A large, stylized outline of a Christmas tree in a brown color. The tree has a rounded, cloud-like top and a trunk that tapers towards the bottom. The branches are represented by several layers of curved, pointed shapes. The tree is positioned on the right side of the page, with its trunk extending down towards the word 'recherche' at the bottom.

FERTILISATION DE PLANTATIONS  
DE SAPIN BAUMIER CULTIVÉ  
POUR LA PRODUCTION  
D'ARBRES DE NOËL

II- ESSAIS AU DÉBUT DE LA CINQUIÈME  
SAISON DE CROISSANCE

par J.-M. Veilleux

recherche

Québec 

JEAN-MARC VEILLEUX est bachelier ès sciences appliquées (foresterie) de l'université Laval depuis 1965 et maître ès sciences forestières de la même institution depuis 1975. En 1965, il entrait à la division des sols de l'ancien Bureau de sylviculture et de botanique du ministère des Terres et Forêts du Québec et, en 1967, il passait au Service de la recherche nouvellement créé, à titre de chargé de recherches en fertilité des sols et en reboisement. Dans la nouvelle Direction de la recherche et du développement, il est chef de la division des plantations au Service de l'amélioration des arbres.

Depuis de nombreuses années, chacun des *Mémoires* et des autres rapports publiés par la Recherche forestière est révisé par un comité *ad hoc* d'au moins trois membres recrutés aussi bien à l'intérieur du Ministère que dans le milieu universitaire, la fonction publique fédérale ou les autres milieux de la recherche. Les responsables de la Recherche remercient les scientifiques qui ont accepté bénévolement de revoir le texte présenté ici et de participer ainsi à la diffusion des résultats des recherches menées au ministère de l'Énergie et des Ressources.

**FERTILISATION DE PLANTATIONS DE SAPIN BAUMIER CULTIVÉ  
POUR LA PRODUCTION D'ARBRES DE NOËL**

**II - ESSAIS AU DÉBUT DE LA CINQUIÈME SAISON DE CROISSANCE**

par

**JEAN-MARC VEILLEUX, ing.f., M.Sc.**

avec la collaboration technique de

**YVON LÉVESQUE, tech.f.**

**MÉMOIRE N° 89**

**SERVICE DE L'AMÉLIORATION DES ARBRES  
DIRECTION DE LA RECHERCHE ET DU DÉVELOPPEMENT  
MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES**

**1986**

Ce texte constitue un rapport partiel du projet de recherches TS 77-1

ISBN 2-550-16010-X

Dépot légal

Bibliothèque nationale du Québec

Tous droits réservés - Gouvernement du Québec

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier MM. Emery et Jean-Guy Lanctôt de Compton, M. Jean-Marie Lettre de Stanstead ainsi que M. Réal Vanasse d'Ayer's Cliff, pour avoir gracieusement mis à notre disposition les plantations utilisées pour nos essais et pour la bienveillante collaboration démontrée au cours de la réalisation de ce projet.

Nos remerciements s'adressent aussi au personnel de la région administrative de l'Estrie, particulièrement aux ingénieurs forestiers MM. Jean Dumoulin et Jean-Guy Houde, pour leur contribution à la bonne marche de nos travaux.

Enfin, nous sommes particulièrement redevables au personnel du Service de la recherche: au Dr Yvon Richard, ing.f., pour les traitements statistiques des données; aux techniciens du laboratoire dirigés par M. Yvan Auger, agent de maîtrise, pour les analyses physico-chimiques des sols et des tissus foliaires: à M. Raymond Castonguay, technicien en arts graphiques, qui a préparé les figures, et à Mlle Nicole Durand pour la dactylographie des textes.



## RÉSUMÉ

Des essais de fertilisation réalisés au début de la cinquième saison de croissance, dans les plantations de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël, tendent à démontrer que les arbres réagissent rapidement aux additions d'engrais. L'ampleur de la réaction est liée à la fertilité de la station puisque les réactions sont plus grandes dans les plantations où le niveau des éléments est le plus faible.

L'apport supplémentaire d'éléments nutritifs dans un sol où ils sont déjà surabondants s'est soldé par un effet négatif. L'excès d'un ou de plusieurs éléments favorise une croissance exagérée de la flèche terminale au dépend des autres parties de la tige. De plus, les doses d'azote supérieures à 40 g/plant sous la forme de nitrate d'ammonium ont causé des dommages sévères aux racines qui, dans certains cas, entraînent la mort des arbres traités.

Sur le plan individuel, les traitements montrent peu d'effet constant mais les réactions significatives sont toutes liées aux engrais azotés (N) appliqués seuls ou combinés à P et à K. Aucune différence significative n'est observée entre les divers traitements azotés, ce qui, à court terme, démontre l'inefficacité des doses élevées en azote.

Les effets de la fertilisation sur les changements de couleur des aiguilles ainsi que sur la croissance et la formation des parties de la tige sont de courte durée; souvent, les réactions tendent à diminuer au cours de la deuxième saison qui suit les traitements. Il est plus efficace d'appliquer des doses faibles d'engrais et de les répéter plus fréquemment, de préférence sur une base annuelle ou bisannuelle.

En tenant compte de l'âge des plantations et de la qualité de station, l'azote sera appliqué seul ou combiné, selon une dose annuelle variant entre 10 et 20 g par arbre. Les additions de phosphore et de potassium ne devraient guère dépasser 5 à 10 g/arbre, ce qui suffit à remplacer les quantités prélevées au cours de la saison de croissance.

## **ABSTRACT**

*Fertilization trials at the beginning of the fifth growing season, in balsam fir plantations producing Christmas trees, tend to show that trees react quickly to fertilizer additions. The importance of this response is related to the site index of the plantation, as responses are greater in plantations where levels of elements were the lowest.*

*Adding supplementary quantities of elements to soil where they are already abundant gave negative results. Excess of one or several elements fosters exaggerated growth of the terminal spire at the expense of other parts of the stem. Moreover, nitrogen doses larger than 40 g/plant (ammonium nitrate) caused severe damages to the roots that led to death of the treated trees in some cases.*

*On an individual basis, treatments show little constant effect but the significant responses are all related to nitrogen fertilizers applied alone or combined with P and K. No significant difference was observed between the various nitrogen treatments, which, in the short term, shows that large nitrogen doses are inefficient.*

*The effects of fertilization on changes in needle color as well as on growth and induction of the different stem parts were short-lived; responses often tend to diminish during the second season after treatments. Applying small doses and repeating them frequently is more efficient, preferably on an annual or biannual basis.*

*Taking into account age of the plantations and site index, nitrogen should be applied alone or combined, with annual doses varying between 10 and 20 g per tree. Phosphorus and potassium additions should not be over 5 to 10 g per tree, which is enough to replace quantities removed during one growing season.*

## TABLE DES MATIÈRES

	page
REMERCIEMENTS . . . . .	iii
RÉSUMÉ . . . . .	v
ABSTRACT . . . . .	vii
TABLE DES MATIÈRES . . . . .	ix
LISTE DES TABLEAUX . . . . .	xi
LISTE DES FIGURES . . . . .	xiii
LISTE DES ANNEXES . . . . .	xv
INTRODUCTION . . . . .	1
CHAPITRE I - MATÉRIEL ET MÉTHODES EXPÉRIMENTALES . . . . .	3
1.1 Caractéristiques des stations . . . . .	3
1.2 Dispositif expérimental . . . . .	4
1.3 Plantation . . . . .	4
1.4 Fertilisation . . . . .	6
1.5 Études sur le feuillage . . . . .	6
1.6 Études sur la formation et la croissance annuelle de certaines caractéristiques de l'arbre . . . . .	8
1.7 Analyses statistiques . . . . .	9
CHAPITRE II - RÉSULTATS ET DISCUSSION . . . . .	11
2.1 Taux de survie . . . . .	11
2.2 Étude sur le feuillage . . . . .	12
2.2.1 Couleur des aiguilles . . . . .	12
2.2.2 Longueurs d'aiguilles . . . . .	13
2.2.3 Teneurs en éléments nutritifs . . . . .	14

	page
2.3 Études sur la croissance . . . . .	16
2.3.1 Croissance de la flèche terminale . . . . .	19
2.3.2 Croissance des ramilles latérales-terminales . . . . .	20
2.3.3 Croissance des ramilles adventives . . . . .	22
2.4 Études sur la formation des parties de la tige . . . . .	23
2.4.1 Nombre de ramilles latérales-terminales par tige . . . . .	23
2.4.2 Nombre de ramilles adventives par tige . . . . .	24
2.4.3 Nombre de bourgeons apicaux par tige . . . . .	26
2.4.4 Nombre de bourgeons adventifs . . . . .	26
2.4.5 Nombre de bourgeons adventifs par centimètre de flèche terminale . . . . .	27
2.5 Discussion . . . . .	28
CONCLUSION . . . . .	35
RECOMMANDATIONS . . . . .	39
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	41
ANNEXES . . . . .	43

## LISTE DES TABLEAUX

	page
Tableau 1: Résultats des analyses physico-chimiques des sols des plantations de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël (Exprimés pour la terre fine, < 2 mm) . . .	5
Tableau 2: Traitements de fertilisation pour la plantation de 4 ans . . . . .	7
Tableau 3: Longueurs moyennes des aiguilles de l'année courante, obtenues à la fin des deux premières saisons de croissance après les traitements . . . . .	14
Tableau 4: Concentrations moyennes (p. 100) en éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante du sapin baumier, à la fin des trois premières saisons de croissance qui ont suivi le début des traitements de fertilisation . . . . .	17
Tableau 5: Accroissements annuels et totaux (cm) de la flèche terminale et des ramilles latérales-terminales et adventives obtenus au cours des trois premières saisons de croissance après la fertilisation . . . . .	21
Tableau 6: Formation des parties de la tige (nombre/tige) pour les bourgeons apicaux et adventifs ainsi que pour les ramilles latérales-terminales et adventives . . . . .	25



## LISTE DES FIGURES

	page
Figure 1: Identification des composantes de la tige qui ont été mesurées . . . . .	10
Figure 2: Variations des concentrations moyennes des éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante du sapin baumier, à la fin de la première saison de croissance, à la suite des traitements d'engrais simples . . . . .	18
Figure 3: Les effets significatifs de la fertilisation se traduisent par un plus grand nombre de bourgeons apicaux et adventifs, des accroissements supérieurs de la flèche terminale et des ramilles terminales et adventives et des aiguilles plus longues, d'un vert plus foncé . . . . .	34
Figure 4: L'excès d'un ou de plusieurs éléments se traduit souvent par une stimulation exagérée de la croissance des différentes parties de la cime, surtout de la flèche terminale .	34



## LISTE DES ANNEXES

	page
Annexe 1: Taux moyens de survie (p. 100) obtenus après 3 ans dans la plantation de M. Réal Vanasse, d'Ayer's Cliff, plantation de 1974 fertilisée en 1978 . . . . .	43
Annexe 2: Longueurs moyennes (mm) des aiguilles de l'année courante obtenues dans l'ensemble des trois plantations, à la fin des deux premières saisons de croissance après fertilisation . .	44
Annexe 3: Concentration moyenne (p. 100) en éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante du sapin baumier, à la fin des première et deuxième saisons de croissance après fertilisation, selon les traitements d'engrais . . . . .	45
Annexe 4: Sommation des accroissements (cm) et des formations (nombre) des parties de la tige pour les trois premières saisons de croissance qui ont suivi la fertilisation . . . .	46



## INTRODUCTION

Le présent rapport est le deuxième d'une série traitant d'essais de fertilisation dans des plantations de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël. Ce document fait état des résultats obtenus à la suite d'applications d'engrais chimiques au début de la cinquième saison de croissance, dans trois plantations de la région de l'Estrie.

Le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill) est très recherché comme arbre de Noël à cause de son odeur caractéristique, de sa forme, de son feuillage vert, doux et persistant. De plus, il réagit rapidement à la fertilisation et à la taille pour devenir facilement un arbre de haute qualité. Peu de travaux ont été entrepris avec cette essence. C'est pourquoi l'objectif premier de ce projet vise à connaître l'effet de traitements d'engrais chimiques simples ou commerciaux, appliqués à des doses variables, sur la formation, le développement et la croissance de certaines parties de la tige du sapin baumier.

Les renseignements obtenus devraient permettre d'établir les conditions nutritives et les besoins en fertilisants du sapin baumier planté en vue de la production d'arbres de Noël. De plus, ils faciliteront la mise en application du calendrier de fertilisation le plus profitable pour produire des arbres de Noël de qualité supérieure et, si possible, au cours d'une période de production raccourcie.

Les résultats présentés ici traitent des effets de la fertilisation sur les taux de survie, sur le feuillage (couleur, longueur et teneurs en éléments nutritifs), sur la croissance de la flèche terminale et des ramilles terminales et adventives et sur celles des bourgeons apicaux et adventifs. La description des stations de même que celle des méthodes expérimentales sont contenues dans le chapitre qui suit.

## CHAPITRE I

### MATÉRIEL ET MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

#### 1.1 CARACTÉRISTIQUES DES STATIONS

Les trois plantations ont été établies par les propriétaires sur d'anciennes terres cultivées, situées dans les limites des municipalités de Compton, Ayer's Cliff et Stanstead; elles sont toutes localisées au sud de la ville de Sherbrooke. Selon Rowe (1972), elles se retrouvent dans la section des Cantons-de-l'Est (L.5) de la région forestière des Grands-Lacs et du Saint-Laurent.

Les sols sont des tills de texture fine (loam), modérément ou imparfaitement drainés. La pente des terrains varie de nulle à légère (0 à 5 p. 100). Les propriétés physico-chimiques particulières aux sols de chaque plantation, exprimées au tableau 1, montrent peu de différences entre les trois endroits. Les sols de Compton contiennent plus d'argile et sont par conséquent plus lourds; sur ce terrain, la pente étant parfois nulle, le drainage est imparfait. Le pH ainsi que les teneurs en matière organique et en éléments nutritifs des sols ne présentent pas de restrictions majeures pour la culture du sapin baumier.

