHORÉS DU GROUPE A



Au niveau des feuilles, la corrélation est très forte pour N (0,993), P (0,894 et 0,998), Ca (0,915) et Mg (1,00). Cet effet du phosphore sur la nutrition azotée (figure 14) est à relier aux bonnes croissances obtenues pour ces traitements dès la première saison de végétation. Cette relation P foliaire - P du sol et production est d'ailleurs la plus caractéristique dans les plantations où l'eau n'est pas un facteur limitant (Garbaye, 1980).

Par contre, s'il n'y a pas apport d'azote en 2^e année (groupe A), les concentrations foliaires en azote en 1975 et 1976 reviennent au niveau de celle du témoin (T₁), dont la croissance n'est guère différente non plus. Les différences entre les traitements s'atténuent aussi pour les concentrations foliaires en phosphore qui restent toutefois assez élevées. Les taux des autres éléments sont comparables sauf pour K qui est plus faible pour le témoin (T.1).

La croissance moindre des traitements T.10, T.11 et T.12 en 1975, par rapport à certains traitement NP (T.21 - 22 - 23, T.25, T.33) ou NPK (T.34, T.35) correspond donc bien à un manque d'azote au niveau du sol et des réserves de l'arbre. Ceci est confirmé par les croissances obtenues avec les T.50, T.51, T.52, où l'addition d'azote de 1975 augmente très fortement les taux d'azote foliaire (tableau 19). Les taux de phosphore, eux, varient peu, comme nous l'avons déjà vu lors de l'étude des traitements azotés (T.6, T.7, T.8, T.9) tandis que les taux de K, Ca et Mg sont généralement plus faibles.

2.4.4 EFFET DE LA FERTILISATION NP

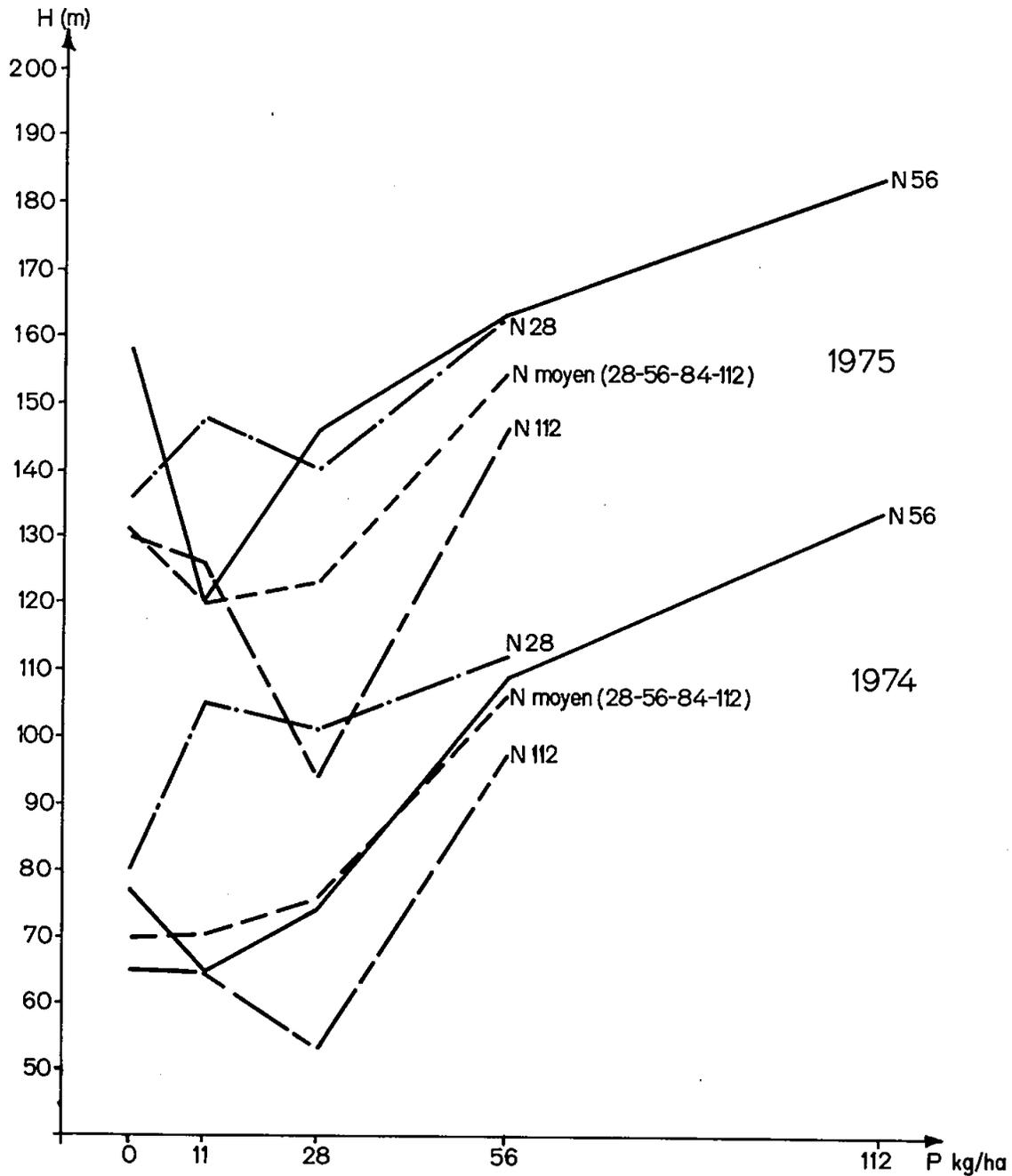
2.4.4.1 Effets sur la croissance

En 1974, après une saison de végétation, cinq des seize

traitements fournissant N et P associés (T.13 à T.25 et T.31 à T.33) se classent parmi les quatorze traitements supérieurs à la moyenne générale. Le T.25 (=N₅₆P₁₁₂) classé au 3^e rang donne une croissance supérieure de 53 p. cent à celle du témoin et égale à 92 p. cent de celle du meilleur traitement en 1974, soit le T.34 (=N₅₆P₅₆K₁₁ - A.S.C.). Les meilleurs traitements NP sont ceux à doses de N et P équivalentes (T.17, T.22) ou à dose de P double de celle de N (T.21). Pour une dose de phosphore donnée (11, 28 ou 56 kg/ha), l'augmentation de la dose associée d'azote sous forme d'urée, n'augmente pas la croissance (figure 2). Aux doses de 56-11, 56-28 et 56-56 kg/ha de NP, la forme azotée ammoniacale (T.31, T.32, T.33) est plus favorable que la forme urée (T.14, T.18, T.22). Pour une dose d'azote fixe, la croissance est meilleure si la dose de P augmente, ceci étant plus marqué, bien que non significatif, pour les traitements NP avec azote ammoniacal.

En 1975, les traitements du type N moyen (28-56-84) P₅₆ sont significativement supérieurs à ceux apportant N à dose moyenne seulement, ou N à dose moyenne et P à une dose inférieure (P₁₁ ou P₂₈) à celle de N (tableaux 10 et 11). Plus la dose de P est faible, plus l'augmentation de la dose de N est défavorable à la croissance (figures 4 et 6). Comme en 1974, pour une dose fixe d'azote, la croissance augmente avec la dose de P (figures 6 et 15). Ces observations restent valables en 1976 et même si la différence entre les traitements N₂₈₋₅₆₋₈₄ - P₅₆ et N seulement n'est pas significative, elle existe néanmoins et au bénéfice des traitements N₂₈₋₅₆₋₈₄ - P₅₆, où l'effet du phosphore associé à l'azote tend à s'affaiblir après trois ans.

