

## Note de recherche forestière n° 61

### Maturation des graines de l'Épinette blanche à partir du suivi systématique de 16 acides aminés libres

Linda VEILLEUX<sup>1</sup> et Stéphan MERCIER<sup>2</sup>

F.D.C. 232.312(047.3)(714)  
L.C. SD 402.S77

#### Résumé

Cette étude visait à préciser les phases de maturation des graines de l'Épinette blanche à partir du taux de germination et du suivi systématique de 16 acides aminés primaires. Des cônes d'Épinette blanche ont été récoltés chaque semaine entre le 18 juillet et le 12 septembre 1989 sur huit arbres de la provenance de Pont-Rouge. Les acides aminés furent extraits avec de l'eau purifiée et dérivés selon deux techniques pré-colonne utilisant l'aldéhyde ortho-phtalique (OPA) et le chloroformate de fluorénylméthyle (FMOC-Cl). Le dosage a été effectué au moyen d'un chromatographe en phase liquide à haute performance (HPLC) muni d'un détecteur à fluorescence. Les résultats des tests de germination indiquent que les graines ont atteint leur maturité durant la semaine du 22 août avec un taux moyen de germination de 74 %. L'étude des courbes obtenues à partir du suivi des acides aminés a permis de faire ressortir cinq profils distincts dont deux peuvent servir d'indicateur physiologique de maturité. L'alanine, la glycine et l'asparagine sont les acides aminés qui permettent le mieux de prédire la maturité des graines.

Mots-clés : épinette blanche, *Picea glauca*, cônes, graines, maturité, maturation, acides aminés, dérivation pré-colonne, HPLC en phase inversée, indicateur physiologique de maturité.

#### Abstract

This study aimed at determining the maturation steps of white spruce seedlings from the germination rate and the systematic follow-up of 16 free amino acids. Every week, between July 18 and September 12 1989, white spruce cones were collected on eight trees of the Pont-Rouge progeny. The amino acids were extracted with purified water and were derivatised according to two pre-column techniques using o-phthalaldehyde (OPA) and fluorenylmethyl chloroformate (FMOC-Cl). The amino acid analysis was performed by reversed phase HPLC fitted with a fluorescent detector. The germination rate shows that the seeds reached their maturity during the week of August 22 with an average germination rate of 74 %. The study of the curve obtained by following up the free amino acids emphasized five distinct profiles, two of which can serve as physiological maturity indicators. Alanine, glycine, and asparagine are the most suitable amino acids to predict the maturity of white spruce seedlings.

Keys words : White spruce, *Picea glauca*, cone, amino acid, pre-column derivatisation, maturation, reversed phase HPLC, physiological maturity indicator.

\*\*\*

\*\*\*

1 Technicienne de laboratoire au Service de l'amélioration des arbres.

2 Ingénieur forestier, M.Sc., chargé de recherches sur les semences et les pollens des arbres forestiers au Service de l'amélioration des arbres.

## Introduction

La maturité des graines de l'épinette blanche [*Picea glauca* (Moench.) Voss.] représente une phase importante du développement de cette semence. En effet, certains auteurs ont identifié que la période de temps s'écoulant entre la maturité et celle de la dissémination des graines chez cette espèce dépasse rarement deux semaines (STIELL 1981, SMITH 1983, MERCIER et LANGLOIS 1992). Certains travaux ont permis d'établir, au cours de la maturation des graines, la progression des lipides totaux (REDISKE et NICHOLSON 1965), des glucides (REDISKE 1961, 1969, JENSEN *et al.* 1967, MERCIER 1991a), de l'acide abscissique libre et total ainsi que des nucléotides adénilyques (MERCIER 1991). Ces graines, comme celles de la plupart des espèces résineuses, sont de type lipidique, c'est-à-dire que la principale source de réserves nutritives s'y trouve sous la forme d'acides gras (MIROV 1944, PULLIAINEN et LJUNEN 1984). Les protéines (JOHNSON *et al.* 1987, GRIFFORD 1988, MISRA et GREEN 1990) représentent une seconde réserve nutritive dans les graines de toute sorte.

Les protéines sont des polymères composés d'acides aminés. Ces polymères sont complexes et, conséquemment, il est difficile d'identifier et de quantifier un grand nombre de ces molécules à la fois selon des techniques simples et peu coûteuses. Le suivi des acides aminés qui composent ces protéines est donc plus facile à réaliser. Ce suivi permet d'acquérir une information intéressante sur la progression des protéines qui constituent une partie des réserves nutritives contenues dans le gamétophyte et dans l'embryon (BEWLEY et BLACK, 1978). L'accumulation en quantité adéquate de ces réserves nutritives lors de la maturation assure une conservation optimale de la graine ainsi qu'un bon taux de germination en pépinière (MERCIER 1991a). Conséquemment, cette étude visait à caractériser la maturation des graines de l'épinette blanche à partir du suivi systématique de 16 acides aminés primaires qui sera rattaché au suivi de la germination. De plus, elle a permis de préciser les phases de développement identifiées par MERCIER (1991a).

## Matériel et méthodes

### Récolte et préparation des graines

Le matériel utilisé était le même que celui employé par MERCIER (1991a). Un total de 100 cônes par arbres a été récolté chaque semaine entre le 18 juillet et le 12 septembre 1989 sur huit arbres de la provenance de Pont-Rouge (46° 45' N.; 71° 42' O.). De ce nombre, 75 cônes par arbre ont servi aux analyses physiologiques. Dès leur récolte, ces cônes étaient immergés dans l'azote liquide (-196 °C) puis lyophilisés à -65 °C afin de bloquer les processus physiologiques en cours et permettre l'extraction et le désailage des semences à froid. Les graines nettoyées ont été conservées sous vide au congélateur à -30 °C. Les 25 autres cônes par arbre par récolte ont servi à déterminer le taux de germination de chaque lot.

Les graines destinées aux tests de germination ont été extraites des cônes après 10 semaines d'entreposage dans un séchoir à l'air libre et séchées durant 8 heures à 53 °C. L'extraction des graines s'est faite par un brassage mécanique des cônes dans des sacs de papier. Le désailage a été obtenu par le frottement mécanique des graines entre elles dans un sac de coton. Le nettoyage final a été réalisé au moyen d'une souffleuse à graines (*Seedblower*) dont la vitesse était constante pour tous les lots de semences.

