



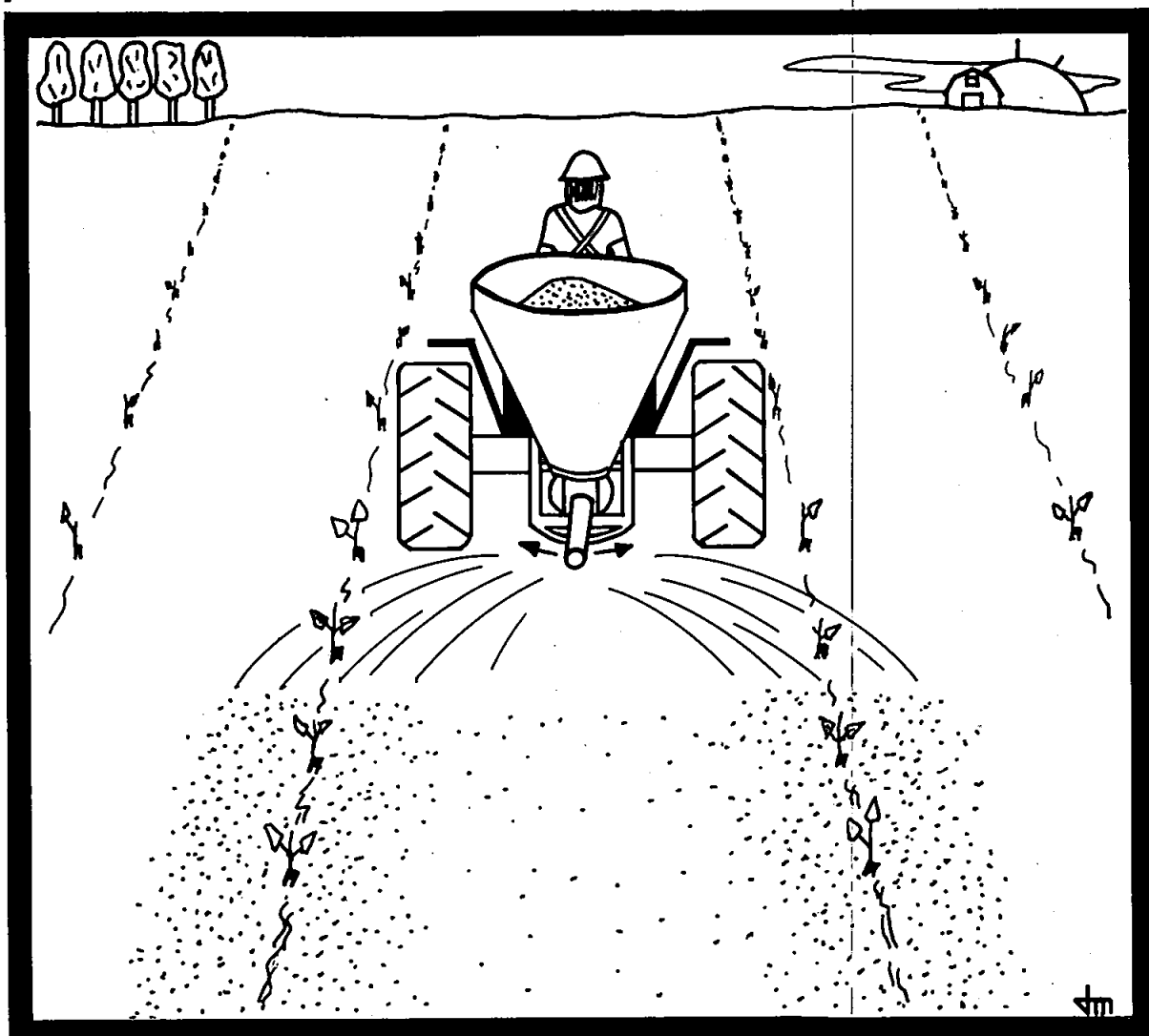
Gouvernement du Québec
Ministère des Terres et Forêts
Service de la recherche

Mémoire n° 50

RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT SUR LE PEUPLIER

XV- EFFETS DE DIVERS MODES, DOSES, FORMES ET DATES D'ÉPANDAGE DE FERTILISANTS SUR DES PLANTATIONS DE BOUTURES

par Jean Ménétrier



TFI-5310-50

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, 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 populiculture.

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT SUR LE PEUPLIER

XV - EFFETS DE DIVERS MODES, DOSES, FORMES
ET DATES D'ÉPANDAGE DE FERTILISANTS SUR
DES PLANTATIONS DE BOUTURES

par

JEAN MÉNÉTRIER

MÉMOIRE N° 50

SERVICE DE LA RECHERCHE
MINISTÈRE DES TERRES ET FORÊTS DU QUÉBEC

1979

ISBN 2-550-00242-3

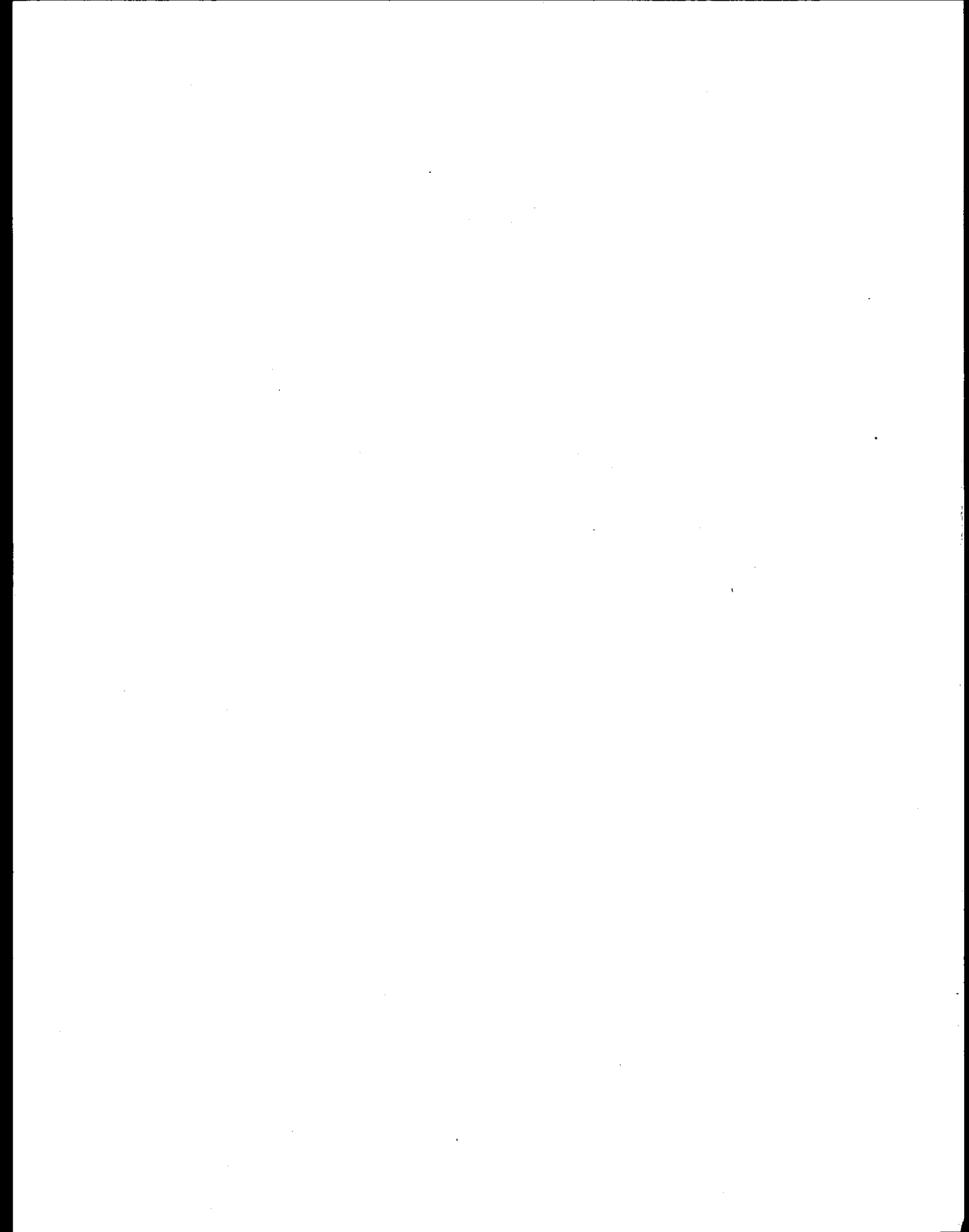
Dépôt légal

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 dans la région de l'Est-du-Québec. Ce programme a débuté en 1971 grâce à la coopération technique franco-québécoise, impliquée jusqu'en 1974, et en collaboration avec la région administrative du Bas-Saint-Laurent - Gaspésie du ministère des Terres et Forêts. Nous remercions tous ces organismes pour leur participation à cette réalisation originale.

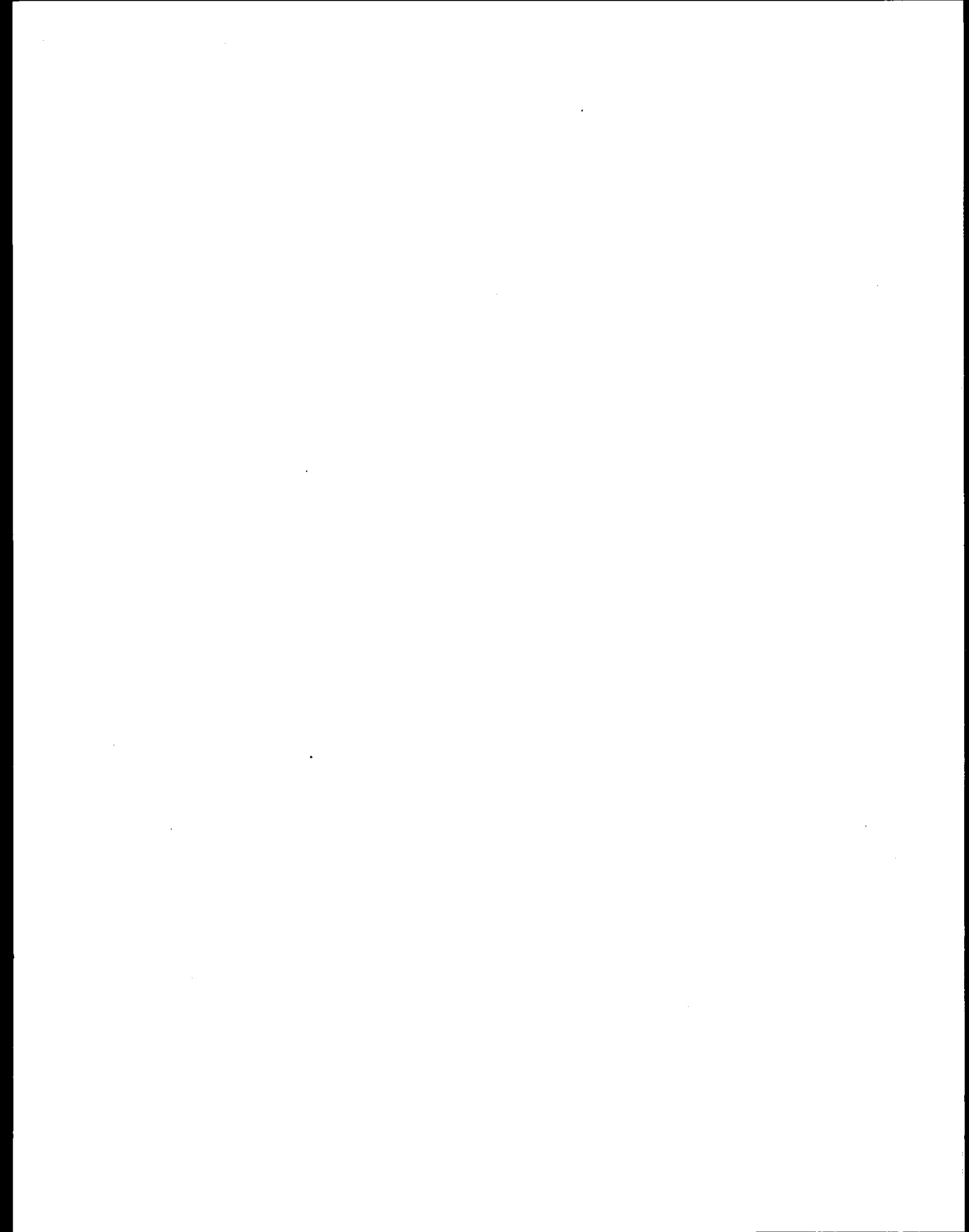
Nos remerciements s'adressent aussi à toutes les personnes du Service de la recherche qui ont collaboré à ces travaux et particulièrement au docteur Gilles Vallée, responsable du programme de recherche et de développement sur le peuplier.



RÉSUMÉ

Plusieurs expériences permettent d'énoncer quelques règles essentielles pour la fertilisation des plantations de boutures de peuplier, soit:

- la localisation de l'engrais par pied d'arbre ou sur une bande de 1 m de large couvrant la ligne de plantation
- le décalage-retard de la fertilisation par rapport à la date de plantation
- le rôle primordial du phosphore au départ, puis de l'apport azoté, dont le fractionnement dans le temps ou l'apport différé accroissent l'effet
- l'efficacité variable des formes d'engrais utilisées et l'intérêt du phosphate d'ammoniaque, de l'urée, du sulfate de potassium
- l'équilibre $N-P_2O_5-K_2O$ à rapprocher du rapport 1-2-1
- l'emploi de doses individuelles de 50-100-50 g de $N-P_2O_5-K_2O$ par plant ou, dans le cas d'un épandage concentré sur bandes de 1 m de large, de doses de 28 à 56 - 56 à 112 - 28 à 56 kg/ha planté des éléments N-P-K, ces doses suffisant à la nutrition des jeunes plants pendant les premières années de végétation.



SUMMARY

Results of several experiments lead to presenting guidelines essential to efficient fertilization of poplar cutting plantations:

- the location of fertilizer either around the cutting or on 1 m wide strips overlaying plantation lines*
- the lapse of time between plantation and fertilization*
- the fundamental role of phosphorus at the start and of nitrogen afterwards, especially when it is fractionned or spreaded lather*
- the variable efficiency of fertilizer types used and the interest of ammonia phosphate, urea and potassium sulfate*
- the balance of $N-P_2O_5-K_2O$ should be close to the ratio 1-2-1*
- the application of 50-100-50 g of $N-P_2O_5-K_2O$ around each plant of the application on strips of 28 to 56 - 56 to 112 - 28 to 56 kg of N-P-K per planted hectare; this is sufficient for plants nutrition during the first growing seasons.*

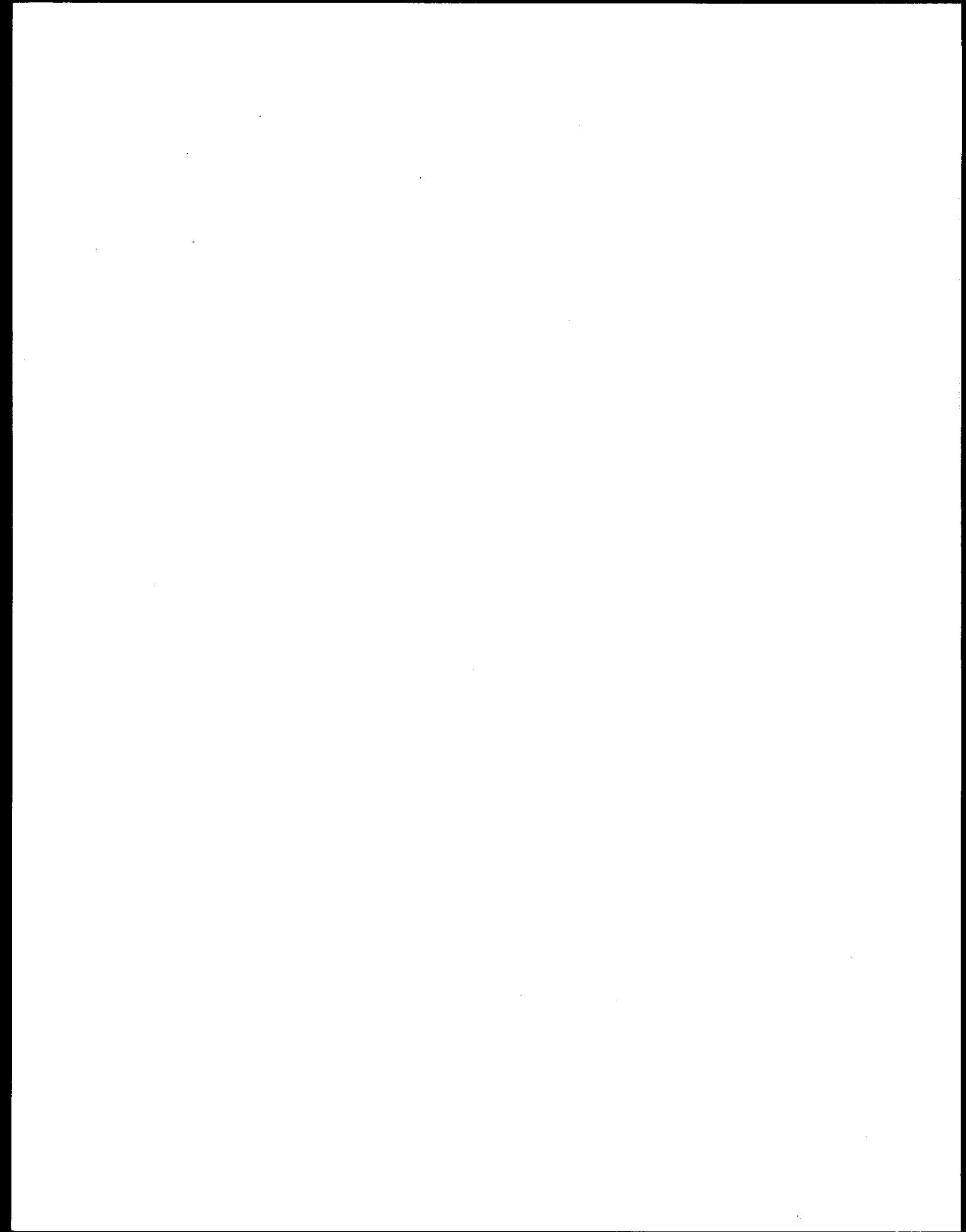


TABLE DES MATIÈRES

	page
AVANT-PROPOS	iii
RÉSUMÉ	v
<i>SUMMARY</i>	vii
TABLE DES MATIÈRES	ix
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES FIGURES	xiii
INTRODUCTION	1
ESSAIS DIVERS DE FERTILISATION DE PLANTATIONS DE BOUTURES	5
1 - Expérience 1: rôle des formes, proportions et doses d'éléments fertilisants et de leur localisation	5
1.1 Buts et méthodes	5
1.2 Résultats et analyses	10
1.3 Conclusions	17
2 - Expérience 2: effets des éléments N-P-K à diverses doses et combinaisons pour la fertilisation d'une plantation de boutures	18
2.1 Buts et méthodes	18
2.2 Résultats et analyse	21
2.3 Conclusions	31
3 - Expérience 3: influence de la dose d'engrais et du mode d'épandage sur une plantation de boutures	32
3.1 Buts et méthodes	32
3.2 Analyse des résultats	34
	ix

	page
4 - Expérience 4: effet de la fertilisation et de la période d'épandage	39
4.1 Objectifs et méthodes	39
4.2 Résultats et analyses	39
4.3 Conclusions	46
5 - Expérience 5: essai de pralinage de boutures	46
5.1 Buts et méthodes	46
5.2 Résultats et analyses	49
CONCLUSIONS GÉNÉRALES	51
BIBLIOGRAPHIE	57