Figure 15 - ÉVOLUTION DES HAUTEURS EN 1974 ET 1975
 pour différents traitements N P à rapport N/P
 variable



Parmi les traitements NP, les meilleures croissances sont obtenues avec les doses de 28 et 56 kg d'azote. Pour ces doses de N, le rapport NP 1-1 ou 1-2 est généralement le plus favorable. Dans le cas de T.13 (=N₂₈P₁₁) cette relation NP s'inverse et devient 2-1, mais pour de si faibles doses d'engrais l'importance relative du rapport N-P est peut-être moindre; d'ailleurs les traitements avec dose équivalente de P seulement donnent d'aussi bons résultats et sont donc à ce moment préférables, étant donné le coût du traitement et son efficacité.

L'addition d'azote de 1975 dans les parcelles ayant déjà reçu NP a un effet généralement négatif. La hauteur des arbres de ces parcelles est le plus souvent inférieure à celle du groupe A et aussi à celle obtenue avec le T.41 (=témoin + azote). Le comportement inattendu de certains de ces traitements NP + N en 1976 est à lier à l'effet du gel et de la mortalité par attaque de Cytospora sp. Ces résultats comparés à ceux des traitements P + N confirment que l'effet de N et P sur la croissance est plus favorable lorsque N est appliqué séparément en 2^e année (figures 5 et 9). Une fertilisation NP avec une dose de phosphore trop faible au départ paraît être un facteur limitant l'efficacité de la fertilisation azotée de 2^e année. En conclusion, l'addition d'azote en 2^e année sur des parcelles déjà bien fertilisées en NP apparaît donc coûteuse, prématurée et inefficace et on peut en prendre pour exemple les T.25 (=N₅₆P₁₁₂) et T.65 (=N₅₆P₁₁₂ +N) qui sont très peu différents en 1975 et 1976. Même si en 1975, de légères différences existent en faveur des traitements NP avec N sous forme d'ammonitrate au lieu d'urée, elles ne sont pas significatives.

Tableau 21 Effets de la fertilisation NP sur les analyses de sol

	M.O. %	C %	C/N	pH	N %	P 0/00	K 0/00	Ca 0/00	Mg 0/00
T.1 (=N ₀ P ₀ K ₀)	2,63	1,52	13,8	4,8	0,11	0,04	0,05	0,12	0,014
T.13 (=N ₂₈ P ₁₁)	3,21	1,86	13,3	4,2	0,14	0,06	0,07	0,07	0,017
T.14 (=N ₅₆ P ₁₁)	3,38	1,96	12,3	4,1	0,16	0,03	0,06	0,08	0,015
T.15 (=N ₈₄ P ₁₁)	3,56	2,06	11,4	4,4	0,18	0,05	0,07	0,10	0,021
T.16 (=N ₁₁₂ P ₁₁)	3,64	2,11	11,1	4,0	0,19	0,04	0,08	0,12	0,024
T.17 (=N ₂₈ P ₂₈)	3,61	2,09	13,0	4,2	0,16	0,18	0,09	0,08	0,025
T.18 (=N ₅₆ P ₂₈)	3,28	1,90	11,9	4,1	0,16	0,09	0,07	0,09	0,039
T.19 (=N ₈₄ P ₂₈)	3,25	1,88	10,4	4,2	0,18	0,08	0,07	0,10	0,029
T.20 (=N ₁₁₂ P ₂₈)	3,39	1,97	13,1	4,1	0,15	0,04	0,09	0,13	0,033
T.21 (=N ₂₈ P ₅₆)	3,53	2,04	12,8	4,4	0,16	0,13	0,07	0,09	0,027
T.22 (=N ₅₆ P ₅₆)	4,49	2,61	11,9	4,3	0,22	0,17	0,11	0,13	0,061
T.23 (=N ₈₄ P ₅₆)	3,25	1,88	9,9	4,5	0,19	0,29	0,09	0,09	0,045
T.24 (=N ₁₁₂ P ₅₆)	3,66	1,48	8,7	4,3	0,17	0,23	0,09	0,09	0,040
T.31 (=N ₅₆ P ₁₁ - A.S.)	3,25	1,89	11,8	4,7	0,16	0,15	0,06	0,09	0,017
T.32 (=N ₅₆ P ₂₈ - A.S.)	2,88	1,67	12,9	4,3	0,13	0,08	0,06	0,08	0,024
T.33 (=N ₅₆ P ₅₆ - A.S.)	3,58	2,07	13,8	4,6	0,15	0,20	0,10	0,09	0,030

Tableau 22 Effets de la fertilisation NP et NP+N sur les analyses foliaires

Traitements		N %		P %		K %		Ca %		Mg %	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T.1	1974	1,86	1,80	0,13	0,11	1,12	1,15	0,46	0,50	0,17	0,16
	1975	2,36	2,92	0,17	0,14	1,40	1,10	0,36	0,32	0,14	0,14
	1976	1,99	3,15	0,18	0,20	0,95	1,52	0,24	0,48	0,21	0,19
T.13	1974	2,38	1,86	0,11	0,08	1,20	0,88	0,38	0,35	0,16	0,14
	1975	2,17	2,23	0,20	0,12	1,40	1,15	0,34	0,34	0,14	0,14
	1976	1,92	2,87	0,22	0,21	1,99	1,48	0,50	0,45	0,23	0,20
T.14	1974	2,21	1,61	0,10	0,08	1,24	0,90	0,44	0,39	0,15	0,13
	1975	2,48	2,45	0,18	0,12	1,23	0,93	0,35	0,35	0,14	0,13
	1976	2,34	2,21	0,21	0,25	1,88	1,45	0,43	0,50	0,19	0,22
T.15	1974	2,29	1,69	0,08	0,09	1,18	1,22	0,35	0,38	0,17	0,13
	1975	2,45	3,12	0,17	0,14	1,23	1,43	0,31	0,25	0,12	0,11
	1976	3,27	2,43	0,21	0,23	1,94	1,23	0,55	0,26	0,22	0,12
T.16	1974	2,57	2,21	0,11	0,09	1,14	1,28	0,38	0,33	0,17	0,13
	1975	1,78	0,68	0,19	0,15	1,21	0,89	0,35	0,26	0,14	0,14
	1976	2,11	2,57	0,21	0,20	1,93	1,78	0,50	0,37	0,22	0,14
T.17	1974	2,38	1,96	0,10	0,11	1,18	1,10	0,45	0,36	0,16	0,13
	1975	2,00	2,40	0,15	0,16	1,32	1,16	0,35	0,30	0,14	0,12
	1976	1,94	2,61	0,21	0,19	1,96	1,26	0,50	0,48	0,21	0,19
T.18	1974	2,23	2,39	0,10	0,10	1,26	1,10	0,38	0,42	0,13	0,14
	1975	2,21	3,06	0,17	0,16	1,25	1,20	0,36	0,34	0,13	0,13
	1976	2,06	2,75	0,22	0,22	1,91	1,62	0,57	0,49	0,21	0,20
T.19	1974	2,47	2,56	0,09	0,09	1,13	1,38	0,35	0,33	0,16	0,13
	1975	2,47	2,70	0,18	0,15	1,10	0,79	0,36	0,35	0,13	0,15
	1976	2,10	3,00	0,22	0,26	1,85	1,43	0,53	0,50	0,20	0,21
T.20	1974	2,04	2,53	0,10	0,09	0,88	1,20	0,34	0,36	0,16	0,15
	1975	2,53	3,13	0,17	0,17	1,00	1,05	0,40	0,32	0,13	0,14
	1976	2,35	2,49	0,21	0,20	1,54	1,39	0,55	0,42	0,19	0,17
T.21	1974	2,56	2,14	0,14	0,12	1,12	1,10	0,39	0,33	0,17	0,15
	1975	2,18	3,04	0,18	0,15	1,10	0,89	0,38	0,34	0,13	0,15
	1976	2,16	2,52	0,21	0,19	1,83	1,34	0,57	0,46	0,23	0,15
T.22	1974	2,32	2,07	0,11	0,13	1,19	1,20	0,36	0,36	0,16	0,12
	1975	2,39	2,91	0,17	0,15	1,33	1,06	0,39	0,29	0,14	0,12
	1976	2,21	3,02	0,21	0,19	1,78	1,32	0,60	0,43	0,22	0,13
T.23	1974	2,43	2,23	0,09	0,11	1,13	1,43	0,32	0,35	0,17	0,12
	1975	2,35	2,91	0,16	0,18	1,10	1,20	0,36	0,23	0,13	0,14
	1976	2,04	2,90	0,19	0,21	1,84	1,51	0,50	0,53	0,19	0,19
T.24	1974	2,58	1,93	0,11	0,09	1,09	0,98	0,32	0,34	0,16	0,14
	1975	2,43	3,30	0,18	0,17	1,20	1,21	0,33	0,32	0,13	0,12
	1976	2,42	2,89	0,21	0,23	1,83	1,44	0,53	0,43	0,23	0,16
T.30	1974	2,37	2,41	0,08	0,08	0,98	1,15	0,38	0,35	0,18	0,14
	1975	2,35	3,09	0,17	0,13	1,24	1,00	0,32	0,29	0,13	0,12
	1976	2,09	2,92	0,19	0,19	1,64	1,59	0,47	0,38	0,17	0,19
T.31	1974	2,71	2,72	0,08	0,08	1,13	1,15	0,36	0,38	0,16	0,15
	1975	2,28	2,96	0,18	0,16	1,20	1,02	0,37	0,34	0,14	0,15
	1976	1,99	2,20	0,20	0,18	1,69	1,39	0,57	0,49	0,23	0,21
T.32	1974	1,84	2,84	0,11	0,12	1,16	1,72	0,38	0,38	0,19	0,13
	1975	2,24	3,12	0,17	0,16	1,15	0,90	0,43	0,34	0,14	0,14
	1976	2,10	2,61	0,23	0,25	1,85	1,49	0,62	0,46	0,16	0,16