Le territoire jouit d'un climat tempéré humide de type continental. En janvier, la température moyenne se situe à -11°C tandis que celle de juillet atteint 18°C. La période sans gel varie de 100 à 130 jours. La précipitation annuelle moyenne est de 1 000 mm d'eau dont 25 à 30 p. 100 sous forme de neige (Anonyme, 1976). Dans l'ensemble, les trois plantations jouissent de conditions climatologiques à peu près identiques.

## 1.2 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Trois dispositifs expérimentaux ont été établis pour ces essais de fertilisation en début de la cinquième saison de croissance. Au printemps 1977, les plantations d'Emery Lanctôt (Compton) et de J.-M. Lettre (Stanstead) ont été traitées tandis que celle de R. Vanasse (Ayer's Cliff) l'était l'année suivante.

L'entente avec les propriétaires stipulait que pour la durée de nos essais (trois ans), la répression et la tonte des mauvaises herbes de même que les applications d'insecticides étaient de leur responsabilité. L'établissement du dispositif expérimental, la fertilisation, les échantillonnages pédologiques et foliaires, les mesures initiales ainsi que les remesurages subséquents étaient à la charge du personnel du Service de la recherche du M.E.R.

## 1.3 PLANTATION

Ce sont les propriétaires qui ont procédé à la plantation mécanisée des plants de sapin, quatre ans avant le début de nos essais. L'espace-ment alors utilisé a été de 1,8 mètre entre les rangées et d'environ 1,5 mètre entre les plants d'une même rangée. À ce moment-là, les jeunes arbres nouvellement mis en terre ont reçu une dose variant de 50 à 60 grammes d'un engrais complet du type démarreur (5-18-10).

Tableau 1: Résultats des analyses physico-chimiques des sols<sup>1</sup> des plantations de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël (Exprimés pour la terre fine, <2 mm)

Plantation		Ferti- sation année	Hori- zon <sup>3</sup>	Azote total kg/ha	Mat. orga- nique t/ha	C/N	pH	Phosph. disp.	Cations échangeables			Analyses chimiques <sup>2</sup>				Analyse granulométrique						
Endroit - Année	Sable p. 100								Limon p. 100	Argile p. 100	Classe textu- rale	kg/ha	Mg	K	Ca	Phosph. disp.	C/N	pH	Phosph. disp.	Mg	K	Ca
Compton -1973 (E. Lanctôt)	5 100	3 000	Ap C	147,6 43,2	18,1 8,9	5,6 5,7	60 60	106 77	140 120	1 975 1 320	38 41	41 38	21 21	Loam Loam								
															3 600	98,4	19,0	6,9	90	51	70	4 740
Stanstead -1973 (J.-M. Lettre)	3 600	3 600	Ap C	54,9	8,8	6,2	105	30	60	1 170	48	41	11	Loam Loam								
															4 500	115,8	14,9	5,5	410	165	210	2 905
Ayer's Cliff -1974 (R. Vanasse)	1 500		Ap C	33,6	11,9	5,8	250	45	105	1 225	47	44	9	Loam Loam								

<sup>1</sup> Les sols ont été échantillonnés au printemps, avant la fertilisation. Chaque résultat représente une moyenne de 10 échantillons.

<sup>2</sup> Les résultats exprimés en kg/ha et en t/ha sont calculés pour une densité du sol de 1,5 g/cm<sup>3</sup> sur une profondeur de 20 cm.

<sup>3</sup> La profondeur de l'horizon Ap variait entre 15 et 30 cm, avec une moyenne d'environ 23 cm.

#### 1.4 FERTILISATION

Dans chaque plantation, 50 traitements de fertilisation ont été appliqués (tableau 2). Chaque traitement a été répété 6 fois et une répétition d'un traitement contient cinq arbres consécutifs sur une même rangée. Les cinquante traitements d'une même répétition sont regroupés dans un seul bloc dans lequel leur distribution est aléatoire. Ainsi, la plantation fertilisée est subdivisée en six blocs de 250 arbres chacun.

Les traitements de fertilisation ont été réalisés soit à l'aide d'engrais simples pour lesquels le taux d'application de chaque élément en grammes par plant a été fixé au préalable, soit avec des engrais commerciaux à formule complète tels qu'ils sont vendus sur le marché. Ces derniers contiennent différentes teneurs en éléments majeurs ou mineurs qui ont été ajoutés aux trois éléments de base N-P-K.

Les engrais ont été appliqués manuellement le plus tôt possible au printemps, par fertilisation localisée sous la projection de la cime de chaque arbre, en évitant de fertiliser trop près du pied de l'arbre.

#### 1.5 ÉTUDE SUR LE FEUILLAGE

Pour étudier la dimension des aiguilles et faire l'analyse chimique du feuillage, tous les arbres des plantations ont été échantillonnés chaque automne, à la mi-octobre, au cours des trois années qui ont suivi la fertilisation. Les aiguilles de l'année ont été prélevées sur la première branche adventive supérieure qui s'était développée durant l'année en cours. Dans chaque plantation, un échantillon composite a été formé pour chaque traitement.

Avant d'être séchés, les échantillons bien identifiés étaient conservés en chambre froide à 0°C pour une période ne dépassant pas 10 jours. Les aiguilles ont été séchées à une température de 65°C, pendant 48 heures, dans un four à circulation d'air forcée.

Tableau 2: Traitements de fertilisation pour la plantation de 4 ans

N° du traitement <sup>1</sup>	Élément - g/plant N-P-K	Engrais <sup>2</sup> simples	N° du traitement	Quantité d'engrais g/plant	Engrais <sup>3</sup> complet N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O
1	0 0 0	-			
2	20 0 0	An			
3*	20 0 0	An			
4	40 0 0	An	31	100	10-10-10+
5	40 0 0	An	32	200	10-10-10+
6	80 0 0	An	33	400	10-10-10+
7	100 0 0	An	34*	100	10-10-10+
8	150 0 0	An	35*	200	10-10-10+
9	0 20 0	T	36	100	7-27-12+
10	0 40 0	T	37	200	7-27-12+
11	20 20 10	An, T, Km	38	400	7-27-12+
12	40 20 10	An, T, Km	39*	100	7-27-12+
13	20 10 10	An, T, Km	40*	200	7-27-12+
14	10 10 10	An, T, Km	41	100	8- 4-13+
15*	10 10 10	An, T, Km	42	200	8- 4-13+
16	20 20 20	An, T, Km	43	400	8- 4-13+
17*	20 20 20	An, T, Km	44*	100	8- 4-13+
18	40 40 40	An, T, Km	45*	200	8- 4-13+
19	80 80 80	An, T, Km	46	100	13-13-13+
20	10 10 10	U, T, Ks	47	200	13-13-13+
21	20 20 20	U, T, Ks	48	400	13-13-13+
22	40 40 40	U, T, Ks	49*	100	13-13-13+
23	80 80 80	U, T, Ks	50*	200	13-13-13+
24	20 40 10	U, T, Ks			
25	40 20 10	U, T, Ks			
26	20 10 10	U, T, Ks			
27*	20 10 10	U			
28*	40 0 0	U			
29	80 0 0	U			
30	100 0 0	U			

<sup>1</sup> Les traitements suivis d'un astérisque ont été répétés chaque année

<sup>2</sup> Engrais simples: Azote : An, nitrate d'ammonium, 34 p. 100 d'N  
 Phosphore: T, superphosphate triple, 46 p. 100 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
 Potassium: Km, muriate de potasse, 61 p. 100 de K<sub>2</sub>O  
 Ks, sulfate de potassium, 50 p. 100 de K<sub>2</sub>O

<sup>3</sup> Engrais complets: Types: N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O  
 10-10-10 + 2 p. 100 de MgO  
 7-27-12 + éléments mineurs (S, B, Ca, Zn, Mn, Mg, Fe, Ca)  
 8- 4-13 + 7 p. 100 de MgO + 16 p. 100 de S  
 13-13-13 + 3 éléments mineurs (Ca, Mg, S)

Les longueurs de 25 aiguilles séchées ont été mesurées au mm près pour chaque échantillon. Par la suite, on les a moulues à 20 mailles dans un broyeur avant d'entreprendre les déterminations chimiques d'éléments totaux.

Au laboratoire, la détermination de la quantité totale de chaque élément est établie selon les procédures d'analyse contenues dans Thomas *et al.* (1967) et Walsh (1971). L'azote et le phosphore sont déterminés par colorimétrie après une simple digestion tandis que les cations sont dosés par spectrophotométrie d'émission et d'absorption atomique après minéralisation.

Le spectre des couleurs de Munsell (Wilde et Voigt, 1972) adapté pour les tissus végétaux a été utilisé pour déterminer les changements significatifs de la couleur dus aux engrais. Ce spectre permet d'évaluer les couleurs (rouge, jaune, vert, bleu, pourpre) en fonction de leur teinte, leur nuance et leur luminosité. La teinte se situe à l'intérieur d'une échelle qui va des jaunes aux bleus. La luminosité varie de claire à foncée tandis que la nuance a comme point de départ les couleurs neutres.

#### 1.6 ÉTUDES SUR LA FORMATION ET LA CROISSANCE ANNUELLES DE CERTAINES CARACTÉRISTIQUES DE L'ARBRE

La formation et la croissance annuelles de certaines parties de la tige de chaque arbre ont été observées chaque automne au cours des trois années qui ont suivi la fertilisation. Le développement de ces caractéristiques (figure 1) est important parce qu'elles affectent directement la qualité finale d'un arbre de Noël aux points de vue de la forme et des densités de branchage et de feuillage. Les principales mesures qui ont été effectuées en fin de saison de croissance sont les suivantes:

- a) croissance de la flèche terminale;
- b) formation de bourgeons latéraux-terminaux;
- c) formation de bourgeons adventifs des entre-noeuds;
- d) formation et croissance des ramilles latérales-terminales;
- e) formation et croissance des ramilles adventives;
- f) conicité de la cime (forme, symétrie et défilement).

## 1.7 ANALYSES STATISTIQUES

Les données sur les taux de survie et les longueurs d'aiguilles de même que sur les accroissements et sur la formation des bourgeons et des ramilles ont été soumises, séparément pour chaque plantation, à des analyses de variance et à des comparaisons multiples (test de Duncan,  $P = 0,05$ ) afin de faire ressortir les différences significatives et les traitements qui les causent (Steel et Torrie, 1960).

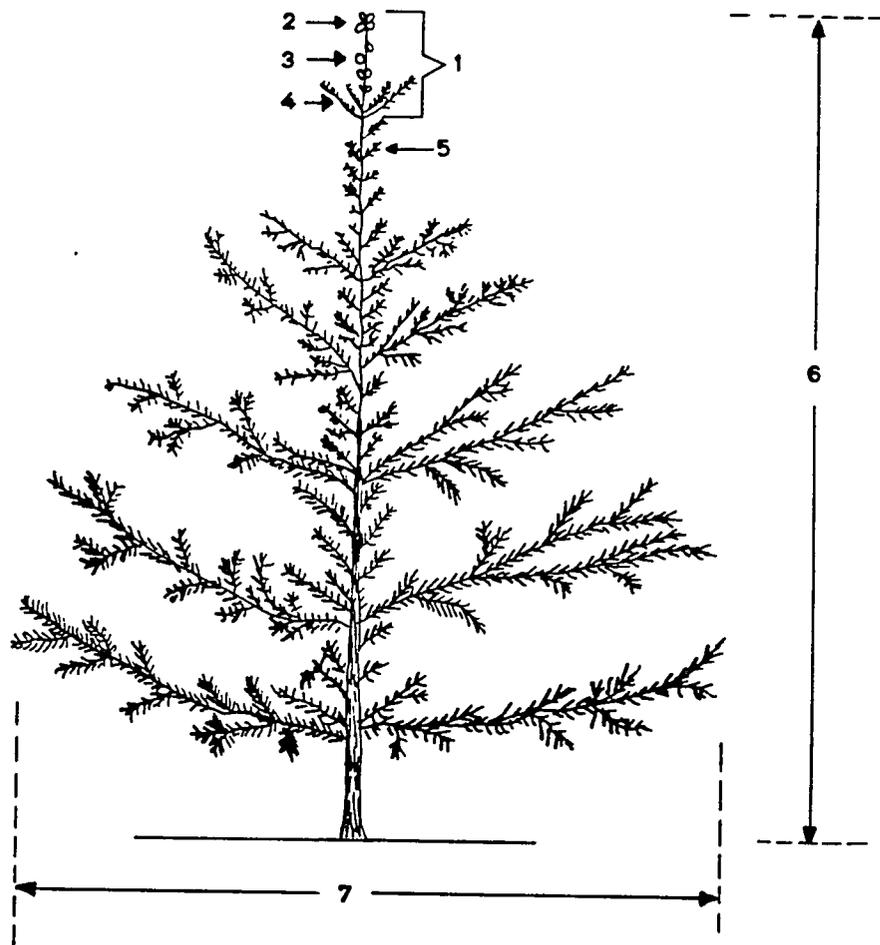


Figure 1: Identification des composantes de la tige qui ont été mesurées

1. Pousse ou flèche terminale
2. Bourgeons apicaux de la flèche terminale
3. Bourgeons adventifs de la flèche terminale
4. Ramilles latérales-terminales du verticille
5. Ramilles adventives
6. Hauteur totale
7. Diamètre de la cime

## CHAPITRE II

### RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats présentés ci-après tentent de faire ressortir, s'il y a lieu (pour les trois années qui ont suivi la fertilisation), l'effet des traitements d'engrais sur certaines caractéristiques des tiges, qui influencent directement la qualité des sapins de Noël. Pour ce faire, les réactions ont été observées sur les taux de survie, au niveau des aiguilles (couleur, longueur, teneurs en éléments nutritifs) ainsi que sur la croissance et la formation des différentes parties de la cime (flèche terminale, ramilles terminales et adventives, bourgeons apicaux et adventifs).

