

LA PHYSIOLOGIE DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE  
*PICEA MARIANA* (MILL.) B.S.P. EN CONTENANTS

ANDRÉ L. D'AOUST

CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES LAURENTIDES



Environnement  
Canada

Environment  
Canada

Service  
des forêts

Forestry  
Service

Le Centre de recherches forestières des Laurentides (CRFL), Service canadien des forêts, un organisme relevant du Service de la Gestion de l'Environnement (Ministère de l'Environnement Canada), s'intéresse autant à l'environnement qu'aux industries forestières. Le but de ses travaux est de favoriser, par la recherche et par la mise en application des connaissances acquises, l'aménagement et l'utilisation la plus efficace et rationnelle possible des ressources forestières de façon à ce qu'ils soient en harmonie avec les besoins de l'environnement.

Le CRFL se veut un élément actif de recherche scientifique au Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CRFL visent à trouver des solutions pratiques aux nombreux problèmes forestiers du Québec. Le CRFL développe des projets susceptibles d'être appliqués par les usagers de la forêt québécoise: le gouvernement du Québec, les administrations régionales et municipales, l'industrie forestière et la population en général. Il joue aussi un rôle important dans le développement de méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier, de même qu'il veille à l'évaluation de l'impact du milieu forestier sur la qualité de l'environnement.

Les activités du CRFL peuvent être regroupées comme suit: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection, l'aménagement de terrains fédéraux et les services d'information au public. La recherche sur les ressources forestières comprend les projets tendant à l'amélioration des forêts et des arbres proprement dits alors que la recherche sur la protection vise à protéger les arbres contre deux de leurs ennemis naturels: les insectes nuisibles et les maladies. Soucieux de communiquer les résultats de recherche du CRFL, la Section de l'information diffuse de l'information sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou de publications vulgarisées conçues spécialement pour le grand public.

The Laurentian Forest Research Centre (LFRC), Canadian Forestry Service, is a component of the Environmental Management Service in the Department of the Environment. The program of the LFRC is as much concerned with the forest environment as it is with the forest industry. Its objective is to promote, by research and technology transfer, the most efficient and rational management and use of forest resources so that they coincide with environmental concerns.

Scientists at the LFRC are actively engaged in research in Quebec. Many of the LFRC projects are conducted in cooperation with provincial agencies and other organizations, the primary concern being to look for practical solutions to diverse forestry problems in Quebec. Technology transfer to the users of Quebec forests -- the Quebec Government, regional and municipal administrations, forest industries, and the general public -- is attained through scientific and technical publications and by liaison and development activities. Last but not least, the LFRC plays an important role in the development of suitable methods to improve and conserve the forest environment and evaluates the impact of forestry practices and other activities by man on the quality of the forest and related environments.

LFRC research and related activities fall into the following broad categories: forest resources research, forest protection research, federal land management and public information. The forest resources research is concerned with improving the management of forests and trees, while forest protection research is concerned with protecting trees from two of their great natural enemies: insect pests and diseases. To communicate the results of LFRC research, the Information Section distributes information through scientific and technical reports, and through popular publications for the general public.

**LA PHYSIOLOGIE DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE**  
***PICEA MARIANA* (MILL.) B.S.P.**  
**EN CONTENANTS**

André L. D'Aoust

LAU-X-35

Novembre 1978

CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES LAURENTIDES  
SERVICE CANADIEN DES FORÊTS  
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT  
1080 ROUTE DU VALLON  
C.P. 3800  
SAINTE-FOY, QUÉBEC  
G1V 4C7

Exemplaires disponibles

© Ministère des Approvisionnements et Services Canada 1978

ISSN 0703-2196

## Résumé

La croissance de semis d'épinette noire *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. a été étudiée sous enceintes climatisées. L'adaptation de courbes logistiques aux mesures a permis d'établir des points critiques au cours du développement des semis. Des mesures d'échanges de CO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>O ont été enregistrées et l'influence de l'âge des semis, de la température et de l'éclairement énergétique sur ces échanges gazeux a été étudiées.

## Abstract

Growth analysis were carried on black spruce *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. seedlings under controlled environment. Mathematical functions were adapted to the data, and analysis of the derivatives suggested critical stages of development. Gas exchanges were recorded for CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O, and the effect of the age of the seedlings, the photon flux density and temperature were specifically studied.

## Table des matières

Page

Résumé

Abstract

Table des matières

Liste des figures

Introduction

1

La croissance en serre

2

Matériel et méthodes

2

Résultats et commentaires

2

Les échanges de CO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>O au cours du développement

8

Matériel et méthodes

8

Résultats et commentaires

11

L'influence de l'éclairage énergétique et de  
la température sur les échanges gazeux

15

Matériel et méthodes

15

résultats et commentaires

16

Conclusion

18

Remerciements

23

Références bibliographiques

23

## Liste des figures

	Page
1	Mesure de la croissance de semis d'épinette noire en contenants dans la serre. 3
2	Dérivés des courbes logistiques de la croissance de semis d'épinette noire cultivés en serre 5
3	Analyse de croissance de semis d'épinette noire cultivés en serre 7
4	Système de mesure d'échanges gazeux ( $\text{CO}_2$ et $\text{H}_2\text{O}$ ) 9
5	Échanges gazeux enregistrés à la lumière et dans l'obscurité par des semis d'épinette noire âgés de 9 et 20 semaines 12
6	Effet de l'âge des semis d'épinette noire en contenants sur la perte en eau à la lumière et dans l'obscurité 13
7	Effet de l'âge des semis d'épinette noire en contenants sur l'échange de $\text{CO}_2$ à la lumière et dans l'obscurité 14
8	Influence de différents niveaux d'éclairement énergétique sur la fixation nette de $\text{CO}_2$ par des semis d'épinette noire âgés de dix semaines 17
9	Influence de différents niveaux d'éclairement énergétique sur la transpiration des semis d'épinette noire âgés de dix semaines 19
10	Influence de la température ambiante sur la fixation nette de $\text{CO}_2$ par des semis d'épinette noire à la lumière 20
11	Influence de la température ambiante sur la respiration des semis d'épinette noire dans l'obscurité 21
12	Influence de la température ambiante sur la transpiration des semis d'épinette noire à la lumière et dans l'obscurité 22

## Introduction

Les épinettes ont une place importante dans l'économie forestière du pays. Des quatorze milliards de mètres cubes de bois sur pieds évalués au Canada, au-delà du tiers sont des épinettes. À lui seul, le Québec possède environ 30 p. 100 de ce volume (Manning et Grinnell, 1971). Sur le territoire québécois, soit environ 336 000 km<sup>2</sup> (130 000 mi<sup>2</sup>) inventoriés, plus de 80 p. 100 du volume est représenté par l'épinette noire *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. (D'Aoust, 1976a). Comme la grande majorité des peuplements est parvenue à maturité et sera bientôt exploitable, et comme la régénération après coupe ou incendie est souvent mal établie, on conclut au besoin pressant d'information sur cette essence pour l'aménagement futur de notre forêt.

Depuis 1965, le reboisement au Québec s'est accentué d'année en année. On est passé de huit millions de plants produits en pépinière au début à quarante-quatre millions en 1976 (Hawey, 1977). L'avènement prochain des plans de gestion, au début des années 80, devrait permettre un développement encore plus grand de la technique de régénération artificielle. Des fluctuations sont souvent rencontrées dans la production en pépinière; aussi, on reconnaît que l'épinette noire est difficile à cultiver sur le terrain (D'Aoust, 1976a; Hawey, 1977; Wynia, 1975). Dans le contexte du reboisement, on doit reconnaître que la mise au point de techniques modernes de production de plants forestiers pourrait aider à subvenir à nos besoins futurs. La production en récipients représente en moyenne 20 p. 100 de la production des pépinières dans le monde (Cousin et Lanier, 1976). Cette technique devrait permettre de corriger les difficultés du milieu pour les semis en développement, de réduire le choc de la transplantation, d'étendre la période de reboisement et de permettre une planification moins dépendante des contraintes naturelles.

Les méthodes de production en pépinière se sont développées avec la pratique. Dans le cas des cultures abritées, on doit définir les conditions mêmes du milieu, de façon à optimiser la qualité des plants produits et ainsi justifier les coûts d'une production intensive. La nutrition minérale (D'Aoust, 1976b; Hocking, 1971; Ingestad, 1962; Swan, 1960), certains problèmes de l'éclairage (D'Aoust, 1978; Logan, 1969; Siren et Alden, 1972) et du CO<sub>2</sub> (Pollard et Logan, 1975; Siren et Alden, 1972; Yeatman, 1970) ont fait l'objet de nombreuses discussions. C'est dans le contexte de la culture en contenants que nous nous sommes placés pour étudier les exigences biologiques des semis d'épinette noire.

Le présent travail vise à mesurer la croissance des semis d'épinette noire, à évaluer les paramètres physiologiques des semis en développement et à étudier l'influence de l'éclairage et de la température sur les échanges gazeux des semis en contenants.

## La croissance en serre

### Matériel et méthodes

Les graines d'épinette noire provenaient d'un peuplement semencier de la région de Roberval, Québec (72°45' de longitude O., 49°22' de latitude N. et 370 mètres d'altitude). Les semis se sont développés en serre, comme nous l'avons indiqué, et la solution minérale ajoutée chaque semaine équivalait à une concentration de 50 ppm d'azote totale dans le milieu d'enracinement (D'Aoust, 1976b). On a employé comme contenant la cartouche de Walters de 10 cm (environ 20 cm<sup>3</sup>), et comme substât d'enracinement, de l'argile calcinée (Turface<sup>R</sup>)<sup>1</sup>.

Afin d'obtenir une croissance continue en serre, une photopériode de 15 heures était assurée par dix tubes fluorescents (type Gro-lux n° F96T12/GRO/WS). Le thermostat était ajusté à 18°C (70°F) durant la période hivernale; un autre thermostat réglait les ouvertures du pignon de la serre durant la période de chaleur.

Des semis ont été échantillonnés tout au long de la durée de la croissance. Pour obtenir une évaluation de la surface foliaire, nous avons utilisé une méthode photonique comme celle qu'employèrent Morrison et Armson (1968) pour le système racinaire. Dans cette méthode l'obstruction du flux par une surface opaque réduit proportionnellement la densité du flux photonique. La surface mesurée correspond à la silhouette des semis placés entre la source et le récepteur photonique.

### Résultats et commentaires

Les données de la figure 1 montrent en A et B le développement des semis d'épinette noire en serre. L'analyse de variance de la régression pour la courbe A indique une approximation assez juste des points expérimentaux; de même, pour la courbe B, l'ajustement est très acceptable (coefficients de détermination de 0.912 et 0.846 respectivement au seuil de 99 p. 100).

---

<sup>1</sup> Turface<sup>R</sup>, marque de commerce de Wyandotte Chemical Corp.