2.4.4.2 Effets sur le sol et la composition foliaire

Les résultats sont regroupés aux tableaux 21 et 22. Pour une dose d'azote fixe avec P variable, les taux d'azote du sol varient très peu. Notons tout au plus une légère augmentation du taux d'azote quand la dose de P augmente et naturellement aussi quand la dose de N associée à P est plus forte. Le taux de phosphore du sol tend lui aussi à augmenter avec la dose de P surtout pour les formules N_xP_{56} , par rapport au témoin et aux autres traitements NP. Cette relation existe aussi pour le taux de Mg. Il n'y a pas d'effet bien défini sur les taux de potassium et de calcium.

Pour une dose de P fixe avec N variable il n'y a pas de variation définie pour le taux d'azote, ni pour celui du phosphore.

La fertilisation NP améliore donc les taux de N et P du sol par rapport au témoin, mais deux mois après la fertilisation les variations relatives des doses de N et P n'y induisent pas de variations identiques très importantes.

Au niveau foliaire, pour une dose de N fixée et de P variable, la variation des taux de N et de P foliaire n'est pas très définie en 1974. Il y a une corrélation positive (tableau 23) pour les doses d'azote faibles (28 et 56 kg/ha) et que l'on peut qualifier de raisonnables pour un épandage de 1^{re} année. Il n'y a pas de corrélation significative non plus dans le cas des traitements N variable - P fixe.

En comparant les effets des traitements apportant N, P ou NP sur les concentrations en azote et phosphore foliaire, nous pouvons conclure que l'azote augmente la concentration de cet élément dans les

Tableau 23 Coefficients de corrélation des taux d'éléments du sol et des feuilles et des doses NP des traitements phospho-azotés (groupe A) et de leurs équivalents refertilisés (groupe B).

Traitements NP avec N fixe et P variable	Traitements NP avec N variable et P fixe	Sol (1974)						Feuilles							
		N	P	K	Ca	Mg	N		P		K	Ca	Mg		
		x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	1974 gr. A	1975 gr. A	1974 gr. A	1975 gr. A	1974 gr. A	1974 gr. A	1974 gr. A		
x ₁	x ₂						x ₈	x ₉	x ₁₀	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅	x ₁₆
N ₂₈ P ₁₁ , 28, 56	-	0,788	0,461	-0,140	0,990	0,890	0,927	0,189	0,983	0,810	-0,265	0,617	0,990	-0,008	0,927
N ₅₆ P ₁₁ , 28, 56	-	0,927	0,998	0,981	0,981	0,986	0,978	-0,037	0,641	0,927	-0,788	0,617	0,787	-0,913	0,456
N ₈₄ P ₁₁ , 28, 56	-	0,927	0,964	0,927	-0,927	0,999	0,639	-0,858	-0,374	0,788	-0,616	0,990	0,788	-0,927	0,140
N ₁₁₂ P ₁₁ , 28, 56	-	-0,374	0,927	0,788	-0,810	0,978	0,156	0,706	0,822	0,140	-0,374	0,788	-0,180	-0,946	-0,788
-	N ₂₈ , 56', 84', 112 P ₁₁	0,990	-0,400	0,632	0,990	0,865	0,542	-0,477	-0,498	-0,183	-0,400	0,947	-0,744	-0,308	0,674
-	N ₂₈ , 56', 84', 112 P ₂₈	-0,103	-0,939	-0,000	-0,956	0,303	-0,535	-0,975	-0,714	-0,258	-0,718	0,316	-0,811	-0,936	-0,258
-	N ₂₈ , 56', 84', 112 P ₅₆	0,000	0,774	0,316	-0,258	0,211	0,181	0,834	0,548	-0,689	-0,447	0,775	-0,462	-0,948	-0,447

feuilles mais sans répercuter positivement cet effet sur la croissance, alors que la dose de phosphore est très bien corrélée à la concentration de N et P foliaire et favorise la croissance. Quant aux doses de NP, elles ne sont pas corrélées de façon très définie aux concentrations foliaires de ces éléments, malgré une tendance à l'augmentation du taux d'azote, surtout par rapport au témoin, le taux de phosphore restant semblable ou inférieur. L'addition de P à N dans les traitements NP permettrait donc une meilleure assimilation de l'azote surtout pour les doses $N_x P_{28}$ et $N_x P_{56}$, ce qui se traduit sur les hauteurs (fig. 2 et 6) et au niveau de la variation des coefficients de corrélation entre les taux d'azote et de phosphore des feuilles. Pour les traitements NP, les meilleures croissances sont obtenues pour une dose de P d'au moins 28 kg/ha et égale ou supérieure à celle de l'azote, pour que P ne soit pas un facteur limitatif pour la croissance.

Tableau 24 Coefficients de corrélation des taux de N et P du sol et des feuilles pour les traitements du type $N_{28, 56, 84, 112}$ P fixe et les traitements N_{28} à N_{112} . Parcelles du groupe A, 1974.

