

PRODUCTION ACCELEREE AU MOYEN DE  
L'UREE DE SEMIS DE PICEA MARIANA  
EN CONTENANTS



par

M.E. Boudoux et A. Gonzalez

Collaboration technique

Y. Sénécal et R. Turcotte

CENTRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE  
DES LAURENTIDES  
STE-FOY, QUÉBEC  
RAPPORT D'INFORMATION Q-F-X-18

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

PRODUCTION ACCELEREE AU MOYEN DE L'UREE  
DE SEMIS DE PICEA MARIANA EN CONTENANTS

par

M.E. Boudoux et A. Gonzalez

Collaboration technique

Y. Sénécal et R. Turcotte

CENTRE DE RECHERCHE FORESTIERE DES LAURENTIDES

STE-FOY, QUEBEC

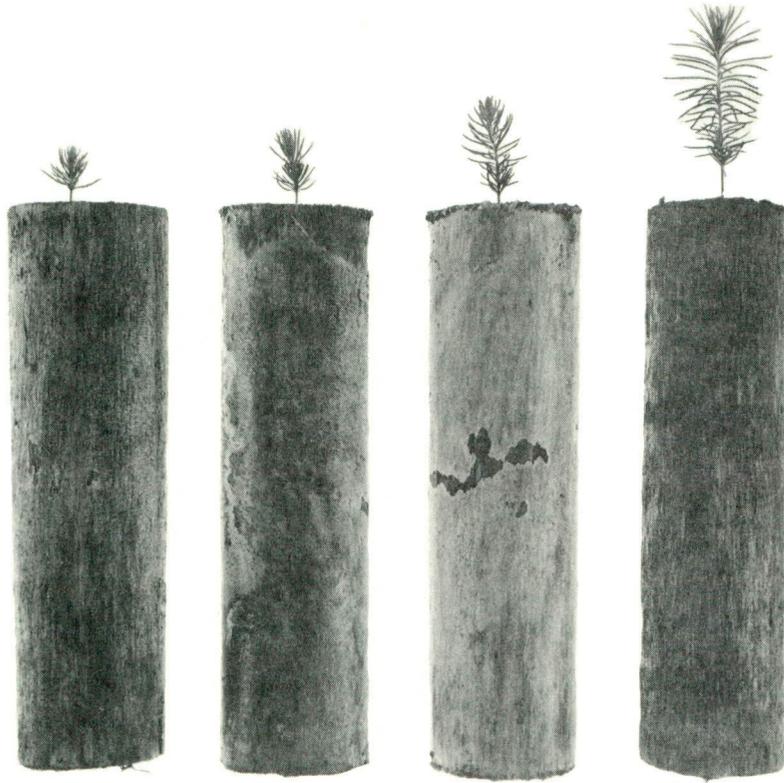
RAPPORT D'INFORMATION Q-F-X-18

SERVICE CANADIEN DES FORÊTS

MINISTÈRE DES PÊCHES ET DES FORÊTS

JUIN 1971

HORS TEXTE



En fin d'expérience, quatre semis représentatifs de la valeur moyenne des traitements auxquels ils appartenaient ont été photographiés. Ce sont, de gauche à droite: témoin, traitement 5, traitement 6 et traitement 7 (voir explication dans le texte).

## ABSTRACT

Black spruce seedlings (Picea mariana Mill. (B.S.P.)) were grown in wood containers of different dimensions, and tested with urea-based nutrient solutions of different concentration.

Very marked interactions were observed between the growth of seedling, the dimension of the container and nitrogen concentration. Under certain conditions urea proved to be a powerful growth accelerator to the extent of increasing growth rate by 100%. However, mortality occurred beyond a certain concentration of urea.

RESUME

Des semis d'épinette noire (Picea mariana Mill. (B.S.P.)), élevés dans des contenants de différentes dimensions, ont été traités avec des solutions nutritives à base d'urée. On a observé des interactions très marquées entre la croissance de ces semis, les dimensions des contenants et les concentrations en azote appliqué sous la forme d'urée. L'urée s'est révélée un puissant accélérateur de croissance dans certaines conditions, allant jusqu'à provoquer une augmentation de 100% dans la vitesse de croissance. Cependant, dans un traitement la dose létale d'urée a été atteinte et on a observé une mortalité très élevée chez les semis de Picea mariana.

## TABLE DES MATIERES

	Page
Hors-texte-----	i
Abstract-----	ii
Résumé-----	iii
Table des matières-----	iv
Introduction-----	1
Matériel et méthodes-----	5
Résultats et discussion-----	11
croissance aérienne-----	12
développement radiculaire-----	13
analyses foliaires-----	15
taux de mortalité-----	15
Conclusions-----	17
Tableaux	
tableau 1: composition moléculaire de solutions----	19
tableau 2: hauteurs moyennes-----	20
tableau 3: poids moyens-----	21
tableau 4A: densités d'enracinement-----	22
tableau 4B: densités latérales d'enracinement-----	23
tableau 4C: densités verticales d'enracinement-----	24
tableau 5: analyse de variance des hauteurs-----	25
tableau 6A: analyse de variance des poids secs des racines-----	26
tableau 6B: analyse de variance des longueurs des racines-----	27

Page

tableau 7A: analyse de variance des taux en éléments minéraux-----	28
tableau 7B: valeurs moyennes des taux en éléments minéraux-----	29
tableau 8: pourcentage de mortalité-----	30
Figures	
figure 1: conditions de milieu-----	31
figure 2: courbes de croissance-----	32
Références-----	33

## INTRODUCTION

Devant l'emploi de plus en plus répandu de semis élevés en contenants (plantubes, tubelings, bullets...), des études visant à mieux connaître la physiologie et l'écologie de ces semis s'avèrent indispensables, afin d'aborder avec une connaissance accrue le problème du reboisement au Québec, problème par ailleurs prioritaire, eu égard à son envergure.

Rappelons pour mémoire que l'essentiel de cette méthode consiste à produire artificiellement, - en serre ou en chambre de croissance -, des semis directement aptes au reboisement et ce dans un laps de temps et d'espace très restreint. Parmi les nombreux projets actuellement en cours, tant au Canada que dans le reste du monde, certains, parfois avec un peu d'empirisme, mettent en chantier chaque année au delà de dix et parfois vingt millions de semis produits selon cette méthode.

Cette production, déjà massive, devrait à elle seule convaincre tout un chacun que la technique qui la sous-tend, bien qu'encore très récente, est promise à un avenir des plus considérables. Alors que la pénurie et le coût souvent prohibitifs de la main-d'oeuvre forestière qualifiée iront en s'accroissant ces prochaines années (du moins en ce qui concerne les pays fortement industrialisés), le reboisement au moyen de semis élevés en contenant constituera certainement un élément de solution. Outre le fait que cette technique permet une production continue de semis douze mois par an, elle est susceptible également d'une mécanisation complète depuis le remplissage et l'ensemencement des tubes jusqu'à leur mise en place définitive

sur le terrain.