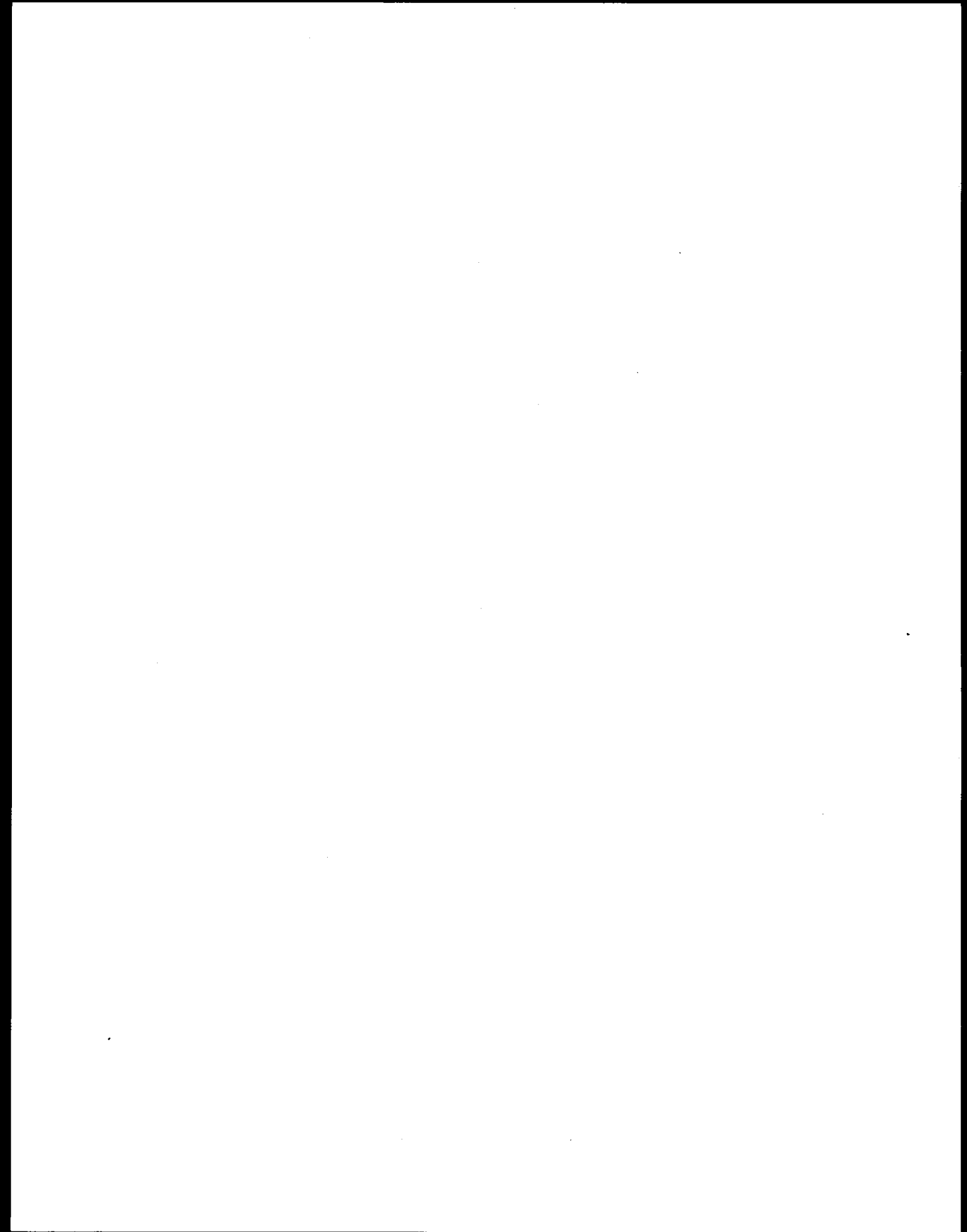
LISTE DES TABLEAUX

		page
Tableau 1	Formes et combinaisons d'engrais utilisés (expérience 1)	6
Tableau 2	Doses d'engrais apportées selon le type d'épan- dage (expérience 1)	8
Tableau 3	Récapitulatif des traitements étudiés (expérience 1)	8
Tableau 4	Résultats des 3 premières années de croissance (expérience 1)	9
Tableau 5	Facteurs analysés (expérience 1)	12
Tableau 6	Résultats des analyses de variance des hauteurs à 1, 2 et 3 ans (expérience 1)	13
Tableau 7	Moyennes générales des hauteurs mesurées (cm) (expérience 1)	14
Tableau 8	Traitements étudiés (expérience 2): doses de N-P-K en kg/ha de plantation	20
Tableau 9	Équivalences des doses étudiées	21
Tableau 10	Hauteurs moyennes (cm) enregistrées (expérience 2) après 1 (H ₁) et 2 (H ₂) années de croissance	22
Tableau 11	Résultats de l'analyse de variance (expérience 2)	23
Tableau 12	Hauteurs moyennes à 1 et 2 ans (cm) pour chaque niveau des facteurs étudiés (expérience 2)	23
Tableau 13	Traitements étudiés (expérience 3)	33

		page
Tableau 14	Hauteurs moyennes à 1 et 2 ans (expérience 3) et taux de survie	36
Tableau 15	Résultats de l'analyse de variance (expérience 3)	37
Tableau 16	Traitements étudiés (expérience 4)	40
Tableau 17	Hauteurs, taux de survie et d.h.p. des tiges (expérience 4)	40
Tableau 18	Résultats de l'analyse de variance (expérience 4)	42
Tableau 19	Analyses foliaires à 2 ans (expérience 4)	45
Tableau 20	Traitements comparés (expérience 5)	47

LISTE DES FIGURES

		page
Figure 1	Diagramme des hauteurs moyennes à 1, 2 et 3 ans pour les différents facteurs étudiés	11
Figure 2	Hauteurs moyennes à 1 an et 2 ans (traitements principaux et interactions) expérience 2	26
Figure 3	Interactions de 1 ^{re} année (expérience 2)	27
Figure 4	Interactions de 1 ^{re} année NP, NK, PK avec une dose moyenne du troisième élément (expérience 2)	28
Figure 5	Interactions de 2 ^e année (expérience 2)	29
Figure 6	Interactions de 2 ^e année NP, NK, PK avec une dose moyenne du troisième élément (expérience 2)	30
Figure 7	Effets du mode d'épandage et de la dose d'engrais sur la croissance et le taux de survie (expérience 3)	35
Figure 8	Effets de la date d'épandage des engrais sur la hauteur des tiges, le d.h.p., le taux de survie d'une plantation de boutures	41
Figure 9	Teneurs foliaires en éléments (2 ^e année) (expérience 4)	44
Figure 10	Effets du pralinage et de la fertilisation sur la hauteur et le taux de mortalité (expérience 5)	48
Figure 11	Méthode d'épandage sur deux lignes avec un épandeur de type pendulaire	55



INTRODUCTION

L'évolution croissante des besoins ligneux oriente de plus en plus la sylviculture traditionnelle et actuelle vers une sylviculture intensive ou ligniculture, dont on exigera une productivité et une rentabilité optimum, compte tenu de critères techniques, économiques et écologiques. Des projets de recherche et d'expérimentation en populi-culture (Vallée et al., 1973) ont permis d'essayer les techniques connues, de les adapter et de les mettre au point, ou d'en développer de nouvelles, de façon à répondre aux conditions spécifiques rencontrées au Québec.

Parmi les nombreux problèmes cultureux qui se posaient, citons ceux relatifs à la fertilisation des plantations de boutures, qui font l'objet de ce rapport.

La fertilisation est l'un des facteurs importants à considérer pour la réussite d'une plantation de peuplier. Elle est nécessaire pour favoriser un bon départ de la bouture, dès la première saison de végétation. Une bonne nutrition jointe à une bonne alimentation en eau lui permettent d'émettre un système racinaire puissant, une ou plusieurs tiges vigoureuses et de pouvoir lutter efficacement contre la concurrence herbacée, parfois arbustive qui se manifeste aux niveaux aériens et souterrains. La fertilisation s'avère évidemment nécessaire

pour maximiser la croissance et les rendements ligneux. Il reste enfin à tenir compte dans cette opération des coûts et bénéfices obtenus.

Considérant tous ces facteurs, plusieurs expériences ont été mises en place pour nous informer sur:

- la nature et la composition des engrais à apporter
- le moment le plus favorable pour les épandages de fertilisants
- les doses d'éléments
- le mode d'apport (pralinage, en plein, localisé par pied d'arbre ou sur bandes).

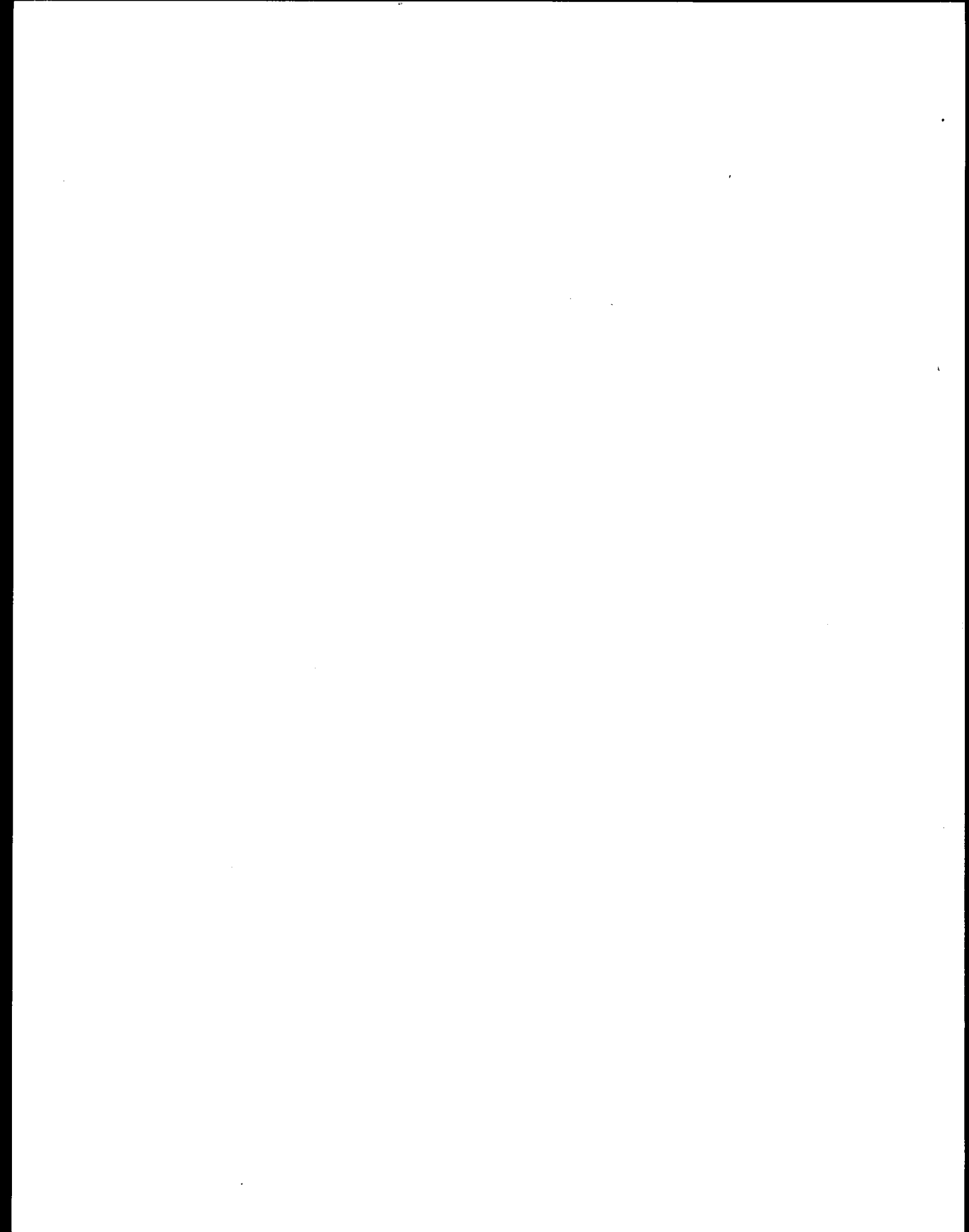
Ainsi, les expériences décrites ci-après tentent d'apporter un début de réponse aux questions posées par la fertilisation des boutures, celles-ci constituant le matériel végétal choisi au départ pour la réalisation des plantations de peuplier.

Notons que les clones utilisés dans ces expériences ont souvent été choisis arbitrairement et ne sont pas toujours les plus performants ou ceux actuellement recommandés au Québec et les comparaisons clonales n'ont qu'une utilité secondaire.

Plusieurs conditions expérimentales sont communes à tous ces essais. Ils sont installés sur des terrains forestiers défrichés après coupe à blanc étoc puis plus ou moins préparés en surface par hersage lourd. Le décapage et le brassage des horizons superficiels peuvent amener des variations locales importantes dans la composition

minérale du sol. Les conditions climatiques de cette région de collines appalachiennes de 250 m d'altitude moyenne sont très sévères. La saison de végétation est de 100 à 110 jours et les dates de probabilité de gel de 50 p. cent sont le 6 juin et le 11 septembre. La précipitation annuelle de 823 mm, dont 419 mm sont reçus de mai à octobre, n'empêche pas l'existence d'un léger déficit en eau en juin, juillet et août. La température moyenne de juin, juillet, août et septembre est de 15,3°C et la moyenne annuelle de 3,3°C.

L'expérience 1 a été établie sur la parcelle n° 1 de la ferme populicole expérimentale d'Estcourt, comté de Kamouraska - Témiscouata, latitude nord 47°32', longitude ouest 69°08'. Le terrain de l'expérience est un bas fond à dépôts lacustres sur till, du domaine de la sapinière à thuya. Les expériences 2, 3, 4 et 5 ont été installées sur la parcelle n° 5 de la ferme populicole expérimentale de Cabano dans le même comté, latitude nord 47°30', longitude ouest 69°03'. Cette station fait partie des domaines de l'érablière à bouleau jaune et de la sapinière à thuya, remplacées après feu par une tremblaie à épinette blanche et sapin baumier; le sol est un loam sablo-argileux développé sur till.



ESSAIS DIVERS DE FERTILISATION
DE PLANTATIONS DE BOUTURES

1 - EXPÉRIENCE 1: RÔLE DES FORMES, PROPORTIONS ET DOSES
D'ÉLÉMENTS FERTILISANTS ET DE LEUR LOCALISATION

1.1 BUTS ET MÉTHODES

Cet essai a pour but l'étude de l'influence des facteurs suivants:

1. la forme d'apport de l'engrais:

. soit pour l'azote (N):

- urée (46-0-0)
- phosphate d'ammoniaque (18-46-0 et 13-52-0)
- ammonitrate (34-0-0)
- sulfate d'ammoniaque (20-0-0)

. soit pour le phosphore (P₂O₅):

- superphosphate de chaux triple (0-46-0)
- phosphate d'ammoniaque (id. ci-avant)

. soit pour le potassium (K₂O):

- chlorure de potassium (0-0-60)
- sulfate de potasse (0-0-50).

Dix combinaisons (tableau 1) sont utilisées dans le dispositif.