Traitements	Sol		Feuilles	
	N	P	N	P
N_x vs $N_x P_{11}$	0,946	0,602	0,983	0,276
N_x vs $N_x P_{28}$	-0,271	0,498	0,772	0,293
N_x vs $N_x P_{56}$	-0,111	-0,556	0,798	0,781

L'apport d'azote de 1975 augmente sensiblement les concentrations foliaires de cet élément dans les parcelles traitées (groupe B) et y provoque par contre-coup une diminution relative du

taux de phosphore par rapport aux parcelles du groupe A, taux restant toutefois semblable ou supérieur à celui du témoin, sauf pour les traitements $N_x P_{11} + N$, dont la croissance est d'ailleurs plus faible en 1975 et 1976. Cette addition d'azote diminue aussi le taux de potassium dans les parcelles du groupe B, mais le taux des autres éléments est peu influencé.

L'année suivante, en 1976, les taux en éléments tendent à être semblables (cas de P et Mg) ou plus élevés (cas de N, K, Ca) pour les parcelles du groupe B. Tous ces taux, excepté l'azote, sont aussi généralement supérieurs à ceux de 1975.

2.4.5 EFFET DE L'ADDITION DE POTASSIUM À LA FERTILISATION NP

2.4.5.1 Effets sur la croissance

Nous avons énoncé au paragraphe 14 la problématique du choix des traitements. Rappelons que l'effet positif de la fertilisation potassique n'ayant pas toujours été démontré (Ménétrier 1978, Barnéoud et Bonduelle 1970), cet élément n'a été essayé que par association d'une petite quantité de chlorure ou de sulfate de potasse (11 kg/ha) à la fertilisation de base NP, ou à dose égale à NP (cas des traitements NPK équilibrés). L'effet du potassium est donc testé par addition à dose faible ou égale à celle des autres éléments, pour la forme (sulfate ou chlorure) et aussi par rapport à la forme azotée (urée ou ammonitrate) utilisée en 1974.

A la fin de la 1^{re} saison de végétation, malgré un taux de potassium échangeable déficient au départ (tableau 2), l'addition de K à des doses de NP équilibrées n'a pas d'effet positif constant quelle

que soit la dose ou la forme de K. Ainsi, parmi les traitements du type $N_{28}P_{28}K_x$ (T.17, T.2, T.26, T.36), c'est même le T.17 ($=N_{28}P_{28}$ - U.S.), sans potassium, qui est le meilleur avec une pousse de 32 cm.

Il précède dans l'ordre T.26 ($=N_{28}P_{28}K_{11}$ - U.S.C.), T.36 ($=N_{28}P_{28}K_{28}$ - U.S.S.), T.2 ($=N_{28}P_{28}K_{28}$ - U.S.C.). De la même façon, pour les traitements $N_{56}P_{56}K_x$ (T.22, T.27, T.3, T.33, T.34, T.35, T.37, T.39 et T.40), le T.34 ($=N_{56}P_{56}K_{11}$ - A.S.C.) se classe en tête et aussi numéro un au classement général 1974 avec une hauteur de 42 cm. Les autres traitements se classent dans l'ordre suivant: T.35 ($=N_{56}P_{56}K_{56}$ - A.S.C.), T.33 ($=N_{56}P_{56}K_0$ - A.S.C.), T.40 ($=N_{56}P_{56}K_{56}$ - A.S.S.), T.3 ($=N_{56}P_{56}K_{56}$ - U.S.C.), T.37 ($=N_{56}P_{56}K_{56}$ - U.S.S.), T.27 ($=N_{56}P_{56}K_{11}$ - U.S.C.), T.22 ($=N_{56}P_{56}K_0$ - U.S.C.) et T.39 ($=N_{56}P_{56}K_{11}$ - U.S.S.).

Notons la présence des trois traitements avec A.S.C. en tête.

Enfin, avec les doses de $N_{84}P_{84}K_x$ (T.28, T.4, T.38) ou $N_{112}P_{112}K_x$ (T.5, T.29), les résultats sont peu différents avec 11, 84 ou 112 kg/ha de chlorure de potassium, la croissance étant seulement légèrement supérieure avec 84 kg/ha (T.38) de sulfate de potassium.

Ces résultats de fin de la 1^{re} saison de végétation ne permettent donc pas de déterminer la prépondérance absolue d'une dose ou d'une forme de potassium sur l'autre, ni une interaction avec la forme azotée. Donc à ce stade, il n'apparaît pas nécessaire d'ajouter de potassium pour augmenter les croissances.

L'addition de K à NP ne donne pas plus de résultats positifs et constants en 1975 et 1976. Nous constatons seulement (figures 6 et 10) que les traitements (NP) K_{11} sont supérieurs. Après trois

saisons de végétation, dans le groupe A, seul le T.34 (=N₅₆P₅₆K₁₁ - A.S.C.) se classe parmi les meilleurs traitements avec une hauteur de 182 cm.

L'effet négatif de l'addition d'azote, déjà décelé sur les traitements NP, existe aussi pour les traitements NPK. Cet effet est plus marqué en 1975 et 1976 pour les traitements NPK où K est à dose faible (11 kg/ha) et peut-être limitative par rapport aux doses fortes de P et surtout de N, probablement à cause de déséquilibres physiologiques. Par contre, pour les traitements NPK avec NP à dose plus faible (28 ou 56 kg/ha), cette interaction de K avec l'addition de N en 2^e année n'est pas si nette. Il existe donc une tendance à la nécessité d'ajouter du potassium à l'apport de doses fortes de N et P (avec ou sans addition d'azote ensuite) afin d'augmenter la croissance. Au premier abord il n'apparaît pas indispensable de fournir ce potassium à forte dose, que ce soit sous la forme de sulfate ou de chlorure, surtout si les doses de N et P sont faibles. La fertilisation doit plutôt fournir cet élément pour des raisons d'équilibre de la nutrition, pour éviter des problèmes physiologiques à long terme (Baule, 1973) et selon le taux de K échangeable du sol.

Mais de toutes les comparaisons multiples effectuées entre traitements ayant apporté en 1974 les trois éléments N-P-K aux doses moyennes respectives de 56-56-56 ou 11 kg/ha de N, P, K avec ou sans fertilisation azotée complémentaire en 1975, plusieurs révèlent des différences significatives (tableau 11). Notons en particulier la supériorité du T.80 (=N₅₆P₅₆K₅₆ - A.S.S. + N) dont la hauteur en 1976 est de 241 cm, soit un gain de 68,5 p. cent sur la hauteur de