Devant la complexité de la mise au point d'une telle technique il est évident qu'une approche globale ne peut être entreprise même dans le cas d'une équipe multidisciplinaire. Si l'on admet comme prémisses que l'idée de base est valable en soi, c'est-à-dire: remplacer à plus ou moins long terme la production des pépinières par des ensembles semis-contenant mis en place tels quels sur le terrain, il est nécessaire alors d'inventorier les différents problèmes que soulève l'application de cette technique et de tenter de les résoudre un par un.

Dans cette optique nous avons entrepris une série de travaux sur la production d'épinettes noires (Picea mariana Mill. (B.S. P.)) en contenants, mettant principalement l'accent sur les possibilités d'optimisation de la production, possibilités offertes par l'emploi de solutions nutritives à action rapide. Nous sommes conscients que les résultats présentés ici ne couvrent pas l'ensemble du problème, loin s'en faut. Néanmoins, ils sont de nature à fournir une partie des éléments de base essentiels à une compréhension globale du phénomène. Très peu de travaux ont été publiés à ce jour sur la fertilisation des semis en contenants. Aussi avons nous tenté de définir dans quelle mesure un tel semis répondait à une fertilisation aussi précoce: la première application de solution nutritive a eu lieu alors que les semis n'étaient âgés que de cent vingt-trois jours.

Il nous importait aussi de connaître quelle était la nature de cette réaction, c'est-à-dire savoir si tels éléments apportés favo-

risaient plus la croissance aérienne ou le système racinaire ou encore les deux à la fois?

Comme base de la solution nutritive, nous avons pris l'urée. Le rôle de l'urée comme "activateur de croissance" pour les jeunes semis n'est plus à démontrer (Stephen et Waid, 1963). En effet, par sa teneur élevée en azote (46%), son très haut pouvoir de solubilité (133 gr / 100 ml d'eau à 32°C) et sa compatibilité à être mélangé à d'autres fertilisants (Hardesty, 1955), l'urée produit des effets marqués si on l'applique à des semis de quelques semaines.

Néanmoins il a déjà été démontré que l'urée pouvait induire une croissance inférieure à la moyenne (Court et al., 1963) et une mortalité élevée si elle est appliquée à forte dose.

Ces distinctions sont d'autant plus tranchées dans le cas des "tubelings" où le contenant, quelle qu'en soit d'ailleurs sa nature, est susceptible d'agir comme un milieu fermé et contraignant. Les dimensions du tube à cet égard jouent un rôle très important (Stevenson, 1967; Boudoux, 1971).

D'autre part, l'apport conjointement à l'urée d'une solution nutritive "balancée" permet d'augmenter très sensiblement la concentration d'urée (Ofori, 1965).

Dès à présent il importe de préciser ce que nous entendons par "solution balancée". De nombreux auteurs (Ingestad, 1967, a et b; Swan, 1970; Weetman, 1970) ont étudié ce problème et ont défini ce que devaient être les rapports optimaux des différents éléments chimiques dans le cas de Picea mariana. Néanmoins, dans notre cas il ne s'agis-

sait pas de fournir au semis une solution complète mais plutôt une solution d'appoint qui nous permette d'augmenter la teneur en urée du fertilisant au delà de la dose généralement considérée comme létale pour les semis de cet âge. Cet effet létal serait vraisemblablement dû à une accumulation d'ammoniaque et de nitrite au voisinage des racines (Court et al., 1963; Stephen et Waid, 1963).

Pour cette raison, nous avons testé (au cours d'expériences préalables) une série aussi large que possible d'équilibres et de niveaux de P, K, et Mg. A la lumière des résultats obtenus, nous avons retenu une formule relativement riche en phosphore mais qui ne contenait pas de calcium. On sait en effet que le calcium interfère dans la décomposition de l'urée (Gonzalez et Hubert, 1971; Carpéna et al., 1966), et dans l'absorption de celle-ci par le végétal (Suarez, 1965).

Il est évident que le rôle premier de la solution nutritive n'est pas ici d'apporter des éléments minéraux qui existent d'ailleurs en quantité suffisante dans le substrat, mais plutôt de rétablir les équilibres rompus par un apport massif d'azote dans le substrat (Suarez, 1965; Ingestad, 1962 et 1967 a). Ceci est principalement vrai pour le phosphore qui se révèle excessivement sensible. De plus, pour absorber l'ion ammonium, la plante doit fournir de l'énergie et cette réaction endothermique (Jeglum, 1970) est favorisée chez le jeune semis au détriment de l'absorption passive du  $\text{NO}_3$  (McKee, 1962).

Disons pour terminer que dans le processus général de fabrication et d'utilisation des "plantubes", l'apport de fertilisant est une des opérations les plus facilement mécanisables. Si d'autre part

on veut bien considérer que quelques milligrammes de solution nutritive soigneusement dosée peuvent augmenter le rendement final de la plantation dans des proportions respectables, il serait regrettable que d'autres études ne soient pas entreprises afin de déterminer une fois pour toute le "quand", le "pourquoi" et le "comment" de ce mode de fertilisation.

#### MATERIEL ET METHODES

Nous avons choisi comme essence l'épinette noire, Picea mariana (Mill. B.S.P.), étant donné la faveur dont elle jouit, à juste titre d'ailleurs, dans les travaux de reboisement au Québec.

Sept traitements ont été utilisés. Chacun de ces traitements a été appliqué à trois modèles différents de contenant. Les vingt et une combinaisons (traitement x contenant) ont été répliquées cent fois, en l'occurrence cinq groupes de vingt semis. Le dispositif total comporte donc 2,100 semis identifiés et étudiés individuellement sauf en ce qui concerne les analyses foliaires qui ont été effectuées sur des échantillons de 20 semis regroupés. Le type de contenant adopté a déjà fait l'objet de publications précédentes (Boudoux, 1969 et 1970). Rappelons brièvement qu'il s'agit d'un tube fait de bois de déroulage et enrobé d'une solution d'acétone-polyvinyle.

On a établi précédemment (Boudoux, 1971) que les dimensions du contenant qui assuraient la meilleure croissance au semis d'épinette noire étaient: 3cm x 10cm (diamètre x hauteur du tube), 3cm x 13cm

et 4cm x 10cm. Ce sont donc ces trois grandeurs que nous avons employées. Dans la suite du texte, on référera à un type de contenant par les numéros 310, 313 ou 410. Les contenants ont été remplis d'un mélange tourbe: sable: terre, dans les proportions pondérales de 5: 2: 2.

Afin d'homogénéiser au maximum la croissance, les graines de Picea mariana (Mill. (B.S.P.)) employées provenaient toutes d'un même arbre (Forêt expérimentale de Valcartier, à une trentaine de milles au nord-ouest de la Ville de Québec).