Tableau 1 Formes et combinaisons d'engrais utilisées
(expérience 1)

N° de la combinaison	Formes d'apport de		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Urée (U.)	Superphosphate (S.)	Chlorure (C.)
2	Urée (U.)	Superphosphate	Sulfate (Sp.)
3	Ammonitrate (A.)	Superphosphate	Chlorure
4	Ammonitrate (A.)	Superphosphate	Sulfate
5	Phosphate d'ammoniaque (P.Am.)		Chlorure
6	Phosphate d'ammoniaque (P.Am.)		Sulfate
7	Sulf. d'amm. (S.Am.)	Superphosphate	Chlorure
8	Sulf. d'amm. (S.Am.)	Superphosphate	Sulfate
9	Phosphate d'amm. (P.Am.)	Superphosphate	Chlorure
10	Phosphate d'amm. (P.Am.)	Superphosphate	Sulfate

2. les doses apportées à la plantation (tableau 2) selon le type d'épandage (localisé par pied d'arbre, en plein ou mixte):

- . pour N: 25, 50 et 100 g par bouture et 50 ou 100 kg/ha pour l'épandage en plein ou mixte
- . pour P_2O_5 : 100, 125, 200 et 250 g par bouture et 200 ou 250 kg/ha pour l'épandage en plein ou mixte
- . pour K_2O : 50, 75, 100 et 150 g par bouture et 100 ou 150 kg/ha pour l'épandage en plein ou mixte

3. la localisation de l'engrais:

- . épandage en couronne autour de la bouture à l'intérieur d'un cercle de 1,20 m de diamètre
- . épandage en plein, sur la ligne de plantation (largeur de 2, 4 à 3 m), des trois éléments N-P-K
- . épandage mixte, en plein de P et K et localisation de l'azote autour de la bouture dans un cercle de 1,20 m de diamètre

Par combinaison de toutes ces variables, 64 traitements sont testés (tableau 3). Deux parcelles-témoins par bloc, ajoutées pour comparaison, n'interviennent pas dans les analyses, ceci pour éviter d'augmenter le nombre de parcelles du dispositif de type 'split-plot' avec précision croissante pour les facteurs analysés dans l'ordre type d'épandage, proportions et doses, formes d'engrais.

Tableau 2 Doses d'engrais apportées selon le type d'épandage (expérience 1)

Type d'épandage	Dosage n°	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Équivalent en P	Équivalent en K
Localisé	1	100 g	200 g	100 g	87,4 g	83 g
	2	50 g	100 g	50 g	43,7 g	41,5 g
	3	50 g	250 g	150 g	109,2 g	124,5 g
	4	25 g	125 g	75 g	54,6 g	62,2 g
En plein ou mixte	5	100 kg/ha	200 kg/ha	100 kg/ha	87,4 kg/ha	83 kg/ha
	6	50 kg/ha	250 kg/ha	150 kg/ha	109 kg/ha	124,5 kg/ha

NB: les doses de N - P₂O₅ - K₂O sont dans les rapports 1-2-1 ou 1-5-3

Tableau 3 Récapitulatif des traitements étudiés (expérience 1)

Type d'épandage	N-P-K localisé		N-P-K en plein		P-K en plein +N localisé	
	1-2-1	1-5-3	1-2-1	1-5-3	1-2-1	1-5-3
Proportions de N - P ₂ O ₅ - K ₂ O	1-2-1	1-5-3	1-2-1	1-5-3	1-2-1	1-5-3
Dosages n ^{os}	1-2	3-4	5	6	5	6
Formes d'engrais	1 à 8	1 à 8	1 à 8	1 à 8	1-2-3-4-7-8 et 9-10 avec N à la dose 1*	1-2-3-4-7-8 et 9-10 avec N à la dose 3*
Traitements n ^{os}	1 à 16	17 à 32	33 à 40	41 à 48	49 à 56	57 à 64

* Le phosphate d'ammoniaque qui fournit l'azote apporte aussi dans ce cas P₂O₅. On localise donc 100 g de N et 200 g de P₂O₅.

Les boutures de 0,30 m de longueur du clone B-206-B (Populus 'roxbury' = Populus nigra L. × P. trichocarpa Torr. et Gray) ont été plantées manuellement à la pelle et en position oblique, à l'espacement de 3 m × 3 m au printemps. Il y a 10 boutures par parcelle et 2 répétitions. Le sol est généralement un loam sableux avec présence de galets. Le pH moyen est de 4,6 et les analyses révèlent des déficiences en phosphore et en potassium (0,04 p. mille) et un taux d'azote plutôt faible (0,15 p. cent). Mais ces valeurs sont en partie liées au mode de préparation du terrain. Comme pour toutes les expériences décrites dans ce rapport, l'entretien annuel de la plantation est exécuté par hersage superficiel des interlignes.

1.2 RÉSULTATS ET ANALYSES

Les résultats des trois premières années de croissance sont exprimés au tableau 4 et à la figure 1. Ils sont analysés globalement et partiellement afin de préciser l'influence de certains facteurs à l'intérieur des subdivisions établies dans le dispositif. L'analyse globale n° 1 ne permet pas de comparer tous les traitements à cause du protocole et des combinaisons d'engrais. Les facteurs testés et les résultats des 4 analyses de variance réalisées sont énumérés aux tableaux 5 et 6.

Dans l'analyse de variance n° 1, où sont testées les influences des trois types d'épandage, des doses 1-3-5-6 et des combinaisons 1-2-3-4-7-8, il n'apparaît de différence significative que pour les combinaisons d'engrais et entre les deux répétitions.

Figure 1-DIAGRAMME DES HAUTEURS MOYENNES À 1, 2 ET 3 ANS POUR LES DIFFÉRENTS FACTEURS ÉTUDIÉS

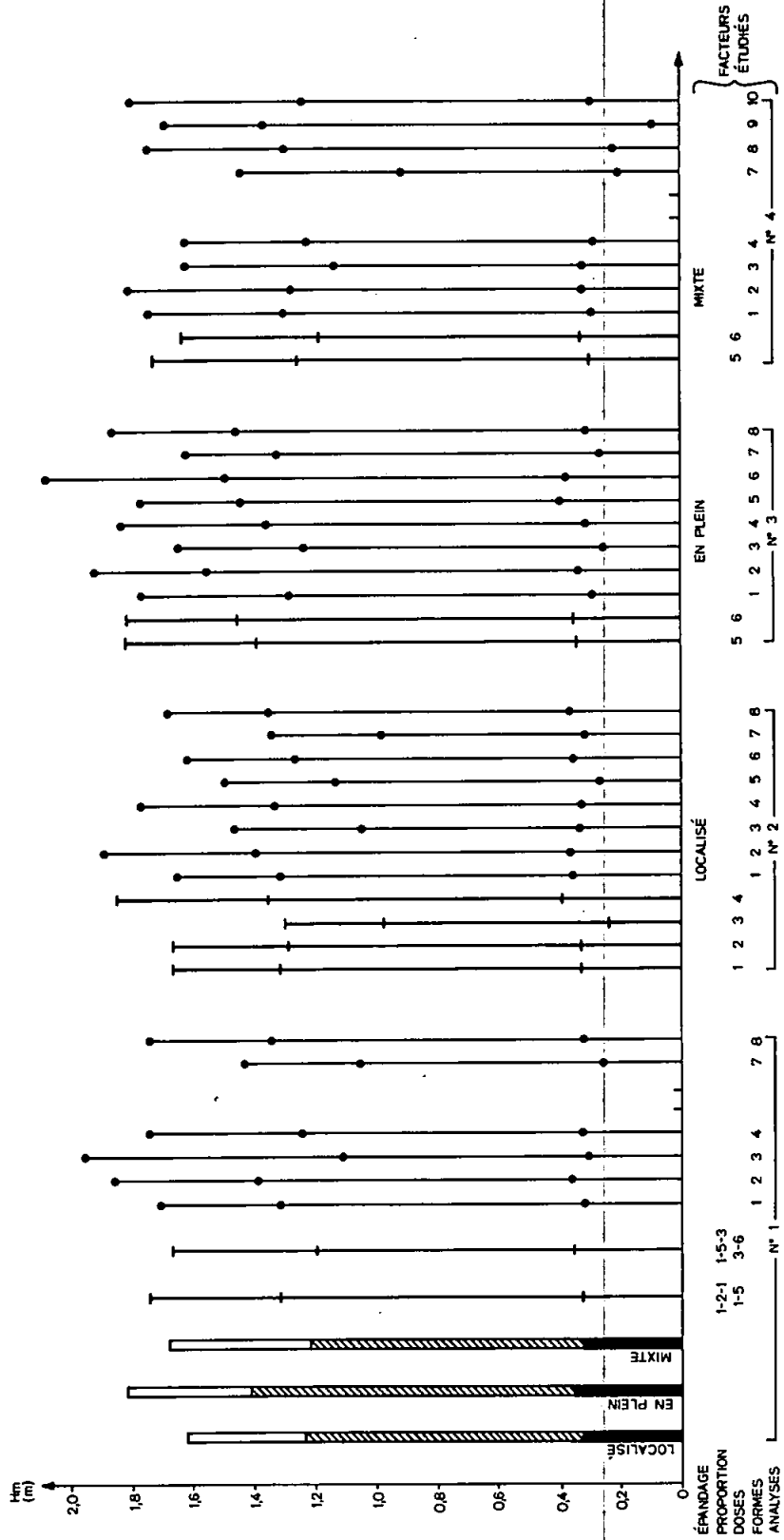


Tableau 5 Facteurs analysés (expérience 1)

Analyse n°	Épandage			Doses d'engrais						Combinaisons									
	localisé	en plein	mixte	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		
2	X			X	X	X	X							X	X	X	X	X	X
3		X						X	X					X	X	X	X	X	X
4			X					X	X					X	X	X	X		X

Le classement des moyennes concernant le facteur combinaison et les tests de Tukey (taux de probabilité de 95 p. cent) donnent les résultats suivants.

- 1^{ère} année

Combinaison n°:	7	3	1	4 - 8	2
Composantes pour N:	S.Am.	A.	U.	A. S.Am.	U.
P:	Sp.	Sp.	Sp.	Sp. Sp.	Sp.
K:	C.	C.	C.	<u>S. S.</u>	S.
H. moyennes (cm):	26	<u>30</u>	32	<u>33</u>	<u>36</u>

- 2^e année

Combinaison n°:	7	3	4	1	8	2
Composantes pour N:	S.Am.	A.	A.	U.	S.Am.	U.
P:	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
K:	C.	C.	S.	C.	S.	S.
H. moyennes (cm):	105	<u>111</u>	<u>125</u>	<u>131</u>	<u>134</u>	<u>139</u>

Tableau 6 Résultats des analyses de variance des hauteurs
à 1, 2 et 3 ans (expérience 1)

Analyse n°	Origine de la variation	D.L.	Test F		
			1 an	2 ans	3 ans
1	Type d'épandage (Ep)	2-2	0,21 N.S.	1,23 N.S.	0,95 N.S.
	Doses d'engrais (D)	1-3	0,58 N.S.	1,16 N.S.	0,45 N.S.
	Combinaisons (C)	5-30	5,18 **	5,17 **	3,34 *
	Répétitions (R)	1-2	0,16 N.S.	21,1 *	34,43 *
	Ep × D	2-3	1,18 N.S.	0,46 N.S.	0,21 N.S.
	Ep × C	10-30	1,18 N.S.	0,56 N.S.	0,22 N.S.
	D × C	5-30	1,35 N.S.	1,33 N.S.	0,85 N.S.
	Ep × D × C	10-30	0,54 N.S.	0,77 N.S.	0,46 N.S.
2 Épandage localisé	Doses d'engrais (D)	3-3	1,48 N.S.	0,63 N.S.	0,66 N.S.
	Combinaisons (C)	7-28	1,90 N.S.	2,56 *	2,19 N.S.
	Répétitions (R)	1-3	0,81 N.S.	7,11 N.S.	4,25 N.S.
	D × C	21-28	0,72 N.S.	0,51 N.S.	0,45 N.S.
3 Épandage en plein	Doses d'engrais (D)	1-1	26,59 N.S.	3,12 N.S.	0,0 N.S.
	Combinaisons (C)	7-14	2,20 N.S.	0,97 N.S.	0,85 N.S.
	Répétitions (R)	1-1	2,52 N.S.	672,5 *	457,5 *
	D × C	7-14	1,27 N.S.	0,66 N.S.	0,33 N.S.
4 Épandage mixte	Doses d'engrais (D)	1-1	0,06 N.S.	0,16 N.S.	0,08 N.S.
	Combinaisons (C)	7-14	1,65 N.S.	1,39 N.S.	0,85 N.S.
	Répétitions (R)	1-1	0,46 N.S.	4,63 N.S.	4,58 N.S.
	D × C	7-14	1,22 N.S.	1,40 N.S.	0,43 N.S.

* ou ** = significatif (seuil 0,05) ou hautement significatif (seuil 0,01)
N.S. = non significatif

- 3^e année

Combinaison n°:	7	3	4	1	8	2
Composantes pour N:	S.Am.	A.	A.	U.	S.Am.	U.
P:	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
K:	C.	C.	S.	C.	S.	S.
H. moyennes (cm):	146	155	165	168	173	183

Les résultats montrent que c'est la forme potassique utilisée qui fait la différence de classement entre les combinaisons n^{os} 7 et 8 ou 3 et 4. Le chlorure de potassium est donc moins recommandable car les combinaisons avec potassium sous forme de sulfate ont tendance à se classer en tête. L'azote sous forme d'urée semble avoir un effet plus durable. Il n'y a aucune différence significative entre les modes d'épandage, ni entre les quatre doses testées, après une, deux ou trois saisons de végétation. Les moyennes regroupées, non significativement différentes, pour les facteurs épandage et doses, sont les suivantes (tableau 7):

Tableau 7 Moyennes générales des hauteurs mesurées (cm)
(Expérience 1)

Facteurs		Hauteur 1 an	Hauteur 2 ans	Hauteur 3 ans
Épandage	localisé	30	116	150
	en plein	33	139	178
	mixte	33	125	170
Doses	1	33	133	167
	3	27	100	134
	5	33/34	138/128	177/177
	6	34/31	141/122	178/163

N.B.: pour les doses 5 et 6 les deux chiffres représentent les moyennes pour l'épandage en plein et l'épandage mixte.

Les facteurs testés dans l'analyse n° 2 concernent seulement l'épandage localisé, les doses 1-2-3-4 et les combinaisons d'engrais n°s 1 à 8 incluse. Une seule différence significative apparaît la 2^e année pour les combinaisons, mais à cause du manque de répétitions, un test de Tuckey au taux de probabilité de 95 p. cent ne permet pas d'isoler les résultats dont l'étalement est le suivant:

Combinaison n°:	7	3	5	6	1	4	8	2
Composantes pour N:	S.Am.	A.	P.Am.	P.Am.	U.	A.	S.Am.	U.
P:	Sp.	Sp.	-	-	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
K:	C.	C.	C.	S.	C.	S.	S.	S.
H. moyennes à 2 ans (cm):	98	104	113	127	131	133	135	139

Nous remarquons à nouveau le classement en tête des combinaisons avec sulfate de potasse, par rapport aux combinaisons équivalentes avec chlorure. Les hauteurs moyennes à 1, 2 et 3 ans pour les doses figurent au tableau 4 et à la figure 1. C'est la dose n°4 (25-125-75 g de N-P₂O₅-K₂O) qui se classe en tête sur les trois saisons de végétation. Les croissances inférieures obtenues avec la dose 3 sont peut-être dues à l'apparition soit d'un déséquilibre entre N et P-K pour ce dosage plus élevé, soit d'effets de toxicité quelconques. Les réponses sont plus stables pour les dosages 1 et 2 dont les proportions de N-P₂O₅-K₂O sont de 1-2-1. Après trois années de croissance, la dose 2 (50-100-50 g) est aussi bonne que la dose 1 (100-200-100 g).

Dans le cas de l'épandage en plein (analyse n° 3) il n'y a aucune différence significative entre les deux doses, ni entre les combinaisons utilisées. Une différence significative apparaît par contre

entre les deux blocs. L'étalement des moyennes selon les combinaisons est le suivant:

- 1^{re} année

Combinaison n°:	7	1	3	8	4 - 5	6	-	2
Composantes pour N:	S.Am.	U.	A.	S.Am.	A. P.Am.	P.Am.	U.	
P:	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp. -	-	Sp.	
K:	C.	C.	C.	S.	<u>S. C</u>	<u>S</u>	<u>S</u>	
H. moyennes (cm):	27	29	33	35	36	39		

- 2^e année

Combinaison n°:	3	7	4	1	5	8	6	2
Composantes pour N:	A.	S.Am.	A.	U.	P.Am.	S.Am.	P.Am.	U.
P:	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	-	Sp.	-	Sp.
K:	C.	C.	S.	C.	C.	S.	S.	S.
H. moyennes (cm):	123	129	135	136	143	146	148	155

- 3^e année

Combinaison n°:	7	3	5	1	4	8	2	6
Composantes pour N:	S.Am.	A.	P.Am.	U.	A.	S.Am.	U.	P.Am.
P:	Sp.	Sp.	-	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	-
K:	C.	C.	C.	C.	S.	S.	S.	S.
H. moyennes (cm):	163	165	176	178	182	187	191	206

L'importance de la forme sulfate pour le potassium apparaît une fois de plus. Notons aussi que c'est la combinaison 6 avec phosphate d'ammoniaque qui donne le meilleur résultat. Après trois saisons de végétation, il n'y a pas de différences entre les doses 5 et 6 (tableau 4).

Dans le cas de l'épandage mixte (analyse n° 4), il n'y a pas de différences significatives non plus, entre les doses ou entre les combinaisons. Les hauteurs moyennes se classent comme ci-après:

- 1^{re} année

Combinaison n°:	7	4	10	8	3	2	1	9
Composantes pour N:	S.Am.	A.	P.Am.	S.Am.	A.	U.	U.	P.Am.
P:	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
K:	C.	S.	S.	S.	C.	S.	C.	C.
H. moyennes (cm):	28	29	31	32	33			36

- 2^e année

Combinaison n°:	7	3	4	10	2	8	1	9
H. moyennes (cm):	106	113	121	123	126	128	130	137

- 3^e année

Combinaison n°:	7	4	3	9	8	1	2	10
H. moyennes (cm):	145	161	162	167	172	173	178	180

Les résultats moyens selon les doses sont un peu inférieurs à ceux obtenus avec l'épandage à plein (tableau 4).