Tableau 25

Effets de l'addition de K à NP sur les analyses de sol

		M.O. %	C %	C/N	pH	N %	P 0/00	K 0/00	Ca 0/00	Mg 0/00	
T.1	(=N ₀ P ₀ K ₀)	*	2,63	1,52	13,8	4,8	0,11	0,04	0,05	0,12	0,014
T.17	(=N ₂₈ P ₂₈ K ₀ - U.S.)		3,61	2,09	13,0	4,2	0,16	0,18	0,09	0,41	0,025
T.26	(=N ₂₈ P ₂₈ K ₁₁ - U.S.C.)		4,54	2,63	13,8	4,1	0,19	0,11	0,17	0,39	0,042
T.2	(=N ₂₈ P ₂₈ K ₂₈ - U.S.C.)	*	3,07	1,79	14,9	4,3	0,12	0,15	0,29	0,37	0,025
T.36	(=N ₂₈ P ₂₈ K ₂₈ - U.S.S.)	*	2,80	1,63	13,6	4,4	0,12	0,30	0,26	0,37	0,039
T.22	(=N ₅₆ P ₅₆ K ₀ - U.S.C.)		4,49	2,61	11,9	4,3	0,22	0,17	0,11	0,72	0,061
T.33	(=N ₅₆ P ₅₆ K ₀ - A.S.C.)		3,58	2,07	13,8	4,6	0,15	0,20	0,10	0,38	0,030
T.27	(=N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ - U.S.C.)	*	3,54	2,05	11,4	4,4	0,18	0,09	0,15	0,40	0,035
T.39	(=N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ - U.S.S.)	*	3,92	2,28	15,2	4,2	0,16	0,09	0,11	0,38	0,011
T.34	(=N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ - A.S.C.)	*	3,98	2,31	14,4	4,8	0,16	0,17	0,13	0,32	0,032
T.3	(=N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ - U.S.C.)	*	4,30	2,49	13,8	4,3	0,18	0,33	0,42	0,63	0,038
T.37	(=N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ - U.S.S.)	*	3,82	2,21	13,8	4,3	0,16	0,29	0,38	0,49	0,039
T.35	(=N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ - A.S.C.)	*	3,94	2,29	15,3	4,3	0,15	0,15	0,30	0,41	0,030
T.40	(=N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ - A.S.S.)	*	3,05	1,77	11,8	4,6	0,15	0,23	0,27	0,26	0,028
T.28	(=N ₈₄ P ₈₄ K ₁₁ - U.S.C.)		3,25	1,89	11,8	4,3	0,16	0,15	0,14	0,42	0,039
T.4	(=N ₈₄ P ₈₄ K ₈₄ - U.S.C.)	*	3,90	2,26	16,1	4,5	0,14	0,33	0,34	0,24	0,048
T.38	(=N ₈₄ P ₈₄ K ₈₄ - U.S.S.)	*	3,48	2,35	15,7	4,3	0,15	0,43	0,24	0,66	0,054
T.29	(=N ₁₁₂ P ₁₁₂ K ₁₁ - U.S.C.)		3,85	2,24	14,0	4,3	0,16	0,09	0,14	0,52	0,054
T.5	(=N ₁₁₂ P ₁₁₂ K ₁₁₂ - U.S.C.)		3,73	2,16	12,7	4,8	0,17	1,25	0,47	1,08	0,055

Tableau 26 Effets de l'addition de K à NP sur l'analyse foliaire

		N %		P %		K %		Ca %		Mg %		
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
*T.1	1974	1,86	1,80	0,13	0,11	1,12	1,15	0,46	0,50	0,17	0,16	} N ₀ P ₀ K ₀
	1975	2,36	2,92	0,17	0,14	1,40	1,10	0,36	0,32	0,14	0,14	
	1976	1,99	3,15	0,18	0,20	0,95	1,52	0,24	0,48	0,21	0,19	
T.17	1974	2,38	1,96	0,10	0,11	1,18	1,10	0,45	0,36	0,16	0,13	
	1975	2,00	2,40	0,15	0,16	1,32	1,16	0,35	0,30	0,14	0,12	
	1976	1,94	2,61	0,21	0,19	1,96	1,26	0,50	0,48	0,21	0,19	
T.26	1974	2,55	2,77	0,15	0,19	1,38	1,73	0,36	0,34	0,16	0,15	
	1975	2,11	3,09	0,15	0,15	1,38	1,15	0,32	0,28	0,12	0,13	
	1976	2,19	2,20	0,22	0,19	1,95	1,46	0,52	0,43	0,23	0,20	
*T.2	1974	2,32	2,76	0,11	0,16	1,48	2,03	0,30	0,35	0,13	0,13	} N ₂₈ P ₂₈ K ₂₈ - U.S.C.
	1975	2,15	3,08	0,16	0,15	1,69	1,08	0,32	0,31	0,12	0,13	
	1976	2,21	2,70	0,24	0,24	2,40	1,66	0,51	0,45	0,17	0,19	
*T.36	1974	1,93	2,66	0,15	0,13	1,58	1,65	0,33	0,34	0,13	0,13	} N ₂₈ P ₂₈ K ₂₈ - U.S.S.
	1975	2,18	2,72	0,17	0,15	1,62	1,29	0,38	0,40	0,12	0,14	
	1976	2,26	2,53	0,22	0,19	2,18	2,23	0,54	0,37	0,23	0,13	
T.22	1974	2,32	2,07	0,11	0,13	1,19	1,20	0,36	0,36	0,16	0,12	
	1975	2,39	2,91	0,17	0,15	1,33	1,06	0,39	0,29	0,14	0,12	
	1976	2,21	3,02	0,21	0,19	1,78	1,32	0,60	0,43	0,22	0,13	
T.33	1974	1,84	2,84	0,11	0,12	1,16	1,72	0,38	0,38	0,19	0,13	
	1975	2,24	3,12	0,17	0,16	1,15	0,90	0,43	0,34	0,14	0,14	
	1976	2,10	2,61	0,23	0,25	1,85	1,49	0,62	0,46	0,25	0,16	
*T.27	1974	2,60	2,99	0,13	0,13	1,33	1,67	0,32	0,28	0,17	0,13	} N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ - U.S.C.
	1975	2,17	3,02	0,20	0,17	1,40	1,25	0,32	0,33	0,12	0,13	
	1976	2,21	2,56	0,22	0,23	1,97	1,59	0,57	0,46	0,21	0,17	
*T.39	1974	1,80	2,31	0,15	0,11	1,56	1,35	0,37	0,32	0,16	0,10	} N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ - U.S.S.
	1975	2,35	2,37	0,16	0,15	1,15	1,01	0,35	0,31	0,13	0,13	
	1976	2,20	2,73	0,22	0,23	1,88	1,76	0,50	0,42	0,19	0,15	
*T.34	1974	2,17	2,92	0,18	0,20	1,39	1,80	0,40	0,33	0,17	0,14	} N ₅₆ P ₅₆ K ₁₁ - A.S.C.
	1975	2,08	3,00	0,15	0,16	1,16	1,00	0,39	0,33	0,15	0,14	
	1976	2,08	2,23	0,20	0,22	1,97	1,64	0,56	0,48	0,24	0,19	
*T.3	1974	2,67	1,43	0,13	0,11	1,83	1,35	0,30	0,30	0,11	0,16	} N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ - U.S.C.
	1975	2,33	2,83	0,17	0,15	1,73	1,41	0,35	0,34	0,12	0,12	
	1976	2,16	3,00	0,25	0,26	2,32	2,00	0,54	0,45	0,17	0,17	
*T.37	1974	1,13	2,85	0,14	0,12	1,80	2,02	0,30	0,28	0,14	0,09	} N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ - U.S.S.
	1975	2,05	2,88	0,16	0,18	1,80	1,53	0,32	0,31	0,12	0,12	
	1976	1,97	3,22	0,25	0,27	2,12	1,93	0,49	0,46	0,18	0,16	
*T.35	1974	2,45	3,18	0,19	0,21	1,80	2,20	0,34	0,39	0,17	0,12	} N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ - A.S.C.
	1975	2,32	2,57	0,16	0,15	1,60	1,20	0,36	0,29	0,13	0,11	
	1976	2,10	2,52	0,20	0,21	2,30	1,81	0,53	0,42	0,20	0,11	
*T.40	1974	2,20	3,00	0,17	0,18	2,13	2,52	0,35	0,30	0,13	0,11	} N ₅₆ P ₅₆ K ₅₆ - A.S.S.
	1975	2,43	2,79	0,17	0,18	1,45	1,33	0,25	0,32	0,11	0,11	
	1976	2,06	2,89	0,22	0,23	2,34	1,79	0,50	0,47	0,15	0,16	
T.28	1974	2,65	2,28	0,14	0,10	1,47	0,98	0,31	0,36	0,16	0,13	
	1975	2,11	3,29	0,18	0,18	1,40	1,18	0,32	0,33	0,13	0,13	
	1976	2,00	2,62	0,24	0,24	1,90	1,61	0,59	0,51	0,24	0,17	
*T.4	1974	3,31	2,71	0,12	0,17	2,32	2,00	0,31	0,38	0,13	0,13	} N ₈₄ P ₈₄ K ₈₄ - U.S.C.
	1975	2,56	3,27	0,21	0,18	1,84	1,80	0,34	0,35	0,10	0,11	
	1976	2,11	3,21	0,25	0,24	2,60	1,96	0,52	0,42	0,13	0,17	
*T.38	1974	2,16	2,10	0,13	0,11	1,53	1,70	0,29	0,29	0,13	0,10	} N ₈₄ P ₈₄ K ₈₄ - U.S.S.
	1975	2,58	2,94	0,19	0,16	1,80	1,16	0,38	0,45	0,12	0,16	
	1976	1,99	2,76	0,26	0,27	2,41	1,75	0,50	0,46	0,16	0,19	
T.29	1974	3,04	2,31	0,13	0,10	1,41	1,20	0,32	0,32	0,17	0,12	
	1975	2,26	2,87	0,18	0,16	0,96	1,04	0,35	0,36	0,12	0,13	
	1976	2,22	2,72	0,29	0,26	1,88	1,37	0,58	0,37	0,21	0,11	
T.5	1974	3,08	3,06	0,18	0,23	2,32	2,45	0,34	0,33	0,11	0,14	
	1975	2,48	3,18	0,17	0,20	1,76	1,56	0,39	0,40	0,11	0,14	
	1976	2,17	3,00	0,28	0,32	2,80	2,24	0,53	0,46	0,12	0,22	