Ces graines furent mises à germer dans des boîtes de Pétri, à raison de cent graines par boîte. Le fond de ces boîtes était constitué d'une couche de perlite recouverte d'un papier filtre (Weetman # 9). Ce dispositif permettait d'assurer aux graines une humidité constante durant toute leur germination (% germination: 87%). On avait remarqué dans une expérience préliminaire que les graines de Picea mariana qui germent parmi les premières (6ième ou 7ième jour) donnent des semis plus vigoureux au départ. Cette différence de vigueur pouvant d'ailleurs se maintenir durant trois à cinq mois. Pour obvier à cet inconvénient nous avons mis à germer environ 4,000 graines sélectionnées du point de vue du poids (Ackerman, 1969; Burgar, 1964). Les 2,100 premières graines germées servirent pour l'expérience. Il n'y avait donc au point de vue germination qu'une différence d'une trentaine d'heures entre le repiquage de la première et de la dernière graine. En effet sitôt germées, les graines furent repiquées à raison de une par tube.

Pendant toute la durée de l'expérience, les semis en tubes sont restés dans une chambre de croissance dont les conditions de milieu étaient: photopériode 16 heures (luminosité:  $0.3 \text{ cal. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ , température diurne:  $75^{\circ}\text{F}$ ) et scotopériode ou période obscure de 8 heures, durant lesquelles la température était maintenue à  $65^{\circ}\text{F}$ . Cette phase obscure étant coupée en son milieu d'une tranche lumineuse d'une durée de trois heures (Kramer et Kozlowski, 1960; Dormling, 1968). L'humidité relative est gardée constante à 75% et l'arrosage automatique (20 secondes d'arrosage toutes les heures durant la photophase) se fait au moyen de "jets de brume" assurant une répartition uniforme de l'humidité (figure 1).

Une fois garni de leur graine germée, les tubes ont été placés par groupes de cent dans des boîtes rectangulaires dont le fond était constitué d'un treillis métallique afin de favoriser le drainage des tubes. De plus ce treillis remplit une autre fonction: laissant l'extrémité inférieure du tube à l'air libre, il empêchait le système racinaire du semis de sortir du tube et forçait donc celui-ci à se développer à l'intérieur, assurant ainsi une colonisation maximale du substrat à la disposition de la plante. Par substrat il faut entendre le volume de terre contenu dans le tube.

Dans chaque boîte de 100 plantubes, cinq sous-groupes de 20 semis furent désignés au hasard et reçurent en cours d'expérience le traitement approprié. La durée de cette expérience fut fixée à 175 jours (25 semaines), ceci afin d'éviter une interaction possible avec les traitements (Steinbrenner, 1964; Van den Driesche, 1969). Il est,

en effet, généralement admis que durant les 10 premières semaines le semis fait largement appel à ses réserves endospermiques (Swan, 1970).

Lors de l'application des traitements, c'est-à-dire le 63<sup>ième</sup> et le 123<sup>ième</sup> jour, la procédure utilisée fut la suivante: la température de la chambre de croissance fut baissée à 65°F durant une période de 72 heures consécutive à l'application de la solution nutritive, ceci afin de minimiser les pertes d'ammoniac par volatilisation (Gasser, 1964; Bhure, 1970). L'arrosage fut également supprimé durant le même laps de temps de façon à éviter un lessivage trop rapide des éléments minéraux apportés. Il faut cependant noter qu'un léger arrosage de 20 secondes prenait place après 48 heures et qu'il était dispensé sous forme de brume. Les 72 heures écoulées, le cycle normal, tel que décrit plus haut et illustré par la figure 1, reprenait.

Il faut d'autre part remarquer que l'humidité relative de l'air dans la chambre de croissance était montée à 90% durant l'application des traitements. Cette condition, réunie à l'absence d'arrosage durant 72 heures, permet de diminuer au maximum à la fois la dessiccation du plant par évapotranspiration mais aussi la volatilisation de l'urée sous forme d'ammoniac (Ernst et al., 1960; Bernier et al., 1969; Gonzalez et Hubert, 1971).

Lors de chaque application de 25 cc de solution nutritive, cette solution fut distribuée à chaque semis séparément au moyen d'une pipette graduée et de la façon suivante: première application de 10 cc de solution nutritive suivie, une heure après d'une seconde application de 10 cc, cette seconde application elle-même suivie d'une troisième application de 5 cc deux heures après, ceci afin de permettre une pénétration graduelle de la solution dans le substrat.

Les différents traitements utilisés sont les suivants:

(Dans la suite du texte on référera à un traitement par son numéro afin de faciliter la lecture).

Traitement 1: groupe témoin: ces semis n'ont reçu aucune solution. D'autre part, ils ont été placés dans les mêmes conditions de milieu que les autres semis.

Traitement 2: application de 25 cc par semis de la solution A (voir tableau 1) le 63ième jour.

Traitement 3: application de 25 cc par semis de la solution A le 63ième jour, suivi d'une deuxième application de 25 cc de cette solution, le 123ième jour.

Traitement 4: application de 25 cc par semis de la solution B (voir tableau 1) le 63ième jour.

Traitement 5: application de 25 cc par semis de la solution B le 63ième jour, suivi d'une deuxième application de 25 cc de cette solution le 123ième jour.

Traitement 6: application de 25 cc par semis de la solution C (voir tableau 1) le 63ième jour.

Traitement 7: application de 25 cc par semis de la solution C le 63ième jour, suivi d'une deuxième application de 25 cc de cette solution le 123ième jour.

En ce qui concerne les mesures, la croissance en hauteur des

semis a été mesurée tous les sept jours durant l'expérience. Ces mesures ont été faites au moyen d'un pied à coulisse dont la précision était de  $10^{-1}$  mm. La figure 1 indique les valeurs moyennes de ces mesures.

Pour des raisons de clarté, l'écart-type affectant chaque moyenne n'a pas été reporté sur le graphique mais on notera que le coefficient de variation (rapport de la moyenne à l'écart-type) oscille entre 5 et 7.5% ce qui est très acceptable. On remarquera aussi que la figure 1 n'indique que certaines hauteurs remarquables et que les différentes courbes de croissance rendant compte des différents traitements n'ont été dissociées qu'après l'application du traitement.

A la fin de l'expérience, chaque plant a été déterré et son système racinaire pesé. Les mesures de poids ont été faites après que le matériel eut été séché à l'étuve. Il a été démontré en effet (Gordon, 1967) qu'il existait une très bonne corrélation entre les teneurs en éléments minéraux calculées comme pourcentage de la matière sèche et comme pourcentage de la matière fraîche. De plus on sait que l'analyse chimique des aiguilles à l'état frais présente certaines difficultés supplémentaires (Tamm, 1964). Néanmoins lorsqu'il s'est agi d'interpréter les résultats des analyses il nous est apparu qu'il eut été souhaitable de pouvoir rattacher ces teneurs également à un poids de matière fraîche ainsi nous aurions eu des mesures à la fois comparables à celles de la littérature, mais pouvant également servir d'estimateur de la vigueur des plants (Lowry, 1969).