### Tests de germination

Le pourcentage de germination, utilisé pour mesurer l'état de maturité, a été réalisé selon les recommandations de l'*International Seed Testing Association* (1985). Les tests étaient menés à l'intérieur de plats de germination avec un substrat humide (*Kimpak*) supporté par une grille sous laquelle une petite quantité d'eau ozonisée était maintenue. Quatre groupes de 100 graines de chaque lot étaient placés dans les plats après une stratification de trois semaines à 4 °C. Les plats de germination ont été placés dans un germeoir (*Convion G-30*) avec une alternance de 16 heures de lumière à 30 °C et de 8 heures d'obscurité à 20 °C durant 21 jours. Les graines étaient considérées comme germées lorsque les cotylédons apparaissaient.

### Analyse des acides aminés

Les acides aminés sont extraits de l'échantillon de semences par broyage et macération dans l'eau (*ASTM* catégorie 1) à 50 °C au moyen d'un homogénéisateur de type *Polytron*. L'extrait est ensuite centrifugé, filtré et concentré.

La dérivation, l'identification et le dosage des acides aminés sont effectués à l'aide d'un chromatographe liquide à haute performance (*HPLC*) équipé d'un détecteur à fluorescence. Deux réactifs sont utilisés pour la dérivation, l'aldéhyde ortho-phthalique (*OPA*) pour les acides aminés primaires et le chloroformate de fluorénylméthyle (*FMOC-Cl*) pour les acides aminés secondaires (c.-à-d. proline et hydroxyproline). Les produits sont séparés sur une colonne *C-18 Aminoquant* de 200 x 2,1 mm. La phase mobile est constituée de deux solvants, l'acétate de sodium et un mélange acétate de sodium-acétonitrile-méthanol en mode gradient.

Il est important de pondérer la concentration des acides aminés par le nombre de graines afin de réduire l'erreur expérimentale engendrée par les dimensions variables des graines selon les individus (MERCIER *et al.* 1991). Ainsi, les résultats des analyses sont exprimés selon l'équation suivante :

$$\frac{\text{nmol}}{\text{g}} \times \frac{1}{\text{graine}} = (\text{nmol/g}) \cdot \text{graine}^{-1}$$

De plus, les résultats exposés dans les figures représentent la moyenne et son écart-type pour les huit arbres d'une même date de récolte.

Une interférence a été remarquée à basse concentration uniquement. En effet, l'arginine et un co-extractible présentaient un doublet sur le chromatogramme. Dans ce cas, la concentration a été évaluée par la mesure de la hauteur du pic plutôt que de la surface sous la courbe. La limite de détection de la méthode est de 100 nmol/g, sauf pour la cystine, où il est de 1000 nmol/g (MAMARBACHI et CARMICHAEL 1992).

## Résultats

### Période de maturité

Le taux de germination augmente graduellement pour atteindre la valeur maximale de 74 % dans la semaine du 22 août (figure 1). Ce pourcentage diminue progressivement jusqu'à 43 % à la fin de l'étude. En conséquence, on considère que les graines de l'épinette blanche sont parvenues à maturité au cours de la semaine du 22 août. À cette période, les embryons occupaient 90 % de la longueur de la cavité embryonnaire (MERCIER 1991a). Les cônes se sont ouverts à peine quelques jours après que les graines eurent atteint leur maturité.

### Suivi des acides aminés

L'identification et le dosage de 22 acides aminés libres dans les semences ont été réalisés avec un coefficient de variation sur la reproductibilité inférieur à 14 %, à l'exception de la tyrosine (35 %), de la lysine (31 %) et de la proline (22 %). Étant donné la faible reproductibilité obtenue avec ces trois derniers acides aminés, leur dynamique n'a pas été étudiée. Par ailleurs, l'acide 2-aminobutyrique, la cystine et l'hydroxyproline n'ont présenté que des concentrations sous forme de traces dans les graines.

L'acide aminé dominant au début du suivi est la glutamine qui représente alors près de 50 % de l'ensemble des composés azotés. Par la suite, l'arginine prend le premier rang avec des concentrations supérieures à 100(nmol/g).graine<sup>-1</sup>, ce qui représente 36 % du total des acides aminés libres à la maturité des graines. À ce stade de développement, la glycine, l'alanine, l'asparagine, l'acide glutamique et la sérine représentent plus de 48 % du contenu en acides aminés libres. Les résultats sont présentés sous forme de graphiques (figures 2 à 6) et d'un tableau en annexe.

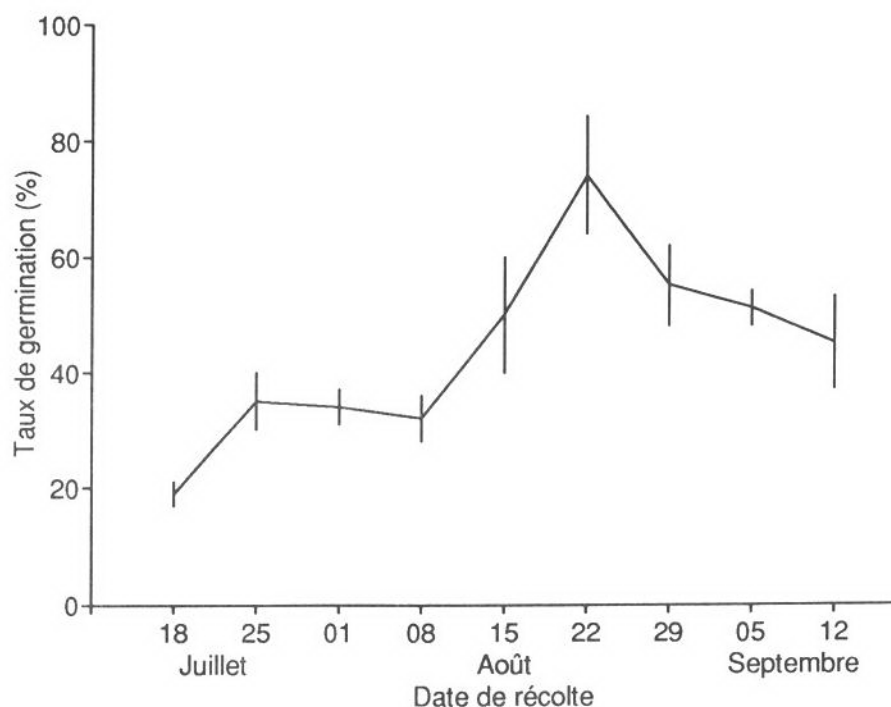


Figure 1. Taux de germination des graines de l'épinette blanche en fonction de la date de récolte des cônes.