#### 2.1 TAUX DE SURVIE

Considérant qu'après quatre ans, la période d'établissement de la plupart des plantations est à peu près complétée, les cas de mortalité qui pourraient se présenter au cours des années subséquentes seront peu nombreux. Ainsi, pour les trois saisons qui ont suivi la fertilisation, aucune mortalité n'a été constatée dans la plantation chez J.-M. Lettre tandis que les quelques cas isolés observés à Compton seraient attribuables au soulèvement par le gel; d'ailleurs le phénomène n'est pas nécessairement apparu au cours de la saison qui a suivi immédiatement la fertilisation.

Par contre, la plantation R. Vanasse d'Ayer's Cliff, fertilisée l'année suivante (1978), a montré des taux de mortalité anormalement élevés dès la première saison de croissance qui a suivi les traitements. Ces derniers seraient la cause du phénomène puisque les cas de mortalité observés coïncident avec les plus fortes doses d'engrais qui ont été appliquées. Ainsi, l'addition de 150 g/plant d'azote ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) est suivie par un taux de mortalité atteignant 63 p. 100; ce taux diminue en même temps que les doses. Les traitements azotés aux taux de 80 et 100 g/plant affectent moins fortement la survie puisque les arbres morts comptent pour 10 et 20 p. 100 de la plantation. Avec les doses de 40 g/plant et moins d'éléments, les cas de mortalité sont plus rares et se reflètent avec moins de régularité. L'urée agit de façon identique au nitrate d'ammonium. De plus, quelques cas isolés de mortalité seraient attribuables à une infection par le champignon armillaire. L'annexe I fait ressortir les taux de survie obtenus dans la plantation d'Ayer's Cliff, tels qu'observés à la suite du remesurage de l'automne 1980, trois ans après la fertilisation.

## 2.2 ÉTUDES SUR LE FEUILLAGE

Les aiguilles de l'année courante ont été prélevées dans les plantations concernées au cours des trois automnes qui ont suivi la fertilisation. Tous les arbres d'une plantation ont été échantillonnés et les aiguilles prélevées ont été regroupées selon le traitement de fertilisation.

### 2.2.1 Couleur des aiguilles

En début d'expérience, les plantations de Stanstead et d'Ayer's Cliff présentaient des colorations semblables mais légèrement plus foncées que celles de la plantation de Compton où les verts étaient plus jaunâtres. Comparées au spectre des couleurs de Munsell (Anonyme, 1972), ces teintes variaient de 7,5 GY 5/6 pour les aiguilles au vert le plus foncé, à 2,5 G 5/6 pour les verts plus pâles et jaunâtres.

L'utilisation du spectre des couleurs de Munsell (Wilde et Voigt, 1972), adaptée pour les tissus végétaux, n'a pas permis de déterminer avec précision les changements significatifs de la couleur dus à un traitement en particulier. Ce travail a été d'autant plus laborieux que le jaune utilisé était incomplet au point de vue de la gradation des couleurs. Dans un même traitement, les changements de teintes des aiguilles étaient parfois attribuables à la différence génétique des arbres et non aux traitements (Turner, 1966). Cependant, dès la première saison après le traitement, des changements de couleurs attribuables aux engrais sont perceptibles. À Compton, les couleurs 5 GY 4/4 et 5 GY 3/4 ont été observées tandis que chez Vanasse et Lettre, les teintes les plus foncées se situent à 7,5 GY 4/4 et 7,5 GY 4/6. Ces changements seraient surtout attribuables aux traitements azotés.

### 2.2.2 Longueurs d'aiguilles

Les mesures de longueurs d'aiguilles ont été réalisées sur chaque échantillon composite pour les deux premières saisons de croissance après la fertilisation. Les aiguilles de la troisième année d'essais ont été broyées par erreur avant que les mesures de longueurs aient été effectuées.

Les données moyennes obtenues pour chaque plantation et pour l'ensemble des traitements sont exprimées au tableau 3, tandis que l'annexe 2 contient les données combinées par traitement pour les trois plantations.

Les analyses de variance pour les longueurs d'aiguilles montrent des différences significatives entre les traitements de fertilisation. Cependant, les comparaisons multiples qui en découlent ne font ressortir aucun traitement qui diffère du témoin. Souventes fois, surtout la deuxième année, les aiguilles des arbres témoins sont plus longues que celles de plusieurs arbres fertilisés.

Tableau 3. Longueurs moyennes des aiguilles de l'année courante, obtenues à la fin des deux premières saisons de croissance après les traitements

Endroit	Longueurs d'aiguilles (mm)			Valeurs de $F^1$
	Tous	Témoin	Min.-Max.	
<u>1<sup>re</sup> saison</u>				
Lanctôt, E.	24,9	22,1	21,0-29,7	7,37**
Lettre, J.-M.	23,3	24,0	20,0-27,2	5,07**
Vanasse, R.	22,2	20,9	19,0-25,2	3,85**
<u>2<sup>e</sup> saison</u>				
Lanctôt, E.	27,9	28,7	24,8-31,0	4,01**
Lettre, J.-M.	24,9	25,9	19,8-30,6	9,04**
Vanasse, R.	20,6	21,0	16,7-24,4	4,87**

<sup>1</sup> Valeurs de  $F$  obtenues par analyse de variance

\* Significatif à  $P = 0,95$

\*\* Significatif à  $P = 0,99$

ns non significatif

Les arbres de la plantation Lanctôt montrent les plus fortes réactions dès la première année, avec des aiguilles légèrement plus longues (24,9 mm comparativement à 23,3 mm chez Lettre et 22,2 mm chez Vanasse). Les réactions sont variables et incohérentes entre les traitements d'une même plantation et nettement différentes entre les trois plantations, ce qui rend difficile voire impossible l'interprétation et l'identification du ou des traitements les plus favorables (Annexe 2). De plus, les données de la deuxième année après la fertilisation sont particulièrement incompréhensibles en regard des applications d'engrais. Aucune réaction n'est décelée à la suite des traitements répétés sur une base annuelle.

### 2.2.3 Teneurs en éléments nutritifs

L'analyse chimique des principaux éléments nutritifs (N, P, K, Ca et Mg) a été réalisée pour les aiguilles de l'année courante, prélevées à la

fin de chacune des trois saisons de croissance qui ont suivi la fertilisation. Seule la plantation Vanasse n'a pu être échantillonnée à la fin de la troisième année.

Le tableau 4 montre les concentrations foliaires moyennes des éléments nutritifs qui ont été analysés. Pour chaque plantation, ce tableau fait ressortir les données pour le témoin, l'ensemble de la plantation de même que les valeurs minimales et maximales obtenues à la suite des traitements.

La plantation Lanctôt exhibe les concentrations foliaires les plus faibles des trois plantations, à l'exception du magnésium qui est le plus élevé avec 0,15 p. 100. Les teneurs en azote, phosphore, potassium et calcium sont généralement suffisantes dans les aiguilles des arbres témoins des trois plantations. Le magnésium foliaire, qui est nettement suffisant chez Lanctôt, se situe au palier de la déficience-suffisance chez Vanasse (0,10 p. 100) tandis qu'il est déficient chez Lettre (0,06 p. 100) lorsqu'on le compare aux données de Bruns (1973). Ce dernier établit les moyennes, exprimées en pourcentage, comme suit: azote: 1,50; phosphore: 0,19; potassium: 0,72; calcium: 0,62 et magnésium: 0,10.

Au niveau des concentrations foliaires, les engrais causent les plus fortes augmentations des éléments appliqués, dès la première année de la fertilisation. Les plus grandes variations résultent des applications d'engrais azotés, surtout dans la plantation Lanctôt où l'azote atteint de 1,56 à 2,83 p. 100; ces concentrations sont proportionnelles aux quantités d'éléments ajoutés. Toutefois, les différences tendent à s'estomper dès la deuxième année, sauf pour le potassium dont l'effet persiste encore. Dans tous les cas, les différences sont très minimes à compter de la troisième année, même si certains traitements sont répétés chaque printemps.

L'annexe 3 renferme les concentrations moyennes des aiguilles de l'année courante, pour les trois plantations combinées. Les résultats représentent les première et deuxième saisons après la fertilisation. Ceux de la troisième année ont été volontairement omis à cause des données manquantes de

la plantation Vanasse et parce qu'ils n'ajoutaient rien à la bonne compréhension des résultats. Ce tableau fait ressortir les variations dans les teneurs de chaque élément, pour les deux années d'échantillonnage considérées, d'abord entre les saisons de croissance pour les arbres témoins et ensuite, celles dues aux engrais. Les augmentations dues aux traitements azotés sont nettement plus faibles à compter de la deuxième année; d'ailleurs, la moyenne passe de 2,55 à 2,41 p. 100 tandis que le témoin s'accroît de 2,32 à 2,42 p. 100 pour la concentration d'azote.

À partir des données de première année de l'annexe 3, les histogrammes de la figure 2 font ressortir les variations des teneurs foliaires des cinq éléments analysés, à la suite des applications uniques d'engrais simples. L'azote et le phosphore foliaires augmentent proportionnellement aux doses. Ainsi celui-là passe de 2,32 p. 100 (témoin) à 3,20 p. 100 pour le traitement de 150 g/arbre d'azote tandis que le témoin dose 0,28 p. 100 de phosphore comparativement à 0,33 p. 100 après l'addition de 40 g/arbre de phosphore. Le potassium n'a pas été appliqué seul mais toujours combiné à N et P. L'histogramme montre un effet négatif ou de dilution à la suite de l'application de plus de 20 g/plant d'N; ainsi le témoin a une teneur de 0,82 p. 100 tandis qu'après l'application de 150 g/arbre d'N, la concentration de potassium foliaire n'atteint que 0,61 p. 100. Les teneurs en calcium et magnésium des aiguilles de sapin ne semblent pas tellement affectées et rien de constant ne ressort de ces données.

Le nitrate d'ammonium et l'urée donnent des résultats comparables pour les concentrations d'azote foliaire de même que le muriate et le sulfate de potassium en regard des teneurs en K des aiguilles. Il semblerait que les engrais mixtes produisent des augmentations de concentrations foliaires légèrement inférieures aux engrais simples pour des doses équivalentes.

### 2.3 ÉTUDES SUR LA CROISSANCE

Pour les trois années qu'ont duré ces essais, les accroissements annuels ont été mesurés pour certaines parties de la tige, à savoir: la

Tableau 4: Concentrations moyennes (p. 100) en éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante du sapin baumier, à la fin des trois premières saisons de croissance qui ont suivi le début des traitements de fertilisation

Endroit - Année <sup>1</sup>	Teneurs en éléments nutritifs (p. 100)		
	Témoin	Ensemble des 50 traitements	Variations min.-max.
<b>1) Azote total</b>			
Lanctôt - 1977(1)	1,87	2,29	1,56 à 2,88
- 1978(2)	2,30	2,22	1,96 à 2,47
- 1979(3)	1,93	1,80	1,60 à 2,10
Lettre - 1977(1)	2,58	2,72	2,55 à 3,05
- 1978(2)	2,46	2,52	2,25 à 2,76
- 1979(3)	2,21	2,25	2,09 à 2,48
Vanasse - 1978(1)	2,51	2,65	2,34 à 3,17
- 1979(2)	2,51	2,49	2,29 à 2,72
<b>2) Phosphore total</b>			
Lanctôt - 1977	0,25	0,28	0,23 à 0,34
- 1978	0,30	0,30	0,23 à 0,36
- 1979	0,23	0,23	0,20 à 0,26
Lettre - 1977	0,31	0,29	0,25 à 0,41
- 1978	0,25	0,28	0,24 à 0,36
- 1979	0,24	0,27	0,21 à 0,34
Vanasse - 1978	0,27	0,26	0,23 à 0,30
- 1979	0,26	0,27	0,24 à 0,32
<b>3) Potassium total</b>			
Lanctôt - 1977	0,78	0,75	0,48 à 0,92
- 1978	0,95	0,94	0,72 à 1,04
- 1979	0,72	0,69	0,59 à 0,77
Lettre - 1977	0,87	0,84	0,61 à 0,98
- 1978	0,89	0,94	0,77 à 1,14
- 1979	0,89	0,90	0,80 à 1,08
Vanasse - 1978	0,82	0,87	0,65 à 0,98
- 1979	0,74	0,79	0,62 à 0,90
<b>4) Calcium total</b>			
Lanctôt - 1977	0,60	0,66	0,49 à 0,98
- 1978	0,68	0,68	0,60 à 0,77
- 1979	0,72	0,69	0,59 à 0,78
Lettre - 1977	0,78	0,77	0,69 à 0,88
- 1978	0,83	0,81	0,59 à 1,02
- 1979	0,89	0,90	0,76 à 1,08
Vanasse - 1978	0,67	0,77	0,66 à 0,92
- 1979	0,81	0,78	0,65 à 0,92
<b>6) Magnésium total</b>			
Lanctôt - 1977	0,15	0,13	0,10 à 0,15
- 1978	0,13	0,13	0,11 à 0,16
- 1979	0,17	0,14	0,11 à 0,17
Lettre - 1977	0,06	0,06	0,04 à 0,08
- 1978	0,08	0,09	0,07 à 0,10
- 1979	0,09	0,10	0,08 à 0,12
Vanasse - 1978	0,10	0,09	0,08 à 0,11
- 1979	0,13	0,11	0,09 à 0,13

<sup>1</sup> Année: celle de l'échantillonnage, (1) 1<sup>re</sup> saison après fertilisation, (2) 2<sup>e</sup> saison après fertilisation, (3) 3<sup>e</sup> saison après fertilisation.