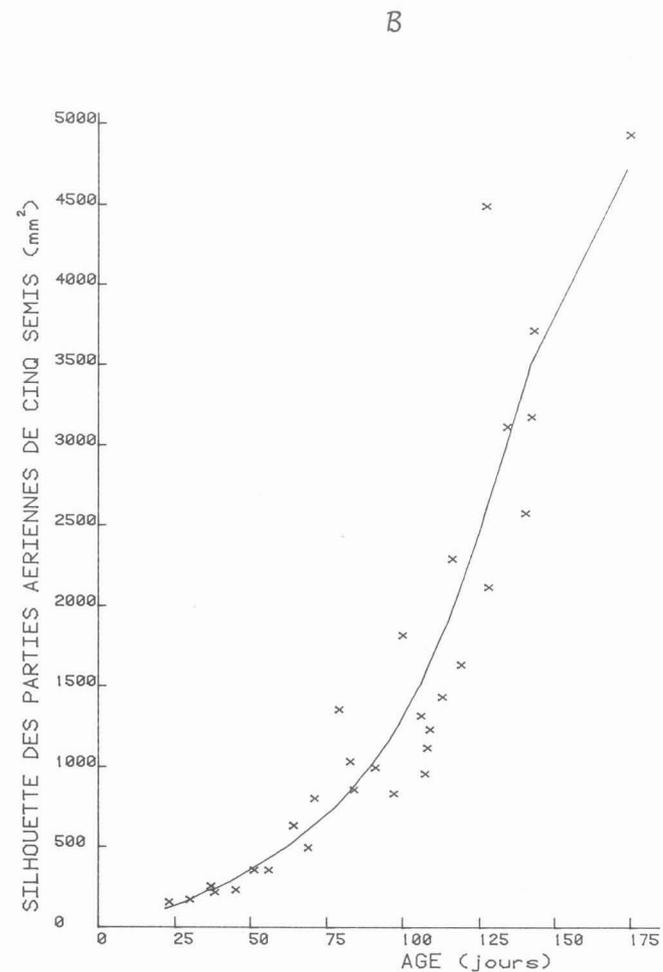
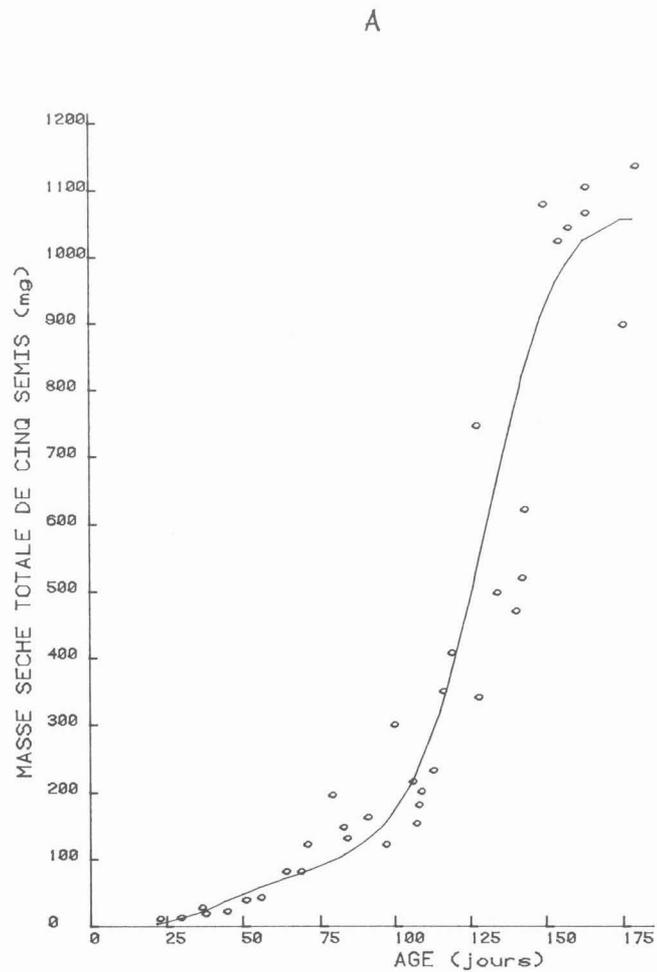


Figure 1 Mesure de la croissance de semis d'épinette noire en contenants dans la serre.  
 A. Accumulation de matière ligneuse.  
 B. Développement de la silhouette foliaire.

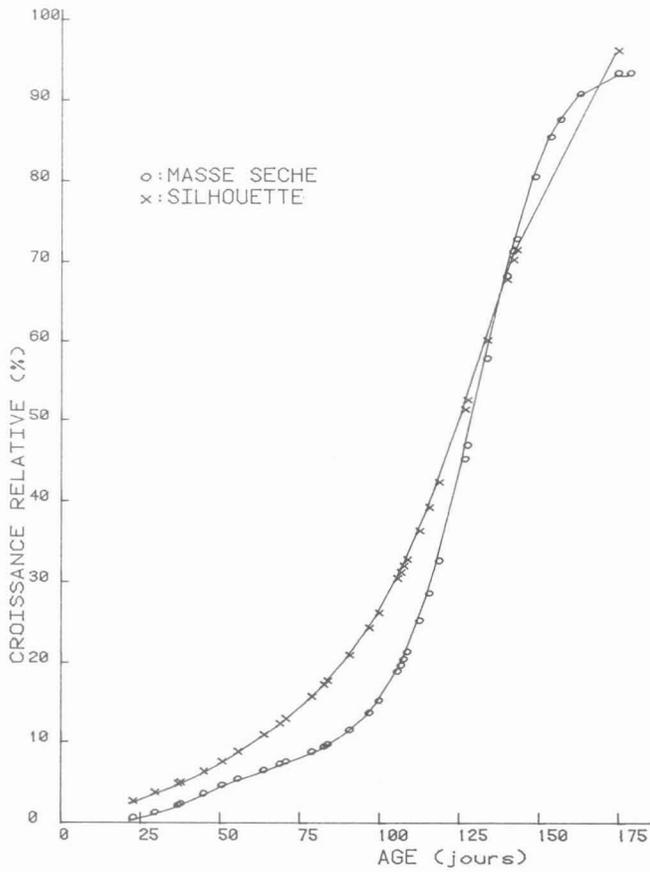
Les points indiquent les mesures expérimentales, tandis que les courbes représentent des approximations des fonctions logistiques calculées par la méthode des moindres carrés après transformation des données initiales en "logits" et leur ajustement à des polynomiales du quatrième degré.

Les tracés suivants (fig. 2) sont des courbes dérivées à partir des deux fonctions logistiques évaluées. Les premières courbes (fig. 2A) représentent la croissance relative indiquée en pourcentage par rapport à la croissance maximale; la transformation des données en pourcentage permet de comparer les deux types de développement dans le temps, c'est-à-dire l'accumulation de matière sèche avec l'établissement de la silhouette foliaire (approximation de la surface foliaire). On observe que, proportionnellement à la croissance à vingt-cinq semaines, le développement foliaire est plus important durant les trois premiers quarts de la période étudiée. Le ralentissement du développement foliaire avec l'âge peut être mis en doute pour deux raisons. D'une part, il pourrait provenir de la technique de mesure (photonique): à cause d'un effet d'ombrage, la valeur réelle de la silhouette foliaire aurait tendance à être sous-estimée. D'autre part, le modèle mathématique utilisé impose une forme logistique aux données traitées, de sorte qu'un manque d'information dans la dernière période d'étude pourrait entraîner une sous-estimation du développement foliaire. Par contre, les semis âgés de vingt semaines et plus qui ont poussé en serre ont généralement un bourgeon apical. Cette situation aurait pour effet de retarder momentanément la croissance foliaire. Pollard et Longan (1974) rapportent qu'indépendamment de la provenance des épinettes noires, les semis en pépinières ont un arrêt de croissance même lorsque la photopériode excède 15 heures. Wareing et Saunders (1971) mentionnent que cet arrêt de la croissance pourrait résulter d'un stress hydrique ou d'un stress de nature nutritive. Cette dernière possibilité pourrait concorder avec nos observations. La croissance mesurée en serre est inférieure à celle mesurée en chambre de croissance (D'Aoust, 1977; Manley, 1975). D'ailleurs, d'autres travaux indiquent qu'en serre, l'irradiation et la fertilisation limitent sans doute la croissance des semis (D'Aoust, 1976a et b; Manley, 1975).

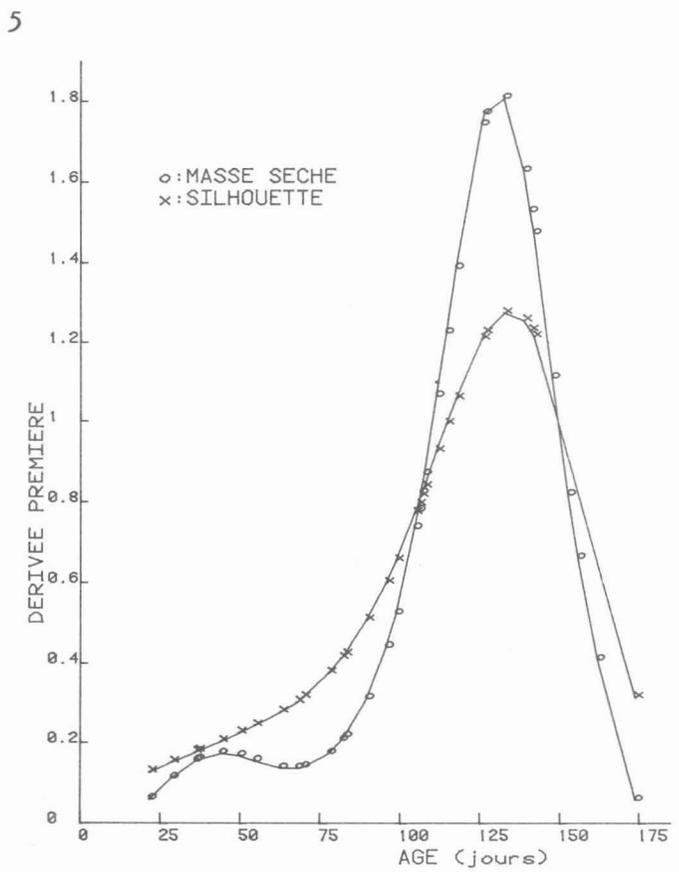
Les dérivées premières des deux courbes de croissance relative (fig. 2B) montrent que le rythme de développement est le même pour les deux paramètres étudiés. Cet optimum est atteint entre 130 et 135 jours en serre. Les dérivées secondes des fonctions logistiques (fig. 2C) indiquent que l'accélération est maximale entre 110 et 120 jours en serre. En somme, ces courbes démontrent que, dans les conditions de l'étude, le développement est en perte de croissance après 19 semaines en serre et que la croissance foliaire et l'accumulation de matière sèche progressent de façon identique dans le temps.

On peut reprendre ces expressions mathématiques de la croissance et, comme l'ont fait Hughes et Freeman (1967), les adapter aux méthodes traditionnelles d'analyse de croissance (Evans, 1972). L'objectif de cette analyse est de subdiviser la croissance en deux composantes principales: un terme morphologique et un terme physiologique.

A



B



C

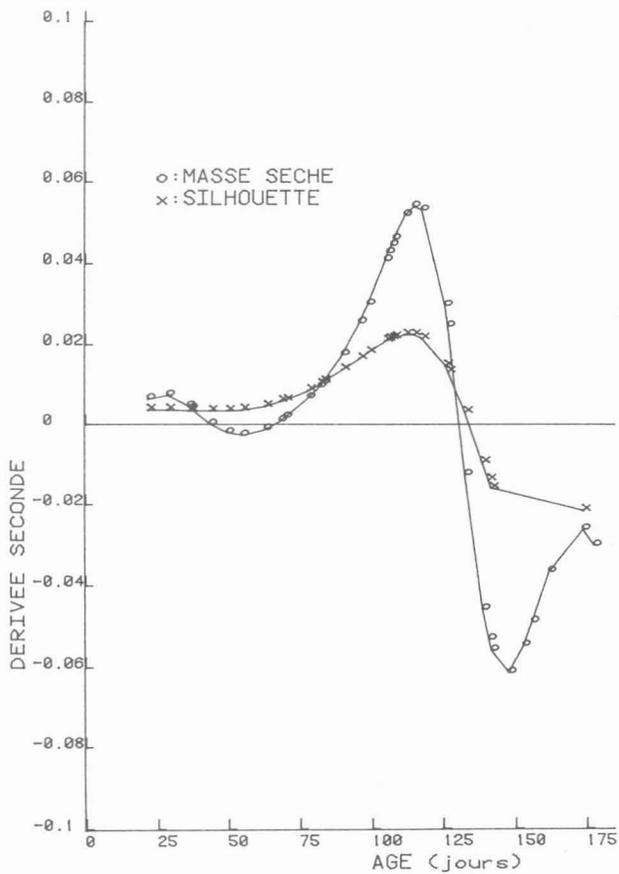


Figure 2 Dérivées des courbes logistiques de la croissance de semis d'épinette noire cultivés en serre.