1.3 CONCLUSIONS

Cet essai qui n'a été suivi que pendant trois saisons de végétation pour éviter des interactions possibles dues à l'extension des racines, permet de dégager quelques conclusions générales. Notons: les faibles différences de hauteurs relevées selon le type d'épandage et la composition des mélanges (ces différences peuvent prendre de l'importance pour le d.h.p.), la tendance à la supériorité des résultats avec

la forme sulfate - peut-être liée à l'influence du soufre - pour le potassium et avec le phosphate d'ammoniaque ou l'urée, la réaction favorable aux doses moyennes et équilibrées d'engrais. L'épandage localisé de 25-125-75 ou 50-100-50 g de N-P₂O₅-K₂O suffit pour le démarrage de la plantation. Les facteurs à considérer pour le choix de l'un ou l'autre des traitements sont dans ce cas: le coût des composants, la facilité et le nombre d'interventions pour l'épandage, les besoins nutritifs spécifiques du sol. Une localisation de l'engrais sur des bandes moins larges, influencerait probablement son utilisation optimale par les racines des plants, limiterait les pertes toujours possibles et le développement important de la concurrence herbacée, qui dans cette expérience ont très certainement diminué l'impact de la fertilisation par rapport aux témoins. L'investissement consenti est par conséquent mal rentabilisé.

2. EXPÉRIENCE 2: EFFETS DES ÉLÉMENTS N-P-K À DIVERSES DOSES ET COMBINAISONS POUR LA FERTILISATION D'UNE PLANTATION DE BOUTURES

2.1 BUTS ET MÉTHODES

Cette expérience avait pour but de déterminer le rôle des éléments N-P-K (effets primaires et interactions) apportés isolément ou non.

Le sol est un loam sablo-argileux de pH = 4,7 à 5,0 qui s'est développé à partir d'un till. Il est assez pauvre en azote, phosphore et potassium.

Le matériel végétal utilisé comprend 2070 boutures du clone hybride Populus deltoides Marsh. cv. 'angulata' × P. trichocarpa Torr. et Gray, de 0,30 m de longueur, plantées manuellement à l'oblique avec un angle de 30° par rapport à l'horizontale et émergeant de 1 à 2,5 cm. Ce mode de plantation permet d'éviter un déchaussement par le gel (Ménétrier, 1978). L'espacement est de 3 m × 3 m (densité = 1111 boutures par hectare). Les trois éléments N-P-K sont apportés à quatre doses différentes: il y a donc 64 traitements qui diffèrent par la proportion relative et la dose des éléments apportés. Le dispositif factoriel complet du type blocs comprend 10 boutures par traitement et trois répétitions. Cinq traitements annexes hors dispositif ont été ajoutés pour comparaisons. Les engrais sont apportés sous forme d'urée (46-0-0), de superphosphate triple (0-46-0) et de chlorure de potassium (0-0-60) et chaque dose est concentrée sur une bande de 1 m de large couvrant la ligne de plantation.

Les traitements étudiés figurent au tableau 8 et les équivalences en N-P₂O₅-K₂O au tableau 9.

Tableau 8 Traitements étudiés (expérience 2): doses de N-P-K en kg/ha de plantation

Traitements principaux															
N ^{os}	N	P	K	N ^{os}	N	P	K	N ^{os}	N	P	K	N ^{os}	N	P	K
1	0	0	0	17	0	0	28	33	0	56	28	49	0	112	56
2	28	0	0	18	28	0	28	34	28	56	28	50	28	112	56
3	56	0	0	19	56	0	28	35	56	56	28	51	56	112	56
4	112	0	0	20	112	0	28	36	112	56	28	52	112	112	56
5	0	28	0	21	0	0	56	37	0	112	28	53	0	28	112
6	28	28	0	22	28	0	56	38	28	112	28	54	28	28	112
7	56	28	0	23	56	0	56	39	56	112	28	55	56	28	112
8	112	28	0	24	112	0	56	40	112	112	28	56	112	28	112
9	0	56	0	25	0	0	112	41	0	28	56	57	0	56	112
10	28	56	0	26	28	0	112	42	28	28	56	58	28	56	112
11	56	56	0	27	56	0	112	43	56	28	56	59	56	56	112
12	112	56	0	28	112	0	112	44	112	28	56	60	112	56	112
13	0	112	0	29	0	28	28	45	0	56	56	61	0	112	112
14	28	112	0	30	28	28	28	46	28	56	56	62	28	112	112
15	56	112	0	31	56	28	28	47	56	56	56	63	56	112	112
16	112	112	0	32	112	28	28	48	112	56	56	64	112	112	112
Traitements annexes															
												65	168	0	0
												66	168	112	0
												67	168	168	0
												68	168	112	112
												69	168	168	168

Tableau 9 Équivalences des doses étudiées

Équivalences	Doses de N, P ou K (kg/ha)			
	28	56	112	168
N (kg/ha)	28	56	112	168
P ₂ O ₅ (kg/ha)	64,1	128,1	256,3	384,4
K ₂ O (kg/ha)	33,7	67,5	134,9	202,4

2.2 RÉSULTATS ET ANALYSE

Les hauteurs moyennes enregistrées à 1 an et 2 ans figurent au tableau 10. Le taux moyen de survie après une année de végétation est de 80 p. cent. Les résultats de l'analyse de variance sur les 64 traitements principaux figurent au tableau 11. Le tableau 12 regroupe les hauteurs moyennes obtenues aux niveaux de chaque facteur étudié (effets N, P, K, blocs).

L'analyse de variance montre que pour les doses étudiées, l'effet de l'azote n'est pas significatif la 1^{re} année, contrairement aux effets de P et K. Un effet bloc apparaît aussi dès la 1^{re} saison de végétation. La 1^{re} année, le taux de mortalité est de 25,2 p. cent pour le bloc 1, 18,1 p. cent pour le bloc 2 et 13,9 p. cent pour le bloc 3. La 2^e année, seuls les effets de N, K et des blocs sont significativement différents. Des tests de Tukey au niveau de probabilité de 95 p. cent permettent d'établir les résultats comme suit:

- Effet de P - 1^{re} année:

doses	28	0	56	112
H (cm)	45	47	49	53

Tableau 10 Hauteurs moyennes (cm) enregistrées (expérience 2)
après 1 (H₁) et 2 (H₂) années de croissance

T. n°	H.1	H.2	T. n°	H.1	H.2	T. n°	H.1	H.2	T. n°	H.1	H.2
1	27	58	17	27	49	33	61	113	49	40	82
2	55	98	18	30	61	34	64	107	50	61	101
3	30	73	19	46	82	35	52	85	51	55	98
4	40	88	20	30	64	36	58	91	52	67	110
5	49	82	21	27	58	37	58	107	53	37	64
6	34	67	22	30	67	38	49	82	54	40	85
7	49	94	23	49	88	39	46	79	55	55	107
8	55	110	24	24	52	40	67	110	56	58	94
9	58	98	25	27	70	41	52	85	57	43	73
10	61	98	26	14	85	42	64	104	58	58	98
11	52	101	27	49	91	43	49	82	59	52	88
12	49	98	28	40	88	44	46	91	60	46	85
13	61	113	29	58	79	45	43	101	61	43	61
14	40	107	30	52	85	46	64	98	62	40	73
15	49	101	31	49	85	47	55	104	63	64	104
16	52	107	32	52	104	48	61	107	64	64	107
									65	37	52
									66	61	52
									67	55	40
									68	58	46
									69	61	43

Tableau 11 Résultats de l'analyse de variance (expérience 2)

Source de variation	D.L.	Test F			
		Hauteur 1 an		Hauteur 2 ans	
Élément N	3-126	2,48	N.S.	3,75	*
Élément P	3-126	3,01	*	2,63	N.S.
Élément K	3-126	13,32	**	8,45	**
Interaction NP	9-126	1,93	N.S.	0,79	N.S.
Interaction NK	9-126	2,04	*	1,70	N.S.
Interaction PK	9-126	2,61	**	1,90	N.S.
Interaction NPK	27-126	1,07	N.S.	0,74	N.S.
Blocs	2-126	20,43	**	39,50	**

N.S. = non significatif

* ou ** = significatif ou hautement significatif

Tableau 12 Hauteurs moyennes à 1 et 2 ans (cm) pour chaque niveau des facteurs étudiés (expérience 2)

Niveau	Facteurs							
	N		P		K		Blocs	
	H ₁	H ₂	H ₁	H ₂	H ₁	H ₂	H ₁	H ₂
1	44	80	47	73	48	93	49	83
2	49	88	45	89	39	87	41	75
3	50	91	49	96	56	89	55	109
4	51	94	53	96	51	86	-	-

N.B.: les niveaux 1,2,3,4 correspondent aux doses 0, 28, 56, 112 kg/ha d'éléments N, P, K ou aux blocs 1, 2, 3.

- Effet de K - 1^{re} année:

doses	28	0	112	56
H (cm)	39	48	51	56

- Interaction NK - 1^{re} année:

T. n ^{os}	1-17-24	21-25	3-18-20-22	28	4	26	27-23-19	2
H ₁ (cm)	24	27	30	37	40	43	46	55

- Interaction PK - 1^{re} année:

T. n ^{os}	1-17	21-25	53	45-49	57-61	5	41	29	9-13-37	33
H ₁ (cm)	24	27	34	40	43	46	52	55	58	61

- Effet blocs - 1^{re} année:

	BII	BI	BIII
H ₁ (cm)	41	49	55

- Effet de N - 2^e année:

Doses	0	28	56	112
H ₁ (cm)	80	88	91	94

- Effet de K - 2^e année:

Doses	112	28	56	0
H ₂ (cm)	86	87	89	93

- Effet blocs - 2^e année

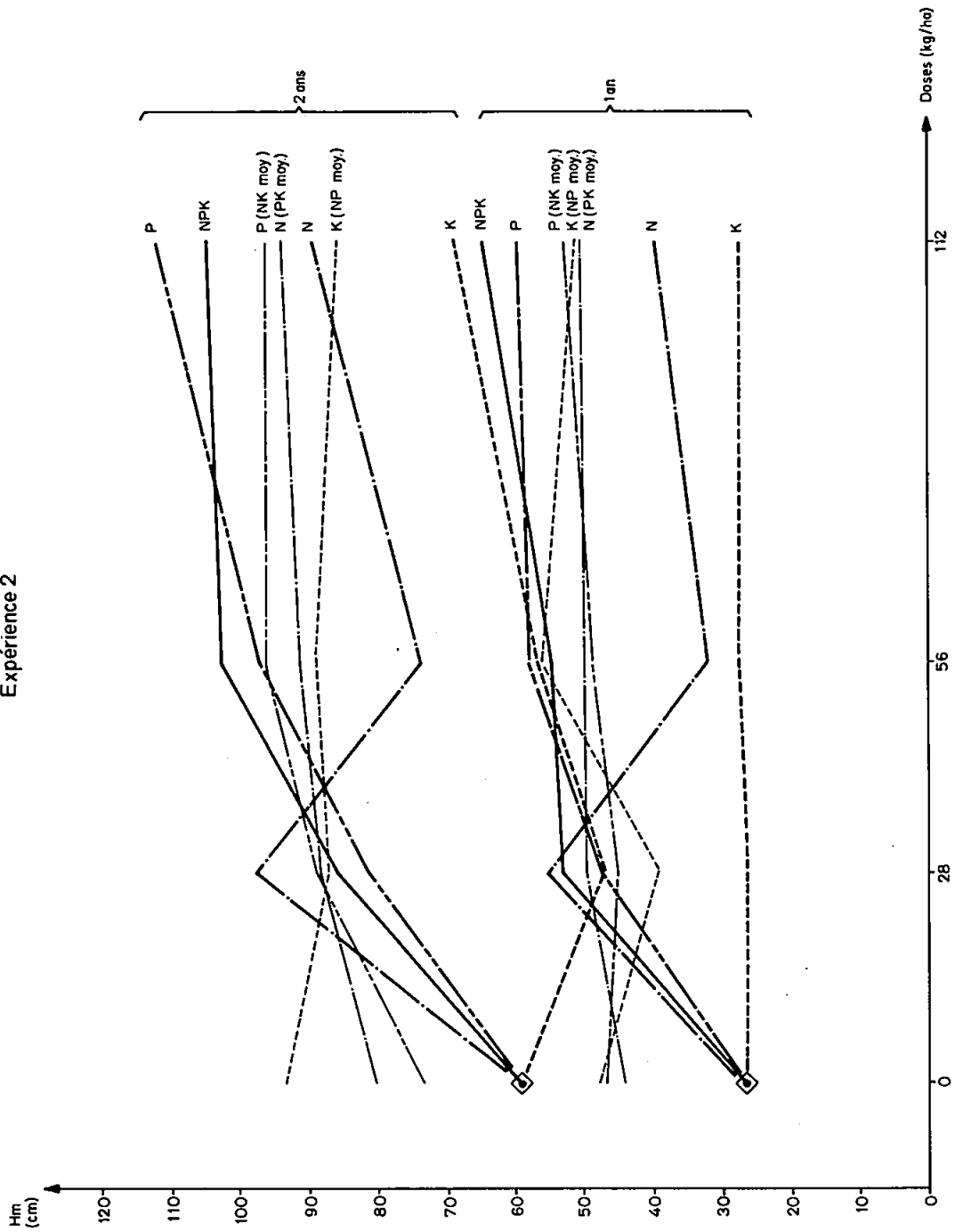
	BII	BI	BIII
H ₂ (cm)	75	83	109

L'effet des différentes doses et éléments est donc très variable, mais même avec des différences non toujours significatives statistiquement, nous pouvons néanmoins tirer des conclusions intéressantes à partir des résultats obtenus et des figures 2, 3, 4, 5 et 6.

En 1^{re} année et en 2^e année, l'apport de N-P-K donne un supplément de croissance appréciable par rapport au témoin (figure 2). La différence est importante d'une part, entre le témoin (T. n°1 = 0-0-0) et le traitement 30 (28-28-28) en 1^{re} année et d'autre part en 2^e année, entre le témoin et le traitement 47 (56-56-56) d'effet plus durable. Après 2 ans, le traitement 47 est équivalent au traitement 64 (112-112-112), ce qui est important du point de vue des coûts. Apporté seul, l'azote marque surtout à la dose 2 (28-0-0) par rapport au témoin. Le résultat est aussi bon ou supérieur à 2 ans à celui obtenu avec la fumure équilibrée N-P-K 28-28-28 (T. n° 30). Par contre, l'apport de fortes doses d'azote seul n'est pas intéressant.

Les interactions NK et PK sont significatives seulement en 2^e année. L'interaction NP le serait avec un niveau de probabilité de 90 p. cent. L'association de N avec des doses moyennes de P-K (moyenne des doses étudiées soit $\frac{0+28+56+112}{4} = 49$) a un effet principalement dû à ces deux éléments, puisque l'augmentation des doses d'azote ne donne pas de croissances bien supérieures à celles obtenues pour N₀- P moyen - K moyen (figure 2). L'effet de N est légèrement plus marqué pour les mêmes traitements la 2^e année. Les courbes d'interaction N (K moyen)/P ou N/P confirment l'effet de faibles doses d'azote en 1^{re} année si cet élément est le seul apporté. Une augmentation importante de croissance est obtenue par apport de phosphore à la dose de 56 kg/ha. L'influence

Figure 2 - HAUTEURS MOYENNES À 1 AN ET 2 ANS (TRAITEMENTS PRINCIPAUX ET INTERACTIONS)
Expérience 2



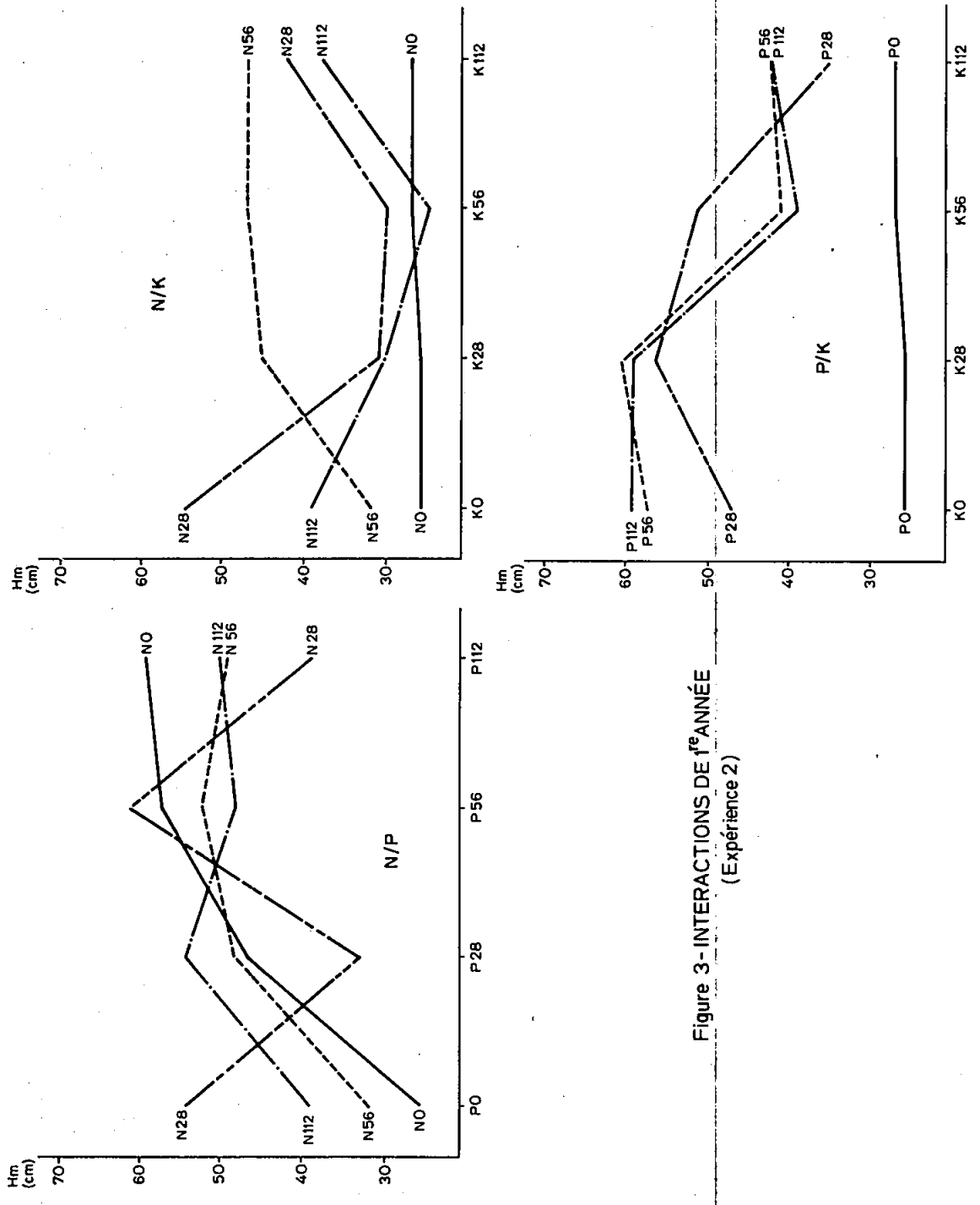


Figure 3 - INTERACTIONS DE 1^{re} ANNÉE
(Expérience 2)