Pour chaque semis le nombre de racines dont la longueur dépassait un tiers de la longueur de la racine principale a également été déterminé. Nous avons calculé le pourcentage de mortalité dans chacun des groupes. Quant à l'analyse foliaire les aiguilles récoltées ont été séchées par lyophilisation et broyées à 20 mailles (Broyeur Wiley). Leur mise en solution s'est faite par oxydation et minéralisation par voie humide (Amiot et Bernier, 1962). Les méthodes analytiques suivantes ont été employées:

Dosage de N: 1) digestion dans un micro-kjeldahl (5 heures)  
2) distillation à la sonde et titration au  $H_2SO_4$   
(Bremner et Shaw, 1958).

Dosage de P: par colorimétrie sur un spectrophotomètre Beckman (modèle DU), (Bray et Kurtz, 1945).

Dosage de K: par absorption atomique (Pawlock, 1967), photomètre à flamme de Coleman (modèle 22).

## RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de cette étude sont présentés en quatre sections, la première traitant de la croissance aérienne des semis, la seconde de leur développement radiculaire, la troisième des analyses chimiques effectuées sur les aiguilles et la quatrième des différents taux de mortalité observés. En outre, chaque fois que cela s'avérera utile, nous distinguerons les résultats obtenus dans chacun des trois modèles de contenants.

### Croissance aérienne

La figure 2 donne les courbes de croissance (longueur de la partie aérienne) des sept traitements. Les chiffres 1 à 7 qui accompagnent ces courbes correspondent aux numéros des traitements. Pour des raisons de clarté, seule la hauteur moyenne générale correspondant à un traitement donné a été indiquée. Le lecteur trouvera au tableau 2 les valeurs exactes des hauteurs moyennes des 21 groupes (7 traitements appliqués à 3 types de contenants). Un simple examen de cette figure indique déjà que l'action des traitements a été très différenciée. Le traitement 7 consistant en deux applications successives de 25 cc par semis de la solution C (voir tableau 1) a induit, toutes autres conditions étant égales, une croissance double (52 mm) de celle des semis "témoin" (traitement 1). Afin de faciliter la lecture du graphique nous avons tramé l'espace se trouvant en dessous de la courbe-témoin (courbe 1). A deux exceptions près (courbes 4 et 5), les différentes courbes sont toutes supérieures au témoin. On remarquera aussi que lorsque l'urée à forte dose est accompagnée par une solution nutritive "équilibrée", une deuxième application (courbe 7) appliquée deux mois après la première produit une croissance nettement accrue: le traitement 6 est basé sur la même solution que le traitement 7, mais ne comporte qu'une seule application. Dans le cas des traitements 4 et 5, comportant une teneur élevée en azote, sous forme d'urée (2330 ppm) la croissance n'est pas significativement différente de celle du témoin (test de "t").

Le tableau 2, moins frappant peut-être que la figure 2, donne néanmoins une information plus complète.

En effet les moyennes des valeurs de la croissance aérienne y sont ventilées suivant le traitement appliqué et suivant le modèle de contenant employé. On remarquera qu'il existe d'importantes différences entre les 21 moyennes.

Nous avons voulu déterminer quel degré de confiance on pouvait accorder à ces différences. Pour ce faire, nous avons exécuté une analyse de variance sur les 105 groupes de semis. Les résultats de cette analyse sont exprimés au tableau 5. Par effet "traitement" il faut entendre l'effet qu'a eu sur la croissance du semis l'apport de la ou des solutions nutritives. L'effet "dimension" réfère aux différents modèles de contenant employés et l'effet "bloc" s'explique par le fait que chacune des 21 combinaisons était répétée 5 fois.

Ainsi que la figure 2 le laissait augurer, l'effet "traitement" est hautement significatif ( $F = 65.11^{**}$ ), ainsi que l'effet "dimension" ( $F = 8.98^{**}$ ). Par contre aucune des interactions principales n'est significative. La très faible valeur de F obtenue ( $F = 0.21$ ) au poste effet "bloc" indique qu'à l'intérieur d'une même combinaison il n'y a d'autre différence qu'aléatoire entre les cinq blocs, ce qui constitue en quelque sorte une mesure positive de l'homogénéité des groupes. A ce propos on notera également les valeurs très basses des écarts-type des différentes moyennes (tableau 2).

#### Développement radiculaire

A la fin de l'expérience, les 2,100 systèmes radiculaires ont été pesés individuellement et les résultats, exprimés, en milligrammes, compilés par groupe de 20 afin de simplifier les calculs.

Le tableau 3 donne les poids moyens (avec leur écart-type) des 21 groupes. En termes de poids absolus des racines, les meilleures valeurs sont obtenues pour le traitement 6, lorsque celui-ci est appliqué à des semis élevés dans des contenants ayant respectivement les dimensions 310, 313 et 410.

Néanmoins ces valeurs ne doivent être regardées qu'avec circonspection. On sait en effet que dans le cas des semis élevés en contenant, plus celui-ci est volumineux, plus le système racinaire sera important (Stevenson, 1967) du moins en règle très générale. Aussi à la notion de poids préférons nous celle de densité d'enracinement (Newbould, 1969; Boudoux, 1969; Barley, 1970) qui tient compte à la fois du système racinaire et des deux dimensions (diamètre et hauteur) du contenant. Cette densité d'enracinement s'exprime soit en cm de racine par  $\text{cm}^3$  de substrat (Cockroft et Wallbrink, 1966), soit en gr de racine par  $\text{cm}^3$  ou par gr de substrat (Andrews et Newman, 1970). Nous avons choisi de l'étudier à la fois en  $\text{gr}/\text{cm}^3$  (densité globale d'enracinement), en  $\text{gr}/\text{cm}^2$  (densité latérale d'enracinement) et en  $\text{gr}/\text{cm}$  (densité verticale d'enracinement). On trouvera aux tableaux 4 A, B et C ces valeurs pour les 21 groupes de semis.