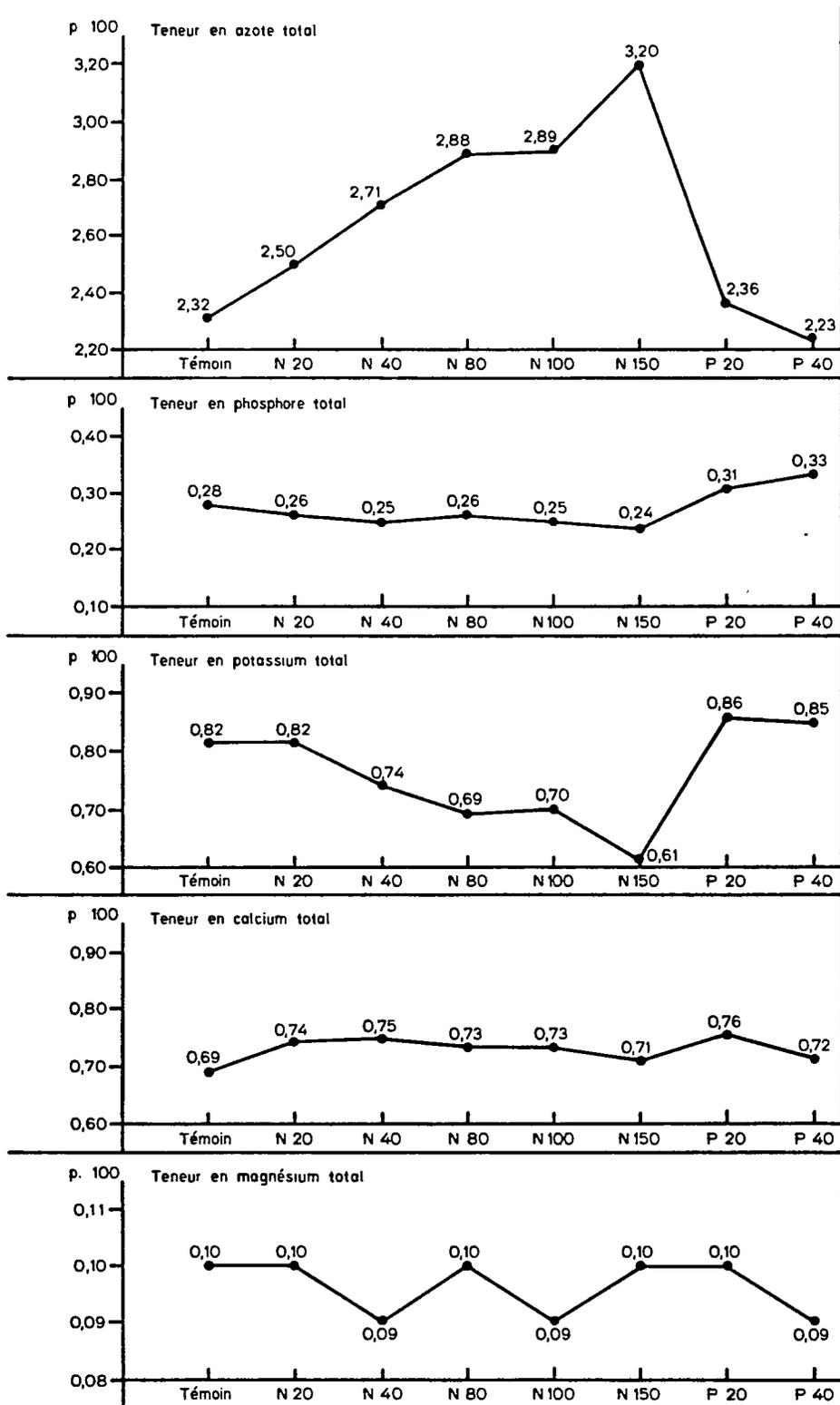


Figure 2: Variations des concentrations moyennes des éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante du sapin baumier, à la fin de la première saison de croissance, à la suite des traitements d'engrais simples

flèche terminale, les ramilles latérales-terminales et les ramilles adventives. Pour faire ressortir l'effet global des différents traitements d'engrais et afin de faciliter la bonne compréhension, les différentes données des trois plantations mises à l'essai ont été regroupées dans l'annexe 4. Nous tenterons, toutefois, de faire ressortir, s'il y en a, les réactions particulières qui auraient été observées dans l'une ou l'autre des plantations.

### 2.3.1 Croissance de la flèche terminale

Le tableau 5 renferme les croissances annuelle et totale de la flèche terminale obtenues pour l'ensemble des traitements dans chaque plantation. Le modèle des réactions est semblable dans les trois plantations; les différences observées dans l'amplitude des réactions sont attribuables aux qualités des stations sur lesquelles les essais ont été réalisés. Rappelons que les concentrations foliaires en éléments nutritifs étaient les plus faibles chez Lanctôt.

Ainsi, les arbres témoins chez Lettre et Vanasse montrent les meilleurs accroissements en hauteur au cours des trois années d'observations, avec respectivement 109,9 et 113,6 cm, comparativement à 80,8 cm chez Lanctôt. Les sols moins fertiles et surtout moins propices à la culture du sapin à Compton causent principalement cette diminution de croissance.

La plantation Lanctôt est la seule des trois où l'effet des engrais se traduit par une augmentation de croissance de la flèche terminale supérieure au témoin, l'effet des engrais se faisant surtout ressentir au cours des deux premières années après la fertilisation. Bien que l'analyse de variance indique une différence significative entre les traitements, les comparaisons multiples ne permettent pas de faire ressortir de traitements qui diffèrent. Après trois ans, sauf pour le traitement unique de 40 g/plant de phosphore, tous les autres ont produit une réaction positive sur la croissance de la flèche terminale.

Ailleurs, chez Lettre et Vanasse, l'effet de la fertilisation n'est pas tellement évident et, le plus souvent, les accroissements des arbres témoins sont supérieurs à ceux des arbres fertilisés; les différences entre les traitements ne sont pas significatives chez Vanasse. La bonne fertilité des sols à ces deux endroits a peut-être contré l'effet des engrais.

L'examen du tableau 5 révèle pour les trois plantations, un modèle de réaction à peu près semblable entre les saisons de croissance qui suivent la fertilisation. Les accroissements de la flèche terminale augmentent avec l'âge de la plantation, indépendamment des traitements et les différences sont significatives entre la première et la troisième année. Ainsi, les données moyennes annuelles d'accroissement en hauteur sont respectivement de 28,1, 34,2 et 40,4 cm pour les trois premières années après traitement; c'est la plantation Lanctôt qui affiche les plus faibles croissances.

Les réactions aux traitements répétés sur une base annuelle ne sont nullement perceptibles. D'ailleurs, les arbres témoins montrent le plus souvent, en troisième année, des accroissements supérieurs à ceux des arbres fertilisés, même dans la plantation Lanctôt.

Dans l'ensemble, les engrais azotés à base de nitrate d'ammonium auraient produit des accroissements plus grands que ceux utilisant l'urée, sans que les différences soient significatives. Aucun engrais commercial ne montre d'effet plus grand que d'autres à formule complète; toutefois, les traitements apportant de 10 à 20 g d'azote par arbre semblent les meilleurs. Le phosphore appliqué seul n'a pas favorisé la croissance de la flèche terminale; la dose à 40 g/plant a même eu un effet plutôt négatif.

### 2.3.2 Croissance des ramilles latérales-terminales

Les accroissements annuels moyens au niveau des ramilles latérales-terminales apparaissent au tableau 5 et ils sont à peu près identiques pour les trois plantations; ils se situent aux environs de 23,0 cm par année.

Tableau 5: Accroissements annuels et totaux (cm) de la fièche terminale et des ramilles latérales-terminales et adventives obtenus au cours des trois premières saisons de croissance après la fertilisation

Plantation	Accroissement en cm <sup>1</sup>						Valeurs de F <sup>2</sup>	
	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année	3 <sup>e</sup> année	Total des trois années		Années	Traitements	
				Moyen	Variations (min.-max.)			
<b>1- Fièche terminale</b>								
Lancôt <sup>3</sup>	27,1a (22,1)	32,4ab (24,9)	37,1b (37,2)	96,7 (80,8)	73,2 à 112,6	134,52**	2,16**	
Lettre	27,6a (27,9)	35,3b (37,1)	44,6c (44,9)	107,5 (109,9)	94,9 à 121,0	510,98**	1,95**	
Vanasse	29,5a (32,3)	34,8ab (35,5)	39,5b (45,9)	103,8 (113,6)	90,5 à 116,9	151,24**	1,33ns	
Moyenne	28,1 (27,4)	34,2 (32,5)	40,4 (42,6)	102,6 (102,3)				
<b>2- Ramilles latérales-terminales</b>								
Lancôt	20,3a (21,0)	23,1a (15,4)	23,8a (24,1)	67,2 (59,9)	52,3 à 77,6	30,31**	1,74**	
Lettre	19,7a (18,8)	24,3b (24,0)	26,9b (27,6)	70,9 (70,5)	64,0 à 79,7	298,77**	1,99**	
Vanasse	20,7a (21,3)	22,0ab (20,8)	25,7b (28,9)	68,4 (70,1)	57,7 à 74,6	124,67**	1,52**	
Moyenne	20,2 (20,4)	23,1 (20,1)	25,5 (26,9)	68,9 (67,2)				
<b>3- Ramilles adventives</b>								
Lancôt	9,9a (8,8)	14,6b (12,5)	17,6b (15,0)	42,1 (36,3)	27,3 à 50,9	401,12**	3,40**	
Lettre	9,3a (9,8)	15,1b (15,4)	18,1b (18,6)	42,6 (43,8)	37,0 à 50,5	739,45**	2,13**	
Vanasse	10,9a (12,0)	15,0b (15,5)	21,0c (21,1)	46,9 (48,7)	39,0 à 56,5	795,25**	2,00**	
Moyenne	10,0 (10,2)	14,9 (14,5)	18,9 (18,2)	44,2 (42,9)				

1 Les données exprimées entre parenthèses représentent les valeurs obtenues pour les arbres témoins.

2 Valeurs de F obtenues par analyses de variance. \*: significatif à P = 0,95; \*\*: significatif à P = 0,99;

ns = non significatif.

3 Pour une plantation donnée, les moyennes annuelles des traitements de fertilisation (même ligne horizontale) qui sont suivies d'une lettre identique ne diffèrent pas au niveau P = 0,95.

Le modèle des réactions est à peu près semblable chez Lettre et chez Vanasse où les différences d'accroissements sont faibles entre les arbres témoins et les arbres fertilisés. D'ailleurs, les accroissements des arbres témoins sont souvent plus grands que ceux de certains arbres fertilisés.

Dans la plantation Lanctôt par contre, l'effet des engrais sur la croissance des ramilles latérales-terminales est mieux perçu. Cette différence est particulièrement ressentie au cours de la deuxième année, pendant laquelle les engrais ont favorisé la croissance par près de 7,7 cm de plus que dans les arbres témoins. Cependant, même si l'analyse de variance montre des valeurs de  $F$  significatives entre les traitements, les comparaisons multiples ne permettent pas de faire ressortir les traitements qui diffèrent.

L'analyse des résultats des trois plantations, prises individuellement ou regroupées selon l'annexe 4, ne permet pas d'identifier le ou les traitements qui ont particulièrement favorisé la croissance des ramilles latérales-terminales. Les applications uniques de 10 à 20 g d'éléments par plant sembleraient aussi efficaces que les doses les plus élevées ou les doses répétées sur une base annuelle. Les doses d'azote supérieures à 40 g/plant, surtout à base d'urée, ont un effet négatif et l'azote seul est aussi efficace que les traitements mixtes ou combinés.

Les accroissements des ramilles latérales-terminales augmentent avec l'âge de la plantation, indépendamment des traitements d'engrais. Les différences sont faibles mais les comparaisons multiples indiquent que la première année diffère de la troisième de façon significative.

### 2.3.3 Croissance des ramilles adventives

La croissance des ramilles adventives augmente avec l'âge des plantations sans égard aux traitements. Dans les plantations Lettre et Vanasse, les différences entre les valeurs des arbres témoins et celles des arbres fertilisés sont faibles; souvent, ces derniers montrent des accroissements inférieurs. Par contre, dans la plantation Lanctôt, les accroissements

obtenus au cours de la 3<sup>e</sup> saison de croissance reflètent encore l'effet des additions d'engrais.

Les traitements de 20 et 40 g/plant de phosphore seraient inefficaces et même négatifs pour ce qui est de la croissance des ramilles adventives. Il en serait de même pour les traitements élevés de 80 et 100 g/plant d'azote sous forme d'urée. L'azote seul (20 g/plant) ou combiné avec 20 g chacun de P et K semble efficace. D'ailleurs, dans la plantation Lanctôt, le traitement combiné de 20 g/plant de chaque élément est le seul qui diffère significativement par rapport au témoin. L'effet des traitements répétés sur une base annuelle n'est pas bien défini.

#### 2.4 ÉTUDES SUR LA FORMATION DES PARTIES DE LA TIGE

La formation et le développement de certaines parties de la tige auront un effet direct sur la densité finale de la cime. C'est pourquoi la formation des ramilles latérales-terminales et adventives, exprimée en nombre par tige, de même que celle des bourgeons apicaux et adventifs a été dénombrée. À partir de ces données, une autre valeur a été calculée en faisant le rapport du nombre de bourgeons adventifs formés par centimètre de flèche terminale. Le tableau 6 renferme les données annuelles moyennes de chaque plantation comparée ainsi que les sommations des quantités totales de ramilles et de bourgeons formés pour les trois années. Les valeurs de *F* obtenues pour les analyses de variance dans chaque plantation, avec les données regroupées selon les années et selon les traitements, sont aussi comprises dans ce tableau. L'annexe 4 montre les réactions combinées des trois plantations selon les traitements.