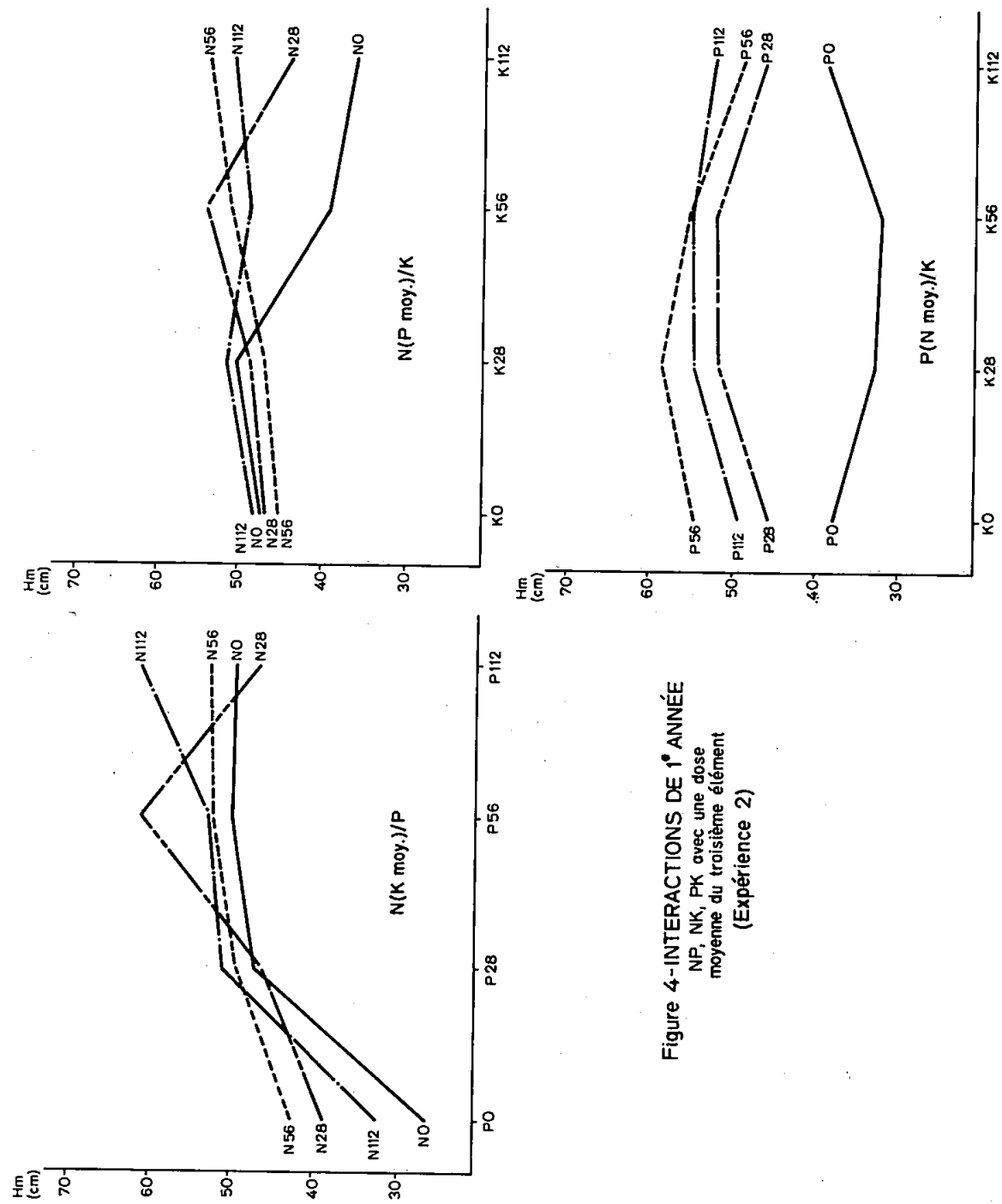


Figure 4-INTERACTIONS DE 1^{re} ANNÉE
 NP, NK, PK avec une dose
 moyenne du troisième élément
 (Expérience 2)

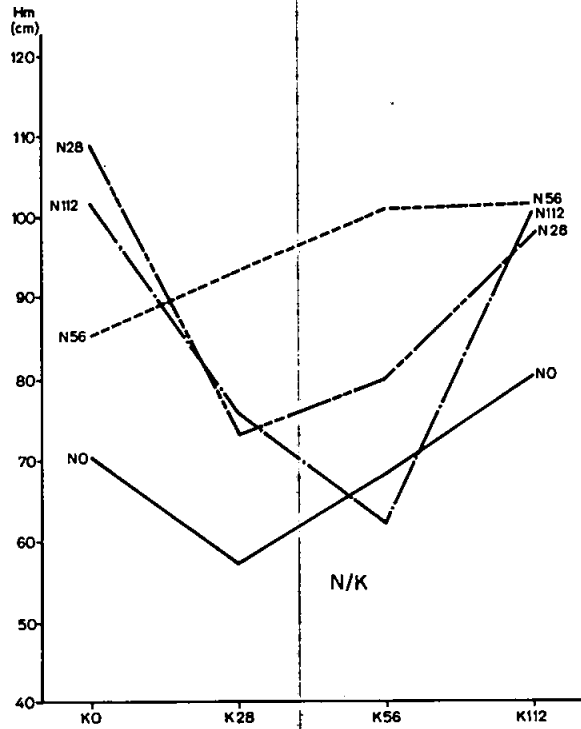
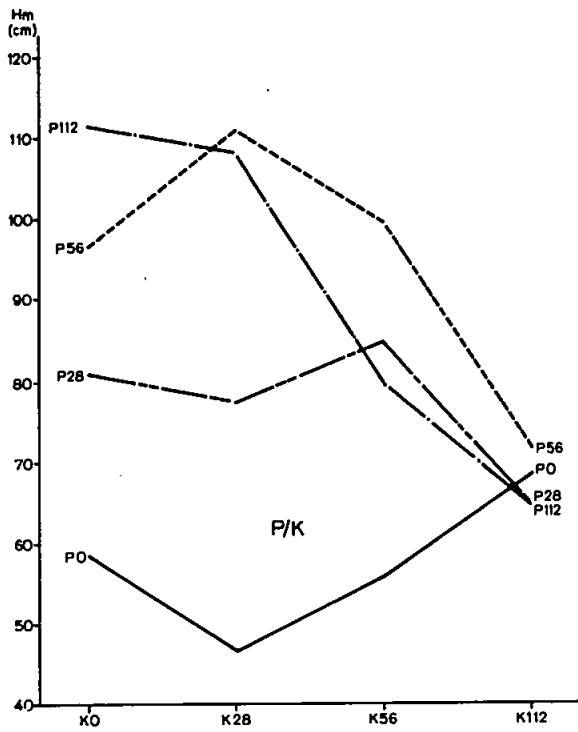
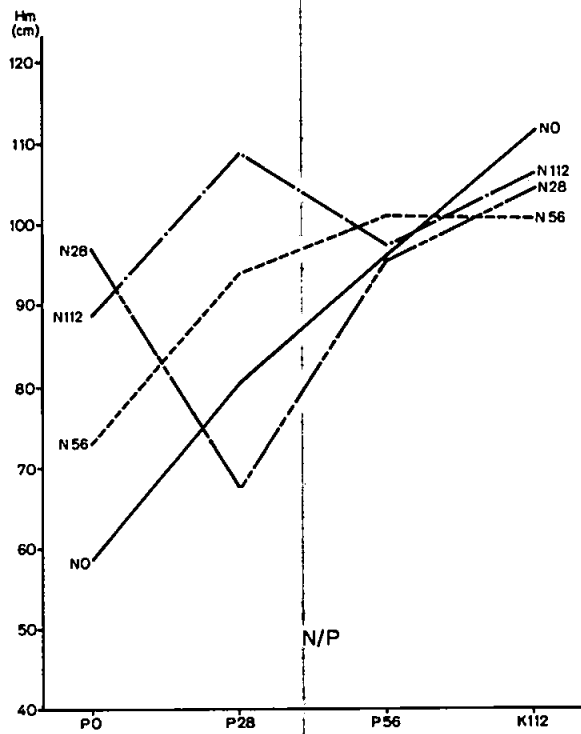


Figure 5-INTERACTIONS DE 2^e ANNÉE
(Expérience 2)



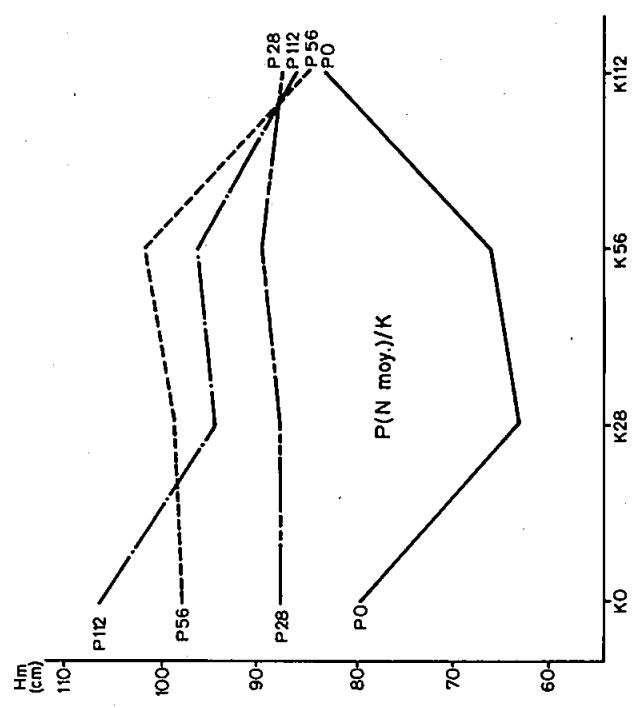
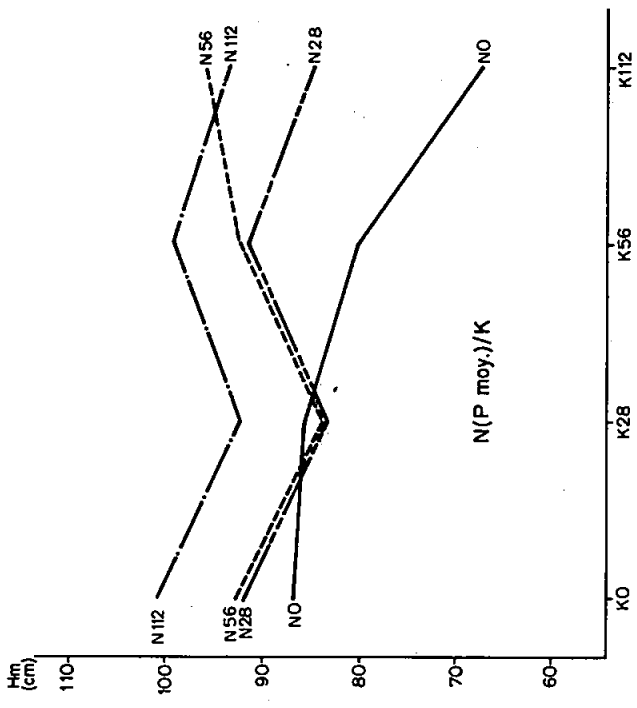
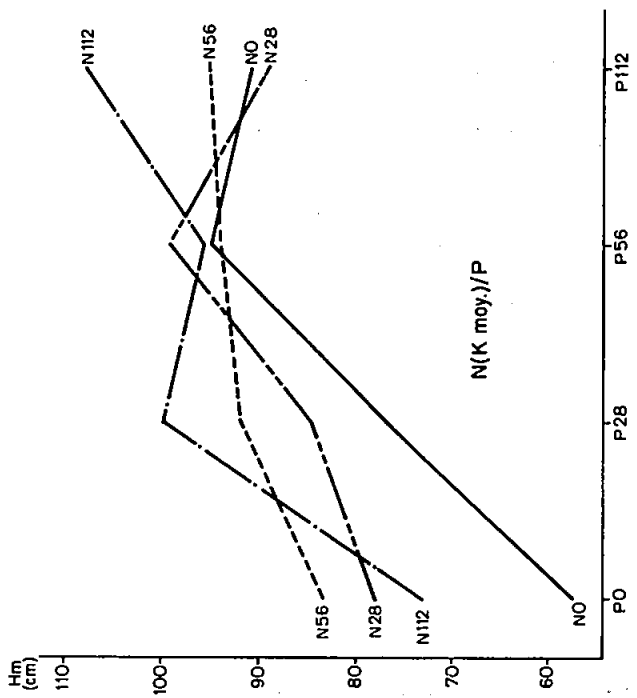


Figure 6-INTERACTIONS DE 2^e ANNÉE
 NP, NK, PK avec une dose
 moyenne du troisième élément
 (Expérience 2)

de facteurs non contrôlés peut avoir influencé l'effet du traitement 6 (N₂₈P₂₈) qui donne à la courbe N₂₈/P une allure différente des courbes N/P en général (figures 3 et 5) montrant l'effet bénéfique de P.

L'effet du phosphore seul est marqué dès la 1^{re} saison de végétation. La dose P₂₈ (T. n° 5) a un effet inférieur à celui de la dose N₂₈ (T. n° 2), mais aux doses supérieures (P₅₆ et P₁₁₂), le phosphore seul marque beaucoup plus que l'azote seul, qui dans ce cas peut favoriser le développement d'adventices qui concurrencent fortement le développement des boutures. L'addition de N et K (dose moyenne) à P n'apporte un supplément de croissance qu'en deuxième année et pour un dosage de phosphore inférieur à la dose charnière P₅₆. L'interaction P/K est très variable la 1^{re} année. L'effet de P est inversement proportionnel à la dose de K. Pour les interactions P-N moyen/K l'effet du potassium est pratiquement nul ou même antagoniste. L'apport de K seul n'ajoute rien par rapport au témoin. À 1 an, l'équilibre K₅₆ - (NP moyen) donne le meilleur résultat pour la fertilisation avec potassium. À 2 ans, l'effet de K-(NP moyen) est très régulier quelle que soit la dose de K; il augmente pour le niveau K₀, ce qui confirme l'effet plutôt dépressif ou nul du potassium. Les résultats des traitements subsidiaires n^{os} 65 à 69 sont, après deux ans, tous inférieurs ou au mieux identiques à ceux du témoin, à cause du développement de la végétation concurrente et du gel précoce des pousses à l'automne; il vaut donc mieux éviter ces traitements coûteux à doses trop fortes.

2.3 CONCLUSIONS

Les résultats de cet essai montrent que des doses d'engrais assez fortes n'apportent pas forcément un gain de croissance très

sensible. Les coûts actuels des engrais et les exigences de la rentabilité nous obligent d'utiliser les doses optimales pour un rendement donné. La localisation de l'engrais à proximité des racines et l'épandage de tel ou tel élément au moment le plus adéquat sont deux facteurs importants à considérer pour une efficacité optimum. L'effet du phosphore semble primordial pour un bon départ en végétation des boutures alors que l'apport d'azote serait peut-être mieux rentabilisé en deuxième année seulement. L'absence de potassium n'est pas défavorable, mais pour respecter les besoins et les lois de l'équilibre des éléments disponibles, il vaut mieux en apporter une certaine quantité à la plantation. Les doses de 56 kg/ha de P et 28 kg/ha de K, l'année de la plantation, sont suffisantes pour un bon départ en végétation, surtout si l'on prend soin de localiser l'engrais sur une superficie restreinte, le long des boutures ou des lignes de plantation, et si l'on diffère l'apport d'azote par rapport à celui de P et K. Des formules équilibrées 1-2-1 ou 1-2-1/2 restent souhaitables. La 1^{re} année, les doses d'engrais rentables se situent dans la gamme 56-112-56, 56-112-28, 56-56-56, 56-56-28 kg/ha de N-P-K selon la richesse du sol au départ.