son équivalent T.40 (=N₅₆P₅₆K₅₆ - A.S.S.) qui ne mesure que 143 cm. Le T.80 est significativement supérieur (tableau 9) en 1975 et 1976 au T.43 (=N₅₆P₅₆K₅₆ - U.S.C. + N) mesurant en 1976, 148 cm et au T.75 (=N₅₆P₅₆K₅₆ - A.S.C. + N) mesurant 144 cm. Nous retrouvons avec ces résultats l'aspect bénéfique de la combinaison ammonitrate en 1^{re} année puis urée en 2^e année et d'une fertilisation NPK à dose raisonnable, K étant fourni sous forme de sulfate.

Malheureusement nous constatons cette interaction favorable avec un seul traitement (T.80), ce qui peut faire soupçonner un effet du hasard; cependant les hauteurs moyennes 1974, 1975, 1976 pour les traitements T.3, T.35, T.37, T.40 étaient semblables et il n'y a pas de différences significatives non plus en 1975 entre ces traitements et leurs homologues refertilisés en azote T.43, T.75, T.77 et T.80; au départ le T.80 n'était donc pas meilleur. De plus l'analyse foliaire montre que c'est pour cette combinaison N-ammonitrate et K-sulfate que le taux de potassium foliaire est le plus fort (tableau 26-T.40) en 1974, ceci correspondant même au taux le plus faible au niveau du sol. Une meilleure assimilation du K-sulfate en présence de N-ammonitrate expliquerait l'efficacité de ce traitement. Notons aussi l'interaction bénéfique possible à cause du soufre fourni par le sulfate mais qui n'apparaît pas pour le T.37 à base d'urée. Cette interaction soufre - N-urée a été constatée sur d'autres essences, comme le douglas taxifolié (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco) (Turner et coll., 1977). Dans notre cas, cette possibilité d'une interaction triple soufre - K-sulfate - N-ammonitrate, rend l'utilisation des formes ammonitrate + sulfate de potassium pour les éléments N et K de la fertilisation de 1^{re} année, plus apport

d'urée en 2^e année, particulièrement intéressante. L'apport complémentaire d'urée différenciant les traitements surtout en 1976, il serait même peut-être préférable de le faire en 3^e année seulement.

2.4.5.2 Effets sur le sol et la composition foliaire

Les analyses de sol et foliaires (tableaux 25 et 26 - traitements désignés par un astérisque) traduisent aussi les variations des taux des divers éléments en fonction des divers traitements (doses de N, P, K et formes). Deux mois après la fertilisation initiale de 1974, pour des traitements équivalents, le taux de potassium du sol est inférieur dans les parcelles fertilisées avec du sulfate (T.36, T.37, T.38, T.39 versus T.2, T.3, T.4, T.27). Une corrélation positive assez forte existe aussi entre les taux de K du sol et des feuilles pour les traitements comparables du type U.S.S. (coefficient = 0,998) ou A.S.C. (coefficient = 0,991). C'est pour la dose de 56 kg/ha de K que les taux de potassium du sol et des feuilles tendent à plafonner, ce qui confirme, au moins à court terme, l'inutilité de très fortes doses de K.

1

CONCLUSIONS ET APPLICATIONS PRATIQUES

Compte tenu des résultats de cet essai nous pouvons tirer plusieurs conclusions concernant la fertilisation des plantations de boutures.

Tout d'abord, son effet général favorable se révèle une fois de plus pour autant que soient respectés certains principes d'équilibre, de fractionnement et de modération dans les doses d'éléments apportés. Même si parfois les résultats obtenus avec certains traitements n'apportent pas les réponses espérées par rapport aux témoins, nous considérons que le coût de la fertilisation est un investissement absolument nécessaire pour accélérer le développement de telles plantations, surtout si la fertilité du sol est un facteur limitant.

Le phosphore est l'élément le plus déterminant pour le démarrage de la plantation. Il agit directement et indirectement sur la croissance en favorisant l'assimilation de l'azote, que l'on retrouve alors en plus grandes quantités au niveau foliaire et les croissances obtenues avec une fertilisation phosphorée seulement, en première année, sont toujours meilleures que celles avec azote seulement. Ensuite l'azote prend le relais comme facteur de productivité.

Ces deux éléments N et P sont les plus importants pour la

croissance juvénile. L'augmentation relative du taux de P par rapport à N a un effet très favorable sur celle-ci, tandis que l'inverse n'est pas réciproque. Les meilleurs résultats sont acquis avec une fertilisation azoto-phosphorée ou phosphorée seulement, apportée trois semaines après la plantation des boutures au printemps, fertilisation suivie d'un nouvel apport d'azote au début de la deuxième saison de végétation. Cette intervention en deux temps est nettement plus favorable qu'une fertilisation NPK ou NP classique, uniquement l'année de la plantation, car l'impact de l'apport d'azote en deuxième année, lorsque les boutures sont bien installées et ont développé leur système racinaire, reste significativement supérieur après trois saisons de végétation, tant pour la hauteur moyenne des tiges que pour la croissance annuelle.

Il est préférable pour une fertilisation NP que la dose d'azote soit inférieure ou égale à celle du phosphore. La dose de phosphore doit être suffisante pour ne pas devenir facteur limitant après apport de la dose azotée de deuxième année. L'addition d'une faible quantité de potassium sous forme de chlorure ou de sulfate à dose équivalente ou inférieure à la dose de NP ne donne pas de résultats significativement différents. Mais le manque de potassium tend à devenir facteur limitant lorsque les doses fortes cumulées de NP et de N-2^e année sont élevées.

A cause de l'effet choc de l'azote et de la variabilité de son taux foliaire, variabilité ne traduisant pas toujours une relation proportionnelle à la croissance, il est nécessaire de considérer simultanément les taux foliaires de l'azote et du phosphore pour juger de l'effi-

cacité de la fertilisation et de l'état nutritionnel de la plantation. Contrairement à l'azote, le taux foliaire de phosphore est beaucoup plus stable; il est corrélé avec le taux d'azote et la croissance.