D'autre part, l'analyse de variance (tableau 6 A) du poids des systèmes racinaires met en lumière des différences très significatives entre les traitements ( $F = 34.40^{**}$ ), les dimensions des contenants ( $F = 11.85^{**}$ ) et l'interaction principale "traitement x dimension" ( $F = 3.94^{**}$ ). Ceci étant posé, il importe de définir quel est le traitement qui a induit le meilleur développement racinaire. Si on se rapporte aux valeurs des densités globales d'enracinement,

il est indéniable que celui-ci est atteint par le traitement 6 où l'on observe les valeurs 0.050, 0.050 et 0.041 suivant qu'il s'agit des modèles de contenants 310, 313 ou 410. Mais si les poids et mieux encore les densités d'enracinement permettent de quantifier avec plus ou moins de bonheur les systèmes radiculaires il ne faut pas perdre de vue qu'un système racinaire sera d'autant plus efficace qu'il sera ramifié. D'où, nous avons déterminé pour chaque semis le nombre de racines qui atteignent en longueur un tiers de la racine principale. Le tableau 6B donne les résultats de l'analyse de variance de ces données. Aucun effet significatif n'a pu être mis en évidence. Néanmoins nous reviendrons sur ce point plus tard, lorsque nous discuterons du taux de mortalité dans les différents traitements.

#### Analyses foliaires

Les tableaux 7B et 8 donnent les teneurs moyennes en N, P, K observées dans les aiguilles des différents groupes. Le tableau 7B comporte en outre les résultats du test de Duncan (Duncan, 1954), appliqué aux 3 éléments. Les valeurs soulignées d'un même trait ne sont pas significativement différentes entre elles.

Le tableau 7A donne les résultats de l'analyse de variance de ces différents taux. Dans l'ensemble ces résultats reflètent assez bien les traitements qui ont été appliqués. L'intérêt majeur qu'ils offrent dans ce cas est d'expliquer les différents taux de mortalité.

#### Taux de mortalité

Le tableau 8 donne les différents taux de mortalité, en pour-

cent, tels qu'observés à la fin de l'expérience. Il ne semble pas que les dimensions des contenants aient pu avoir quelque influence sur ces taux; seuls les traitements semblent en cause. La mortalité est maximale pour le traitement 5 (fortes doses d'azote sans solution d'accompagnement). Dans ce cas, cette mortalité élevée est explicable par les teneurs élevées d'azote que l'on a trouvées dans les aiguilles, parallèlement à un taux très bas de potassium (2.54% contre 0.26% de la matière sèche). Si dans le cas du traitement on retrouve une teneur en azote presque aussi élevée mais un taux de potassium beaucoup plus important (1.38%), ces teneurs en N,P,K, respectivement 2.42, 0.26 et 1.38% sont considérées par Swan, (1970) comme étant celles qui infèrent une croissance bonne à excellente (.... range of sufficiency for good to very good growth ....). Sauf en ce qui concerne le potassium (1.38%) que cet auteur considère comme une teneur "exagérée à toxique" (.... range of luxury to excess (toxic) consumption ....). Cet élément est peut-être légèrement excédentaire dans les solutions nutritives (1,121 ppm) ce qui expliquerait alors le poids du système racinaire plus faible dans le cas du traitement 7 que dans le cas du traitement 3 (voir tableau 3) et aussi le fait que le traitement 6 permettait en moyenne un meilleur développement du système racinaire que le traitement 7.

## CONCLUSIONS

Bien que, comme nous le mentionnons dans l'introduction, les résultats obtenus ne peuvent être considérés comme une solution globale du problème de la fertilisation à forte dose des "tubelings", il est néanmoins déjà possible de dégager quelques faits saillants:

- les dimensions du contenant, surtout son diamètre, jouent un rôle prépondérant dans la croissance des semis, tant en ce qui concerne leur croissance aérienne que leur développement racinaire.
- l'azote appliquée sous forme d'urée augmente très sensiblement la vitesse de croissance des semis. Néanmoins, au delà d'une certaine concentration, l'urée peut devenir un facteur négatif et même létal.
- ce seuil de toxicité peut être dépassé en fournissant au semis, concurremment à l'urée, une certaine quantité d'éléments minéraux pour lui permettre de rétablir ses principaux équilibres ioniques.
- un tel traitement permettrait de réduire considérablement le temps nécessaire à la production de semis aptes au reboisement, avec tout ce que cela implique comme économie de main-d'oeuvre, de chauffage des serres et d'entretien des semis avant qu'ils ne soient mis en place sur le terrain.

- d'autre part, les améliorations non-négligeables observées dans le développement radiculaire des semis traités sont indéniablement de nature à favoriser la reprise sur le terrain de tels semis, abaissant ainsi les taux de mortalité élevée trop couramment observés après une saison ou deux de plantation.

Tableau 1. Composition moléculaire des différentes solutions nutritives employées. Les teneurs sont exprimées en ppm.

		ELEMENTS									
SOLUTION	pH	N(Nitrate)	N (urée)	P	K	Mg	Mn	Fe	Cu	B	Mo
A	5.9	-	1165	-	-	-	-	12.2	4.9	3.3	.7
B	6.0	-	2330	-	-	-	-	12.2	4.9	3.3	.7
C	6.8	1350	1165	1178	1121	24.3	14.6	12.2	4.9	3.3	.7

Tableau 2. Hauteurs moyennes en mm, (avec leur écart-type) des 21 groupes de semis à la fin de l'expérience. Les traitements sont représentés par les chiffres 1 à 7. Les nombres 310, 313 et 410 représentent les trois modèles de contenant ayant respectivement 3.3 et 4 cm de diamètre par 10 cm de hauteur. Chaque valeur représente la moyenne d'environ cent semis (les semis morts durant l'expérience n'ont pas été pris en considération dans ce tableau).

	1	2	3	4	5	6	7
310	26.46 $\pm$ .72	26.22 $\pm$ 1.12	26.98 $\pm$ 1.32	22.05 $\pm$ .96	23.60 $\pm$ 1.78	29.67 $\pm$ 1.14	48.28 $\pm$ 2.32
313	21.78 $\pm$ .38	24.15 $\pm$ 1.08	29.14 $\pm$ 1.61	24.33 $\pm$ .98	23.26 $\pm$ 1.39	33.13 $\pm$ 1.07	52.61 $\pm$ 1.60
410	24.19 $\pm$ .67	33.87 $\pm$ 2.02	36.70 $\pm$ 2.05	24.33 $\pm$ 1.25	24.11 $\pm$ 1.78	36.66 $\pm$ 1.97	54.10 $\pm$ 2.81
Moyenne	23.82 $\pm$ .36	28.02 $\pm$ .91	30.88 $\pm$ 1.02	23.64 $\pm$ .63	23.52 $\pm$ .92	33.18 $\pm$ .87	51.88 $\pm$ 1.87

Tableau 3. Poids moyens en mgr (avec leur écart-type) des systèmes radiculaires des 21 groupes de semis. Les traitements sont représentés par les chiffres 1 à 7. Les nombres 310, 313 et 410 représentent les trois modèles de contenant ayant respectivement 3.3 et 4 cm de diamètre par 10, 13 et 10 cm de hauteur. Les cinq valeurs les plus élevées sont soulignées. Chaque valeur représente la moyenne d'environ cent semis (les semis morts durant l'expérience n'ont pas été pris en considération dans ce tableau).