3. EXPÉRIENCE 3: INFLUENCE DE LA DOSE D'ENGRAIS ET DU MODE D'ÉPANDAGE SUR UNE PLANTATION DE BOUTURES

3.1 BUTS ET MÉTHODES

L'expérience a pour but d'étudier l'effet d'une fertilisation à différentes doses pour trois types d'épandage. À partir de sept doses d'engrais, l'épandage en bandes et à plein selon trois modalités nous amène à comparer 21 traitements (tableau 12). Le dispositif du

Tableau 13 Traitements étudiés (expérience 3)

N° du traitement	Mode d'épandage	Doses d'engrais apportées							
		kg/ha planté				kg/ha fertilisé			
		Engrais 15-25-7	N	P	K	Engrais 15-25-7	N	P	K
1	-A-	0	0	0	0	0	0	0	0
2	En plein sur	168	25,2	18,3	9,8	168	25,2	18,3	9,8
3	toute la surface	336	50,4	36,6	19,5	336	50,4	36,6	19,5
4	plantée:	504	75,6	54,9	29,3	504	75,6	54,9	29,3
5	Dosage D	672	100,8	73,2	39	672	100,8	73,2	39
6		840	126	91,6	48,8	840	126	91,6	48,8
7		1008	151,2	110	58,6	1008	151,2	110	58,6
8	-B-	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Sur bandes de	168	25,2	18,3	9,8	504	75,6	54,9	29,3
10	1 m de large:	336	50,4	36,6	19,5	1008	151,2	109,9	58,6
11	Dosage D	504	75,6	54,9	29,3	1512	226,8	164,8	87,8
12	concentré	672	100,8	73,2	39	2016	302,4	219,7	117,1
13		840	126	91,6	48,8	2520	378	274,7	146,4
14		1008	151,2	110	58,6	3024	453,6	329,6	175,7
15	-C-	0	0	0	0	0	0	0	0
16	Sur bandes de	56	8,4	6,1	3,3	56	8,4	6,1	3,3
17	1 m de large:	112	16,8	12,2	6,5	112	16,8	12,2	6,5
18	Dosage D/3	168	25,2	18,3	9,8	168	25,2	18,3	9,8
19	concentré	224	33,6	24,4	13	224	33,6	24,4	13
20		280	42,0	30,5	16,3	280	42	30,5	16,3
21		336	50,4	36,6	19,5	336	50,4	36,6	19,5

N.B.: les traitements du groupe B sont dits à forte concentration et ceux du groupe C à faible concentration.

type blocs complets a été installé sur la parcelle n° 5 de la ferme populicole expérimentale de Cabano. Les conditions de station sont identiques à celles de l'expérience 2 précédente. Il y a 10 boutures par parcelle et quatre répétitions. Les boutures du clone B-201-B (Populus deltoides Marsh. cv. 'angulata' × P. trichocarpa Torr. et Gray) de 30 cm de long ont été plantées manuellement à l'espacement de 3 m × 3 m (1111 boutures/ha). L'engrais utilisé, de formule approchée 15-25-7, est formé d'un mélange d'urée (46-0-0), de superphosphate triple (0-46-0) et de chlorure de potassium (0-0-60). L'épandage s'est fait manuellement avec un épandeur portatif.

3.2 ANALYSE DES RÉSULTATS

Les hauteurs moyennes mesurées sur deux saisons de végétation figurent au tableau 13 et à la figure 7.

L'analyse de variance fait apparaître une différence hautement significative entre les traitements, la 1^{re} année seulement (tableau 14). La différence entre les blocs traduit l'infériorité des résultats dans l'une des répétitions (bloc n° 4) dont la hauteur moyenne à 2 ans est de 82 cm (tous traitements confondus) contre 120, 110 et 107 cm pour les trois autres.

Figure 7 - EFFETS DU MODE D'ÉPANDAGE ET DE LA DOSE D'ENGRAIS
 SUR LA CROISSANCE ET LE TAUX DE SURVIE
 (Expérience 3)

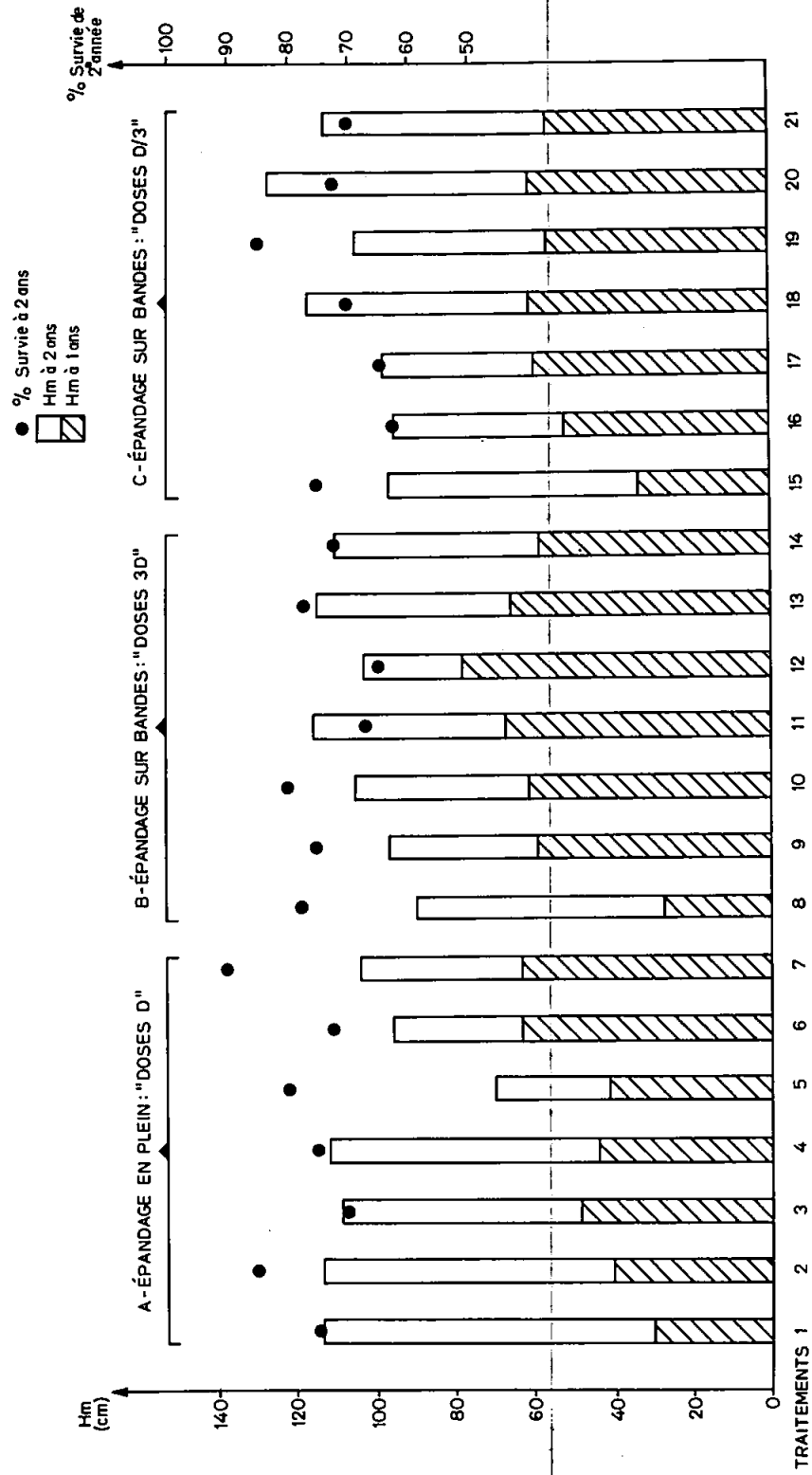


Tableau 14 Hauteurs moyennes à 1 et 2 ans (expérience 3)
et taux de survie

Épandage	Traitement n°	Hm 1 an (cm)	Hm 2 ans (cm)	H. Moyennes		% de survie	
				1 an	2 ans	2 ans	Moyen
-A- En plein	1	30	113	46,3	102,4	75	78,2
	2	40	113			85	
	3	49	110			70	
	4	43	113			75	
	5	40	70			80	
	6	61	94			72,5	
	7	61	104			90	
-B- Sur bandes à forte concentration	8	27	88	59,1	105,6	77,5	73,6
	9	58	98			75	
	10	61	107			80	
	11	67	116			67,5	
	12	76	104			65	
	13	67	116			77,5	
	14	58	110			72,5	
-C- Sur bandes à faible concentration	15	34	98	54,6	107,7	75	71,4
	16	52	94			62,5	
	17	61	98			65	
	18	61	116			70	
	19	55	107			85	
	20	61	128			72,5	
	21	58	113			70	

Tableau 15 Résultats de l'analyse de variance (expérience 3)

Facteurs analysés	Sources de variation	D.L.	Test F
Hauteur moy. 1 an	Traitements	20-60	3,87 **
	Blocs	3-60	6,84 **
Hauteur moy. 2 ans	Traitements	20-60	1,08 N.S.
	Blocs	3-60	10,95 **

Un test de Duncan (comparaisons multiples) sur les moyennes à 1 an permet de les différencier comme suit:

Traitements	groupe A:	1	<u>2-5</u>	4	3							
n ^{os}	groupe B:	8					<u>9-14</u>	<u>6-7</u>	<u>10</u>	<u>11-13</u>	12	
	groupe C:	15			16	19	21	<u>17-18-20</u>				
H. moy. 1 an (cm):		24	30	40	43	49	52	55	58	61	67	76

La 2^e année, les hauteurs moyennes s'ordonnent ainsi:

Traitements	groupe A:	5	6	7							
n ^{os}	groupe B:	8		9	12	10	14	<u>3</u>	<u>1-2-4</u>		
	groupe C:	16	<u>15-17</u>			19		21	<u>11-13</u>	18	20
H. moy. 2 ans (cm):		70	88	94	98	104	107	110	113	116	128

Donc, après une saison de végétation, la fertilisation en plein s'avère moins utile que la fertilisation sur bandes. C'est seulement pour les fortes doses d'engrais (840 et 1008 kg/ha) qu'elle est efficace, ces doses correspondant à une concentration d'engrais sur la ligne de plantation de 280 à 336 kg/ha fertilisé. La plupart des doses

du groupe C (épandage sur bandes à faible concentration) ne sont pas significativement différentes de celles du groupe B (épandage sur bandes à forte concentration) où l'on atteint les plus grandes hauteurs la première année.

Là encore, compte tenu des coûts et des résultats, des doses de 168 à 336 kg/ha planté, mais concentrées en bandes sur le tiers de la surface, sont très intéressantes. Après deux saisons de végétation, les dosages élevés rétrogradent plutôt au classement, par rapport aux dosages plus faibles. C'est la dose de 280 kg/ha planté (traitement 20) épandue sur bande, qui arrive en tête.

Les résultats de certains traitements du groupe A (épandage en plein) sont par contre assez bons la 2^e année. Ils sont partiellement liés, ainsi que le taux de survie moyen, à l'effet moindre d'une végétation concurrente moins développée. Il apparaît donc après 2 ans de croissance que l'épandage en bandes de doses moyennes d'engrais donne de bons résultats. Des mesures de hauteur prises en 3^e année ont confirmé la prédominance des traitements du groupe B et C. Une dose de 168 à 336 kg/ha d'engrais épandue sur une bande de 1 m couvrant les lignes de plantation de boutures suffit au démarrage de la plantation. Les doses d'éléments correspondantes sont dans ce cas de 25 à 50 kg/ha d'azote, 18 à 37 kg/ha de phosphore (42 à 84 kg/ha de P₂O₅) et 10 à 20 kg/ha de potassium (12 à 24 kg/ha de K₂O). La localisation, peut-être encore plus marquée, de ces doses relativement faibles d'engrais, associée à d'autres facteurs comme la lutte contre la concurrence herbacée et la refertilisation en 2^e ou 3^e année lorsque la capacité exploratoire du système racinaire s'est développée, est susceptible d'optimiser la rentabilité de l'opération.

4. EXPÉRIENCE 4: EFFET DE LA FERTILISATION ET DE LA PÉRIODE D'ÉPANDAGE

4.1 OBJECTIFS ET MÉTHODES

Cette expérience avait pour but de voir l'effet et l'efficacité de la fertilisation sur la reprise et la croissance juvénile d'une plantation de boutures de peuplier, selon le moment de l'apport de l'engrais par rapport à la date de la plantation, l'efficacité dépendant du niveau de développement racinaire atteint lorsqu'on fertilise.

L'essai a été installé au printemps, sur la parcelle n° 5 de la ferme populicole expérimentale de Cabano (se reporter aux caractéristiques de station énumérées précédemment. Le dispositif du type blocs complets comprend six traitements (tableau 15), appliqués sur des parcelles de 21 boutures du clone B-201-B (P. deltoides Marsh. cv. 'angulata' × P. trichocarpa Torr. et Gray) et quatre répétitions. L'engrais utilisé est un mélange de formule approchée 15-25-7 à base d'urée, de superphosphate triple et de chlorure de potassium. Il est épandu à la dose de 336 kg/ha planté, mais concentré sur une bande de 1 m de large couvrant la ligne de plantation. Ces boutures de 30 cm de long sont plantées manuellement à l'oblique.

4.2 RÉSULTATS ET ANALYSES

Les mesures automnales des hauteurs moyennes et des taux de survie à 1, 2 et 3 ans et du d.h.p. à 3 ans sont regroupées au tableau 16 et à la figure 8. Les résultats de l'analyse de variance figurent au tableau 17.

Tableau 16 Traitements étudiés (expérience 4)

Traitement n°	Date d'épandage	Temps
1	À la plantation	0
2	1 semaine après la plantation	1
3	2 semaines après la plantation	2
4	4 semaines après la plantation	4
5	1 an après (le printemps suivant)	5
6	Témoin (0 fertilisation)	-

Tableau 17 Hauteurs, taux de survie et d.h.p. des tiges (expérience 4)

Traitement n°	Hauteur moyenne des tiges (cm)			Taux de survie moyen (%)			D.H.P. 3 ans (cm)	Nombre de tiges ayant le d.h.p. à 3 ans (% pondéré)
	1 an	2 ans	3 ans	1 an	2 ans	3 ans		
1	37	79	113	88	84,5	84,5	0,6	23,9
2	40	88	131	71,4	61,9	54,8	0,6	45,7
3	46	82	122	72,6	73,8	73,8	0,6	38,5
4	55	110	158	86,9	83,3	82,1	0,8	62,3
5	24	98	149	89,3	83,3	83,3	0,6	57,1
6	21	61	113	85,7	79,8	78,6	0,4	31,8

Figure 8 - Effets de la date d'épandage des engrais sur la hauteur des tiges, le d.h.p., le taux de survie d'une plantation de boutures (Expérience 4)

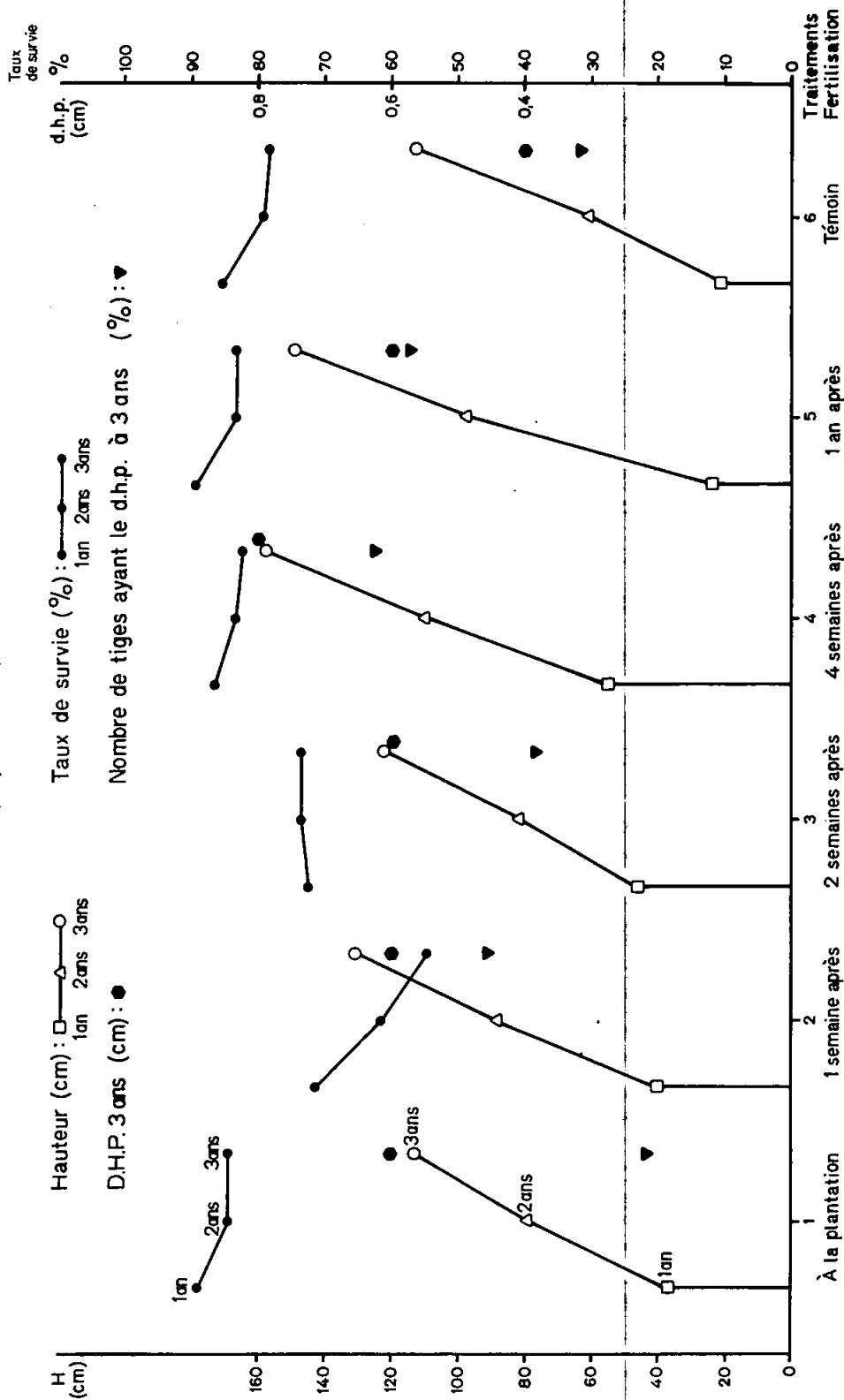


Tableau 18 Résultats de l'analyse de variance
(expérience 4)

Facteurs analysés	Facteurs de variation	D.L.	1 an	2 ans	3 ans
Hauteur moyenne	Traitements	5-15	F calculé 32 **	F calculé 7,32 **	F calculé 11,81 **
	Blocs	3-15	0,5 N.S.	2,23 N.S.	7,25 **
d.h.p. 3 ans	Traitements	5-15	-	-	1,71 N.S.
	Blocs	3-15	-	-	2,31 N.S.
Nb.de vivants à 3 ans	Traitements	5-15	2,92 *	2,27 N.S.	2,84 N.S.
	Blocs	3-15	0,17 N.S.	0,81 N.S.	0,64 N.S.