##### 2.4.1 Nombre de ramilles latérales-terminales par tige

L'année de la fertilisation, les ramilles latérales-terminales dénombrées avaient été engendrées par les bourgeons apicaux formés au cours de la saison précédente; seul leur accroissement pourrait être lié aux engrais. Dans les plantations Lettre et Lanctôt, certains traitements de fertilisation

auraient favorisé l'augmentation du nombre de ramilles latérales-terminales par rapport au témoin. Les différences sont faibles et non significatives, ce qui rend impossible l'identification d'un ou des traitements plus favorables. C'est le contraire qui se produit chez Vanasse alors que les arbres témoins arborent plus de ramilles latérales. Dans l'ensemble, leur nombre augmente avec les années et de façon significative dans deux cas (Lettre et Vanasse), sans égard à la fertilisation. Ainsi, la production de ramilles, qui se situait à 4,1 la première année, atteint 4,9 au cours de la troisième saison.

#### 2.4.2 Nombre de ramilles adventives par tige

Les ramilles adventives de la première saison après la fertilisation se sont développées à partir des bourgeons adventifs formés au cours de l'année précédant les traitements. Au cours des trois années qu'ont duré les essais, pour les trois plantations combinées, la production annuelle moyenne a été respectivement de 20,0, 23,8 et 26,6 ramilles adventives par tige, ce qui se traduit par une production totale moyenne de 70,4 ramilles adventives par tige. Chez Lanctôt, les différences ne sont pas significatives entre les années tandis que chez Lettre et Vanasse, les données de la première année diffèrent d'avec celles de la troisième saison. La production de ramilles adventives est la plus faible dans la plantation Lanctôt (56,4) et la plus élevée chez Lettre (82,9).

Selon les analyses de variance, seule la plantation Lanctôt montre une valeur de  $F$  significative entre les traitements. À l'aide des comparaisons multiples, il ressort que le traitement 16 diffère de façon significative du témoin. Ce traitement consiste à appliquer en une fois, 20 g/arbre de chaque élément (N-P-K), ce qui s'est traduit par une production de 70,1 ramilles en trois ans, comparativement à 39,4 ramilles adventives pour le témoin. Le phosphore seul n'a pas été efficace tandis que l'urée se compare au nitrate d'ammonium. Les traitements azotés avec ou sans phosphore et potassium ont tous favorisé le développement au cours des trois années. L'effet des traitements répétés sur une base annuelle est mal défini. Chez Lettre et chez

Tableau 6: Formation des parties de la tige (nombre/tige) pour les bourgeons apicaux et adventifs ainsi que pour les ramilles latérales-terminales et adventives

	Formation des parties de la tige (nombre/tige) <sup>1</sup>						Valeurs de F <sup>2</sup>	
	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année	3 <sup>e</sup> année	Moyen	Variations (Min.-Max.)	Années	Traitements	
								Total
<b>1- Ramilles latérales-terminales</b>								
Lancôt <sup>3</sup>	4,1a (3,6)	4,4a (4,0)	4,4a (3,8)	12,9 (11,4)	11,3 - 14,6	4,87**	0,95ns	
Lettre	4,4a (4,4)	4,4a (4,1)	5,2b (5,0)	14,0 (13,5)	12,7 - 15,4	108,84**	1,10ns	
Vanasse	3,8a (4,7)	4,9b (5,2)	5,2b (6,0)	13,9 (15,8)	12,2 - 15,8	151,58**	1,09ns	
Moyenne	4,1 (4,2)	4,6 (4,4)	4,9 (4,9)	13,6 (13,5)				
<b>2- Ramilles adventives</b>								
Lancôt	18,6a (14,2)	18,1a (15,6)	17,9a (11,0)	54,6 (40,7)	39,4 - 70,1	0,89ns	1,90**	
Lettre	24,1a (24,4)	25,2ab (29,5)	33,6b (27,8)	82,9 (81,7)	64,8 - 97,0	119,35**	1,06ns	
Vanasse	17,3a (17,8)	28,2b (30,0)	28,2b (31,2)	73,7 (80,6)	63,3 - 88,0	149,27**	0,77ns	
Moyenne	20,0 (18,8)	23,8 (25,0)	26,6 (23,3)	70,4 (67,1)				
<b>3- Bourgeons apicaux</b>								
Lancôt	4,5a (4,2)	4,9a (4,0)	4,8a (5,5)	14,2 (13,7)	12,8 - 15,2	14,48**	0,85ns	
Lettre	4,8a (4,6)	5,2a (5,3)	5,4a (4,8)	15,4 (14,7)	14,0 - 16,7	73,81**	1,36ns	
Vanasse	5,2a (5,5)	5,6a (5,8)	5,9a (5,5)	16,7 (16,9)	15,1 - 18,5	36,15**	0,92ns	
Moyenne	4,8 (4,8)	5,2 (5,0)	5,4 (5,3)	15,4 (15,1)				
<b>4- Bourgeons adventifs</b>								
Lancôt	18,9a (13,4)	19,1a (12,3)	19,4a (19,5)	57,4 (43,6)	43,2 - 69,9	0,48ns	1,66**	
Lettre	25,0a (25,6)	29,9a (28,3)	31,5a (31,3)	86,4 (85,2)	75,3 - 105,3	58,01**	1,37ns	
Vanasse	22,1a (25,6)	26,2a (28,2)	26,9a (24,4)	75,8 (78,2)	67,2 - 92,3	31,20**	1,16ns	
Moyenne	22,2 (21,5)	25,1 (22,9)	25,9 (25,1)	73,2 (69,5)				
<b>5- Nombre de bourgeons adventifs/cm de flèche terminale</b>								
Lancôt	0,69a (0,60)	0,60ab (0,50)	0,53ab (0,53)	0,61 (0,55)	0,54 - 0,66	55,21**	1,14ns	
Lettre	0,91a (0,93)	0,85ab (0,74)	0,69b (0,68)	0,82 (0,79)	0,73 - 0,91	146,73**	1,56ns	
Vanasse	0,91a (0,80)	0,78b (0,80)	0,58b (0,53)	0,76 (0,71)	0,68 - 0,90	328,44**	1,30ns	
Moyenne	0,84 (0,78)	0,74 (0,68)	0,60 (0,58)	0,73 (0,68)				

1 Les données exprimées entre parenthèses représentent les valeurs obtenues pour les arbres témoins  
2 Valeurs de F obtenues par analyses de variance. \*: significatif à P = 0,95; \*\*: significatif à P = 0,99; ns: non significatif.  
3 Pour une plantation donnée, les moyennes annuelles des traitements de fertilisation (même ligne horizontale) qui sont suivies d'une lettre identique ne diffèrent pas au niveau P = 0,95.

Vanasse, les arbres témoins montrent plus de ramilles adventives que les arbres fertilisés, d'où aucune différence significative n'est décelée.

#### 2.4.3 Nombre de bourgeons apicaux par tige

Les bourgeons apicaux qui font l'objet de la présente étude se développent l'année suivante en ramilles latérales-terminales qui forment le verticille. Le bourgeon terminal à partir duquel se formera la flèche terminale est exclu de ce dénombrement. Dans l'ensemble des plantations, le nombre de bourgeons apicaux augmente avec l'âge et les différences sont significatives; il s'accroît de 4,8 à 5,4 bourgeons/tige. Toutefois, les comparaisons multiples ne permettent pas de déterminer les années qui diffèrent. La plantation Vanasse est la plus productive avec une production globale moyenne de 16,7 bourgeons en trois ans, tandis qu'elle est de 15,4 chez Lettre et 14,2 chez Lanctôt.

Au niveau des traitements, les analyses de variance n'indiquent aucune valeur de  $F$  significative pour les trois plantations. Les engrais auraient quand même favorisé la formation des bourgeons apicaux chez Lettre et Lanctôt, mais de façon incohérente. Ainsi, l'examen des données ne permet pas de faire ressortir de traitement en particulier. Les applications d'azote seul à taux élevés ( $>40$  g/plant) auraient un effet négatif.

#### 2.4.4 Nombre de bourgeons adventifs

Le nombre de bourgeons adventifs varie peu entre la première et la troisième années d'essais. Les différences entre les saisons de croissance ne sont pas significatives chez Lanctôt, mais elles le sont dans les deux autres plantations sans qu'il soit possible de déterminer celles qui diffèrent. La production annuelle moyenne pour les trois plantations combinées passe respectivement de 22,2 à 25,1 et finalement à 25,9 bourgeons par tige (tableau 6).

Ce qui attire particulièrement l'attention dans ce tableau, ce sont les écarts qui existent entre chaque plantation, en ce qui a trait au

nombre total de bourgeons adventifs produits. En effet, la plantation Lettre est celle qui en montre le plus en trois ans avec une moyenne totale de 86,4 comparativement aux 75,8 dénombrés chez Vanasse. À Compton (Lanctôt), la production est la plus faible avec seulement 57,4 bourgeons adventifs, soit une moyenne annuelle de 19,1.

Les analyses de variance indiquent une valeur de  $F$  significative seulement dans la plantation Lanctôt où le traitement 2 (20 g/plant d'azote) diffère significativement par rapport au témoin. Dans cette plantation, presque tous les traitements de fertilisation ont favorisé la formation des bourgeons adventifs; par contre, ceux où le phosphore a été appliqué seul n'auraient eu que peu d'effet. L'effet des traitements répétés sur une base annuelle est mal défini. Ailleurs, les réactions aux additions d'engrais ne sont pas tellement évidentes et cohérentes, surtout que les arbres témoins arborent souvent plus de bourgeons adventifs que les arbres fertilisés.

#### 2.4.5 Nombre de bourgeons adventifs par centimètre de flèche terminale

Cette donnée est obtenue en divisant le nombre de bourgeons adventifs par l'accroissement en centimètres de la flèche terminale. Dans le cas présent, pour chaque plantation, le rapport a d'abord été calculé sur une base annuelle et ensuite pour l'ensemble des trois années. Un rapport élevé indique la formation d'un plus grand nombre de bourgeons adventifs par unité de longueur de la flèche terminale, ce qui se traduira par une densité plus forte des ramilles et du feuillage sur les entrenoeuds. Toutefois, ce rapport ne peut renseigner sur la bonne disposition ou répartition des bourgeons adventifs sur la flèche terminale.

La consultation du tableau 6 révèle que pour les trois plantations, le rapport diminue avec les années et ces diminutions sont significatives à compter de la deuxième saison de croissance. Dans l'ensemble, le rapport qui était de 0,84 bourgeon/cm est passé à 0,74 la deuxième année et, finalement, à 0,60 la dernière année des essais. C'est la plantation Lettre qui montre les meilleurs rapports (0,79); elle est suivie dans l'ordre

décroissant par celle de chez Vanasse (0,71) puis par celle de chez Lanctôt (0,55), cette dernière étant nettement moins productive.

Selon les analyses de variance, l'effet des traitements de fertilisation n'est pas significatif dans l'ensemble des plantations. Cependant, l'observation des données prises séparément par année dans chaque plantation démontre que les rapports de certains arbres fertilisés sont plus élevés que celui des arbres témoins, surtout l'année même de la fertilisation. La différence, qui existe encore l'année suivante, est passablement diminuée. Ce sont surtout les traitements uniques d'engrais azotés à base de nitrate d'ammonium ou d'urée, appliqués à taux élevés, qui favorisent les plus grands rapports, mais de façon non significative.

Dans l'ensemble, ce rapport indique que l'augmentation du nombre de bourgeons adventifs n'est pas proportionnelle à l'accroissement de la flèche terminale. Il en résulte une diminution du rapport et, par le fait même, de la densité de branches adventives sur les entrenoeuds. Ainsi, les traitements de fertilisation affecteraient plus la croissance de la flèche terminale que la formation des bourgeons adventifs.

## 2.5 DISCUSSION

Dans une des trois plantations (Vanasse), il est apparu que les traitements au nitrate d'ammonium, avec des doses d'azote supérieures à 40 g/plant, ont causé la mortalité des arbres qui ont reçu ces traitements. Pour les doses identiques avec l'urée, l'effet observé est aussi perçu mais les dommages sont moins importants. L'effet des fortes doses de phosphore et de potassium n'est pas décelé.

La mortalité aurait été causée par une accumulation trop forte de sels solubles dans le sol au niveau des racines, accumulation due aux conditions climatologiques qui ont prévalu en 1978. En effet, dans les jours qui ont suivi la fertilisation, les précipitations ont été abondantes et de longue durée. Par contre, une sécheresse débutait à compter de la troisième semaine

de juin jusqu'en début d'août, ce qui a eu pour effet d'aggraver le problème de salinité du milieu. Les deux autres plantations, fertilisées l'année précédente, n'ont pas subi les mêmes conditions défavorables. Dans les circonstances, l'application de doses supérieures à 40 g/plant serait risquée et non recommandable, surtout lorsque l'azote se retrouve sous la forme de nitrate d'ammonium.

Au point de vue du changement de couleur des aiguilles, les résultats se comparent avantageusement avec ceux qu'ont obtenu Bruns (1973) ou Timmer *et al.* (1977) avec le sapin baumier, de même que Turner (1966 et 1979) qui a travaillé avec le douglas. Les changements de couleur sont surtout appréciables au cours de l'année qui suit la fertilisation. Ils sont plus importants dans la plantation la moins fertile (Lanctôt) et seraient liés aux doses d'azote qui favorisent des teintes allant vers le bleu. Chez Lanctôt, l'effet diminue dès la deuxième saison tandis que la différence est moindre chez Lettre et Vanasse parce que les aiguilles contenaient déjà de fortes teneurs en azote. L'effet des traitements répétés chaque année n'est pas décelé.

Selon Bruns (1973), tout changement de couleur vers des teintes plus foncées et tirant sur le bleu est considéré comme une amélioration de la couleur. Les traitements azotés ont amélioré les teintes en favorisant des couleurs comme 5 GY 3/4, 7,5 GY 4/6 et 7,5 GY 4/4. Toutefois, certaines colorations du feuillage, imputables à des déficiences d'éléments qui n'auraient pas été corrigées par les engrais utilisés, pourraient masquer l'effet de la fertilisation sur la coloration du feuillage. Chez Lanctôt, le drainage imparfait se manifeste par une croissance réduite et l'apparition d'une chlorose des aiguilles.