	1	2	3	4	5	6	7
310	<u>15.16</u> $\pm$ .60	9.66 $\pm$ .76	7.88 $\pm$ .72	4.75 $\pm$ .74	2.60 $\pm$ .32	14.02 $\pm$ 1.00	11.38 $\pm$ 1.01
313	10.41 $\pm$ .24	9.97 $\pm$ 1.21	8.44 $\pm$ .97	8.56 $\pm$ 1.08	3.15 $\pm$ .24	<u>18.30</u> $\pm$ 1.09	10.42 $\pm$ .58
410	10.93 $\pm$ .46	<u>16.48</u> $\pm$ 1.68	<u>15.77</u> $\pm$ 1.59	7.41 $\pm$ 1.02	4.60 $\pm$ 1.04	<u>20.76</u> $\pm$ 1.68	13.45 $\pm$ 1.09

Tableau 4A. Valeur des "densités d'enracinement", exprimées en  $\text{mgr/cm}^2/\text{cm}$  pour les 7 traitements (là 7) et les 3 modèles de contenant (310, 313, 410).

	1	2	3	4	5	6	7
310	.054	.034	.028	.017	.009	.050	.040
313	.028	.027	.023	.023	.009	.050	.028
410	.022	.033	.031	.031	.009	.041	.027

Tableau 4B. Valeur des "densités latérales d'enracinement" exprimées en mgr/cm<sup>2</sup> - pour les 7 traitements (1 à 7) et les 3 modèles de contenant (310, 313, 410).

	1	2	3	4	5	6	7
310	.636	.342	.279	.168	.092	.496	.402
313	.368	.353	.299	.303	.111	.647	.369
410	.217	.323	.314	.147	.092	.413	.268

Tableau 4C. Valeur des "densités verticales d'enracinement" exprimées en mgr/cm pour les 7 traitements (1 à 7) et les 3 modèles de contenant (310, 313, 410).

	1	2	3	4	5	6	7
310	1.516	.966	.788	.475	.260	1.402	1.138
313	.801	.767	.649	.658	.242	1.408	.802
410	1.093	1.648	1.577	.741	.460	2.076	1.345

Tableau 5. Analyse de variance des hauteurs des semis basée sur les valeurs moyennes des 105 groupes de vingt semis.

Origine de la Variation	Carré moyen	valeur de F.
Effet "traitement" (T)	1489.88	65.11 <sup>**</sup>
Effet "dimension" (D)	204.26	8.98 <sup>**</sup>
Effet "bloc" (B)	4.80	0.21 (NS)
Interaction (T x B)	13.54	0.85 (NS)
Interaction (T x D)	35.80	1.56 (NS)
Interaction (B x D)	40.98	1.79 (NS)

<sup>\*\*</sup> Valeur de F significative au seuil 0.01.

\* Valeur de F significative au seuil 0.05.

NS: Valeur de F non-significative.

Tableau 6A. Analyse de variance des poids secs des systèmes racinaires des semis.  
 Cette analyse est basée sur les valeurs moyennes de 105 groupes de  
 vingt semis.

Origine de la Variation	Carré moyen	valeur de F.
Effet "traitement" (T)	312.50	34.40 <sup>***</sup>
Effet "dimension" (D)	107.68	11.85 <sup>**</sup>
Effet "bloc" (B)	1.61	0.18 (NS)
Interaction (T x B)	11.13	1.23 (NS)
Interaction (T x D)	35.82	3.94 <sup>**</sup>
Interaction (B x D)	19.49	2.15 (NS)

<sup>\*\*\*</sup>: Valeur de F significative au seuil 0.01

<sup>\*\*</sup>: Valeur de F significative au seuil 0.05

NS: Valeur de F non-significative.

Tableau 6B. Analyse de variance des nombres moyen pour semis de racines dont la longueur atteignait un tiers de la longueur de la racine principale.

Origine de la Variation	Carré moyen	valeur de F
Effet "traitement"	.0141	.04 (NS)
Effet "dimension"	.7582	2.20 (NS)

N.S.: Valeur de F non-significative.

Tableau 7A. Analyse de variance du taux en azote, phosphore et potassium dans les aiguilles à la fin de l'expérience. Ce taux a été calculé en % de la matière sèche.

Origine de la Variation	Carré moyen	valeur de F
Teneur en "azote"	1.7650	40.76 <sup>***</sup>
Teneur en "phosphore"	0.0141	93.80 <sup>***</sup>
Teneur en "potassium"	0.3287	16.18 <sup>***</sup>

<sup>\*\*\*</sup> Valeur de F significative à 0.01

Tableau 7B. Valeurs moyennes des teneurs en azote, phosphore et potassium dans les différents traitements. Ces teneurs sont exprimées en % de la matière sèche. Les moyennes soulignées par un même trait ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil 0.05 (multiple F test, Duncan 1954).

Numéro du traitement	6	1	2	4	3	7	5
Azote (% matière sèche)	.65	.96	1.11	1.54	1.96	2.42	2.54
	_____		_____		_____		
Numéro du traitement	4	5	2	3	1	6	7
Phosphore (% matière sèche)	.07	.07	.07	.07	.13	.14	.26
	_____		_____		_____		
Numéro du traitement	5	4	2	3	6	1	7
Potassium (% matière sèche)	.26	.49	.55	.63	.63	.80	1.38
	_____		_____		_____		

Tableau 8. Pourcentage de mortalité pour chaque traitement et chaque type de contenant en relation avec les teneurs en N, P et K des aiguilles à la fin de l'expérience.

NUMERO DU TRAITEMENT	TENEUR EN "N" (% M.S.)	TENEUR EN "P" (% M.S.)	TENEUR EN "K" (% M.S.)	% MORTALITE		
				310	313	410
1 (TEMOIN)	.76	.73	.80	2	3	1
2	1.11	.07	.55	8	4	8
3	1.96	.07	.63	2	12	8
4	1.54	.07	.49	26	16	16
5	2.54	.07	.26	80	54	82
6	.65	.14	.63	8	4	6
7	2.42	.26	1.38	20	2	2