N.S. = non significatif

* ou ** = significatif au taux de probabilité de 95 ou 99 p. cent

Il existe donc une différence hautement significative entre les six traitements, pour les trois années de référence. Des tests de Tukey (niveau de probabilité de 95 p. cent) permettent de classer et différencier les résultats de la façon suivante:

- pour la hauteur 1^{re} année:

traitement n°:	6	5	1	2	3	4
H. 1 an (cm):	21	24	37	40	46	55
	└──────────┘		└──────────┘			└──┘

- pour la hauteur 2^e année:

traitement n°:	6	1	3	2	5	4
H. 2 ans (cm):	61	79	82	88	98	110
	└──────────┘		└──────────┘			

- pour la hauteur à 3 ans:

traitement n°:	<u>6-1</u>	3	2	5	4
H. 3 ans (cm):	113	122	<u>131</u>	<u>149</u>	<u>158</u>

En 1^{re} année, tous les apports d'engrais ont marqué quelle que soit la date de l'épandage. Notons que les hauteurs moyennes des parcelles fertilisées augmentent régulièrement avec la tardivité de l'épandage. À 2 ans, le traitement n° 5 (fertilisation l'année suivant la plantation) arrive au 2^o rang après une croissance en 2^e année de 74 cm, contre 43,4 cm en moyenne pour les cinq autres traitements, soit 41 p. cent de plus. Après trois saisons de végétation, les traitements 4 et 5 sont significativement supérieurs. Le traitement 4 garde son avance sur le traitement 5 dont les tiges ne peuvent rattraper leur retard sur la hauteur et sur le d.h.p. en deux saisons seulement. Exception faite du traitement 2 où il est plus faible, le taux de survie est très satisfaisant. Le pourcentage (pondéré par le taux de survie) de tiges mesurables au d.h.p. montre aussi la supériorité des traitements 4 et 5 et c'est à ce niveau que la valeur d'un traitement est des plus conséquentes.

Les résultats de l'analyse foliaire faite en août la 2^e année sont exprimés au tableau 18 et à la figure 9. Remarquons que les taux d'azote et de phosphore sont supérieurs pour le traitement 5, ainsi que celui du chlore (utilisation du chlorure de potassium), ce qui est normal car la fertilisation date alors du printemps de la même année. La forte augmentation de la teneur en N traduirait l'intérêt qu'il y a à apporter l'azote en 2^e année, sur des arbres bien installés, pour en maximiser l'absorption et l'efficacité.

Figure 9-TENEURS FOLIAIRES EN ÉLÉMENTS(2^e ANNÉE)
(Expérience 4)

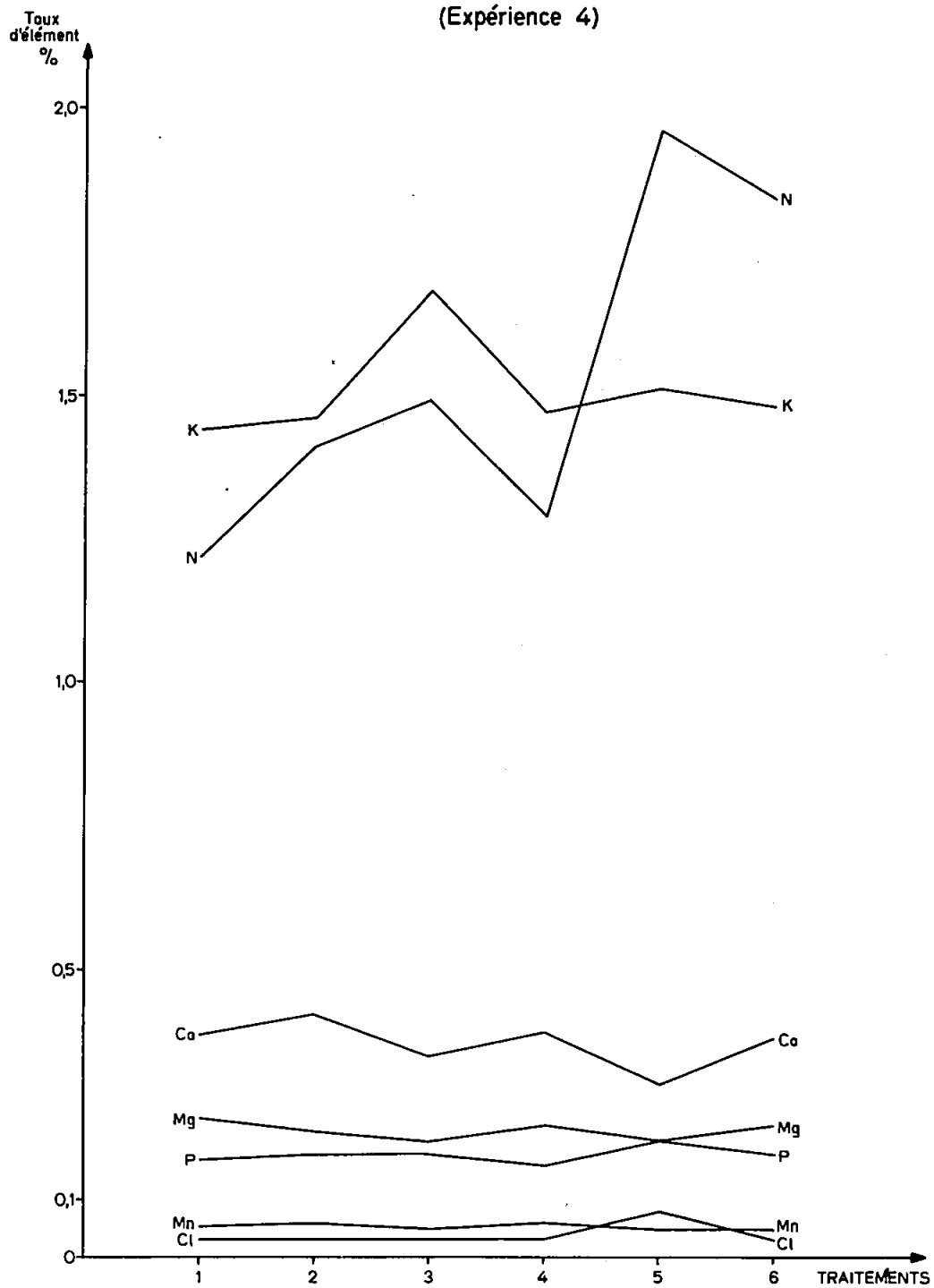


Tableau 19 Analyses foliaires à 2 ans (expérience 4)

Traitement n°	1	2	3	4	5	6
Eléments (%)						
N	1,22	1,41	1,49	1,29	1,96	1,84
P	0,17	0,18	0,18	0,16	0,20	0,18
K	1,44	1,46	1,68	1,47	1,51	1,48
Ca	0,39	0,42	0,35	0,39	0,30	0,38
Mg	0,24	0,22	0,20	0,23	0,20	0,23
Mn	0,25	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05
Cl	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08	0,03

En comparant ces résultats à diverses données disponibles sur les concentrations foliaires optimales pour le peuplier (Garbaye, 1972), et à d'autres études faites sur le même clone (Sheedy, Vallée, 1976), on s'aperçoit que les taux d'azote et de phosphore sont un peu plus faibles pour les parcelles fertilisées la 1^{re} année et pour le témoin, et pourraient être relevés. Les autres valeurs sont dans les normes généralement admises, sauf pour le manganèse. La chute relative des taux de N, de K et dans une moindre mesure, de P pour le traitement 4, peut s'expliquer par un effet marqué de dilution des éléments, effet dû au développement plus important des tiges et de leur masse foliaire, ce qui a pour conséquence de diminuer leurs concentrations. Le phénomène inverse peut intervenir dans l'explication de la teneur en N élevée des témoins (traitement 6), en plus d'autres facteurs comme une minéralisation accrue par le brassage de l'humus et des couches superficielles du sol lors des hersages d'entretien de la plantation.

4.3 CONCLUSIONS

Cette expérience montre l'intérêt d'une fertilisation retardée jusqu'au moment où les racines des boutures ont atteint un certain développement. La conjonction des facteurs date d'épandage et bonne localisation est apte à donner de bons résultats. La solution d'un épandage d'engrais au moins quatre semaines après la plantation, lié à la destruction des adventices déjà bien développées à ce moment, est à préconiser pour accroître l'efficacité de la fertilisation. La fertilisation l'année suivante n'est pas sans intérêt non plus, puisque les résultats obtenus avec le traitement 5 classent celui-ci au 2^e rang la 2^e et la 3^e année. Dans ce cas, l'engrais doit être apporté le plus tôt possible au printemps. Pour concilier ce résultat avec l'intérêt d'un bon départ en végétation, il peut être intéressant de fractionner les apports en fournissant tout ou partie des éléments N-P-K, quatre semaines après la plantation puis le reste ou au moins une fraction azotée (Ménétrier et Vallée, 1979) l'année suivante.

5. EXPÉRIENCE 5: ESSAI DE PRALINAGE DE BOUTURES

5.1 BUTS ET MÉTHODES

Dans le but de voir si la localisation d'éléments fertilisants à proximité de la bouture favoriserait ou non son établissement, le pralinage de celles-ci pouvait s'avérer intéressant, pour leur approvisionnement nutritif par développement plus abondant du chevelu racinaire.

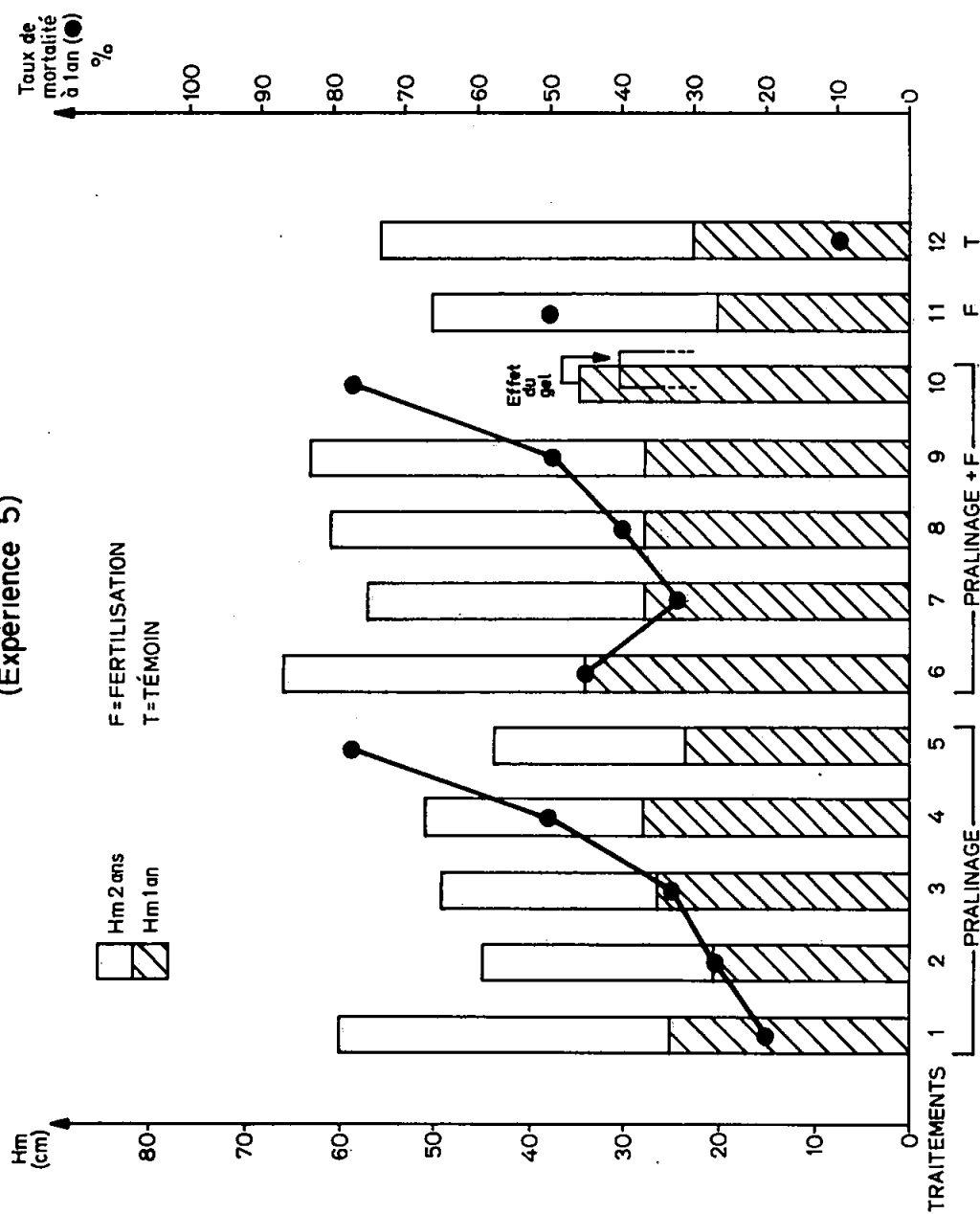
L'essai a été installé sur la parcelle n° 5 de la ferme populicole expérimentale de Cabano (mêmes conditions de station que

pour l'expérience 3 précédente. Le pralin utilisé est obtenu par mélange d'environ 10 volumes de terre prélevée sur place à 1 volume de solution fertilisante de concentration donnée, préparée elle-même à partir d'un engrais soluble du commerce, dosé 10-52-17. Des boutures de 30 cm de long de l'hybride P. deltoides Marsh. cv. 'angulata' × P. trichocarpa Torr. et Gray sont utilisées. Elles sont trempées dans ce mélange, qui les enrobe d'une couche plus ou moins adhérente, et plantées à la main. Le dispositif comprend 12 traitements (tableau 19), 10 boutures par parcelle et quatre répétitions.

Tableau 20 Traitements comparés (expérience 5)

N°	Pralinage (X)	Avec solution d'engrais à	Fertilisation en surface
1	X	10 g/l	Non
2	X	20 g/l	Non
3	X	100 g/l	Non
4	X	200 g/l	Non
5	X	500 g/l	Non
6	X	10 g/l	Oui
7	X	20 g/l	Oui
8	X	100 g/l	Oui
9	X	200 g/l	Oui
10	X	500 g/l	Oui
11	Non	-	Oui
12	Non (témoin)	-	Non (témoin)

Figure 10 - EFFETS DU PRALINAGE ET DE LA FERTILISATION SUR LA HAUTEUR ET LE TAUX DE MORTALITE (Expérience 5)



La fertilisation en surface correspond à l'épandage concentré sur bande de 1 m de large d'un engrais complet 15-25-7 à base d'urée, de superphosphate triple et de chlorure de potassium, à la dose de 336 kg/ha de plantation.

5.2 RÉSULTATS ET ANALYSES

Les croissances en hauteur et les taux de mortalité relevés sont exprimés à la figure 10. Il n'y a pas de différences significatives entre les hauteurs pour les 12 traitements. La 1^{re} année, la croissance des tiges varie de 20 à 35 cm pour une moyenne de 27 cm et la hauteur atteinte à l'automne de la deuxième saison de végétation varie de 30 à 66 cm pour une moyenne de 53 cm. Les taux de mortalité s'échelonnent de 10 à 77,5 p. cent la 1^{re} année et de 10 à 82,5 p. cent la 2^e. En dehors de l'effet des traitements, la faiblesse de ces résultats s'explique en partie par la faible qualité des boutures utilisées dans cet essai. Il n'y a pas de différences très marquées entre les traitements si ce n'est pour le taux de mortalité. La fertilisation de surface apporte un léger gain de croissance par rapport au pralinage seul mais les taux de mortalité reflètent deux phénomènes: d'une part, la difficulté des racines à traverser le manchon de pralin qui devient compact et d'autre part la plus ou moins grande phytotoxicité de ce dernier. L'apparition de poches d'air, la concentration momentanée des éléments fertilisants puis leur lessivage et l'effet pour ainsi dire nul de la fertilisation de surface qui profite surtout à la végétation concurrente n'avantagent pas le développement des tiges, ceci étant particulièrement net pour le traitement 12 (témoin) qui est supérieur au traitement 11 (fertilisation seulement). L'augmentation des taux de mortalité varie pratiquement dans le même sens

que les concentrations d'engrais soluble du pralin et montre bien son effet de toxicité, effet se traduisant par des nécroses de l'écorce et des tissus épidermiques de la bouture. Ce type d'intervention ne s'avère donc pas intéressant tant par les résultats que par les manipulations requises. Les modes traditionnels de fertilisation restent préférables.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Les expériences précédentes avaient pour but de dégrossir un certain nombre de problèmes concernant la fertilisation des plantations de boutures. Même s'il est nécessaire de renouveler ce genre d'expériences sur d'autres sites et dans d'autres conditions pour préciser les résultats, ceux-ci s'avèrent néanmoins intéressants et sont en partie applicables immédiatement.