A. Transformation en pourcentage par rapport à la croissance maximale mesurée.

B. Dérivées premières.

C. Dérivées secondes.

Taux de croissance relative = (rapport  $\frac{\text{surface}}{\text{masse}}$ ) X (taux net d'assimilation)

$$\text{Ainsi, } \left( \frac{dm}{dt} \cdot \frac{1}{m} \right) = \left( \frac{A}{m} \right) \left( \frac{dm}{dt} \cdot \frac{1}{A} \right)$$

où  $\underline{m}$  = masse sèche totale

$\underline{A}$  = surface foliaire

$\underline{t}$  = intervalle de temps

On attribue à la première expression de droite ( $A/m$ ) une valeur morphologique, tandis que la seconde  $\left( \frac{dm}{dt} \cdot \frac{1}{A} \right)$  représente la performance physiologique. La figure 3 donne deux graphiques des paramètres de l'analyse de croissance. On peut observer que l'activité morphologique est plus intense au début, tandis que la performance physiologique a deux périodes d'activité intense. De l'interaction de ces paramètres résulte une croissance relative (fig. 3B), qui est importante au début, et une autre plus modeste dans la deuxième moitié de la période de végétation. La première période active (entre le 25<sup>e</sup> et le 65<sup>e</sup> jour) est aussi exprimée d'une façon différente dans les dérivées premières et secondes des courbes logistiques (fig. 2, B et C). Même si la performance physiologique a une valeur élevée durant cette première période, il ne faudrait pas associer cette croissance à une capacité photosynthétique élevée, car comme il en sera question dans la prochaine section, avant sept semaines de développement, la capacité photosynthétique est insuffisante à compenser la respiration. Donc, ce premier stade de croissance constitue une période de développement assurée par la transformation des réserves.

Le second stade de la croissance (entre le 55<sup>e</sup> et le 120<sup>e</sup> jour) constitue une étape autotrophique, et sa réalisation dépend d'une nutrition minérale adéquate (D'Aoust, 1976b; Siren et Alden, 1972). Cette croissance est marquée par un développement foliaire accéléré (fig. 2) et un taux d'assimilation nette proportionnellement aussi important (fig.3). Ce deuxième stade actif de croissance pourrait être associé au phénomène de croissance indéterminée ("free growth") observé par Pollard et Logan (1974) chez les jeunes semis d'épinette.

Dans un dernier temps, on observe une diminution de l'activité morphologique et physiologique (fig. 3), ce qui a pour effet de réduire le taux de croissance relative. Logan et Pollard (1971) ont aussi observé au milieu de la saison de végétation, chez l'épinette en pépinière, une diminution importante du taux net d'assimilation. Ils relient ce changement à un problème d'échantillonnage. Dans notre cas, on peut difficilement faire appel à cette difficulté, on est plutôt porté à penser à un changement de type ontogénétique pour nos conditions d'expérimentation.

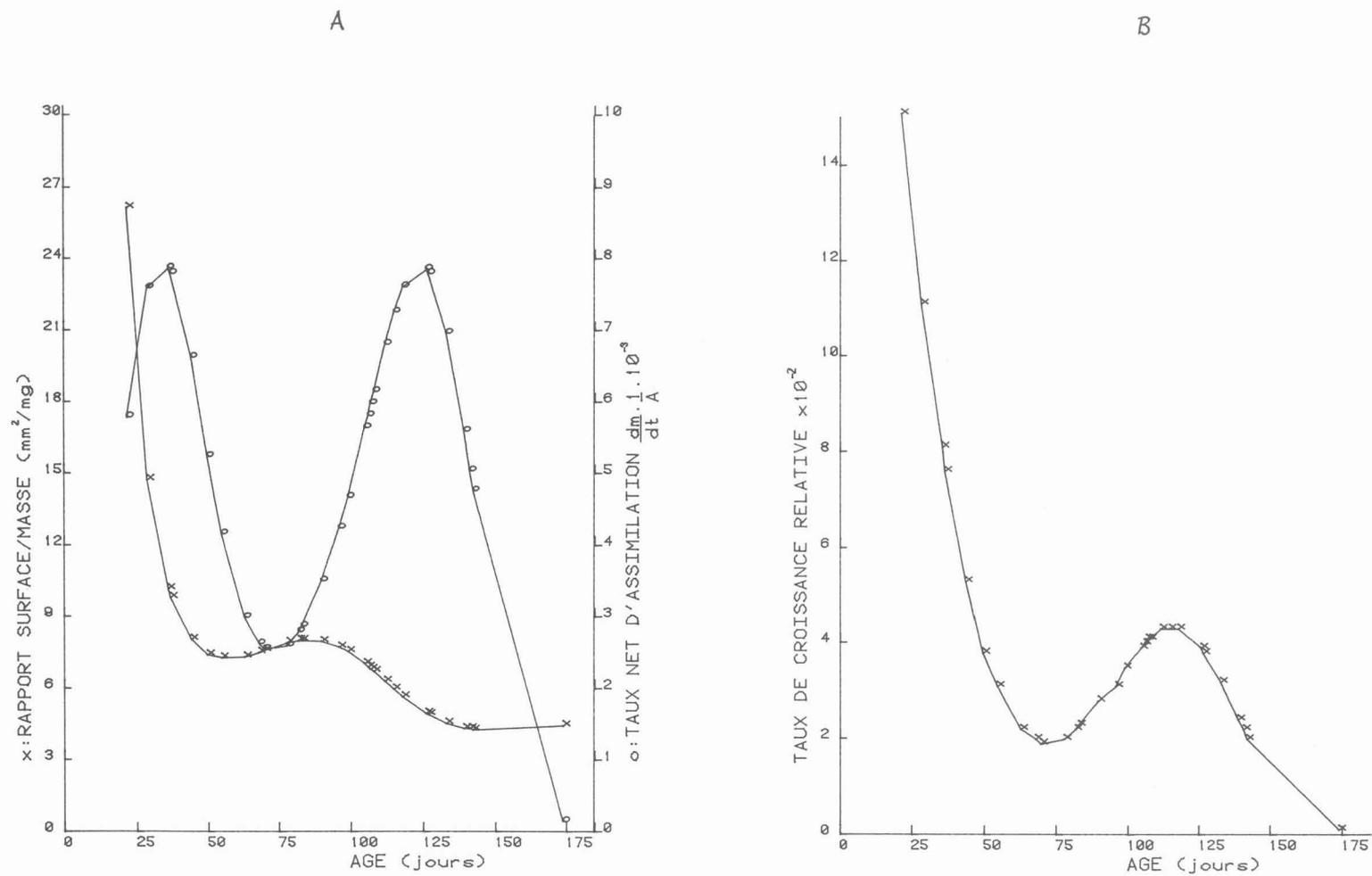


Figure 3 Analyse de croissance de semis d'épinette noire cultivés en serre.  
 A. Rapport morphologique et activité physiologique.  
 B. Croissance relative moyenne.

D'une façon générale, on doit reconnaître que d'autres études ont montré des variations d'activité physiologique au début et à la fin de la saison de végétation. Nelson (1964) a montré que la translocation organique a tendance à être bimodale; Girouard (1975) et Day *et al.* (1976) observèrent que la capacité d'enracinement est aussi plus élevée au début et à la fin de la saison de croissance.

De ces observations, on retient que la croissance foliaire domine le développement des semis, et qu'après 17 semaines, il y a une décélération du rythme de la croissance. L'analyse de la croissance subdivise le développement en deux étapes distinctes: une première étape comportant une activité physiologique intense superposée à une activité morphologique changeante et une seconde étape caractérisée principalement par une activité physiologique importante.

### Les échanges de CO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>O au cours du développement

#### Matériel et méthodes

Les mesures d'échanges gazeux ont été obtenues à l'aide d'une cuvette Sirigor (Koch *et al.*, 1968), couplée à des instruments permettant de mesurer les échanges de CO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>O (fig. 4). L'échange de CO<sub>2</sub> a été mesuré, aux concentrations normales de l'air, grâce à un circuit ouvert dans lequel un analyseur à infrarouge de CO<sub>2</sub> (URAS-2, Hartman et Braun) indique la concentration du bioxyde de carbone à la sortie par rapport à l'entrée de la cuvette renfermant le tissu végétal. L'appareillage utilisé pour mesurer la transpiration consiste en trois sondes hygrométriques, une à l'entrée (S1), une autre à la sortie de la cuvette (S2) et une troisième (S3) dans le circuit semi-fermé. Lorsque le tissu transpire, un excès d'eau est mesuré à la sortie par rapport à l'entrée (S2 > S1); ceci a pour effet d'activer un condenseur (C2) placé dans le circuit fermé, ce dernier retirant l'eau qui est en excès aussi longtemps qu'une différence d'humidité persiste entre l'entrée et la sortie de la cuvette. L'agencement des sondes et des condenseurs permet de maintenir une humidité constante dans la cuvette tout en indiquant la perte en eau par le tissu. Enfin, un ensemble de débitmètres Rotameter, Rota Apparate und Maschinenbau Dr. Hennig. K.-G., Oeflingen (Baden) Germany et de pompes (Reciprotor A/S, Copenhagen Bagsvaerd, Denmark) placés dans les deux circuits permettent de calculer les taux d'échanges gazeux effectués par les tissus sous observation (Koch *et al.*, 1971).

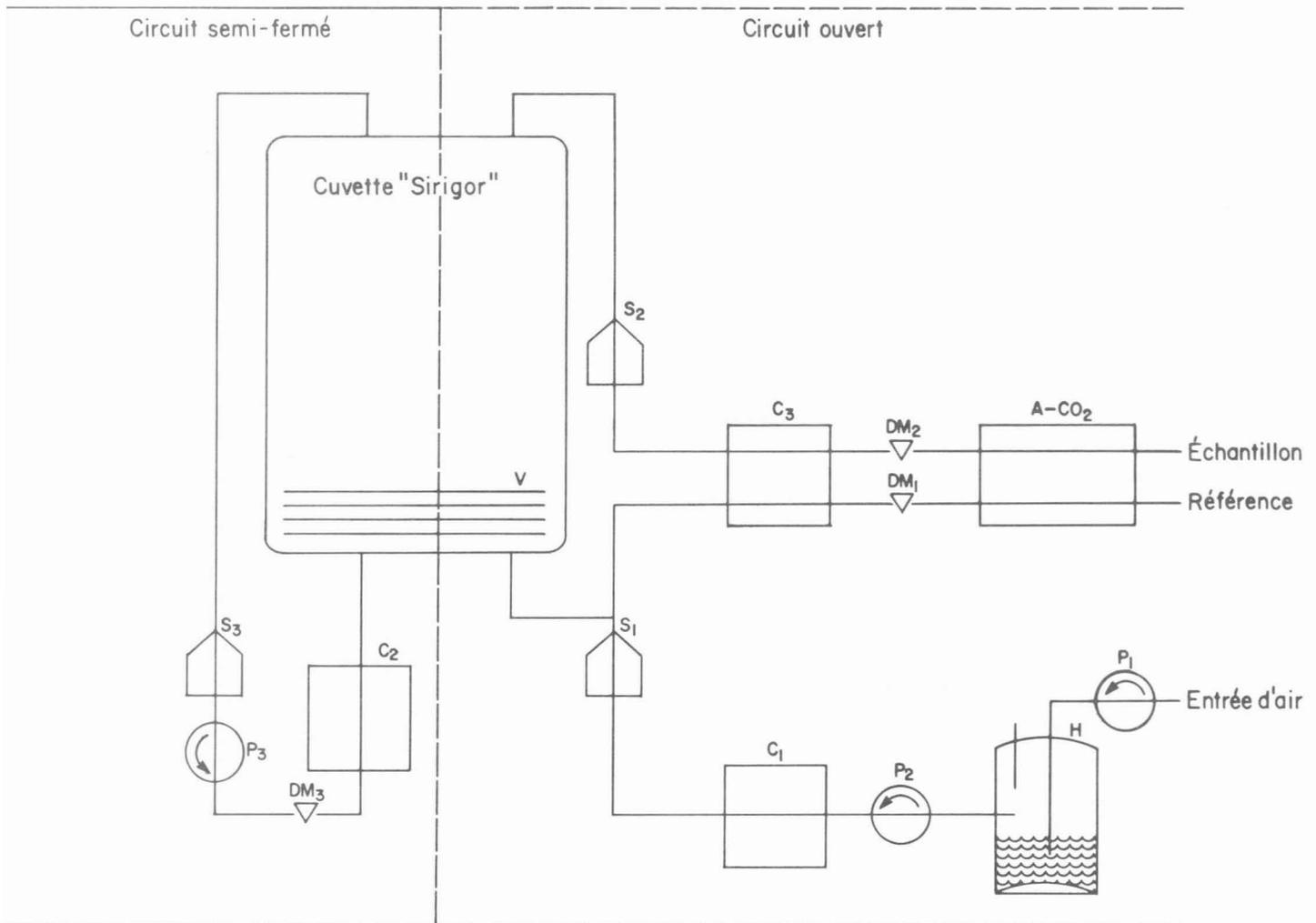


Figure 4 Système de mesure d'échanges gazeux (CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O).