Le potassium ne semble indispensable que pour des niveaux élevés de N et P et nécessaire qu'à des doses faibles, malgré la pauvreté initiale du terrain d'expérimentation. Malgré tout, il est prudent d'en apporter une certaine quantité selon le niveau de fertilité initial du sol, par souci d'une nutrition équilibrée et pour éviter à long terme des désordres physiologiques et des effets négatifs sur la vigueur des arbres et leur résistance aux conditions adverses.

Après la première saison de végétation il n'y a pas de différences significatives entre les formes d'engrais utilisées, mais l'ammonitrate tend à être supérieur à l'urée. S'il y a répartition de la dose azotée sur deux ans, une fraction plus faible peut donc être fournie sous forme d'ammonitrate la première année, l'urée étant utilisée en deuxième ou troisième année à cause de son effet plus durable. La nature du sel de potassium a des effets variables et la prépondérance du sulfate ou du chlorure ne peut être définitivement déterminée à la fin de la première saison de végétation car les quatre types de composantes (U.S.C., A.S.C., U.S.S., A.S.S.) sont représentés parmi les meilleurs traitements et après trois années ils restent non significativement différents. Mais avec application supplémentaire d'urée en deuxième année, la combinaison ammonitrate - superphosphate - sulfate de potassium devient significativement supérieure aux autres traitements NPK + N en troisième année et montre donc qu'il y a interaction NK favorable dans le cas de la fertilisation avec ammonitrate et sulfate de potassium.

Bien qu'il nous reste à essayer les meilleurs traitements pour des clones et des stations différentes et à vérifier leur efficacité, plusieurs d'entre eux s'avèrent néanmoins intéressants et sont applicables pour la fertilisation d'une plantation de boutures, qui peut donc s'effectuer selon les principes suivants:

- Appliquer l'engrais sur bande de 0,60 m à 0,90 m de large couvrant la ligne de plantation, dans un but d'efficacité et d'économie.

- Apport de P trois semaines après la plantation des boutures, sous forme de 140 kg/ha planté, de superphosphate triple avec accessoirement fourniture d'une certaine quantité de K, sous forme de 67 kg/ha planté, de sulfate de potassium, par souci d'assurer aux arbres une alimentation équilibrée.

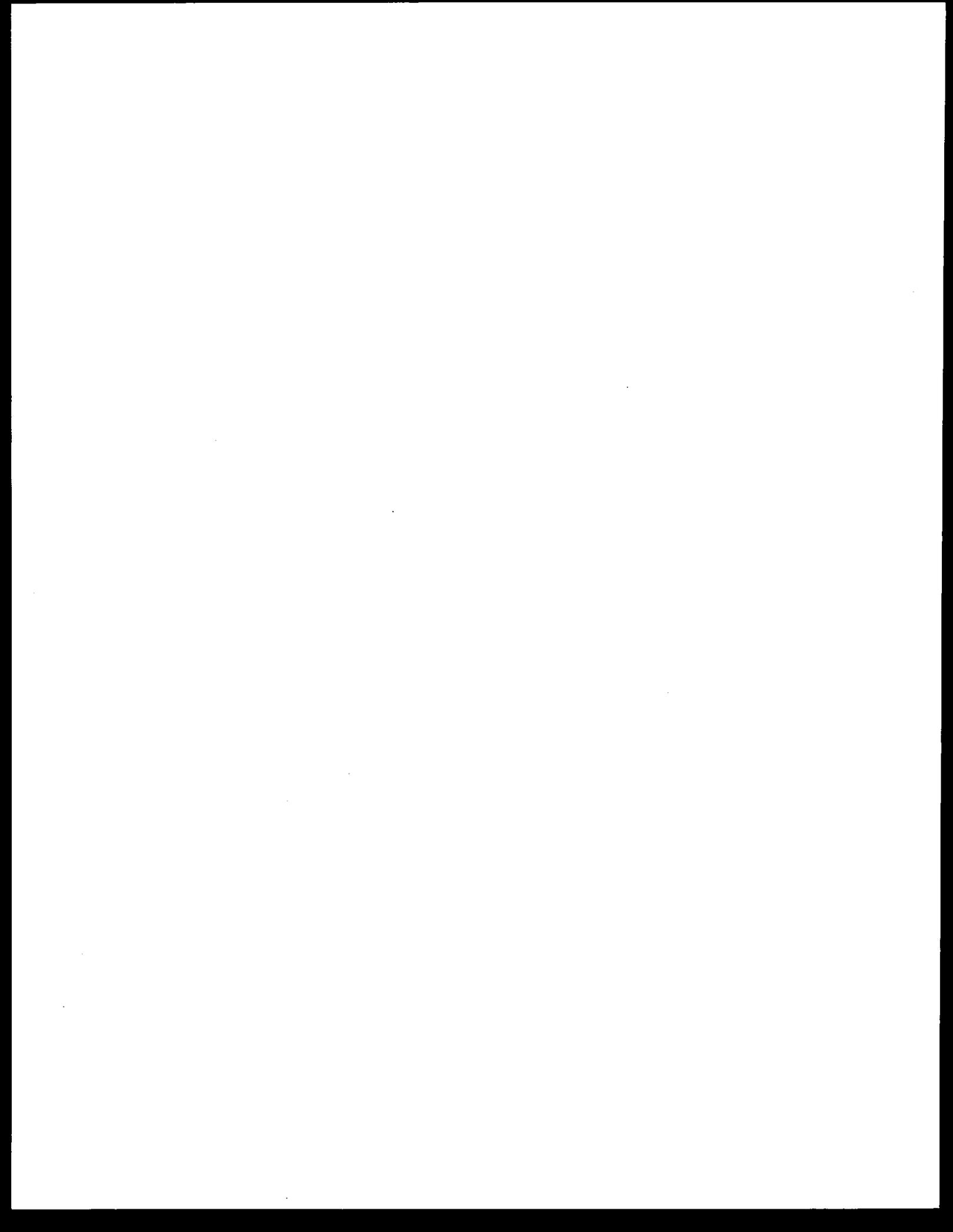
- Dans le cas de sols très pauvres, apport de NPK trois semaines après la plantation des boutures, N pouvant être fourni à faible dose sous forme de 61 à 122 kg/ha planté, d'ammonitrate, P sous forme de 279 kg/ha planté, de superphosphate triple et K sous forme de 135 kg/ha planté, de sulfate de potassium. Un rapport N/P inférieur à 1 et proche de 1/2 est souhaitable, l'azote apporté en première année étant moins bien rentabilisé.

- Apport complémentaire de N, au printemps suivant (2^e année) sous forme d'urée, dans le cas d'application de phosphore seulement en première année, ou au printemps de la 3^e année, dans le cas de fertilisation NPK la première année.

Actuellement avec le coût croissant des engrais, il s'avère

indispensable d'optimiser les investissements au chapitre de la fertilisation en tenant compte des résultats expérimentaux et principes énumérés ci-dessus, mais aussi en fonction du rapport coûts-résultats. En conséquence, nous pouvons par exemple envisager de diminuer la dose complémentaire d'azote de deuxième ou troisième année dont le niveau optimal reste à préciser par des essais complémentaires, car le principe du fractionnement des doses totales d'engrais sur plusieurs années est peut-être primordial.

Le choix de tel ou tel traitement est à lier aussi au niveau de fertilité initial du sol. Ce n'est pas forcément la quantité ou la forme de l'engrais qui donnent le meilleur résultat mais la localisation et la disponibilité de l'élément voulu au moment le plus opportun (P pour le démarrage de la plantation et ensuite N pour la croissance). Ainsi les traitements comme le T.50 (= $P_{28} + N_{112}$) qui donnent les meilleures croissances ou ceux donnant des croissances non significativement différentes pour un coût minimal sont à préconiser. Les fertilisations ultérieures d'entretien permettent toujours de rééquilibrer et de corriger les déficiences constatées.