À l'instar des résultats des essais de Timmer *et al.* (1977) et de Embree et Estabrooks (1981), les longueurs d'aiguilles ont été affectées de façon significative par la fertilisation. Les plus fortes réactions ont été enregistrées dans la plantation Lanctôt. Toutefois, la comparaison des

traitements montre peu de régularité entre les trois plantations traitées et l'effet est de courte durée.

Par ailleurs, Morgan *et al.* (1983) ont observé chez le sapin baumier des différences significatives entre les longueurs des aiguilles d'arbres situés dans une même placette, attribuables à des facteurs génétiques. Ils mentionnent que l'échantillonnage en vue de mesurer les dimensions des aiguilles doit être effectué avec précaution afin de s'assurer que les différences observées entre les traitements soient réelles. Par conséquent, comme pour la coloration des aiguilles, le phénomène génétique pourrait masquer l'effet des traitements de fertilisation sur la longueur des aiguilles et rendre l'interprétation difficile, voire erronée.

Les analyses chimiques des aiguilles de l'année courante révèlent que les éléments appliqués sous forme d'engrais chimiques ont tous été absorbés par les plants de sapin. En effet, les teneurs foliaires traduisent des augmentations de concentration des éléments proportionnelles aux doses appliquées. Cependant, la durée de l'effet au niveau des concentrations foliaires varie selon les éléments. Ainsi, l'azote augmente fortement dès la première année mais diminue sensiblement la saison suivante. Les réactions sont les plus fortes dans la plantation Lanctôt où les concentrations d'azote foliaire sont les plus faibles.

Les variations du phosphore des aiguilles sont moins importantes mais la durée de l'effet est perceptible au cours des deux premières saisons de croissance après le traitement; l'effet s'atténue en troisième année. La faible réaction aux engrais phosphatés s'explique par des concentrations déjà suffisantes dans le feuillage avant la fertilisation et parce que la forme de phosphore du superphosphate triple appliqué en surface du sol n'est pas tellement mobile et donc absorbée plus lentement.

Au niveau du potassium foliaire, l'effet consécutif aux additions d'engrais est perçu seulement à compter de la deuxième saison; la réaction est encore perceptible la troisième année malgré une diminution très apparente.

Pour cet élément, les analyses font ressortir un effet négatif ou de dilution avec l'azote. Les teneurs en calcium et magnésium foliaires ne semblent pas affectées par la fertilisation. Les traitements répétés sur une base annuelle ne produisent à peu près pas de réaction au niveau des concentrations foliaires.

La confrontation de nos résultats d'analyses foliaires avec les résultats présentés par Bruns (1973) à titre de standards pour les arbres de Noël (sapin baumier) non déficients, révèle que les teneurs en azote, phosphore, potassium et calcium des aiguilles sont particulièrement plus élevés. Pour le magnésium, à l'exception de la plantation Lanctôt, cet élément aurait une teneur plus faible que la moyenne. Les concentrations en azote, potassium et calcium foliaires des plantations Lettre et Vanasse atteindraient la consommation de luxe et pour l'azote, il y aura même danger d'excès (Morrison, 1974). La comparaison avec les données de plantations situées dans le Maine (Dirkman, 1977), pour les éléments foliaires analysés, démontre des concentrations nettement supérieures dans les plantations de l'Estrie, sauf pour le potassium dont les valeurs sont semblables.

L'examen des résultats sur les accroissements et la formation de certaines parties de la tige révèle que les réactions ont été variables et peu cohérentes entre les trois plantations. Seule la plantation Lanctôt montre des effets significatifs entre les traitements de fertilisation et le témoin, surtout pour les deux premières saisons de croissance. Mais dans l'ensemble, les valeurs obtenues chez Lanctôt sont inférieures à celles des deux autres plantations; ces différences sont attribuables aux qualités des stations en cause. À cet endroit, le mauvais drainage se traduit par des accumulations d'eau qui nuisent à la croissance (Pierpoint, 1962). Les rendements dans les plantations Lettre et Vanasse sont tout à fait comparables mais les réactions aux traitements sont voilées. Les apports d'engrais dans des stations où ces éléments sont déjà nettement suffisants se solderaient par une absence de réaction ou une réaction négative due à la consommation de luxe ou à l'excès d'un ou plusieurs éléments.

Les augmentations d'accroissement de la flèche terminale des arbres témoins seraient normales selon Bruns (1973) parce que fonction de l'âge de la plantation. Cependant, les accroissements mesurés au cours de la troisième année des essais montrent une augmentation anormalement plus élevée pour les témoins et pourraient traduire les fortes teneurs en azote. La production de bourgeons apicaux et leur développement en ramilles qui, selon Girouard (1983), devraient atteindre la moyenne de 5,0 par tige (figure 3), ont été atteints dans les trois plantations concernées. Les plantations Lettre et Vanasse ont été les plus productives à cet égard.

Comparativement aux expériences de Timmer *et al.* (1977) et de Bruns (1973), les accroissements indiqués au tableau 5 et à l'annexe 4 sont nettement supérieurs tant pour la flèche terminale que pour les ramilles latérales et adventives. Contrairement aux résultats de ces auteurs, le nombre de bourgeons adventifs par centimètre de flèche va en diminuant avec les années, ce qui indique que les traitements de fertilisation favorisent plus l'élongation au détriment de la formation des bourgeons adventifs dont le nombre n'est pas proportionnel à l'accroissement de la flèche terminale. Il en résulte une diminution de la densité de branchage et l'obligation pour le producteur d'intervenir par la taille afin d'obtenir un arbre moins clairsemé.

L'inefficacité de la fertilisation observée dans les plantations Lettre et Vanasse s'explique par un niveau élevé de fertilité des stations concernées, particulièrement au point de vue des éléments apportés par les engrais. Avant la fertilisation, les teneurs foliaires en azote, potassium et calcium dans ces plantations dépassaient largement le palier d'abondance-suffisance avec une tendance vers l'excès ou la consommation de luxe. Ainsi, tout apport supplémentaire de ces éléments par la fertilisation risque de provoquer des réactions défavorables et de causer des dommages parfois irréparables.

Kramer et Kozlowski (1960) signalent que l'excès d'un ou de plusieurs éléments se traduit selon le cas par: a) une stimulation exagérée de

la croissance des différentes parties de la tige, surtout de la flèche terminale (figure 4); b) un retard dans l'aoûtement qui rend les arbres plus vulnérables aux gels hâtifs; c) l'apparition de chloroses ou de nécroses au niveau des racines; d) des dommages aux racines qui vont ralentir et même empêcher l'absorption de l'eau et des autres éléments essentiels. Dans les cas extrêmes, à la suite de dommages plus sévères aux racines et aux tissus cellulaires, des cas de mortalité ont été signalés à l'instar de ceux que nous avons constaté dans la plantation Vanasse, d'Ayer's Cliff.

Dans ces deux plantations, le niveau élevé de fertilité expliquerait aussi l'absence de réaction à la suite des traitements de fertilisation répétés sur une base annuelle. Cependant, le motif n'est plus valable pour la plantation Lanctôt où les teneurs d'éléments sont plus faibles. Il semble qu'à partir d'un certain âge de la plantation, dans des conditions favorables du sol, le système racinaire des arbres plantés serait assez développé pour utiliser presque toute la superficie disponible entre les arbres d'une même rangée et entre ceux d'une rangée voisine. Ceci se produirait entre cinq et huit ans après la plantation, selon nos observations. Ainsi, le dispositif expérimental utilisé dans nos essais devient inefficace pour isoler entre eux les traitements de fertilisation, surtout lorsqu'ils sont répétés sur une base annuelle et appliqués par rangées d'arbres distantes de moins de 2,0 mètres; ceci a pour effet de diluer la dose d'engrais appliquée pour certains arbres tandis que pour d'autres, le taux de fertilisation est involontairement accru. Il en résulte des réactions mal définies qui rendent l'interprétation difficile voire impossible ou erronée. Ainsi, il n'est pas rare de constater que les arbres témoins réagissent plus fortement que les arbres fertilisés, particulièrement la troisième année des essais.

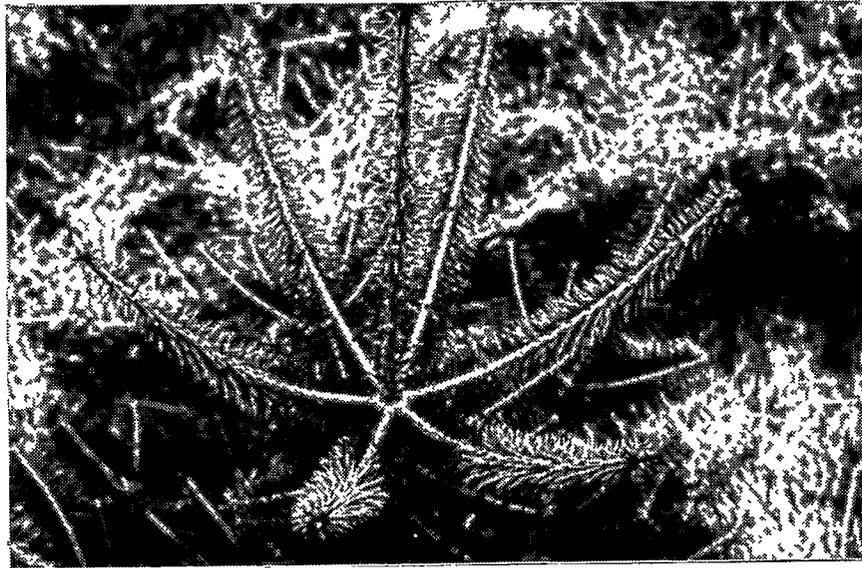


Figure 3

Les effets significatifs de la fertilisation se traduisent par un plus grand nombre de bourgeons apicaux et adventifs, des accroissements supérieurs de la flèche terminale et des ramilles terminales et adventives, des aiguilles plus longues et d'un vert plus foncé



Figure 4

L'excès d'un ou de plusieurs éléments se traduit souvent par une stimulation exagérée de la croissance des différentes parties de la cime, surtout de la flèche terminale

## CONCLUSION

Ce rapport tente de faire ressortir les réactions à la fertilisation effectuée en début de la cinquième saison de croissance, dans trois plantations de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël. Les effets ont été observés ou mesurés sur les taux de survie, sur la couleur, la longueur et les teneurs en éléments nutritifs des aiguilles, sur la croissance et la formation de différentes parties de la cime.

Les arbres réagissent rapidement aux traitements de fertilisation mais la réaction est liée à la qualité de station, c'est-à-dire que les réactions sont plus grandes dans les plantations où le niveau des éléments est le plus faible. À deux endroits, chez Lettre et Vanasse, les teneurs foliaires en azote, potassium et calcium approchaient des seuils de l'excès avant la fertilisation. L'apport supplémentaire de ces éléments sous forme d'engrais s'est soldé par un effet négatif.

Dans la plantation Vanasse, des cas de mortalité ont été observés et leur taux augmente proportionnellement avec les doses d'azote supérieures à 40 g/plant sous forme de nitrate d'ammonium. Les dommages dus à l'urée, pour des doses identiques, sont moins importants mais quand même perçus, ce qui n'incite pas à recommander l'application de doses supérieures à 40 grammes d'azote par arbre.

Comparés individuellement, les traitements montrent peu d'effet constant sur la plupart des caractéristiques de l'arbre mesurées dans les plantations concernées. Aucun traitement ne semble favoriser les accroissements de façon particulière.

Les réactions significatives sont toutes liées aux engrais azotés appliqués seuls ou combinés au phosphore et au potassium. Ces deux éléments ne produisent que peu d'effet lorsqu'ils sont utilisés sans l'azote; combinés avec N, ils tendent à améliorer le rendement de la fertilisation, mais aucun effet significatif n'a été observé. Il n'y a que très peu de différence significative entre les traitements qui contiennent de l'azote, ce qui à court terme démontre l'inefficacité des doses élevées d'azote.

La comparaison entre les sources d'azote fait ressortir un effet supérieur mais non significatif du nitrate d'ammonium par rapport à l'urée. Aucune différence n'est décelée entre le sulfate de potassium et le chlorure de potassium. Quant aux engrais commerciaux à formule complète, aucun ne marque le pas par rapport aux autres; les doses les plus faibles ne diffèrent pas de façon significative des taux plus élevés.

Les effets de la fertilisation mesurés dans la plantation Lanctôt en regard de la couleur des aiguilles ainsi que sur la croissance et la formation des parties de la tige sont de courte durée, deux saisons de croissance tout au plus. À partir de ces constatations, il est préférable et plus efficace d'appliquer des doses faibles d'engrais qui seront répétées plus fréquemment, chaque printemps par exemple.

En considération de l'âge des plantations et de la qualité de station, l'azote sera appliqué seul ou combiné, selon une dose annuelle qui variera entre 10 et 20 g par arbre. Les additions de phosphore et de potassium ne devraient suffire qu'à remplacer les quantités prélevées annuellement et évaluées entre 5 et 10 g par arbre.

Les ou les traitements d'engrais appliqués doivent avant tout favoriser la formation des bourgeons apicaux et adventifs qui se différencieront par la suite en ramilles. L'élaboration et le développement de ces parties de la tige sont importantes parce qu'elles affectent directement la densité du

feuillage des sapins de Noël et contribuent, comme l'amélioration de la coloration et de la longueur des aiguilles, à influencer le choix d'un éventuel acheteur d'un arbre de Noël.

La stimulation de la croissance en hauteur et de l'élongation des ramilles terminales et adventives est nécessaire pour réduire la période de rotation. Cependant, ces augmentations d'accroissement ne doivent pas être excessives ni réalisées au dépend de la forme de l'arbre et de la densité de la cime, qualités importantes d'un sapin de Noël qui plaisent particulièrement à l'oeil du consommateur.