Le système consiste en deux circuits: un circuit ouvert qui permet de mesurer les échanges de CO<sub>2</sub>, et un circuit semi-fermé qui permet d'équilibrer la tension de la vapeur d'eau dans la cuvette Sirigor. Le circuit ouvert comprend: une entrée d'air, deux pompes (P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub>), deux condenseurs (C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub>), deux sondes hygrométriques (S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>), la cuvette Sirigor, deux débits-mètres (DM<sub>1</sub> et DM<sub>2</sub>) et un analyseur infra-rouge de CO<sub>2</sub> (A-CO<sub>2</sub>); le circuit semi-fermé comprend, outre la cuvette Sirigor, une sonde hygrométrique (S<sub>3</sub>), une pompe (P<sub>3</sub>), un demi-mètre (DM<sub>3</sub>) et un condenseur (C<sub>3</sub>).

L'air utilisé dans les circuits était pompé de l'extérieur du laboratoire. Afin d'ajuster l'humidité relative, cet air était saturé de vapeur d'eau et, selon le point de rosée choisi, l'excès d'eau était enlevé dans un condenseur à température variable (fig. 4, éléments P1, H, P2 et C1). La cuvette Sirigor possède deux caractéristiques importantes, un ventilateur (V) qui mélange les gaz dans l'enceinte et un bloc d'échange thermoélectrique (module Peltier) qui permettent d'ajuster la température à l'intérieur de la cuvette.

La cuvette Sirigor de douze litres a été placée dans une chambre de croissance (modèle PGW-36, Controlled Environments, Winnipeg, Canada). Le flux photonique dépendait du système d'éclairage dans la chambre. Plus tard, lors des expérimentations, on a utilisé une lampe à mercure avec iodures métalliques (modèle Metalarc, 1000 W, Sylvania) comme source d'éclairage. Les mesures du flux lumineux ont été prises à l'aide d'une cellule photoélectrique (modèle 756, Weston Illumination Meter); dans le cas des radiations photosynthétiquement actives, c'est-à-dire comprises entre 400 nm et 700 nm, on a utilisé un récepteur quantique (Quantum Sensor, Lambda, Instruments Corp., Nebraska).

Les semis utilisés *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. provenaient de la culture décrite dans la première partie. Sauf quelques exceptions signalées plus loin, les deux extrémités des cartouches étaient scellées avec du silicone solidifié (RTV-11, liquide silicone rubber, G.E.). Fait à noter, lorsque deux extrémités des cartouches sont scellées, on mesure la transpiration proprement dite des parties aériennes des semis, mais lorsque la partie supérieure demeure ouverte, l'excès d'eau enregistré dans le système provient à la fois de la transpiration et de l'évaporation du milieu de culture. Des groupes de dix semis ont été alignés dans la cuvette de façon à ne pas créer d'ombrage entre les parties aériennes. A la fin de l'expérience, la masse fraîche des semis a été mesurée, et cinq des dix parties aériennes ont été gardées au congélateur pour faire l'extraction de la chlorophylle, comme l'ont suggéré Sestak *et al.* (1971); l'autre moitié a été séchée pour évaluer la masse sèche de l'échantillon. La masse fraîche des échantillons permettait d'appliquer les valeurs de concentration de chlorophylles au groupe total de semis. Pour ces deux mesures, de masse et de chlorophylle, les aiguilles n'étaient pas séparées de leurs tiges; d'ailleurs, ces dernières sont verdâtres comme les aiguilles et sont probablement photosynthétiquement actives. (Les aiguilles représentaient en moyenne 80 p. 100 de la masse sèche totale des parties aériennes.)

On a toujours suivi les mêmes étapes pour mesurer les échanges gazeux; (a) une fois la cuvette scellée, on pompait l'air dans les circuits pour en déterminer la concentration en anhydride carbonique et pour équilibrer l'humidité relative et les températures dans l'ensemble du système; (b) le pompage arrêté, on plaçait les semis dans la cuvette, et si nécessaire l'éclairage était ajusté; (c) on refermait ensuite la cuvette, et le système était remis en état de fonctionnement pour vérifier si les joints étaient étanches, une période d'une heure étant nécessaire pour équilibrer les échanges entre les tissus et l'air ambiant; (d) les mesures d'échanges gazeux pouvant exiger plusieurs heures, à la lumière ou dans l'obscurité, on modifiait à chaque deux heures les paramètres climatiques afin d'enregistrer les réactions des tissus renfermés et on vérifiait périodiquement la concentration en  $\text{CO}_2$  de l'air avant d'entrer dans la cuvette pour s'assurer de la stabilité de l'air au cours des traitements; (e) à la dernière étape, les tissus étaient récupérés pour en déterminer les valeurs de masse et les concentrations de chlorophylles.

### Résultats et commentaires

Afin de mieux connaître les limites biologiques des échanges de  $\text{CO}_2$  et de  $\text{H}_2\text{O}$ , on a pris des mesures au cours du développement des semis. La figure 5 montre les résultats obtenus avec des semis d'épinette noire en contenants. Suite à la période d'équilibre (première heure), on remarque que les échanges de  $\text{CO}_2$  et de  $\text{H}_2\text{O}$  sont plus élevés à la lumière que dans l'obscurité et qu'ils varient avec l'âge des semis.

Les figures suivantes montrent les résultats de l'effet de l'âge sur les échanges gazeux. La perte en eau diminue avec le développement des semis (fig. 6, A et B). Même s'il y a une différence marquée entre les deux conditions, c'est-à-dire entre l'évapotranspiration (cas de cartouches ouvertes) et la transpiration (expériences avec cartouches scellées), il apparaît que durant les premières quinze semaines de développement, les semis acquièrent graduellement le contrôle de la transpiration proprement dite. Ces mesures montrent de façon évidente pourquoi les jeunes semis sont si sensibles à la sécheresse. Ainsi, on peut calculer pour un semis âgé de dix semaines que celui-ci perdrait son eau utile en moins de cinq minutes en plein soleil, et qu'il survivrait à peine vingt minutes dans l'obscurité à cause d'une transpiration incontrôlée. Les échanges de  $\text{CO}_2$  montrent des différences importantes avec l'âge (fig. 7, A et B). À la lumière, la fixation nette est maximale à dix semaines de croissance ( $12 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$  de masse sèche), et cette photosynthèse apparente se stabilise aux environs de  $4 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$  après vingt semaines de développement. Avant cinq semaines de croissance, la fixation nette est négative. Dans l'obscurité (fig. 7B), la respiration est maximale au tout début de la

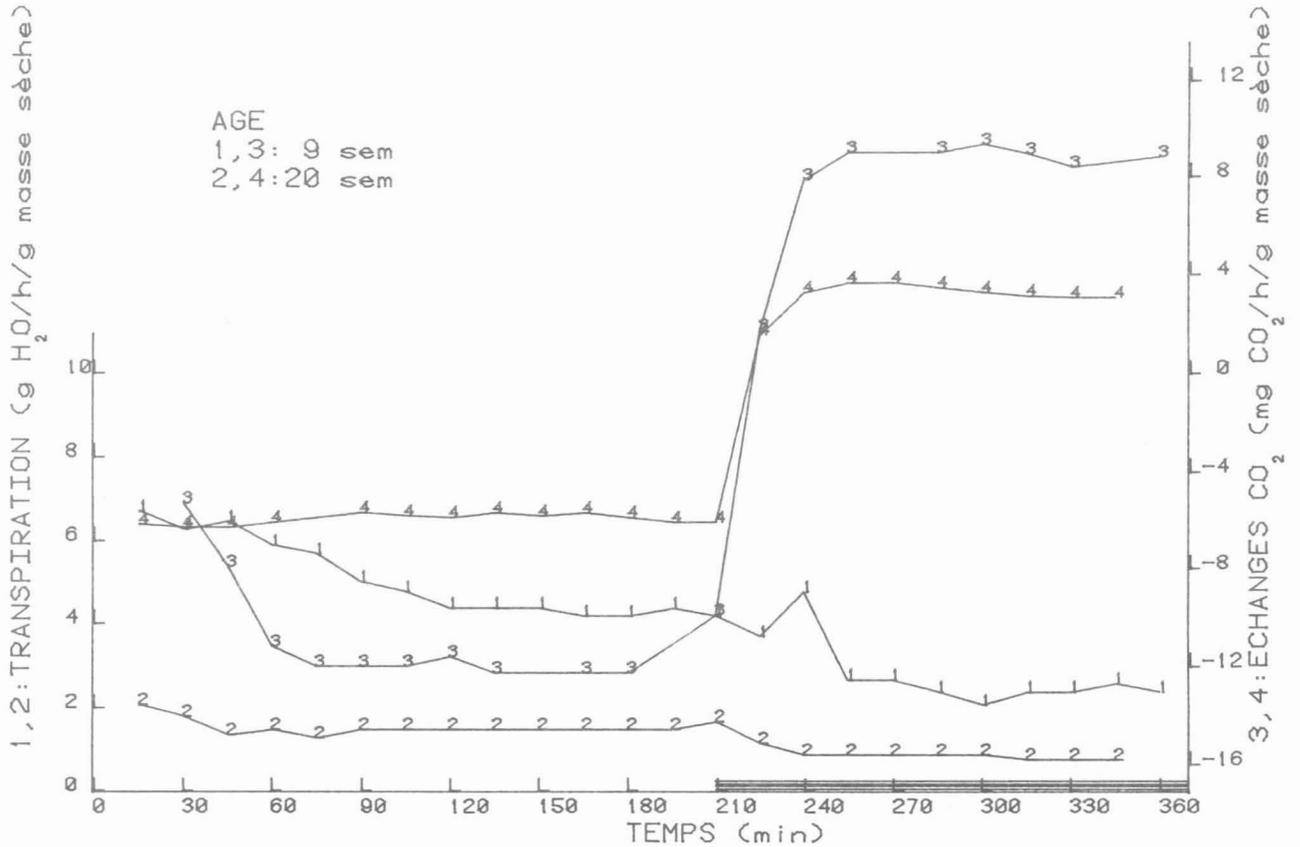


Figure 5 Echanges gazeux enregistrés à la lumière et dans l'obscurité par des semis d'épinette noire âgés de 9 et 20 semaines.

La température enregistrée était de 25°C et l'humidité relative de 40 p.100. L'éclairement énergétique était ajusté à 1700  $\mu\text{E.}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  [approximativement (91.8 k lux)] et la concentration en anhydride carbonique de l'air était de 317 v.p.m.. La période d'obscurité débute après 210 min. de lumière.