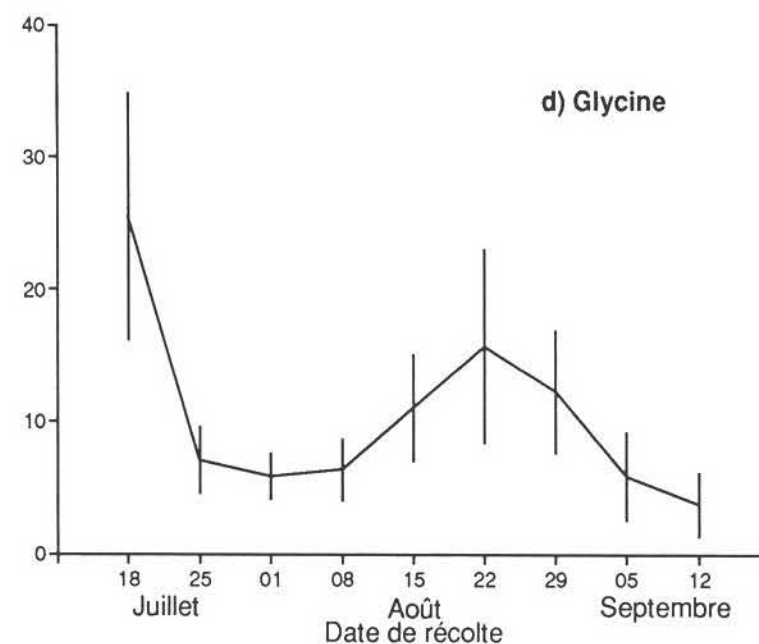
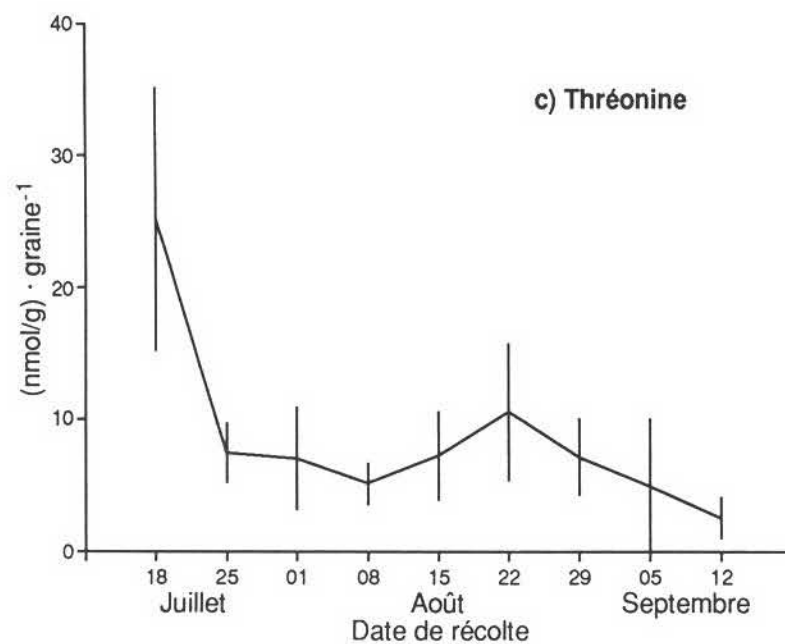
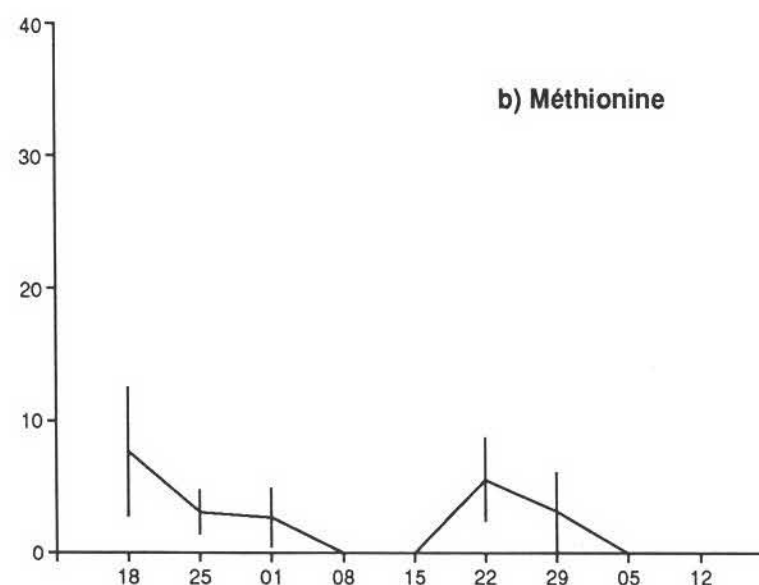
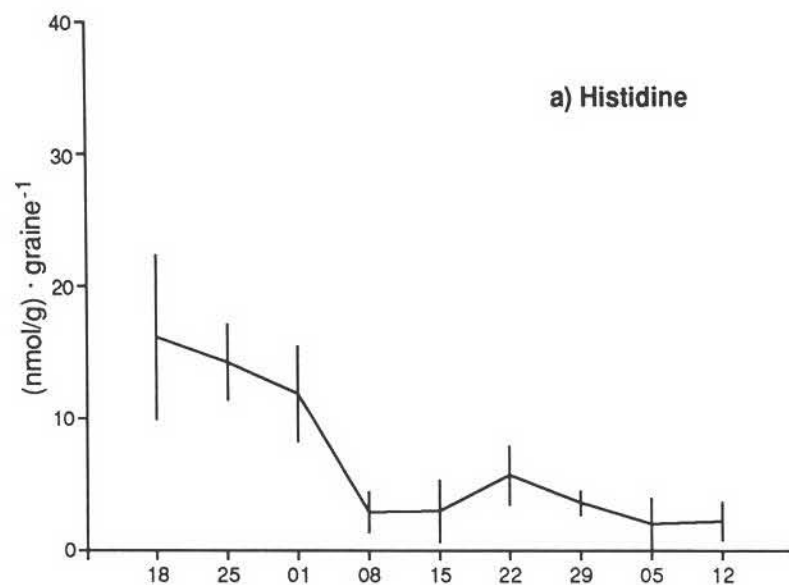


Figure 2. Progression de l'histidine, de la méthionine, de la thréonine et de la glycine dans les graines de l'épinette blanche au cours de la maturation.