## RECOMMANDATIONS

À la lumière des résultats obtenus à la suite des essais de fertilisation au moment de la plantation (Veilleux, 1985), on peut affirmer que dans les plantations de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël, la première fertilisation devrait s'effectuer à compter de la troisième saison de croissance. La décision sera toujours prise à la suite d'analyses chimiques des sols et des aiguilles prélevés à l'automne de la saison de croissance précédente. Les résultats d'analyses permettent de déceler les éléments déficients s'il y en a et de préconiser les doses d'engrais nécessaires pour y remédier.

Il est cependant difficile voire impossible de corriger un sol au point de vue de la texture et de la teneur en matière organique, une fois la plantation établie. Toutefois, l'emploi d'engrais chimiques permet de remédier aux déficiences décelées pour la plupart des éléments nutritifs et même pour le pH. Idéalement, les caractéristiques corrigibles d'un sol en plantation, qui conviennent très bien à la culture du sapin, devraient tendre vers les minimum suivants:

- pH de 5,5 à 6,0 (Jablanczy, 1971)
- azote total: 0,12 p. 100 (3 100 kg/ha)<sup>1</sup>
- phosphore disponible: 75 à 100 ppm (225 à 300 kg/ha)
- potassium échangeable: 80 ppm (240 kg/ha)
- calcium échangeable: 300 ppm (900 kg/ha)
- magnésium échangeable: 75 ppm (225 kg/ha).

---

<sup>1</sup> Les quantités d'élément exprimés en kg/ha sont calculées pour un sol de densité moyenne de 1,5 g/cm<sup>3</sup> sur une profondeur de 20 cm.

Au niveau des aiguilles de l'année courante et jusqu'à avis contraire, les données de Bruns (1973) serviront à évaluer le palier de suffisance des concentrations foliaires:

- azote: 1,50 p. 100
- phosphore: 0,19 p. 100
- potassium: 0,72 p. 100
- calcium: 0,62 p. 100
- magnésium: 0,10 p. 100.

Lorsque les corrections nécessaires pour l'un ou l'autre des éléments sont supérieures à 20 g/arbre, il est préférable et plus sécuritaire de répartir la dose totale en plusieurs applications avec intervalle de deux semaines entre chacune. L'azote ne devrait pas être appliqué après la mi-juin; toutefois, les amendements d'automne à base de P, K, Ca et Mg sont recommandés.

Souvent, les analyses ne font pas ressortir de déficiences pour l'un ou l'autre des éléments; les applications annuelles ne devraient suffire qu'à remplacer les quantités prélevées par les arbres au cours de la saison de croissance et évaluées entre 10 et 20 g par arbre pour l'azote et entre 5 à 10 g par arbre pour P, K et Mg. Il faut éviter à tout prix de stimuler de façon excessive la croissance de la flèche terminale et des ramilles au détriment de la formation des bourgeons apicaux et adventifs.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1976. *Inventaire des terres du Canada. Possibilité des terres pour la forêt. Territoire de Sherbrooke #21E.* Env. Canada, Dir. Gén. Terres.
- BRUNS, P.E., 1973. *Cultural practices, fertilizing and foliar analyses of balsam fir Christmas trees.* New Hampshire Agric. Exp. Sta., Sta. Bull. 501, 30 p.
- DIRKMAN, J.A., 1977. *Optimizing fertilization and shearing of balsam fir on a silt loam site.* Amer. Christmas Tree Journ. 21 (3): 14-17.
- EMBREE, D.G. et G.F. ESTABROOKS, 1981. *Fertilizing balsam fir Christmas trees in wild stands.* Env. Can., For. Serv., Mar. For. Res. Cent., Tech. Note No. 25, 4 p.
- GIROUARD, R.M., 1983. *Multiplication du sapin baumier par bouturage.* Env. Can., For., Centre Rech. For. Laur., Rapp. Inf. LAU-X-61F, 16 p.
- JABLANCZY, A., 1971. *Use of lime for tree cultivation.* Amer. Christmas Tree Journ., Vol. 15: 21-23.
- KRAMER, P.I. et T.T. KOZLOWSKI, 1960. *Physiology of trees.* McGraw-Hill, New-York, 642 p.
- MORGAN, M.G., D.A. MACLEAN et H. PIENE, 1983. *Variation in balsam fir needle length due to crown position, foliage age, and intertree differences.* Forest Science, Vol. 29 (2): 412-422.
- MORRISON, I.K., 1974. *Mineral nutrition of conifers with special reference to nutrient status interpretation. A review of literature.* Env. Can., For. Serv., Publ. No. 1343, 74 p.
- PIERPOINT, G., 1962. *Soil moisture, an important factor in the establishment and early growth of conifer plantations.* Ontario Dept. Lands For., Res. Branch, Res. Inf. Pap. No. 16, 17 p.
- ROWE, J.S., 1972. *Les régions forestières du Canada.* Min. Env., Serv. Can. For., Publ. n° 1300 F, 172 p.

- SAUNDERS, G.L. et L.L. WRIGHT, 1967. *Higher Christmas tree profits by fertilizing balsam fir*. Nova Scotia Dept. Lands and Forests, Extension Division, Ext. Note n° 42, 10 p.
- STEEL, R.G.D. et J.H. TORRIE, 1960. *Principles and procedures of statistics*. McGraw-Hill, New-York. 481 p.
- THOMAS, R.L., R.W. SHEARD et J.P. MOYER, 1971. *Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus and potassium analysis of plant material using a single digestion*. Agronomy Journal, Vol. 59: 240-243.
- TIMMER, V.R. E.L. STONE et G.G. EMBREE, 1977. *Growth response of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium and lime*. Can. Journ. For. Res.: 7 441-446.
- TURNER, D.O., 1979. *Effects of nitrogen and shearing treatments on growth and quality of Douglas-fir Christmas trees in Western Washington*. Coll. Agric. Res. Center, Washington State Univ., Bull. 875, 12 p.
- TURNER, D.O., 1966. *Color and growth of Douglas-fir Christmas trees as affected by fertilizer application*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 30: 792-795.
- VEILLEUX, J.-M., 1985. *Fertilisation de plantations de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël. I - Essais au moment de la plantation*. Min. Énergie et Ress., Serv. Rech., Mémoire n° 87, 56 p.
- VEILLEUX, J.-M., 1976. *Évolution de la nutrition minérale dans des sapinières fertilisées*. Min. Terres et Forêts du Québec, Dir. Gén. For., Serv. Rech., Rapp. Int. n° 164, 104 p.
- WALSH, L.M., 1971. *Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A.
- WILDE, S.A. et G.K. VOIGT, 1972. *Munsell color charts for plant tissue*. Munsell Color Division, Baltimore, Maryland, U.S.A.

Annexe 1

Taux moyens de survie (p. 100) obtenus après 3 ans dans la plantation de M. Réal Vanasse, Ayer's Cliff, plantation de 1974 fertilisée en 1978

Engrais simples <sup>1</sup> Élément en g/plant	Taux de survie p. 100	Engrais mixte N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O g/plant	Taux de survie p. 100
1. Témoin	100,0	31. 100 g (10-10-10)	100,0
2. N20	97,0	32. 200 g (10-10-10)	100,0
3.* N20	100,0	33. 400 g (10-10-10)	100,0
4. N40	97,0	34.* 100 g (10-10-10)	100,0
5.* N40	97,0	35.* 200 g (10-10-10)	100,0
6. N80	97,0	36. 100 g (7-27-12)	100,0
7. N100	87,0	37. 200 g (7-27-12)	100,0
8. N150	37,0	38. 400 g (7-27-12)	100,0
9. P20	100,0	39.* 100 g (7-27-12)	100,0
10. P40	100,0	40.* 200 g (7-27-12)	100,0
11. N20.P40.K10	97,0	41. 100 g (8-4-13)	100,0
12. N40.P20.K10	90,0	42. 200 g (8-4-13)	100,0
13. N20.P10.K10	100,0	43. 400 g (8-4-13)	97,0
14. N10.P10.K10	100,0	44.* 100 g (8-4-13)	97,0
15.* N10.P10.K10	100,0	45.* 200 g (8-4-13)	97,0
16. N20.P20.K20	100,0	46. 100 g (13-13-13)	100,0
17.* N20.P20.K20	100,0	47. 200 g (13-13-13)	100,0
18. N40.P40.K40	97,0	48. 400 g (13-13-13)	100,0
19. N80.P80.K80	80,0	49.* 100 g (13-13-13)	97,0
20. N10.P10.K10	97,0	50.* 200 g (13-13-13)	100,0
21. N20.P20.K20	100,0		
22. N40.P40.K40	100,0		
23. N80.P80.K80	100,0		
24. N20.P30.K10	100,0		
25. N40.P20.K10	100,0		
26. N20.P10.K10	97,0		
27.* N20.P10.K10	100,0		
28.* N40	100,0		
29. N80	97,0		
30. N100	90,0		

\* Les traitements suivis d'un astérisque ont été répétés au printemps des sixième et septième saisons de croissance.

<sup>1</sup> Engrais simples: formes d'engrais:

Trait. n° 2 à 19 inclus: Azote = NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>  
P<sub>2</sub> = superphosphate triple (TSP)  
K<sub>2</sub> = KCl

Trait. n° 20 à 30 inclus: N<sub>2</sub> = urée; P<sub>2</sub> = TSP; K = K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Annexe 2

Longueurs moyennes (mm) des aiguilles de l'année courante obtenues dans l'ensemble des trois plantations, à la fin des deux premières saisons de croissance après fertilisation

Engrais simples <sup>1</sup>	Longueurs d'aiguille <sup>2</sup>		Engrais mixte N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O	Longueurs d'aiguilles		
	Élément en g/plant	(1)		(2)	g/plant	(1)
1. Témoin		21,8	25,2	31. 100 g (10-10-10)	23,6	24,8
2. N20		25,2	23,8	32. 200 g (10-10-10)	22,9	22,2
3.* N20		23,7	25,1	33. 400 g (10-10-10)	24,7	23,6
4. N40		23,6	25,1	34.* 100 g (10-10-10)	22,3	24,3
5.* N40		24,4	23,8	25.* 200 g (10-10-10)	23,2	23,4
6. N80		23,6	27,3	36. 100 g ( 7-27-12)	22,9	26,7
7. N100		24,3	24,9	37. 200 g ( 7-27-12)	23,7	23,4
8. N150		23,4	24,5	38. 400 g ( 7-27-12)	22,8	25,0
9. P20		25,5	23,5	39.* 100 g ( 7-27-12)	24,1	25,1
10. P40		23,3	24,0	40.* 200 g ( 7-27-12)	22,4	23,9
11. N20.P40.K10		23,8	25,6	41. 100 g ( 8- 4-13)	23,4	25,6
12. N40.P20.K10		21,9	24,1	42. 200 g ( 8- 4-13)	23,3	24,9
13. N20.P10.K10		22,9	24,2	43. 400 g ( 8- 4-13)	22,8	23,6
14. N10.P10.K10		24,4	24,9	44.* 100 g ( 8- 4-13)	22,4	23,5
15.* N10.P10.K10		23,6	24,1	45.* 200 g ( 8- 4-13)	24,1	26,3
16. N20.P20.K20		24,8	25,3	46. 100 g (13-13-13)	23,1	23,3
17.* N20.P20.K20		23,7	24,4	47. 200 g (13-13-13)	24,3	23,2
18. N40.P40.K40		22,4	25,2	48. 400 g (13-13-13)	25,7	25,0
19. N80.P80.K80		23,6	24,8	49.* 100 g (13-13-13)	22,4	24,9
20. N10.P10.K10		24,5	25,1	50.* 200 g (13-13-13)	23,1	23,8
21. N20.P20.K20		23,0	23,4			
22. N20.P40.K20		22,4	24,2			
23. N80.P80.K80		22,3	25,7			
24. N20.P40.K10		24,5	23,0			
25. N40.P20.K10		23,1	23,4			
26. N20.P10.K10		24,6	23,7			
27.* N20.P10.K10		22,9	25,0			
28.* N40		22,1	25,0			
29. N80		23,3	24,8			
30. N100		22,3	23,1	Moyenne	23,4	24,5

\* Les traitements suivis d'un astérisque ont été répétés au printemps des sixième et septième saisons de croissance.