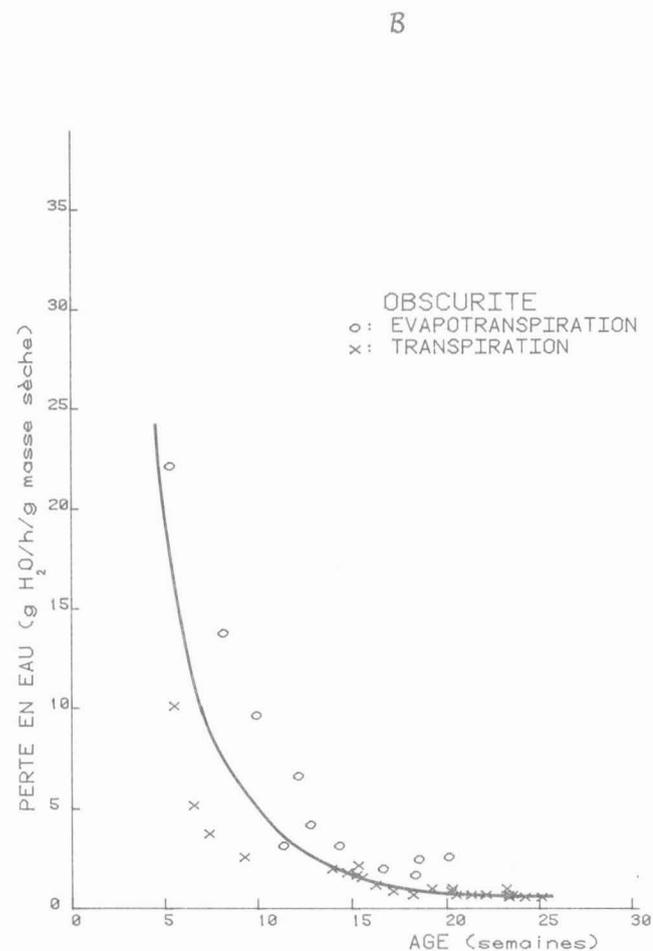
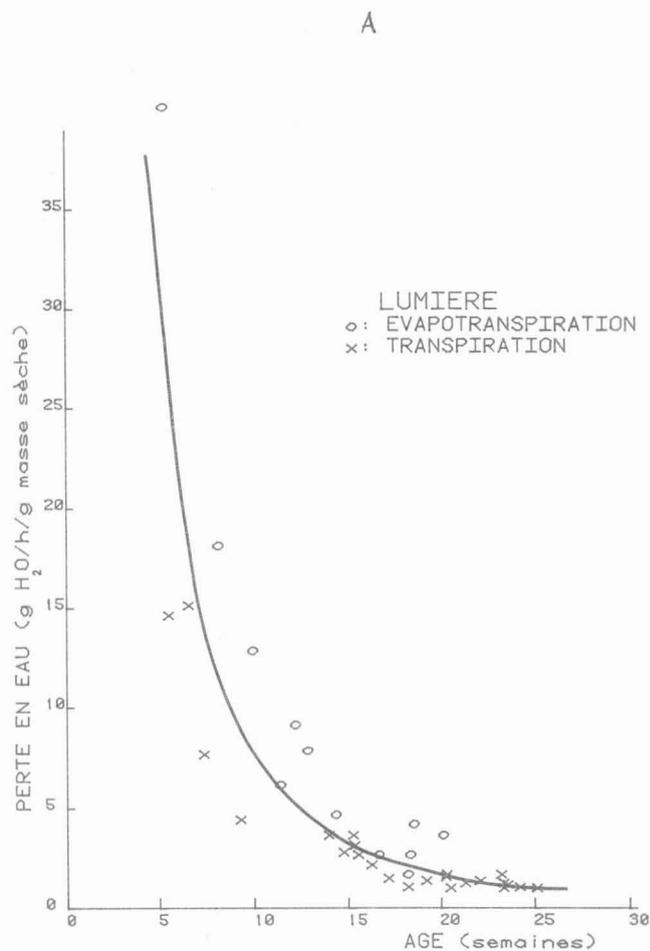


Figure 6 Effet de l'âge des semis d'épinette noire en contenants sur la perte en eau à la lumière et dans l'obscurité.

La température dans la cuvette était de 25<sup>0</sup>C, l'humidité relative enregistrée variait entre 39 p.100 et 43 p.100, la concentration d'anhydride carbonique était constante pour une même expérience avec une moyenne de 317 v.p.m. entre les essais. Le flux lumineux reçu à la surface de la cuvette était de 108 k lux. Chaque point représente l'échange gazeux moyen d'un échantillon de dix semis à la lumière (A) et dans l'obscurité (B).

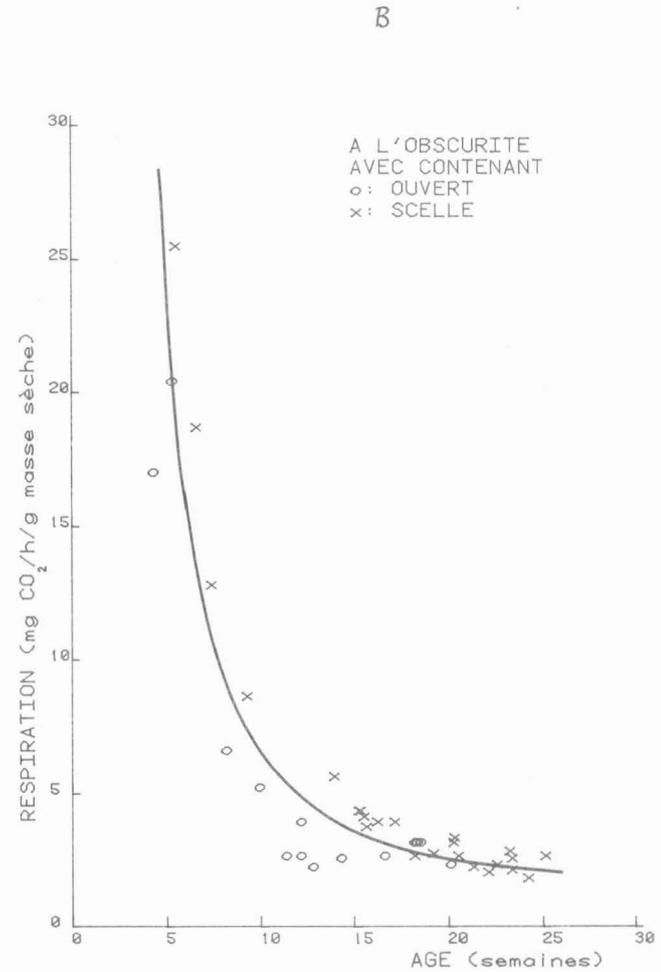
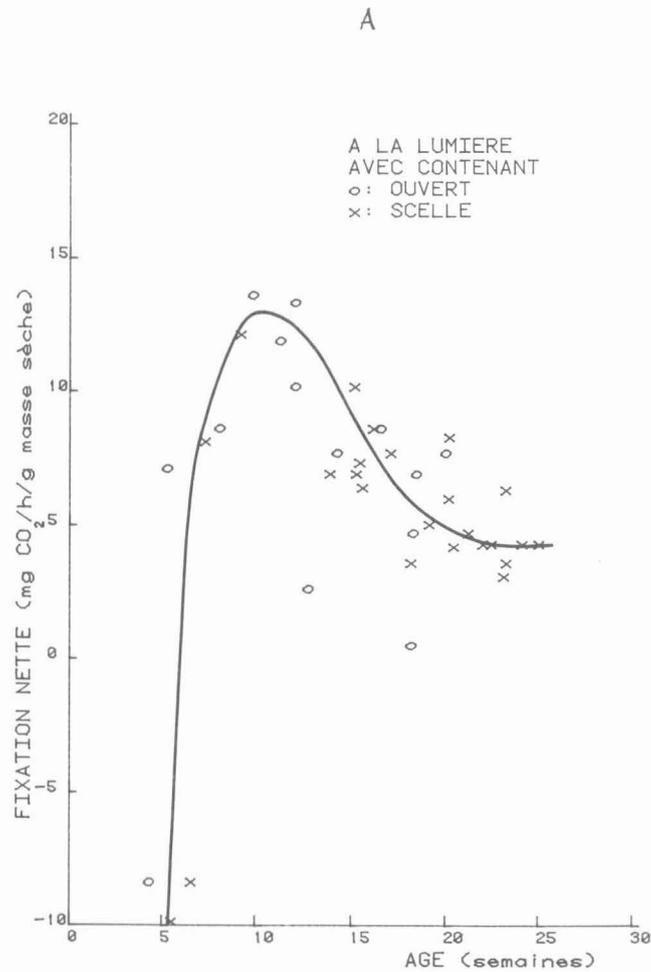


Figure 7 Effet de l'âge des semis d'épinette noire en contenants sur l'échange du CO<sub>2</sub> à la lumière et dans l'obscurité.

La température était de 25°C, l'humidité relative enregistrée variait entre 39 p.100 et 43 p.100, la concentration d'anhydride carbonique était constante pour une même expérience avec une moyenne de 317 v.p.m. entre les essais. Le flux lumineux reçu à la surface de la cuvette était de 108 k lux. Chaque point représente l'échange gazeux moyen d'un échantillon de dix semis, à la lumière (A) et dans l'obscurité (B).

croissance mais diminue rapidement par la suite, pour se stabiliser au taux moyen de  $2 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$  de masse sèche. Les différences observées dans l'obscurité pour un contenant ouvert et fermé (fig. 7B) sont difficiles à s'expliquer, mais l'allure de la courbe semble peu modifiée par l'une ou l'autre des conditions. Par conséquent, en ce qui a trait à la productivité, on conclut que les semis ne peuvent être considérés comme autotrophes avant sept semaines de développement. Il y a peu de doute au sujet de la capacité photosynthétique des plantules avant cette longue période (49 jours), mais celle-ci est plus qu'annulée par la respiration des tissus. De plus, les limites techniques de l'appareillage, soit environ  $\leq 3$  v.p.m. de  $\text{CO}_2$ , nous empêchent de mesurer en deçà de ce nombre. La variation photosynthétique au cours de la saison de végétation peut être associée à deux facteurs principaux: un effet d'ombrage et des modifications d'ordre physiogénique. Le facteur d'ombrage, après dix semaines pourrait être responsable en partie de la diminution du taux moyen de fixation. En effet, c'est à partir de cette période que l'on observe de nouvelles pousses le long de la tige des semis. Aussi, d'autres observateurs ont montré un effet semblable chez plusieurs essences (Clark, 1961; Kramer, 1958). D'une façon plus spécifique, on observe que la fixation du  $\text{CO}_2$  diminue avec l'âge des aiguilles (Clark, 1961; Freeland, 1952).

L'efficience hydrique, c'est-à-dire le rapport de la fixation nette de  $\text{CO}_2$  sur la transpiration, au cours de la croissance, montre une grande instabilité. Ce rapport diminue avec l'âge du matériel biologique.

On retient de ces observations que les besoins en eau des semis sont très élevés, que la fixation photosynthétique du  $\text{CO}_2$ , avant cinq semaines, n'est pas assez forte pour contrebalancer la perte par respiration à la lumière, et que les fonctions physiologiques changent au cours du développement des semis.

### L'influence de l'éclairement énergétique et de la température sur les échanges gazeux

#### Matériel et méthodes

Pour cette étude, la culture des semis d'épinette noire s'est faite en chambre de croissance au lieu de la serre, et la solution nutritive injectée (20-20-20 additionnée de magnésium et de soufre) produisait une concentration d'azote totale équivalente à 80 p.p.m. d'azote dans les contenants. Dans la chambre (modèle PGW-36 de Controlled Environments, Winnipeg, Canada), l'éclairage était assuré par vingt-quatre tubes fluorescents de 215 watts chacun (type Gro-lux wide spectrum n° F96T12/GRO/VHO/WS de Sylvania), six

autres tubes fluorescents de 110 watts aux extrémités (type Gro-lux n° F48T12/GRO/VHO de Sylvania) en plus de quarante ampoules incandescentes de 40 watts chacune. Ce système produisait un éclairage énergétique évalué à  $265 \mu\text{E./m}^2 \cdot \text{s}^1$ . La photopériode était constante entre 7 h et 22 h (15 heures), et la thermopériode était ajustée à  $25^\circ\text{C}$  entre 8 h et 20 h et à  $20^\circ\text{C}$  durant la nuit.