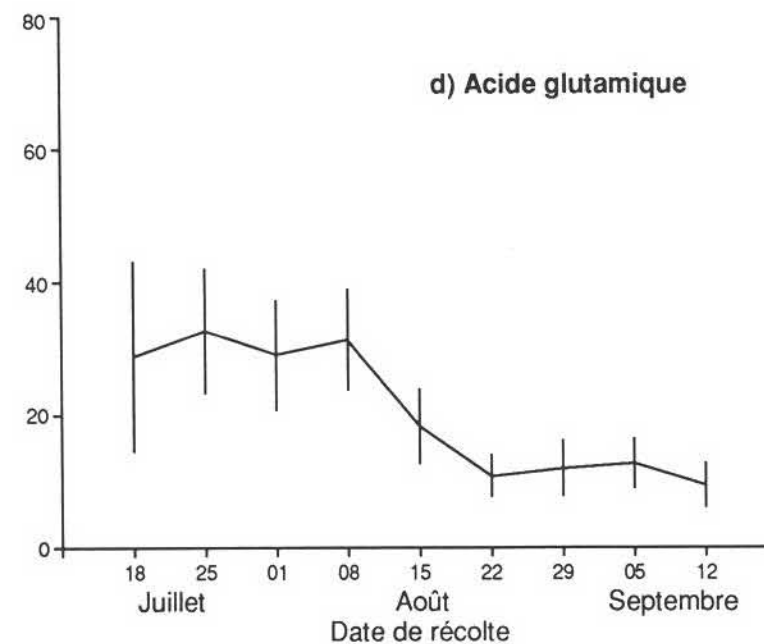
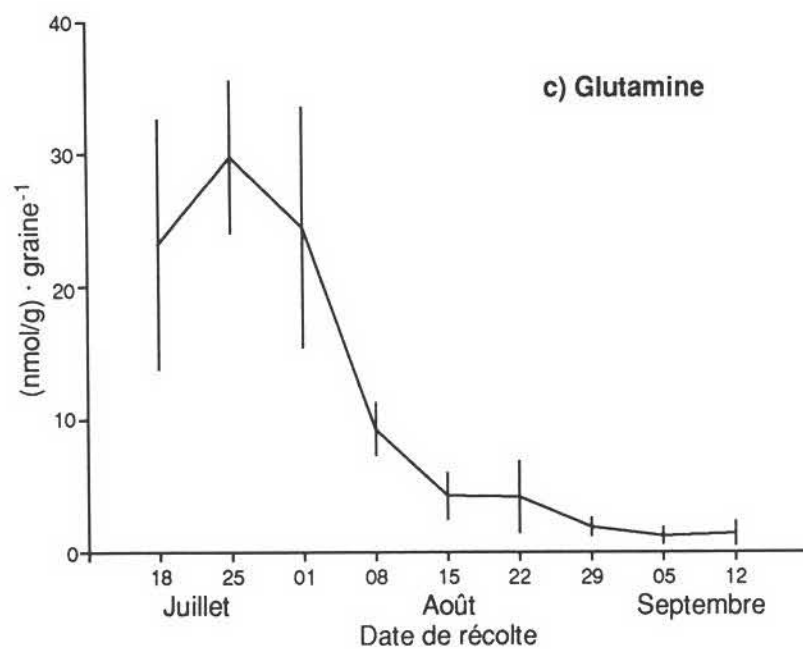
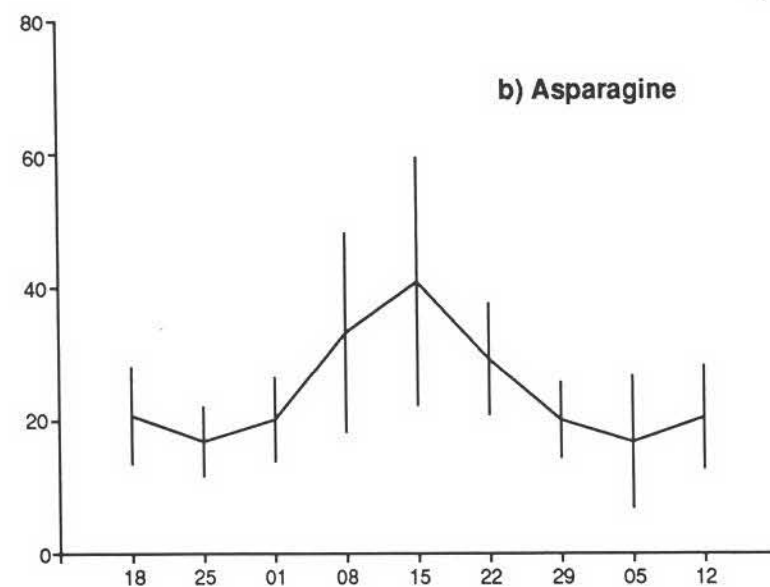
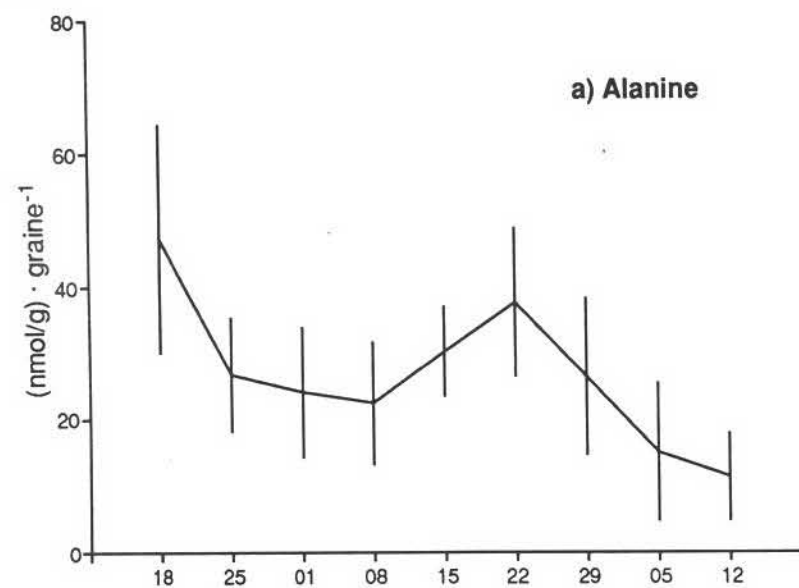


Figure 3. Progression de l'alanine, de l'asparagine, de la glutamine et de l'acide glutamique dans les graines de l'épinette blanche au cours de la maturation.