Fig. 1. Conditions de milieu adoptées durant les 176 jours de l'expérience

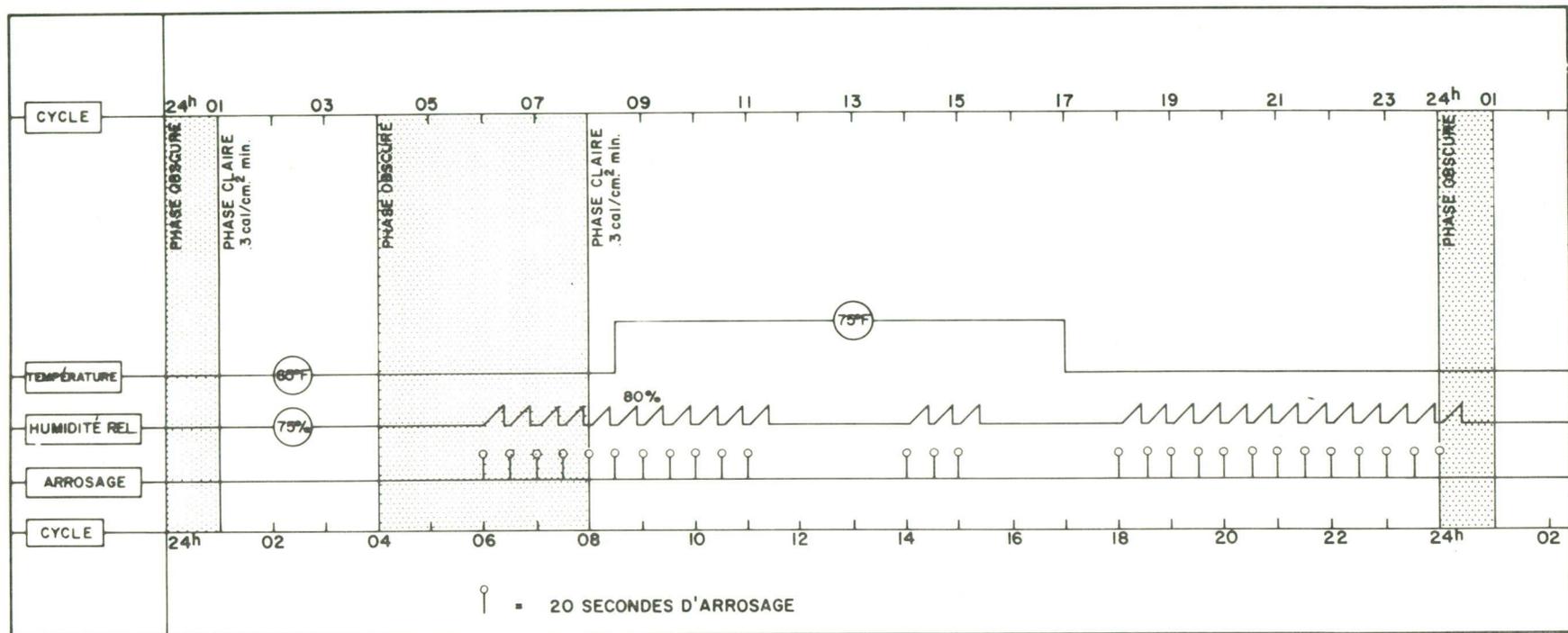
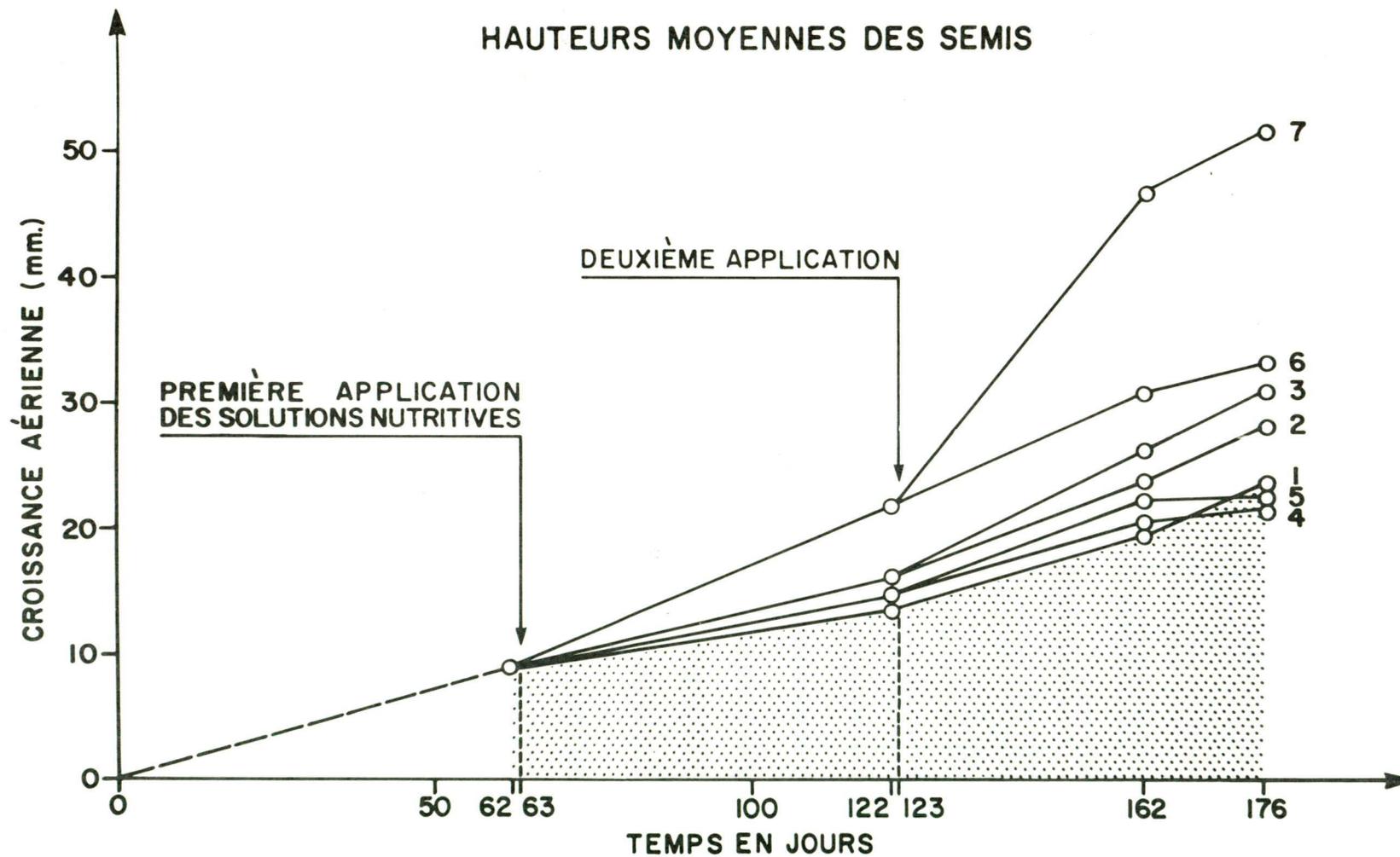


Fig. 2. Courbes de croissance des 7 traitements. Les applications de solution nutritive ont eu lieu le 63<sup>ième</sup> et le 123<sup>ième</sup> jour.