La méthode d'échange gazeux a aussi subi certaines modifications par rapport aux tests précédents. Les semis utilisés étaient tous âgés de dix semaines, et l'air des circuits d'échanges gazeux provenait parfois de l'extérieur du laboratoire et, à d'autres occasions, de cylindres de plongée sous-marine<sup>2</sup>.

### Résultats et commentaires

La culture intensive sous enceintes climatisées peut se faire pendant plusieurs mois (Logan, 1973; Scarratt et Reese, 1976). Les conditions climatiques extérieures à l'enceinte peuvent passer d'un extrême à l'autre durant cette période de culture. Il a été démontré que, pour plusieurs espèces, un éclairage d'appoint en plus d'une longue photopériode constituent des prérequis pour une croissance accélérée (Brix, 1967; D'Aoust, 1978; Krizek et Zimmerman, 1973). Il ressort que les limites énergétiques doivent être déterminées pour le matériel en culture et que les conditions optimales pour la croissance doivent être définies.

La figure 8 illustre en A et B certains points critiques pour la croissance de l'épinette noire en contenants. Ainsi, du point de vue photosynthétique, pour une concentration normale de  $\text{CO}_2$  (environ 300 v.p.m.), un éclairage énergétique plus faible que  $200 \mu\text{E./m}^2 \cdot \text{s}$  constituerait un facteur limitatif pour les semis. Cet ensemble de mesures indique que le point de compensation lumineux, c'est-à-dire la densité du flux photonique nécessaire pour compenser la photorespiration est évaluée à  $100 \mu\text{E./m}^2 \cdot \text{s}$ . Les variations observées sont dues en partie aux différentes concentrations de  $\text{CO}_2$  entre les essais et aux variations de masses sèches entre les échantillons (fig. 8A). Cette dernière source de variation paraît partiellement réduite dans la figure 8B, où la concentration en chlorophylles était beaucoup plus uniforme. Cette saturation des échanges de  $\text{CO}_2$  avec l'augmentation de l'éclairage est courante (Clark, 1961; Kramer, 1958; Manley, 1975); de plus, ces résultats tendent à confirmer les études de croissance sous différentes irradiations avec l'épinette noire (Logan, 1969; Manley, 1975).

<sup>1</sup>  $\mu\text{E./m}^2 \cdot \text{s}$ : microEinstein par mètre carré par seconde

<sup>2</sup> Cette dernière source pourrait être avantageusement utilisée si on pouvait être assuré d'une concentration normale en  $\text{CO}_2$  et  $\text{O}_2$ .

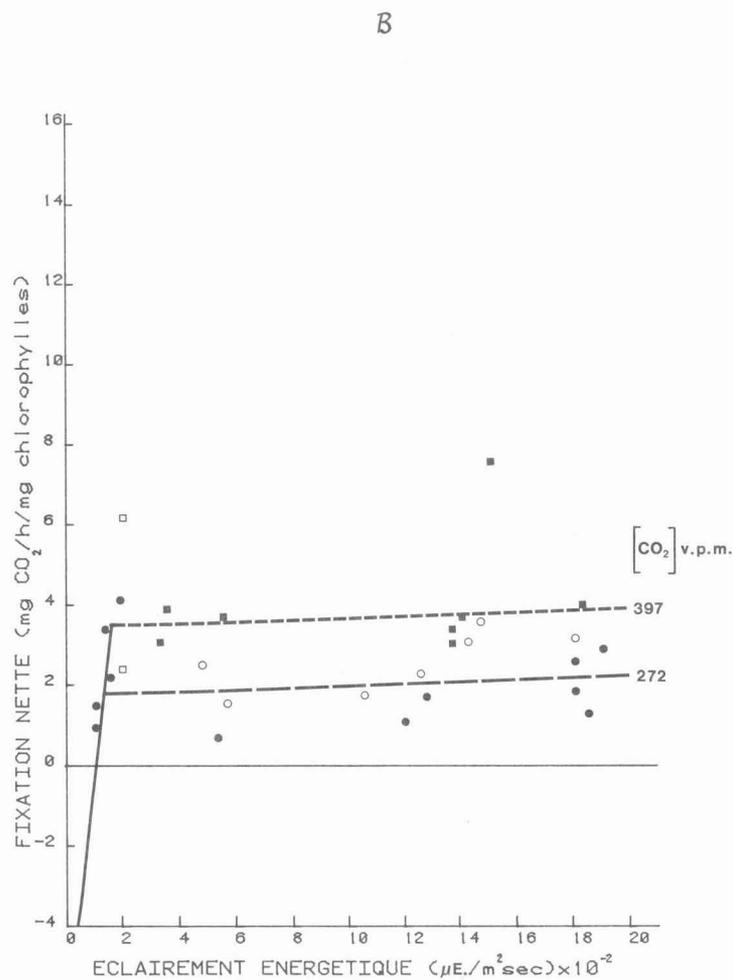
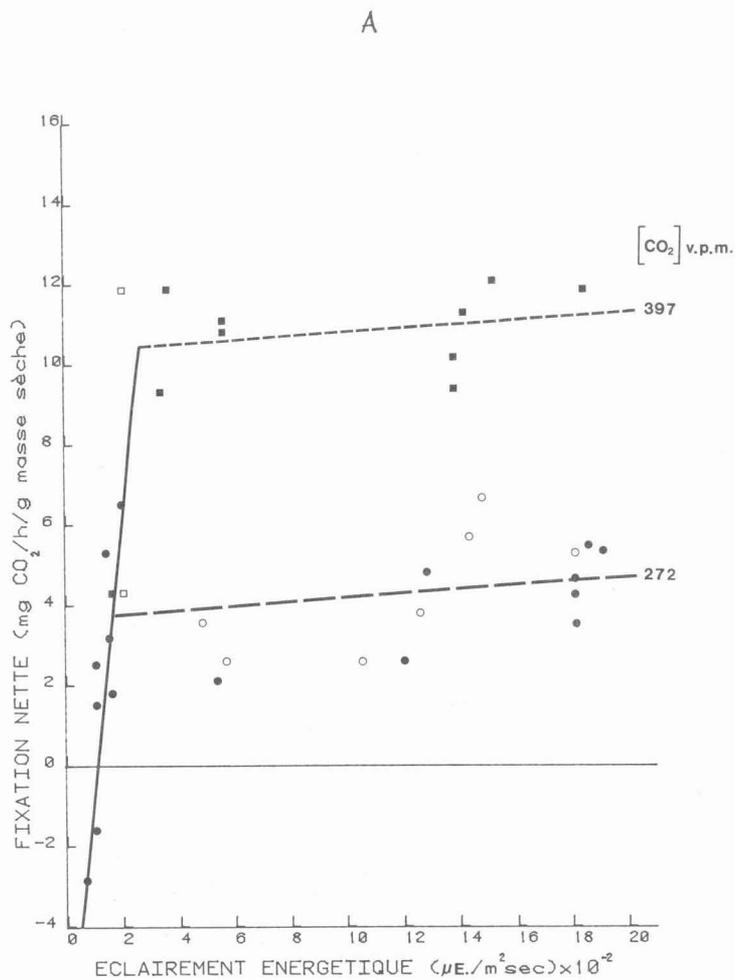


Figure 8 Influence de différents niveaux d'éclairement énergétique sur la fixation nette de CO<sub>2</sub> par des semis d'épinette noire âgés de dix semaines.

Pour une température de 26<sup>0</sup>C et une humidité relative moyenne de 49 p.100. Les symboles clairs (○) indiquent que le circuit utilisé était ouvert; tandis que les symboles foncés (●) indiquent que le circuit était doublé, c'est-à-dire qu'en plus du circuit ouvert, une boucle semi-fermée permettait de mieux contrôler l'humidité dans la cuvette. La fixation est calculée par rapport à la masse sèche totale des parties aériennes (A), ou par rapport à la quantité de chlorophylle des tissus (B).

En ce qui a trait à la perte en eau lorsque les semis sont exposés à la lumière (fig. 9), on observe une augmentation de la transpiration proportionnelle au flux photonique, lorsque la tension de la vapeur d'eau est faible (humidité relative plus faible que 45 p. 100), et très peu de sensibilité à la lumière, lorsque la tension de la vapeur d'eau est élevée (humidité relative plus grande que 45 p. 100).

La figure 10 montre que la fixation du  $\text{CO}_2$  est peu affectée entre 13°C et 27°C, mais à l'extérieur de cette gamme de température, la photosynthèse y est très sensible. Aucune fixation nette de  $\text{CO}_2$  n'est enregistrée aux températures supérieures à 38°C, et les tracés laissent entrevoir que la photosynthèse est active en-deçà du point de congélation. Dans l'obscurité, on observe un autre genre de réponse: la respiration augmente avec la température (fig. 11).

Si l'on compare les observations de l'influence de la température sur les échanges de  $\text{CO}_2$ , un fait très important ressort: le  $Q_{10}$  pour la fixation nette du  $\text{CO}_2$ , entre 12.5°C et 22.5°C, de même entre 22.5°C et 32.5°C, est égal ou inférieur à l'unité; tandis que pour la respiration dans l'obscurité, ce même rapport est d'environ 2. S'il n'en tient qu'à ces résultats, la fixation nette serait trois fois plus forte à 12.5°C par rapport à 32.5°C. Par contre, on doit reconnaître que la croissance représente beaucoup plus qu'une simple accumulation de carbone.

En dernier lieu, en ce qui a trait à la transpiration, on remarque une augmentation proportionnelle à la température, et cette perte en eau est plus forte à la lumière que dans l'obscurité (fig. 12).

### Conclusion

Ces résultats ont une signification importante pour la culture de semis d'épinette noire sous enceintes climatisées: (a) Pour un contenant de faible volume (environ 20 cm<sup>3</sup>), la culture intensive ne devrait pas durer plus de 19 semaines. (b) Pour une concentration normale en anhydride carbonique, l'éclairage d'appoint ne devrait pas être plus faible que 200  $\mu\text{E.}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  au niveau des semis. (c) Une ventilation adéquate devrait assurer le renouvellement de l'air. (d) La tension partielle de vapeur d'eau devrait être maintenue au-dessus de 45 p. 100 du point de saturation. (e) Un cycle diurne de température semble assez favorable, particulièrement si la température du jour excède 22°C.