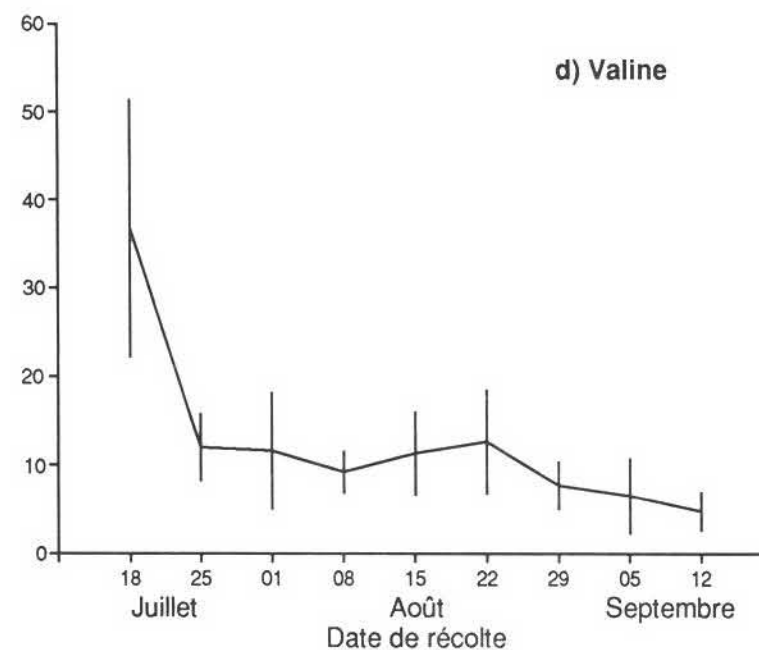
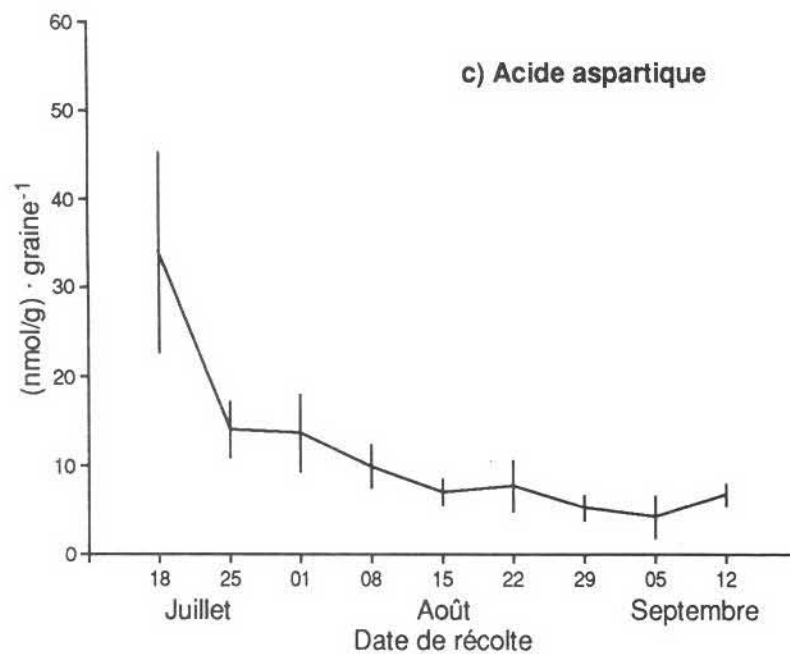
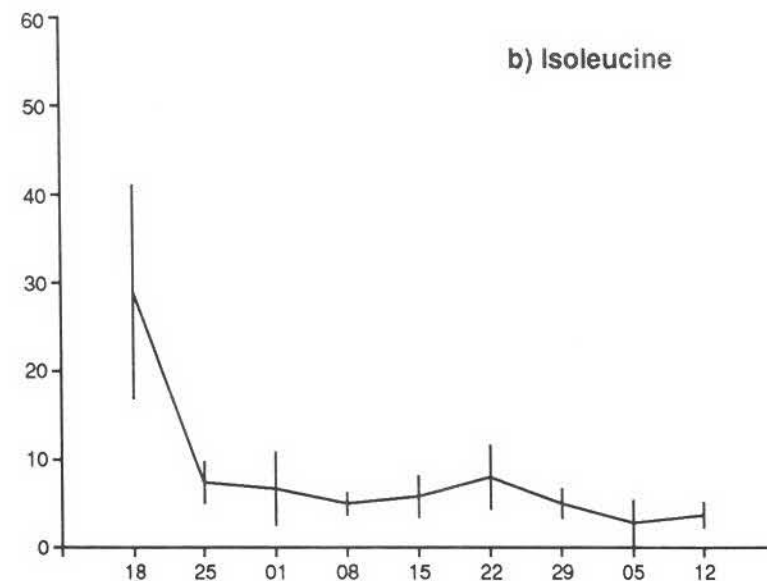
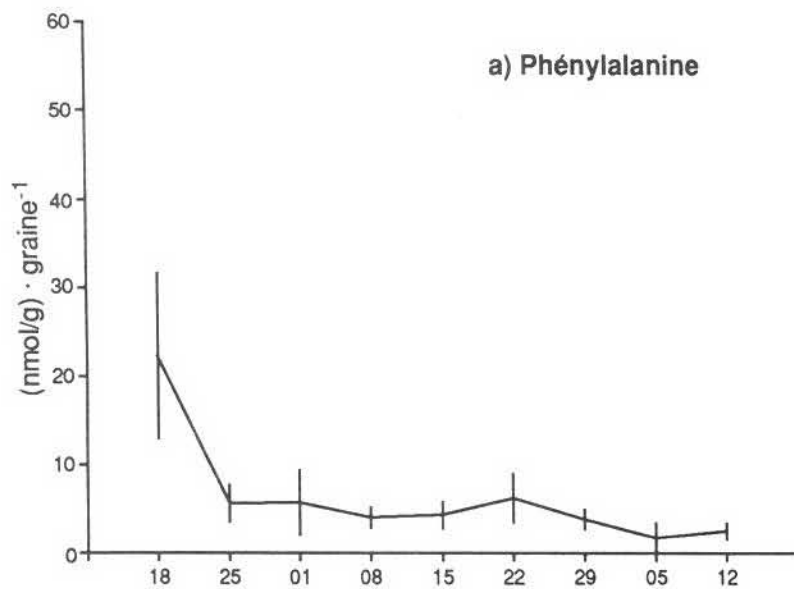


Figure 4. Progression de la phénylalanine, de l'isoleucine, de l'acide aspartique et de la valine dans les graines de l'épinette blanche au cours de la maturation.