Chaque courbe représente la moyenne calculée des 5 sous-groupes de 20 semis. Afin de ne pas surcharger la figure on a reporté uniquement les valeurs moyennes des 63, 123, 162 et 176<sup>ième</sup> jour. Les autres valeurs peuvent facilement s'estimer par interpolation. La partie ombrée du graphique représente l'ensemble des valeurs inférieures à la courbe témoin.

# HAUTEURS MOYENNES DES SEMIS



REFERENCES

- Ackerman, R.F., et J.R. Gorman, 1969. Effect of seed weight on the size of lodgepole pine and white spruce container-planting stock. Pulp.Pap.Mag. Can. Vol. 70: 167-169.
- Andrews, R.E., et E.I. Newman, 1970. Root density and competition for nutrient. Oecol. Plant. 5:319-334.
- Amiot, L.P., et B. Bernier, 1962. Méthodes d'analyse chimique usuelle des sols et des tissus végétaux. Presses Univ. Laval (pp. 113).
- Barley, K.P., 1970. The configuration of the root system in relation to nutrient uptake. Advances in agron. Vol. 22: 159-202.
- Bernier, B., Carrier, D., et W.A. Smirnoff, 1969. Preliminary observations on nitrogen losses through ammoniac volatilization following urea fertilization of soil in a jack pine forest. Nat. Can. Vol. 96: 251-255.
- Bhure, N.D., 1970. La déperdition par volatilisation de l'azote provenant de l'urée appliqué aux sols forestiers. Rev. Bimestr. Rech. Vol. 26(3).
- Boudoux, M.E., 1969. Un nouveau type de plantube. Serv. Can. For. Rapp. interne Q-F-1.
- Boudoux, M.E., 1970. La densité d'enracinement chez les semis de Picea mariana. Rev. Bimestr. Rech. Vol. 26(3).

- Boudoux, M.E., 1971. Optimum container size for the production of black spruce tubelings (en préparation).
- Bray, R.H., et L.T. Kurtz, 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 50: 39-45.
- Bremner, J.N., et K. Shaw, 1958. Denitrification in soils. Methods of investigation. J. Agric. Sci. 51: 22.
- Burgar, R.J., 1964. The effect of seed size on germination, survival and initial growth in white spruce. For. Chron. Vol. 40(1): 93-97.
- Carpeña, O., Ortuno, A., Costa, F., et S. Llorente, 1966. Hydrolysis and nitrification of urea in soil. Agrochimica. 10(4): 305-321.
- Cockroft, B., et J.C. Wallbrink, 1966. Root distribution of orchard trees. Aust. J. agric. Res., 17: 49-54.
- Court, H.N., Dickins, J.C., Stephen, R.C. et J.S. Waid, 1963. The influence of soil type on the response of maize to urea in glasshouse experiments. J. Soil. Sci. 14(2): 247-255.
- Dormling, I., Gustafsson, A., et D. von Wettstein, 1968. The experimental control of the life cycle in Picea abies (L.) Karst. Silvae Genet. 17(2-3): 44-63.
- Duncan, D.B., 1954. Multiple range and multiple F tests. Biometrics 10: 1-42.

- Ernst, J.W., et H.F. Massey, 1960. The effects of several factors on volatilization of ammoniac formed from urea in the soil.  
Soil. Sci. Soc. Amer Proc. 22: 303-307.
- Gasser, J.K.R., 1964. Some factors affecting losses of ammonia from urea and to soils.  
J. Soil Sci. 15(2): 258-272.
- Gonzalez, A., et G. Hubert, 1971. Influence de l'urée sur l'ensemble des composés azotés d'un humus forestier, in vitro (en préparation).
- Gordon, J.C., et G.E. Gatherum, 1967. Correlations among fresh weight dry weight volume and total length of needles of scotch pine seedlings. For. Sci. 13: 426-427.
- Hardesty, J.O., 1955. Fertilizer urea and its properties.  
Agric chem. 10(8): 50-51, 31-97.
- Ingestad, T., 1962. Macro element nutrition of pine, spruce and birch seedlings in nutrient solution. Meddelanden från statens skogforskninginstitut. Band 51(7): 1-132.
- 1967(a). Nutrient needs of seedlings and young trees.  
Proc. Colloq. For. Fert. Jyväskylä, Finland.  
(pp. 132-141).
  - 1967(b). Methods for uniform optimum fertilization of forest tree plants. 14 th IUFRO Kongress, München, Papers III, Section 22: 265-263.

- Jeglum, J.K., 1970. The effect of pH, form of nitrogen and antibiotics on the growth of conifer seedlings in water.  
Can. For. Serv. Dep. Fish. For. Intern. Rep. 0-21.
- Kramer, P.J., et T.T. Kozlowski, 1960. Physiology of trees. New York.
- Lowry, G.L., et P.M. Avard, 1969. Nutrient content of black spruce needles. III Seasonal variations and recommended sampling procedures. Woodl. Papers. Pulp. Pap. Res. Inst. Can. No. 10.
- McKee, H.S., 1962. Nitrogen metabolism in plants. Clarendon, Oxford (pp. 728).
- Newbould, P., 1969. The absorption of nutrients by plants from different zones in the soil.  
Ecological aspects of the mineral nutrition of plants (177-190). Blackwell Scientific Publication, Oxford, England, p. 177-190.
- Ofori, S., 1965. Greenhouse studies on the effect of urea on fertilizer phosphores absorption.  
Beitr. Trop Landw. Vetmed. 3: 245-243.
- Pawluk, S., 1967. Soils analysis by atomic absorption spectrophotometry.  
Atomic Absorb. Newsletters. 6(3): 53-56.
- Steinbrenner, E.C., et J.H. Rediske, 1964. Growth of ponderosa pine and douglas fir in a controlled environment.  
Weyerhaeuser For. Pap. 1.
- Stephen, R.C. et J.S. Waid, 1963. Pot experiments on urea as a fertilizer. I. A comparison of responses by various plants.  
Plant and Soil 18(3): 309-316.

- Stevenson, D.S., 1967. Effective soil volume and its importance to root and top growth of plants. *Can J. Soil Sci.* 47: 163-175.
- Suárez, A., et E. Ascencion Santos, 1965. Comparison of urea and ammonium nitrate for grass-land. *Trab. Estac. Agric. Expl. León* 2: 303-316.
- Swan, H.S.D., 1970. Relationship between nutrient supply, growth and nutrient concentrations in the foliage of black spruce and jack pine, woodlands Pap. No. 13.
- Tamm, C.O., 1964. Determination of nutrients requirements of forest stands. *Rev. For. Res.* 1: 115-170.
- Van den Driessche, R., 1969. Tissue nutrient concentrations of douglas fir and sitka spruce. *Res. Notes B.C. For. Serv.* No. 47.
- Weetman, G.F., 1970. A trial of a new hydroponic system for the production of black spruce and jack pine seedlings. *Woodl. Pulp. and Pap. Res. Inst. Can. No. 17*, pp 15.