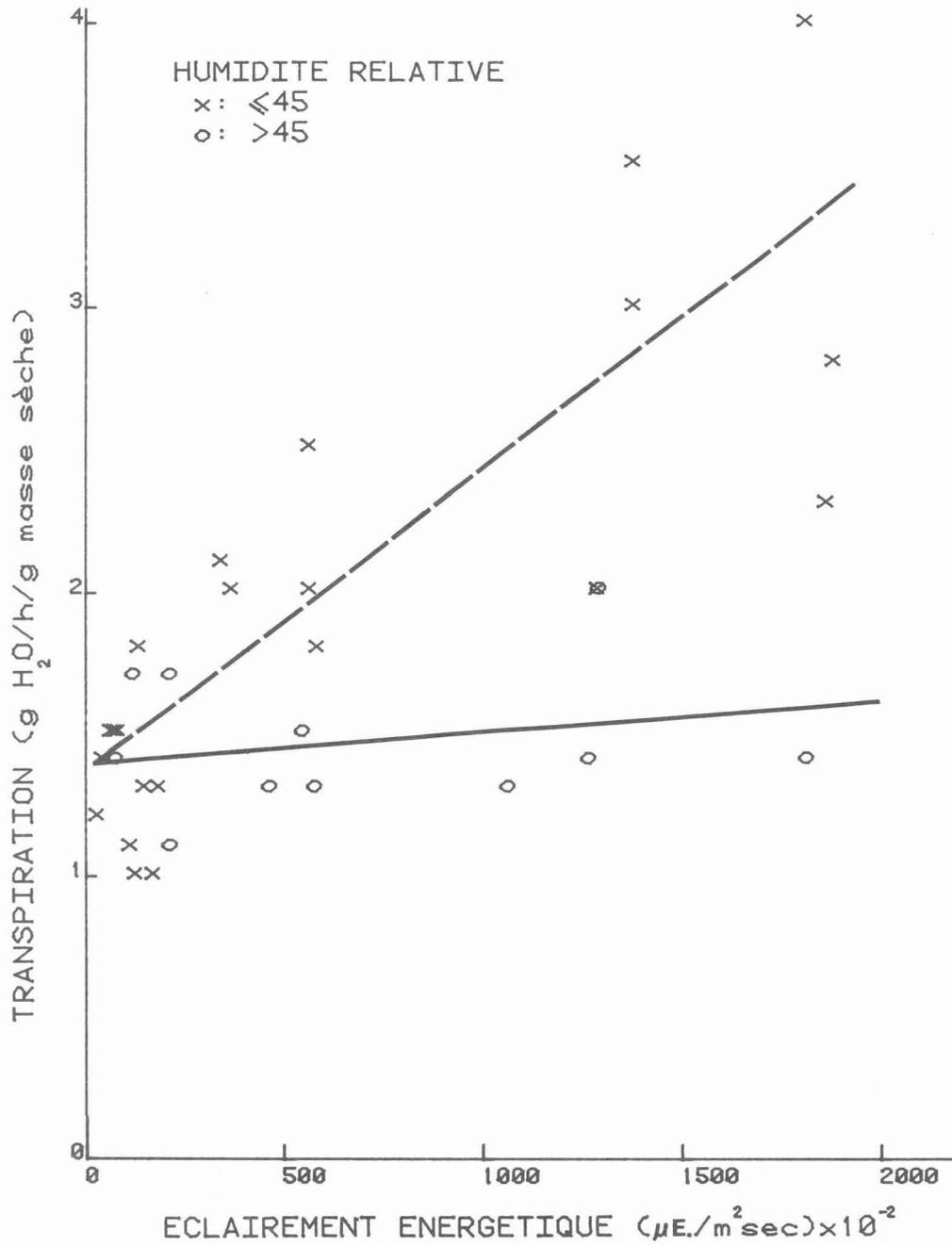


Figure 9 Influence de différents niveaux d'éclairement énergétique sur la transpiration des semis d'épinette noire âgés de dix semaines.

La température était de 26°C pour deux niveaux d'humidité relative dans la cuvette.

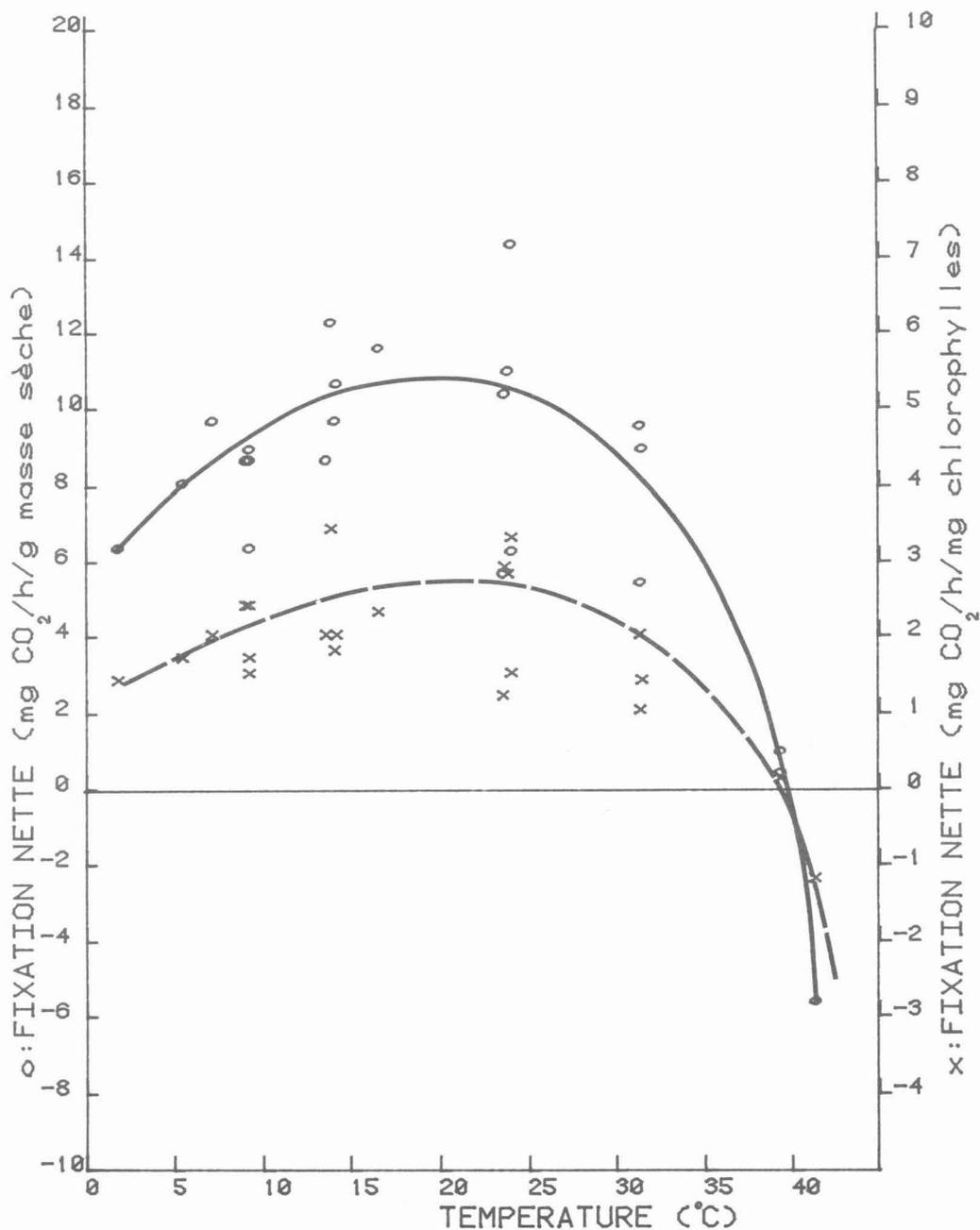


Figure 10 Influence de la température ambiante sur la fixation nette de CO<sub>2</sub> par des semis d'épinette noire à la lumière.

Les semis étaient âgés de 10 semaines, la concentration moyenne en anhydride carbonique était de 318 v.p.m., la tension partielle de vapeur d'eau a été évaluée à 49 p.100 et l'éclairement énergétique, établi à 500  $\mu\text{E.}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ .

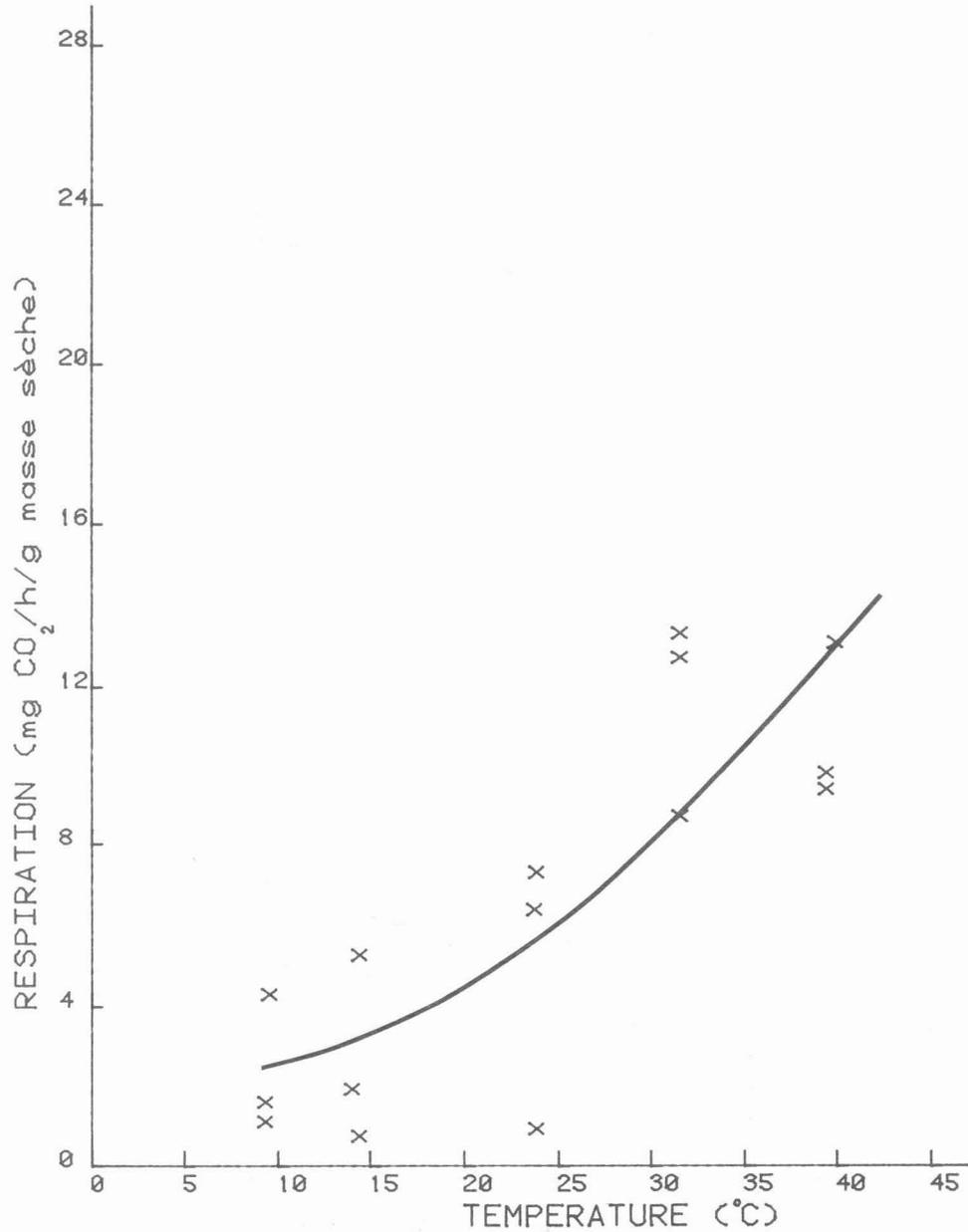


Figure 11 Influence de la température ambiante sur la respiration de semis d'épinette noire dans l'obscurité.

Les semis étaient âgés de 10 semaines et la tension partielle moyenne de vapeur d'eau, équivalente à 49 p.100.