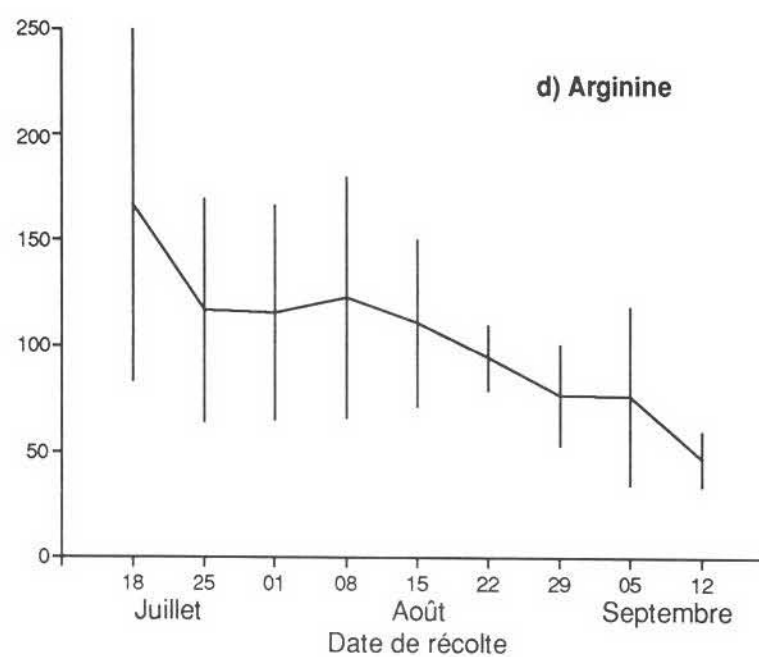
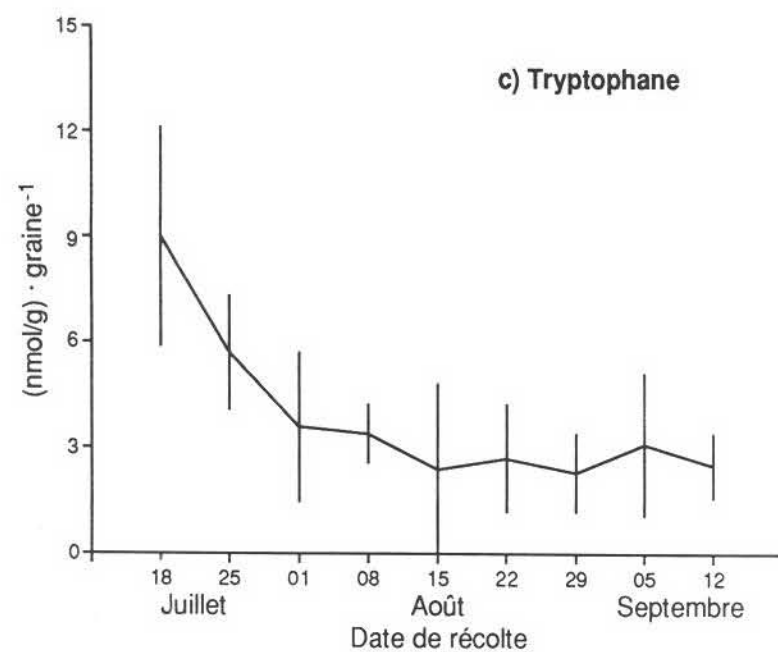
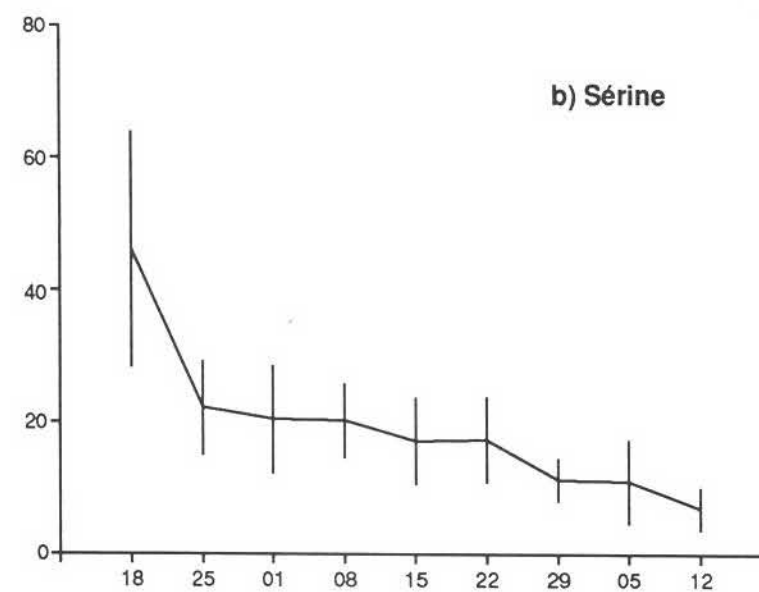
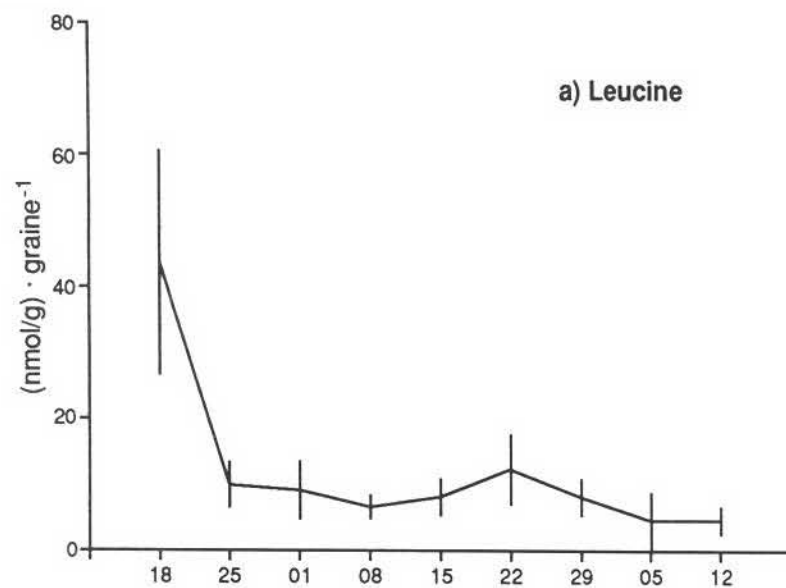


Figure 5. Progression de la leucine, de la sérine, du tryptophane et de l'arginine dans les semences de l'épinette blanche au cours de la maturation.