La concentration de l'engrais autour des boutures et dans la zone colonisable par les racines au cours de la 1^{re} saison de végétation est l'un des facteurs d'utilisation optimum de cet engrais. Ce résultat, peu apparent dans l'expérience 1, - en partie à cause de la perte de précision du type de dispositif employé pour le facteur mode d'épandage - , apparaît plus évident dans l'expérience 3 et aussi d'après les observations de visu faites sur le terrain. La limitation du développement des espèces herbacées ou arbustives concurrentes pour l'eau et les éléments nutritifs, peut se faire partiellement par ce moyen. Une dose et un coût d'achat des engrais moins élevés par hectare de plantation permettent une économie d'investissement appréciable. Pour des raisons pratiques, sur de grandes superficies, il est plus facile de faire un

épandage sur bandes de 1 m de large environ, couvrant la ligne de plantation, à l'aide d'un épandeur ordinaire ou mieux, à mouvement pendulaire, qui permet de traiter deux lignes à la fois (figure 11). Dans le cas d'un particulier et d'une petite plantation, l'épandage manuel par pied d'arbre est réalisable.

La fertilisation en azote, phosphore et potassium l'année de la plantation puis l'apport d'azote au printemps suivant, lorsque la bouture est bien établie, sont une deuxième façon d'optimiser l'utilisation des fertilisants par les plants.

Dans le premier cas, le décalage du premier apport quatre semaines après la plantation agit très favorablement (expérience 4). Dans le second cas, le développement racinaire atteint la 2^e année permet une meilleure utilisation de l'engrais, mais le niveau de fertilité du sol au départ doit nous guider dans le choix. Le fractionnement des doses est une solution mixte apte à favoriser un bon départ en végétation des boutures puis une bonne croissance l'année suivante, tout comme la solution d'un apport de N-P-K la 1^{re} année, puis d'un complément de N en urée le printemps suivant (Ménétrier et Vallée, 1979). L'efficacité du phosphore déjà mentionnée pour les plants par plusieurs auteurs (Barneoud et Bonduelle, 1970) est à nouveau mise en évidence pour l'installation et le bon démarrage des boutures. L'effet positif du potassium n'est pas démontré ici, malgré la déficience notée au niveau des analyses. Le potassium est donc apporté par souci d'équilibre et à faible dose.

Parmi les différentes formes d'engrais essayées, l'urée et le phosphate d'ammoniaque s'avèrent supérieurs à l'ammonitrate. L'utilisation de potassium sous la forme sulfate a un effet positif, peut-être lié à l'apport de soufre.

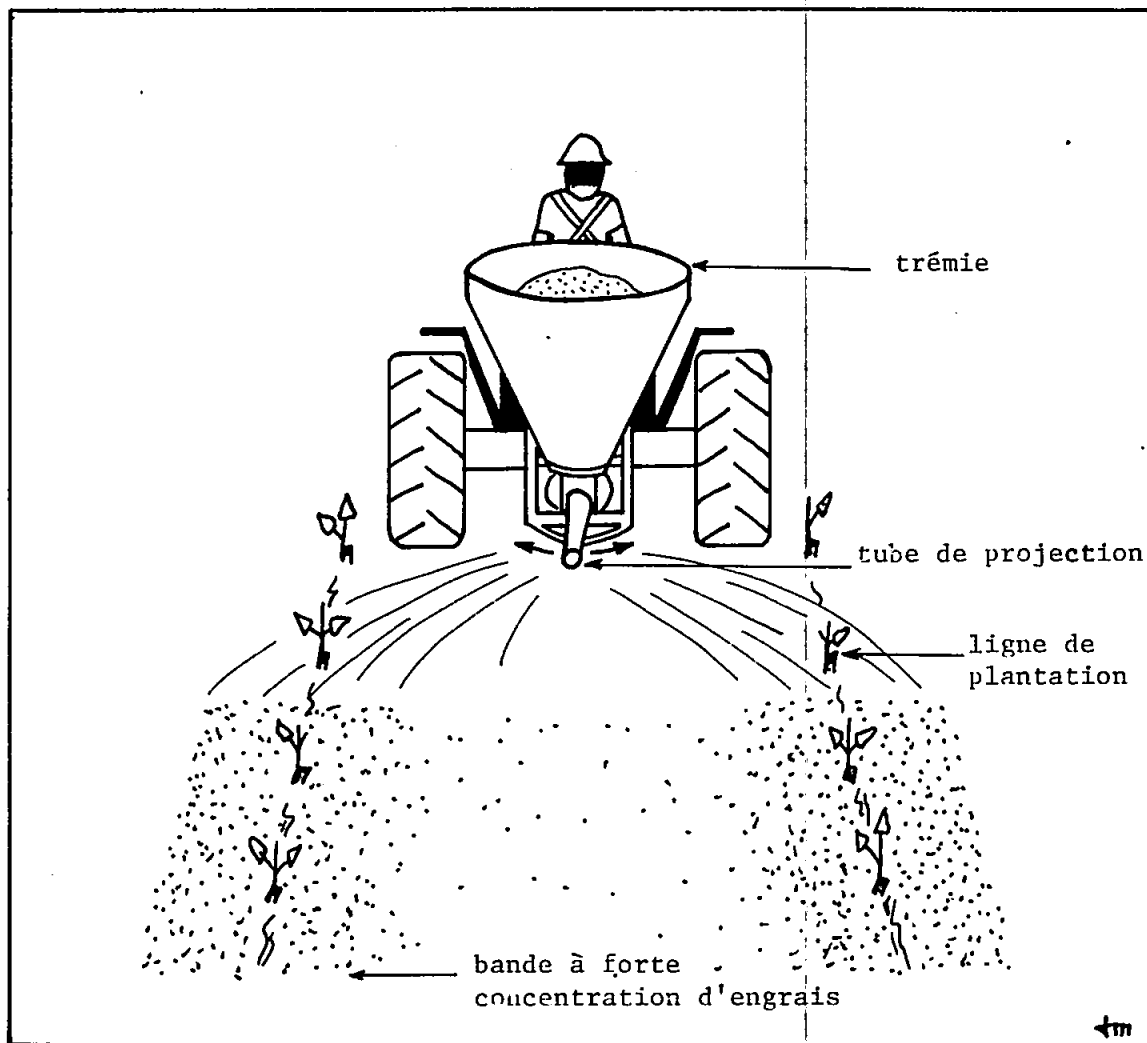
Un équilibre 1-2-1 ou 1-2-1/2 en $N-P_2O_5-K_2O$ est à rechercher (expérience 1), mais selon la richesse du sol en phosphore et potassium et du fractionnement de l'apport d'azote, l'accent peut être mis sur la fertilisation phospho-potassique l'année de la plantation, par apport de $N-P_2O_5-K_2O$ dans les proportions 1-5-3 par exemple. Un nouvel apport d'azote à la 2^e saison de végétation rapprocherait ce rapport, devenu (1+1)-5-3, de l'équilibre souhaitable.

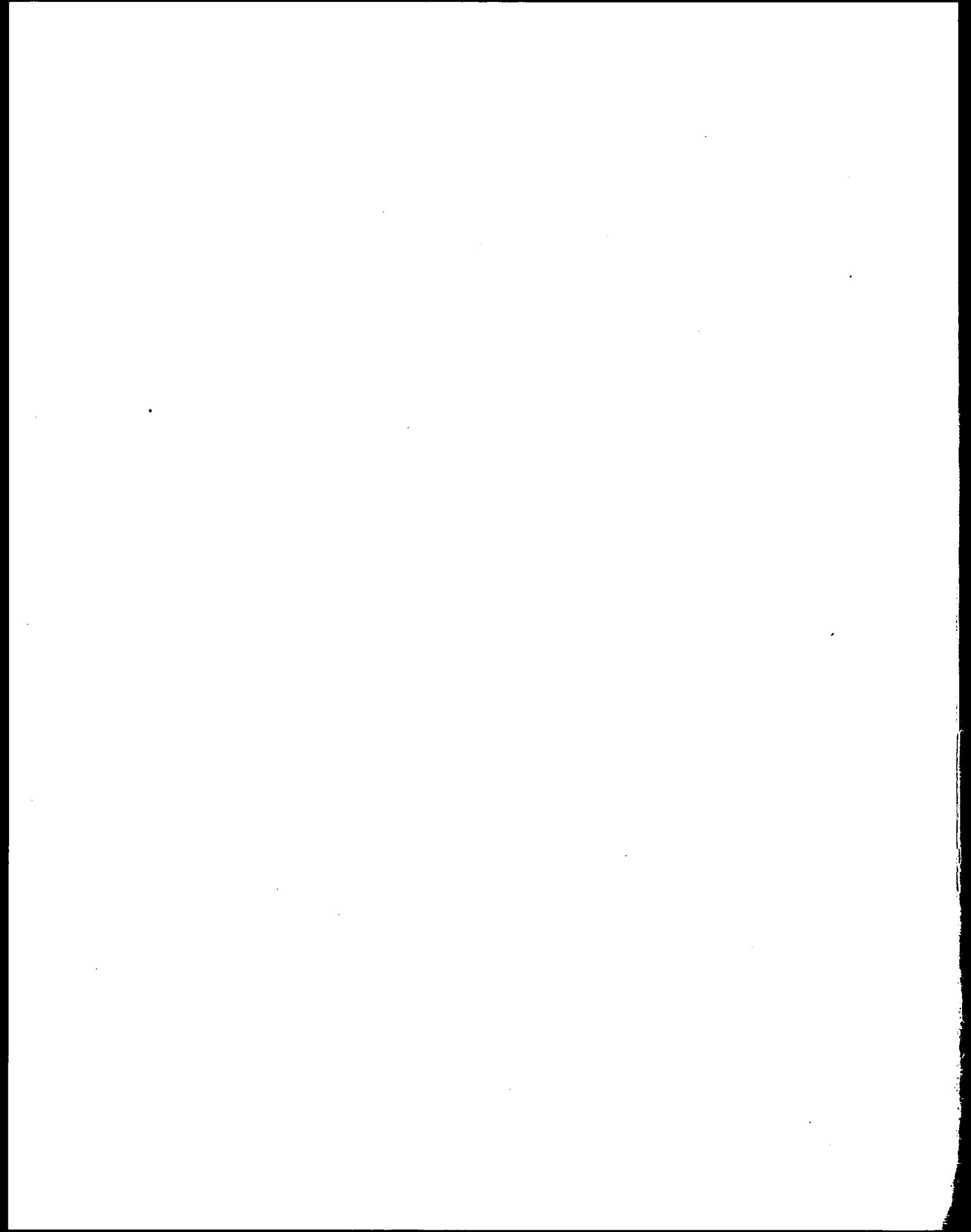
La fertilisation individuelle avec 50-100-50 g de $N-P_2O_5-K_2O$, soit $N = 50$ g, $P = 44$ g, $K = 42$ g, ou encore 25-125-75 g de $N-P_2O_5-K_2O$ à la plantation puis 25 g de N la 2^e année soit au total $N = 50$ g, $P = 55$ g, $K = 62$ g, donne de bons résultats. Dans le cas d'une fertilisation par bande et selon la richesse du sol au départ, les doses d'épandage peuvent être choisies dans une gamme de 28 à 56 - 56 à 112 - 28 à 56 kg/ha planté de N-P-K, soit 28 à 56 - 128 à 256 - 34 à 67 kg/ha planté de $N - P_2O_5 - K_2O$, ces doses étant concentrées sur la ligne de plantation, avec fractionnement possible ou renouvellement de la dose d'azote sur deux ans. D'après l'expérience 3, des doses plus faibles en phosphore et potassium mais équivalentes pour l'azote (25 à 50 - 18 à 37 - 10 à 20 kg/ha de N-P-K), toujours concentrées sur bandes, donnent de bonnes croissances sur deux ou trois ans. Mais un accroissement supérieur aurait peut-être été obtenu dans les mêmes conditions, avec un niveau de fertilisation plus élevé, niveau qui d'ailleurs pourrait demander à

être compensé par la suite lors des refertilisations ultérieures, pour obtenir une production égale de la plantation.

Localiser l'engrais, fournir phosphore et éventuellement potassium au moment décisif, fractionner l'apport d'azote, éviter les hauts dosages, choisir ses composants sont donc quelques-unes des règles de conduite essentielles pour une fertilisation rationnelle des plantations de boutures de peuplier.

Figure 11- METHODE D'EPANDAGE SUR DEUX LIGNES AVEC UN
EPANDEUR DU TYPE PENDULAIRE

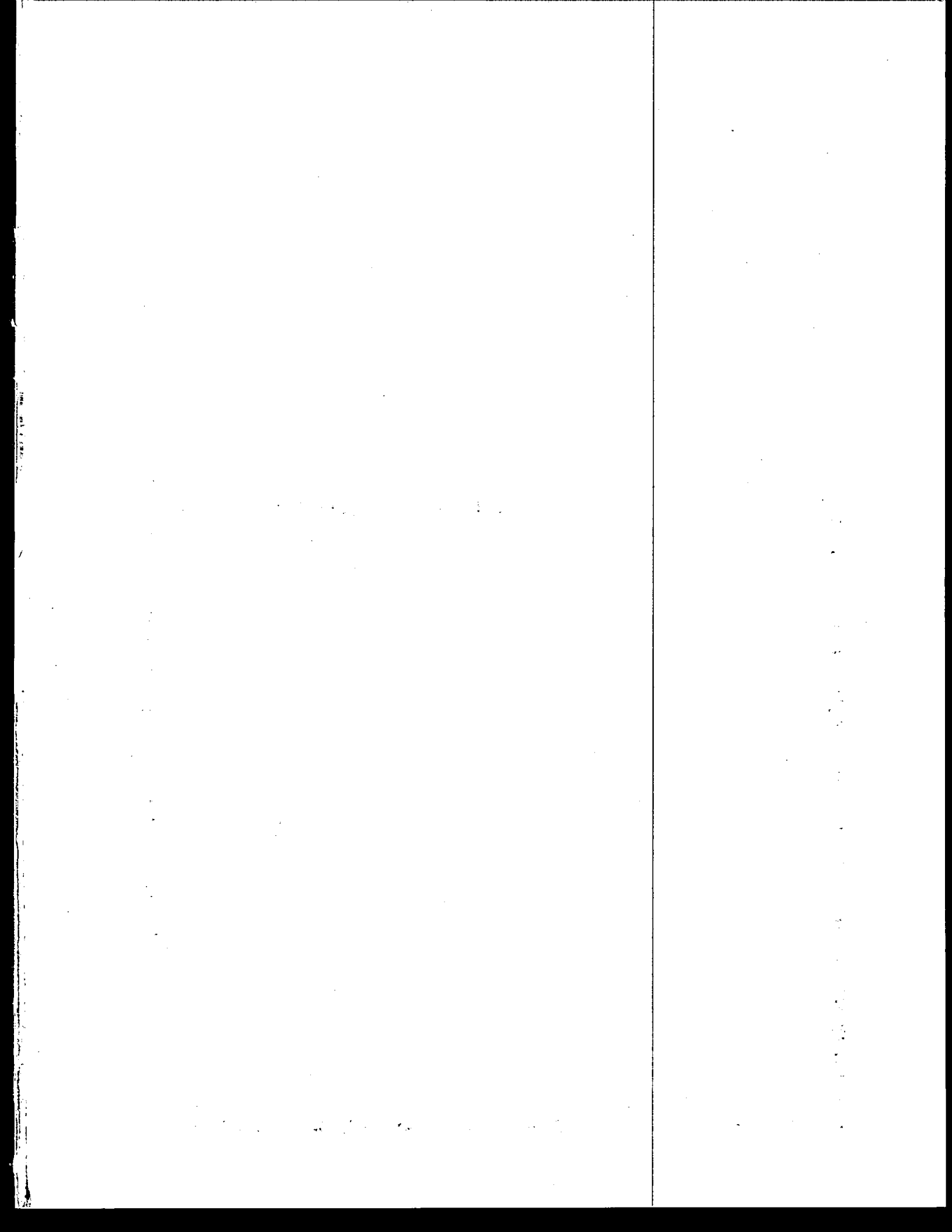




BIBLIOGRAPHIE

- 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.
- BARNEOUD, C. et P. BONDUELLE, 1970. Résultat d'essais de fertilisation du peuplier 'I214' en France. Rapport annuel AFOCEL. (135-86)
- GARBAYE, J., 1972. Influence de la date et de la hauteur du prélèvement sur le résultat de l'analyse foliaire chez deux clones de peuplier. Ann. Sci. forest., 29(4), 451-463.
- 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. et G. VALLÉE, 1979. Résultats d'essai de quarante traitements de fertilisation d'une plantation de boutures. Mémoire n° 57. Serv. de la Rech. Min. des Terres et Forêts. Québec (à paraître).
- 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.
- STEEL, R. et J. TORRIE, 1960. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill Book Company.
- TARIS, B., 1966. Peupliers et Populiculture. Editions Eyrolles, Paris, 207 p.
- VALLÉE, G. et collaborateurs, 1973. Rétrospective sur les recherches et le développement sur le peuplier dans la Région de l'Est-du-Québec. Min. des Terres et Forêts, Serv. de la Recherche, Québec. Rapport interne n° 112, 39 p.

**Achévé d'imprimer à
Québec en septembre 1979, sur
les presses du Service des impressions en régie
du Bureau de l'Éditeur officiel
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 des Terres et Forêts, par l'entremise de son Service de la recherche, poursuit une série de travaux de recherche et de développement sur le peuplier.



Éditeur officiel du Québec
Imprimé au Québec