<sup>1</sup> Engrais simples-formes d'engrais:

Trait. n<sup>os</sup> 2 à 19 inclus: Azote = NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>; Phosphore: superphosphate triple (TSP); Potassium = KCl

Trait. n<sup>os</sup> 20 à 30 inclus: Azote = urée; P = TSP; K = K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

<sup>2</sup> Longueurs d'aiguilles: (1) Après la 1<sup>re</sup> saison de croissance  
(2) Après la 2<sup>e</sup> saison de croissance

## Annexe 3

Concentration moyenne (p. 100)<sup>1</sup> en éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante du sapin baumier, à la fin des première et deuxième saisons de croissance après la fertilisation, selon les traitements d'engrais

Traitement	Concentration des éléments (p. 100)									
	Azote (N)		Phosphore (P)		Potassium (K)		Calcium (Ca)		Magnésium (Mg)	
	(1) <sup>2</sup>	(2) <sup>3</sup>	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
1- Témoin	2,32	2,42	0,28	0,27	0,82	0,86	0,69	0,77	0,10	0,12
2- N20	2,50	2,34	0,26	0,27	0,82	0,86	0,74	0,76	0,10	0,11
3- N20*	2,52	2,44	0,25	0,25	0,75	0,81	0,73	0,81	0,09	0,11
4- N40	2,71	2,40	0,25	0,26	0,74	0,79	0,75	0,78	0,09	0,11
5- N40*	2,67	2,46	0,25	0,25	0,70	0,74	0,76	0,78	0,10	0,12
6- N80	2,88	2,49	0,26	0,27	0,69	0,85	0,73	0,77	0,10	0,12
7- N100	2,89	2,52	0,25	0,27	0,70	0,82	0,73	0,81	0,10	0,12
8- N150	3,20	2,46	0,24	0,26	0,61	0,79	0,71	0,80	0,09	0,11
9- P20	2,36	2,52	0,31	0,31	0,86	0,89	0,76	0,74	0,10	0,11
10- P40	2,23	2,38	0,33	0,31	0,85	0,85	0,72	0,76	0,09	0,11
11- N20.P40.K10	2,55	2,46	0,30	0,32	0,81	0,91	0,79	0,78	0,09	0,11
12- N40.P20.K10	2,59	2,39	0,27	0,29	0,74	0,90	0,74	0,69	0,08	0,11
13- N20.P10.K10	2,49	2,36	0,29	0,29	0,84	0,91	0,76	0,76	0,09	0,11
14- N10.P10.K10	2,37	2,37	0,28	0,29	0,84	0,91	0,81	0,74	0,10	0,12
15- N10.P10.K10*	2,37	2,48	0,27	0,28	0,87	0,94	0,77	0,74	0,09	0,10
16- N20.P20.K20	2,55	2,44	0,28	0,29	0,87	0,97	0,73	0,72	0,09	0,11
17- N20.P20.K20*	2,48	2,61	0,27	0,28	0,83	0,93	0,86	0,69	0,09	0,10
18- N40.P40.K40	2,54	2,41	0,27	0,29	0,77	0,94	0,74	0,74	0,09	0,11
19- N80.P80.K80	2,79	2,58	0,28	0,32	0,77	1,00	0,73	0,81	0,09	0,10
20- N10.P10.K10	2,35	2,39	0,28	0,29	0,87	0,92	0,67	0,76	0,09	0,11
21- N20.P20.K20	2,40	2,40	0,27	0,30	0,87	0,92	0,71	0,77	0,08	0,11
22- N40.P40.K40	2,58	2,40	0,27	0,30	0,82	0,92	0,70	0,79	0,08	0,10
23- N80.P80.K80	2,74	2,50	0,26	0,32	0,78	0,98	0,64	0,76	0,08	0,11
24- N20.P40.K10	2,53	2,40	0,30	0,31	0,89	0,90	0,71	0,78	0,09	0,12
25- N40.P20.K10	2,61	2,47	0,27	0,29	0,81	0,86	0,70	0,81	0,09	0,11

<sup>1</sup> Moyenne de 3 plantations.

<sup>2</sup> (1): Données après la 1<sup>re</sup> saison de croissance.

<sup>3</sup> (2): Données après la 2<sup>e</sup> saison de croissance.

\* Traitement répété aux printemps des sixième et septième saisons de croissance.

Annexe 3 (suite)

Concentration moyenne (p. 100)<sup>1</sup> en éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante du sapin baumier, à la fin des première et deuxième saisons de croissance après la fertilisation, selon les traitements d'engrais

Traitement	Concentration des éléments (p. 100)									
	Azote (N)		Phosphore (P)		Potassium (K)		Calcium (Ca)		Magnésium (Mg)	
	(1)2	(2)3	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
26- N20.P10.K10	2,47	2,42	0,27	0,30	0,86	0,91	0,72	0,83	0,09	0,11
27- N20.P10.K10*	2,58	2,42	0,28	0,26	0,89	0,91	0,73	0,85	0,09	0,11
28- N40*	2,61	2,54	0,26	0,24	0,77	0,71	0,74	0,82	0,09	0,12
29- N80	2,58	2,39	0,25	0,27	0,71	0,80	0,70	0,81	0,09	0,12
30- N100	2,71	2,37	0,24	0,26	0,64	0,77	0,71	0,81	0,08	0,11
31- 100g (10-10-10)	2,54	2,29	0,29	0,28	0,87	0,86	0,79	0,78	0,10	0,11
32- 200g (10-10-10)	2,61	2,41	0,28	0,30	0,82	0,89	0,77	0,76	0,09	0,11
33- 400g (10-10-10)	2,72	2,33	0,28	0,29	0,84	0,92	0,76	0,74	0,09	0,10
34- 100g (10-10-10)*	2,44	2,42	0,27	0,28	0,85	0,90	0,70	0,72	0,09	0,10
35- 200g (10-10-10)*	2,58	2,42	0,28	0,26	0,86	0,88	0,73	0,75	0,09	0,10
36- 100g ( 7-27-12)	2,44	2,27	0,28	0,29	0,87	0,89	0,78	0,73	0,10	0,11
37- 200g ( 7-27-12)	2,47	2,28	0,29	0,30	0,89	0,94	0,69	0,72	0,10	0,11
38- 400g ( 7-27-12)	2,57	2,30	0,29	0,33	0,89	0,98	0,73	0,69	0,10	0,11
39- 100g ( 7-27-12)*	2,43	2,39	0,28	0,29	0,86	0,92	0,70	0,72	0,10	0,11
40- 200g ( 7-27-12)*	2,45	2,36	0,28	0,28	0,88	0,91	0,76	0,72	0,10	0,11
41- 100g ( 8- 4-13)	2,42	2,39	0,28	0,29	0,93	0,96	0,72	0,74	0,10	0,11
42- 200g ( 8- 4-13)	2,57	2,48	0,28	0,30	0,93	0,96	0,73	0,80	0,09	0,12
43- 400g ( 8- 4-13)	2,58	2,43	0,26	0,29	0,83	0,93	0,70	0,77	0,09	0,11
44- 100g ( 8- 4-13)*	2,36	2,40	0,26	0,21	0,85	0,91	0,67	0,71	0,09	0,11
45- 200g ( 8- 4-13)*	2,44	2,40	0,27	0,26	0,87	0,91	0,68	0,70	0,09	0,10
46- 100g (13-13-13)	2,47	2,32	0,27	0,28	0,83	0,85	0,76	0,77	0,10	0,11
47- 200g (13-13-13)	2,53	2,33	0,27	0,29	0,86	0,94	0,73	0,75	0,09	0,11
48- 400g (13-13-13)	2,69	2,26	0,29	0,28	0,82	0,89	0,72	0,70	0,09	0,11
49- 100g (13-13-13)*	2,53	2,38	0,28	0,27	0,89	0,93	0,72	0,68	0,10	0,10
50- 200g (13-13-13)*	2,55	2,41	0,28	0,26	0,84	0,88	0,72	0,70	0,09	0,10
Moyenne	2,55	2,41	0,27	0,28	0,82	0,89	0,73	0,76	0,09	0,11

## Annexe 4

Sommation des accroissements (cm) et des formations (nombre) des parties de la tige pour les trois premières saisons de croissance qui ont suivi la fertilisation<sup>1</sup>

Traitements d'engrais simples	Accroissements en longueurs (cm)			Formation des parties de la tige (nombre/tige)				
	flèche terminale	ramilles lat.-term.	ramilles adventives	bourgeons apicaux	bourgeons adventifs	N. bourgeons adv./cm	ramilles lat.-term.	ramilles adventives
1- Témoin	102,3	67,2	42,9	15,0	69,9	0,68	13,8	67,5
2- N20	105,6	71,4	47,4	15,0	73,8	0,70	13,5	71,4
3- N20*	99,6	67,8	42,6	15,0	66,9	0,67	13,5	66,9
4- N40	104,4	69,9	45,0	15,6	76,5	0,73	13,2	67,5
5- N40*	101,1	68,4	44,4	15,6	72,9	0,72	13,8	74,4
6- N80	105,0	68,4	46,5	15,0	73,5	0,70	13,5	68,7
7- N100	95,4	66,6	43,5	15,0	72,6	0,70	12,9	68,1
8- N150	93,9	63,3	41,4	14,7	71,7	0,76	12,6	67,2
9- P20	99,3	65,4	38,4	15,3	72,3	0,73	13,2	69,0
10- P40	90,9	62,1	36,9	15,0	67,8	0,75	13,5	64,5
11- N20.P40.K10	101,1	67,8	44,1	15,0	73,5	0,73	13,2	69,9
12- N40.P20.K10	100,8	67,2	41,7	15,3	71,7	0,71	13,5	65,1
13- N20.P10.K10	102,0	68,1	44,7	15,6	71,7	0,70	14,1	73,8
14- N10.P10.K10	101,1	66,0	42,6	15,9	71,4	0,71	13,5	68,4
15- N10.P10.K10*	99,6	67,5	45,0	15,6	71,4	0,72	13,7	69,3
16- N20.P20.K20	107,7	71,4	47,4	15,3	77,7	0,72	13,2	75,0
17- N20.P20.K20*	110,7	73,8	48,3	15,9	83,4	0,75	13,5	75,9
18- N40.P40.K40	102,9	68,4	44,7	15,3	73,8	0,72	13,2	71,7
19- N80.P80.K80	109,2	71,1	45,0	15,6	77,4	0,71	12,9	72,0
20- N10.P10.K10 <sup>2</sup>	101,1	67,2	43,2	15,3	67,8	0,67	13,8	68,7
21- N20.P20.K20 <sup>2</sup>	102,0	66,6	42,6	15,3	72,5	0,71	14,1	69,3
22- N40.P40.K40 <sup>2</sup>	99,9	66,9	41,7	15,3	73,5	0,74	13,5	67,5
23- N80.P80.K80 <sup>2</sup>	102,0	70,5	42,6	15,3	75,0	0,74	14,1	66,6
24- N20.P40.K10 <sup>2</sup>	105,3	70,8	43,2	15,6	76,2	0,72	13,5	65,7
25- N40.P20.K10 <sup>2</sup>	102,6	70,2	42,9	15,3	72,6	0,71	13,8	68,4
26- N20.P10.K10 <sup>2</sup>	102,9	68,1	44,4	15,6	71,7	0,69	13,8	70,5
27- N20.P10.K10 <sup>2</sup> *	105,9	68,4	47,1	15,6	75,9	0,72	14,1	74,1
28- N40 <sup>2</sup> *	101,1	67,5	42,6	15,3	72,6	0,72	13,8	70,8
29- N80 <sup>2</sup>	94,2	65,1	41,7	15,6	71,7	0,76	13,8	69,3
30- N100 <sup>2</sup>	92,7	61,8	42,0	15,0	64,5	0,70	13,2	68,4

<sup>1</sup> Résultats moyens des trois plantations.

<sup>2</sup> Application d'urée et de sulfate de potassium s'il y a lieu.

\*Traitement répété annuellement.

## Annexe 4 (suite)

Sommation des accroissements (cm) et des formations (nombre) des parties de la tige pour les trois premières saisons de croissance qui ont suivi la fertilisation<sup>1</sup>

Traitements d'engrais simples	Accroissements en longueurs (cm)			Formation des parties de la tige (nombre/tige)				
	flèche terminale	ramilles lat.-term.	ramilles adventives	bourgeons apicaux	bourgeons adventifs	N. bourgeons adv./cm	ramilles lat.-term.	ramilles adventives
31- (10-10-10)+, 100g*	99,3	67,5	44,1	15,0	69,6	0,70	12,9	69,3
32- (10-10-10)+, 200g	103,8	69,6	43,5	15,9	77,7	0,75	14,1	78,0
33- (10-10-10)+, 400g	108,0	69,6	42,3	15,6	78,9	0,73	13,8	69,0
34- (10-10-10)+, 100g*	98,1	66,6	42,6	15,6	68,1	0,69	13,5	68,1
35- (10-10-10)+, 200g*	101,7	69,3	43,8	16,2	76,2	0,75	14,1	69,6
36- (7-27-12)+, 100g	104,1	67,5	42,3	15,6	74,2	0,71	13,5	71,4
37- (7-27-12)+, 200g	101,1	67,8	44,4	15,6	72,0	0,71	13,5	71,4
38- (7-27-12)+, 400g	107,1	69,0	45,8	15,3	75,0	0,70	13,5	78,3
39- (7-27-12)+, 100g*	106,5	70,8	45,9	15,6	74,1	0,70	13,8	69,9
40- (7-27-12)+, 200g*	102,9	69,3	44,4	15,0	71,4	0,69	13,5	68,4
41- (8-4-13)+, 100g	113,7	72,3	46,2	15,6	78,9	0,69	14,1	74,4
42- (8-4-13)+, 200g	105,0	68,7	43,8	15,3	76,8	0,73	13,8	72,0
43- (8-4-13)+, 400g	98,7	66,6	45,3	15,9	72,0	0,73	13,2	70,8
44- (8-4-13)+, 100g*	100,5	69,9	43,8	15,6	75,3	0,75	13,2	71,4
45- (8-4-13)+, 200g*	106,8	69,6	43,5	15,9	76,5	0,72	14,4	72,9
46- (13-13-13)+, 100g	102,0	68,7	44,4	15,3	73,2	0,72	13,8	70,8
47- (13-13-13)+, 200g	102,6	71,1	44,1	15,3	72,9	0,71	13,8	72,3
48- (13-13-13)+, 400g	101,4	69,3	44,4	15,6	70,2	0,69	13,2	68,1
49- (13-13-13)+, 100g*	108,0	72,6	44,1	15,6	79,2	0,73	13,8	73,2
50- (13-13-13)+, 200g*	110,4	72,6	47,4	15,6	79,5	0,72	13,8	75,6
Moyenne	102,6	68,9	44,2	15,5	74,0	0,72	13,5	71,3

\*Traitement répété annuellement.

Parution, juillet 1986



Au Québec, l'importance économique des forêts privées n'est plus à démontrer. En effet, elles représentent 10 p. 100 de la superficie et 25 p. 100 des approvisionnements ligneux; elles constituent une source de revenu pour leurs propriétaires. Il est cependant nécessaire de mener des recherches en vue d'accroître non seulement la productivité et l'exploitation de la forêt privée, mais aussi le revenu des exploitants. Les recherches sur les arbres de Noël ont pour but d'en augmenter la qualité et de raccourcir la période de production. Elles sont conduites par la Direction de la recherche et du développement du ministère de l'Énergie et des Ressources en collaboration avec les propriétaires concernés et l'administration régionale du Ministère en Estrie.