L'histidine, la méthionine, la thréonine, la glycine et l'alanine présentent des courbes voisines (figures 2 et 3a). Les concentrations de ces acides aminés sont optimales dès la première semaine de l'étude, soit le 18 juillet. Par la suite, les concentrations diminuent rapidement jusqu'au moment de la maturité, où elles augmentent légèrement pour ensuite redescendre et se stabiliser à des niveaux très faibles.

La phénylalanine, l'isoleucine, l'acide aspartique, la valine, la leucine, la sérine, la tryptophane et l'arginine montrent des graphiques aux courbes similaires (figure 4 et 5). Leurs concentrations sont à leur plus haut niveau le 18 juillet. Puis, durant la première ou la deuxième semaine, leurs concentrations chutent radicalement pour demeurer stables tout au long de l'étude.

L'asparagine, la glutamine et l'acide glutamique présentent des dynamiques différentes. L'asparagine a une concentration de 20 (nmol/g)·graine<sup>-1</sup> le 18 juillet, augmentant à 40 (nmol/g)·graine<sup>-1</sup> le 15 août pour ensuite redescendre à son niveau initial (figure 3b). La glutamine a une concentration égale ou supérieure à 230 (nmol/g)·graine<sup>-1</sup> du 18 juillet au 1<sup>er</sup> août; à partir de ce moment, la concentration diminue pour atteindre le seuil de 10 (nmol/g)·graine<sup>-1</sup> au 29 août (figure 3c). L'acide glutamique a une concentration initiale de 30 (nmol/g)·graine<sup>-1</sup> qui demeure stable jusqu'au 8 août. À partir de là, le contenu diminue à 12 (nmol/g)·graine<sup>-1</sup> à maturité, puis se stabilise (figure 3d).

Le suivi des acides aminés libres totaux indique une diminution graduelle de ces derniers au cours de la maturation (figure 6). En effet, ces valeurs passent de 791 (nmol/g)·graine<sup>-1</sup> au début de l'étude pour arriver à 142,9 (nmol/g)·graine<sup>-1</sup> à la fin. La teneur en acides aminés libres totaux à la maturité est de 212,6 (nmol/g)·graine<sup>-1</sup>.

\*\*\*

## Discussion

### Période de maturité

La progression du taux de germination des graines est couramment utilisée pour indiquer l'état de maturité de celles-ci (STIELL 1981, SMITH 1983, MERCIER et LANGLOIS 1992). Cet indicateur montre que les graines de l'épinette blanche de la station de Pont-Rouge sont parvenues à maturité au cours de la semaine du 22 août puisque durant les semaines subséquentes, le taux de germination décroît. Cette diminution de la germination s'observe fréquemment (MORISSETTE et GRENIER 1987, MERCIER 1992) et certains chercheurs attribuent ce phénomène à une dormance profonde des graines (KOLOTELO 1993).

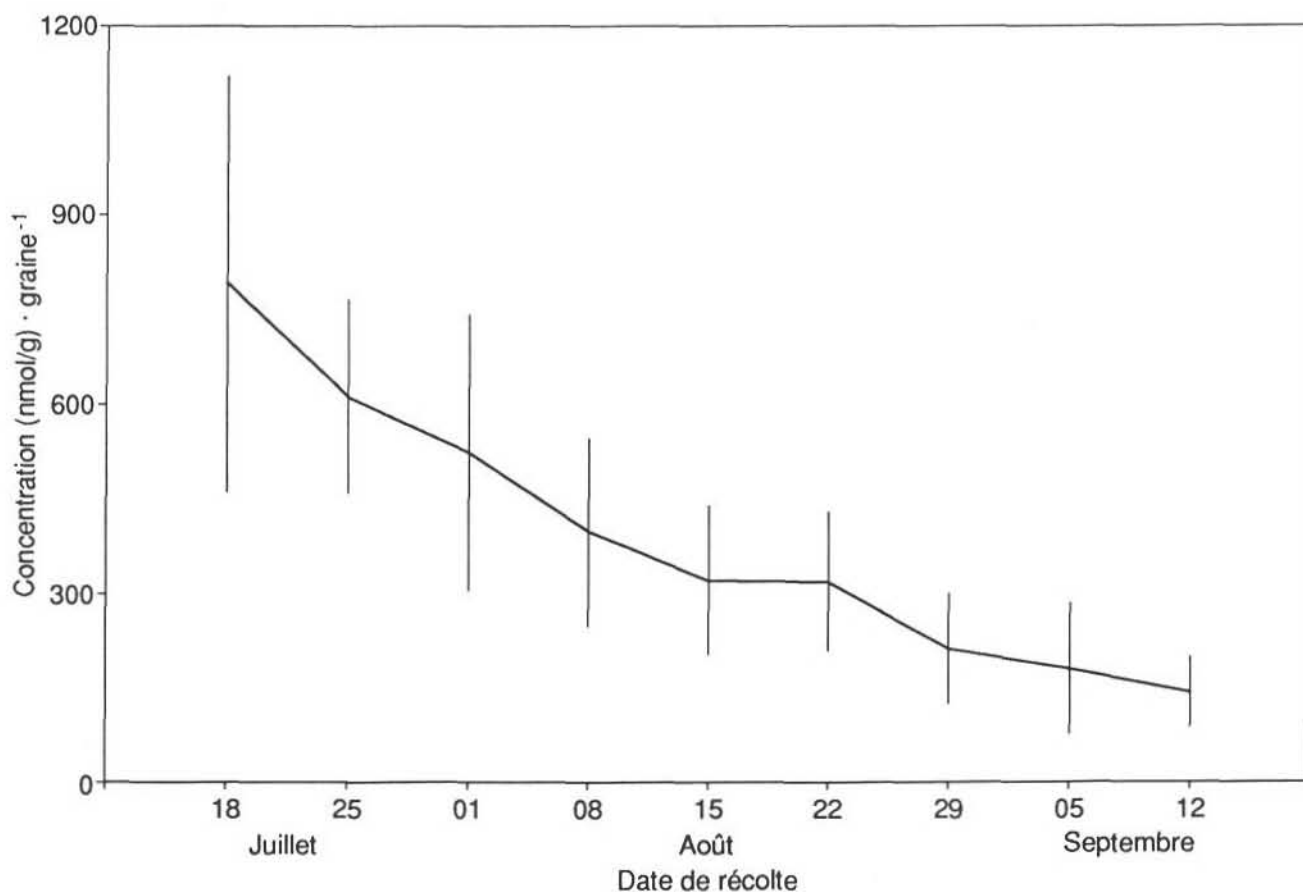


Figure 6. Progression des acides aminés libres totaux dans les graines de l'épinette blanche au cours de la maturation.