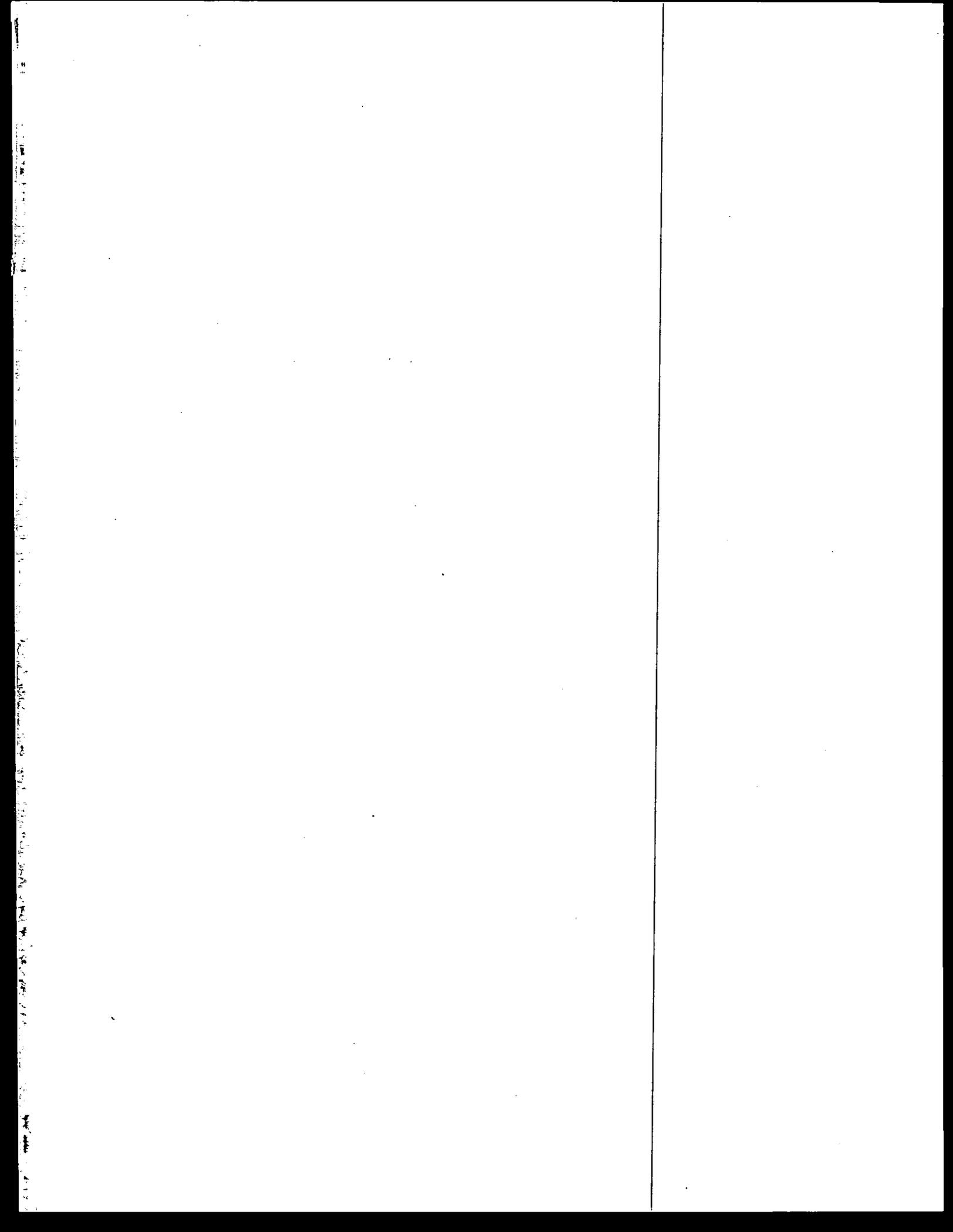


BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1957. Les peupliers dans la production du bois et l'utilisation des terres. Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, 525 p.
- ANONYME, 1974-1975-1976. Bulletin météorologique. Min. des Richesses naturelles, Québec, Vol. XIII-XIV-XV.
- BARNEOUD, C. et P. BONDUELLE, 1970. Résultats d'essais de fertilisation du peuplier 'I 214' en France. Rapport Ass. For.-Cell. (135-86).
- BAULE, H., 1973. Effet des engrais sur la résistance aux agents nuisibles. Colloque international sur l'utilisation des engrais en forêt, FAO-IUFRO. Minist. de l'Agriculture, Paris, p. 179-214.
- BLACKMON, B.G. et E.H. WHITE, 1972. Nitrogen fertilization increases cottonwood. U.S.D.A. Forest Service, Research Note 50-143, 5 p.
- GARBAYE, J. et Ph. LEROY, 1973. Comportement de douze clones de peuplier dans sept pépinières du Nord-Est. R.F.F. XXV-4.
- GARBAYE, J., 1980. Nutrition minérale et production des peupliers 'Robusta' et 'I.214' en populiculture traditionnelle dans le nord du bassin parisien. Ann. Sc. forest., 37 (2), 159-172.
- MÉNÉTRIER, J., 1978. Études sur les modes de préparation et de plantation de boutures et le recépage de tiges d'un an. Mémoire n° 49. Serv. de la Rech., Min. des Terres et Forêts, Québec.
- MÉNÉTRIER, J., 1979. Effets de divers modes, doses, formes et dates d'épandage de fertilisants sur des plantations de boutures. Mémoire n° 50. Serv. de la rech. Min. des Terres et Forêts, Québec.

- SHEEDY, G. et G. VALLÉE, 1976. Croissance et résistance au gel suite à l'application d'engrais. Mémoire n° 34. Serv. de la rech. Min. des Terres et Forêts. Québec.
- SHEFFÉ, H.A., 1959. The analysis of variance. John Wiley and Sons Inc., New-York.
- STEEL, R. et J. TORRIE, 1960. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill Book Company.
- TURNER, J., M.J. LAMBERT et S.P. GESSEL, 1977. Use of sulphate concentrations to predict response to urea application by Douglas-fir. Can. J. For. Vol. 7, p. 476-480.
- VALLÉE, G. et COLLABORATEURS, 1973. Rétrospective sur les recherches et le développement sur le peuplier dans la région de l'Est-du-Québec. Serv. de la rech., Min. des Terres et Forêt, Québec. Rapport interne n° 112, 39 p.
- WILDE, S.A., 1958. Forest soils. Their properties and relation to silviculture. Ronald Press Company. New-York.
- ZÖTTL, H.W., 1973. Diagnostic des troubles de la nutrition dans les peuplements forestiers. Colloque international sur l'utilisation des engrais en forêt - FAO-IUFRO. Min. de l'Agriculture, Paris, p. 71-88.

Achévé d'imprimer à
 Québec en avril 1981, sur
 les presses du Service des Impressions en régie
 du Ministère des Communications
 du Québec



Les essences à croissance rapide deviennent de plus en plus importantes pour combler les besoins toujours croissants de matière ligneuse. Parmi ces essences, les peupliers offrent des caractéristiques culturales très favorables; ils ont une croissance rapide, une forte production et ils répondent de façon accentuée aux traitements sylvicoles. Conscient du rôle que peut jouer le peuplier dans l'approvisionnement de plusieurs industries forestières, le ministère de l'Énergie et des Ressources, par l'entremise de son Service de la recherche forestière, poursuit une série de travaux de recherche et de développement sur le peuplier.



Éditeur officiel du Québec
Imprimé au Québec