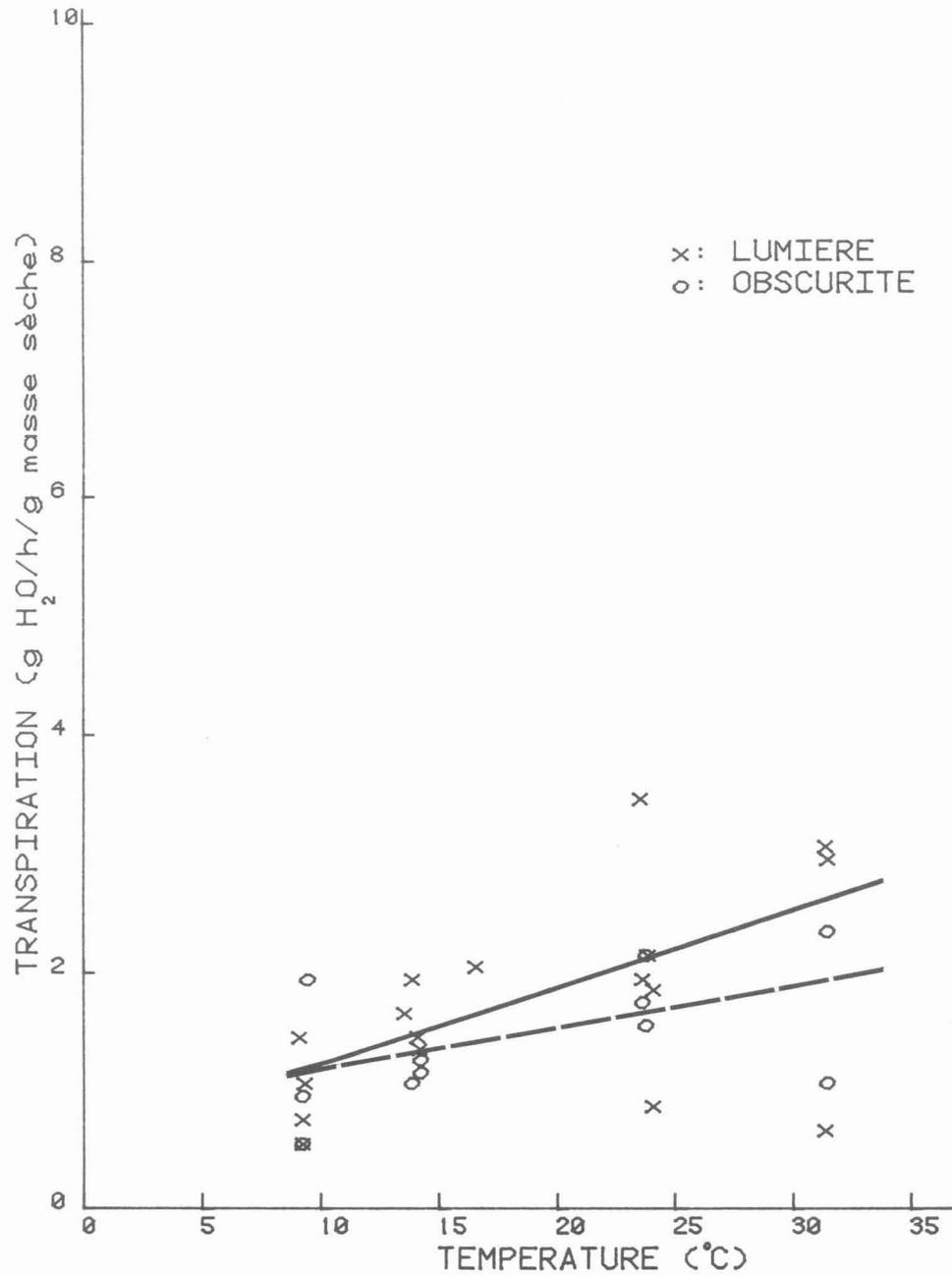


Figure 12 Influence de la température ambiante sur la transpiration des semis d'épinette noire à la lumière et dans l'obscurité.

Les semis étaient âgés de 10 semaines. A la lumière, l'éclairement énergétique était de  $400 \mu\text{E.}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , et la tension partielle moyenne de vapeur d'eau a été évaluée à 49 p.100.

## Remerciements

Je voudrais remercier Mme Diane Lavoie pour le travail technique au cours de ces études. De plus, j'aimerais signaler l'aide du personnel de la section biométrie-informatique et du service de la maintenance du CRFL tout au long de ces travaux. Enfin, les nombreuses suggestions faites par les réviseurs, Messieurs V. Furlan, R. Girouard, G. Murray et G. Ouellette ont été grandement appréciées.

## Références bibliographiques

- Boudoux, M. 1972. Log 4 un programme APL d'analyse des dérivées d'une fonction logistique modifiée. Can. Cen. Rech. for. Laurentides, Québec. Rapp. d'inf. Q-F-X-29. 55 p.
- Brix, H. 1967. An analysis of dry matter production of Douglas-fir seedlings in relation to temperature and light intensity. Can. J. Bot. 45: 2063-2072.
- Clark, J. 1961. Photosynthesis and Respiration in White Spruce and Balsam Fir. State University College of Forestry at Syracuse University, Syracuse, New York. Technical publication 85: 72 p.
- Cousin, J.-Y. et R. Lanier. 1976. Techniques modernes de production de plants forestiers. Rev. For. Fr. (Nancy) 2: 115-131.
- D'Aoust, A.L. 1976a. Les épinettes blanche, noire et rouge. Dans: L'Amélioration génétique des espèces forestières au Québec. Gou. Québec, Ministère des Terres et Forêts. Serv. Rech. Mémoire n° 30: 105-124.
- D'Aoust, A.L. 1976b. Effets d'un engrais chimique sur la croissance des semis d'épinette noire en godets. Can. J. For. Res. 6: 13-19.
- D'Aoust, A.L. 1978. Influence de l'irradiation sur la croissance de semis d'épinette noire en contenant placés dans deux enceintes de culture. Can. J. For. Res. 8: 316-321.
- Day, R.J., J.T. Stupendeck et J.M. Butler. 1976. Root periodicity and root regeneration potential are keys to successful plantation establishment. OMNR-GLFRC "Plantation Establishment Symposium" Kirkland Lake, Ont. September 1976.
- Evans, G.C. 1972. Studies in Ecology Vol. 1. The quantitative analysis of plant growth. University of California Press, Berkeley, Los Angeles, 734 p.
- Freeland, R.O. 1952. Effect of age of leaves upon the rate of photosynthesis in some conifers. Plant Physiol. 27: 685-690.

- Girouard, R.M. 1975. Seasonal rooting response of Norway spruce stem cuttings. *Plant Propag.* 21: 9-10.
- Hawey, R. 1977. La régénération artificielle et ses techniques au Québec. *Pulp Paper Can.* 10: 41-49.
- Hocking, D. 1971. Preparation and use of a nutrient solution for culturing seedlings of lodgepole pine and white spruce with selected bibliography. *Can. For. Serv. Inf. Rep. NOR-X-1*: 14 p.
- Hughes, A.P. et P.R. Freeman. 1967. Growth analysis using frequent small harvest. *J. Appl. Ecol.* 4: 553-560.
- Ingestad, T. 1962. Macroelement nutrition of pine, spruce and birch seedlings in nutrient solutions. *Medd. Från Statens Skogsforskningsint.* 51: 1-157.
- Koch, W., E. Klein et H. Walz. 1968. Neuartige Gaseswechsel-Messanlage für Pflanzen in laboratorium and Freiland. *Siemens Z.* 42: 392-404.
- Koch, W., O.L. Lange et E.D. Schulze. 1971. Ecophysiological investigation on wild and cultivated plants in the Negev Desert. I. Methods: a mobile laboratory for measuring carbon dioxide and water vapour exchange. *Oecologia* 8: 296-309.
- Kramer, P. 1958. Photosynthesis of trees as affected by their environment. Dans: *The Physiology of Forest Trees*, ed, K.V. Thimann, W.B. Critchfield et M.H. Zimmerman. The Ronald Press Co. N.Y. pp. 157-186.
- Krizek, D.T. et R.H. Zimmerman. 1973. Comparative growth of birch seedlings grown in the green house and growth chamber. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 98: 370-373.
- Ledig, F.F., A.P. Drew et J.G. Clark. 1976. Maintenance and constructive respiration, photosynthesis and net assimilation rate in seedlings of pitch pine (*Pinus rigida* Mill.). *Ann. Bot.* 40: 289-300.
- Linder, S. 1972. Seasonal variation of pigments in needles. A study of Scots Pine and Norway Spruce seedlings grown under different nursery conditions. *Stud. For. Suec.* 100: 37 p.
- Logan, K.T. 1969. Growth of tree seedlings as affected by light intensity. IV. Black spruce, white spruce, balsam fir, and eastern cedar. *Dept. Fish. For. Can. For. Serv. Publ.* 1256: 1-12.
- Logan, K.T. et D.F.W. Pollard. 1971. Comparative investigations of dry matter production in young tree seedlings using classical growth analysis and gas exchange techniques. *Can. For. Serv. Inf. Rep. PS-X-25* 11 p.
- Logan, K.T. 1973. Height growth of white spruce transplanted from BC/CFS Styroblocks. *Bimon. Res. Notes* 29: p. 7.

- Logan, K.T. et D.F.W. Pollard. 1976. Growth acceleration of tree seedlings in controlled environments at Petawawa. Can. For. Serv. Petawawa For. Exp. St. Inf. Rep. PS-X-62.
- Manley, S.A.M. 1975. Genecology of hibridization of red spruce and black spruce. Ph.D. thesis, Yale University. (Univ. Micro-films n° 75-24, 573.)
- Manning, G.H. et H.R. Grinnell. 1971. Forest resources and utilization in Canada to the year 2000. Dept. Environment Can. For. Serv. Publ. 1304: 80 p.
- Morrison, J.K. et K.A. Armson. 1968. The rhizometer -- a device for measuring roots of tree seedlings. For. Chron. 44: 1-2.
- Nelson, C.D. 1964. The production and translocation of photosynthate -<sup>14</sup>C in conifers. Dans: The Formation of wood in forest trees, ed. M.H. Zimmerman, Academic Press N.Y. p. 243-258.
- Pollard, D.F.W. et P.F. Wareing. 1968. Rates of dry matter production in forest tree seedlings. Ann. Bot. 32: 573-591.
- Pollard, D.F.W. et K.T. Logan. 1974. The role of free growth in the differentiation of provenances of black spruce, *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. Can. J. For. Res. 4: 308-311.
- Pollard, D.F.W. et K.T. Logan. 1975. Prescription of the aerial environment for a plastic greenhouse nursery. Proc. 12th Lakes States. Forest Tree Improvement Conference, August 19-21.
- Radford, P.J. 1967. Growth analysis formulae - their use and abuse. Crop Sci. 8: 171-175.
- Scarratt, J.B. 1972. Effect of tube diameter and spacing on the size of tubed seedling, planting stock. Can. For. Serv. Great Lakes For. Res. Centre. Inf. Rep. 0-X-170.
- Scarratt, J.B. et K.H. Reese. 1976. Objectives and criteria for planting stock production in Ontario. OMNR-GLFRC "Plantation Establishment Symposium" Kirkland Lake, Ont. September 1976.
- Sestak, Z. 1971. Determination of chlorophylls a and b. Dans Plant Photosynthetic Production, ed. Z. Sestak, J. Catsky et P.G. Jarvis. Dr. W. Junk N.V. Publisher, the Hague. p. 672-701.
- Siren, G. et T. Alden. 1972. CO<sub>2</sub> supply and its effects on the growth of conifer seedlings grown in plastic greenouse. R. Coll. For. Dep. Refor. Res. Notes. 37 15 p.
- Swan, H.S.D. 1960. The nutrition of Canadian pulpwood species. I. The influence of nitrogen phosphorus, potassium and magnesium deficiencies on the growth and development of white spruce, black spruce, jack pine, and western hemlock seedlings grown in controlled environment. Pulp and Paper Research Institute of Canada. Tech. Rep. 168.

- Swan, H.S.D. 1970. Relationship between nutrient supply, growth and nutrient concentration in the foliage of black spruce and jack pine. Pulp and Paper Research Institute of Canada. Woodlands Paper 19: 1-46.
- Wareing, P.F. et P.F. Saunders. 1971. Hormones and dormancy. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 22: 261-288.
- Watson, D.J. 1952. The physiological basis of variation in yield. *Adv. Agron.* 4: 101-145.
- Wynia, A. 1975. Production of black spruce nursery stock in the boreal forest region. In Black Spruce Symposium, Sponsored by Ontario Ministry of Natural Resources and Great Lakes Forest Research Centre, Sept. 1975. *Can. For. Serv. Proc.* 0-P-4, 95-102.
- Yeatman, C.W. 1970. Technical notes, CO<sub>2</sub> enriched air increased growth of conifer seedlings. *For. Chron.* 46: 229-230.