## Teneur en acides aminés

La présente étude porte sur le suivi des acides aminés contenus dans l'ensemble des graines. En fait, aucune distinction entre les organes de la semence n'a été réalisée dans cette étude. Toutefois, SAGHI et CITHAREL (1979) ont démontré, avec des graines de *Pinus canariensis*, que les compositions globales des protéines de l'embryon et du mégagamétophyte sont très voisines, de sorte qu'il est raisonnable de croire que les valeurs obtenues sont réparties uniformément entre l'embryon et le mégagamétophyte.

L'arginine constitue un acide aminé important (plus du tiers à la maturité) au cours de la maturation des graines de l'épinette blanche. On a déjà observé, durant l'imbibition qui se produit lors de la germination des graines, que l'azote soluble total diminue et que les acides aminés présentent une teneur élevée en arginine libre (SCHULZE 1896 cité dans RAMAIAH *et al.* 1971; SAGHI et CITHAREL 1979). Les protéines de la graine contiennent une concentration importante de ce constituant, qui est libéré par hydrolyse au moment de la germination (MOTHES 1929). Bien que cet acide aminé puisse être utilisé de diverses manières dans le métabolisme azoté des végétaux, il est le plus souvent impliqué dans le cycle de Krebs (SAGHI et CITHAREL 1979). L'utilisation de l'arginine au cours de la germination est en relation avec la synthèse que l'on a observée au cours de la maturation dans les graines de l'épinette blanche.

Le métabolisme de l'arginine dans les graines est intimement lié à celui de la glutamine et de l'asparagine (BIDWELL 1979). Ainsi, il n'est pas surprenant de constater la présence massive de ces deux derniers composés dans les graines. Inversement, la faible teneur en tryptophane, précurseur direct de l'AIA (BIDWELL 1979), suggère la quasi-absence de cette hormone dans la graine durant la maturation.

## Suivi des acides aminés au cours de la maturation

Les résultats mettent en évidence une biosynthèse progressive de la plupart des acides aminés étudiés au cours de la maturation. Dans les premières semaines de l'étude, c'est-à-dire du 18 juillet au 1<sup>er</sup> août, la glutamine est l'acide aminé dominant (près de la moitié du contenu azoté). Cette période est visiblement liée à la fin de l'embryogenèse (MERCIER 1991a). En ce sens, MURRAY (1984) estime que la glutamine représente 52,4 % (p/p) du sac embryonnaire, ce qui explique nos résultats et va dans le sens de l'hypothèse émise par MERCIER (1991a). Par la suite, cette biosynthèse apparaît plus évidente avec l'arginine qui devient l'acide aminé dominant au cours de la maturation des graines.

L'analyse des courbes obtenues à partir du suivi des 16 acides aminés fait ressortir cinq profils distincts. Parmi ces profils, deux pourraient servir à prédire la maturité des graines. Le premier profil est celui du groupe comprenant la glycine, l'alanine, l'histidine, la méthionine et la thréonine. Le contenu de ces acides aminés augmente en effet de façon marquante à la maturité bien que seuls les deux premiers composés présentent des variations suffisamment importantes pour permettre une détermination sans équivoque de

la maturité. Par ailleurs, le second profil est celui de l'asparagine qui montre une progression croissante jusqu'à une semaine avant la maturité.

L'ensemble des résultats met en évidence une hydrolyse progressive de toutes les protéines au cours du développement des graines de l'épinette blanche, probablement au profit des lipides (MERCIER 1991b). Toutefois, l'importance quantitative de l'arginine, de l'acide glutamique et de l'acide aspartique se retrouve chez plusieurs autres espèces d'épinette et de pin (SAGHI et CITHAREL 1979).

\* \* \*

## Remerciements

Nos plus sincères remerciements s'adressent à monsieur Carol Parent, du Service de l'amélioration des arbres (MRN), qui a collaboré aux travaux de terrain et de laboratoire, ainsi qu'à messieurs Guy Mamabachi et Michel Carmichael, du laboratoire de chimie organique (MRN), qui ont mis au point les techniques d'extraction et de dosage des acides aminés libres. Nous profitons de l'occasion pour souligner le travail de monsieur Lévis Beaulieu qui a réalisé les montages graphiques, de madame Johanne Petitclerc pour la dactylographie et de monsieur Fabien Caron qui a réalisé l'édition.

Cette étude est inscrite dans le projet de recherche n° 3410-032080 (02-01) du Service de l'amélioration des arbres.

\* \* \*

## Références

- BEWLEY, J.D. et M. BLACK, 1978. *Physiology and biochemistry of seeds in relation germination*. Vol. 1. *Development, germination and growth*. New-York, Springer-Verlag. 387 p.
- BIDWELL, R.G.S., 1979. *Plant physiology*, MacMillan, New-York. 725 p.
- GRIFFORD, D.J., 1988. *An electrophoretic analysis of the seed protein from Pinus monticola and eight other species of pine*. Can. J. Bot. 66 : 1808-1812.
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION, 1985. *Règles internationales pour les essais de semences*. Seed Sci. and Technol. 13 (suppl. 2) : 1-236.
- JENSEN, A., K. STEPHANSEN et A. LOKEN, 1967a. *Seed ripening of Norwegian coniferous trees. 1. Correlation between germination and content of sugars and water-soluble phenols during seed ripening of Norway spruce [Picea abies (L.) Karst]*. Medd. Westland Forstl. Forsoksta. 42 : 145-167.

- JOHNSON, M.A., J.A. CARLSON, J.H. CONKEY et T.L. NOLAND, 1987. *Biochemical changes associated with zygotic pine embryo development*. J. Ex. Bot. 38 (188) : 518-524.
- KOLOTELO, D., 1993. Communication personnelle. Tree Seed Center (Surrey, C.-B.).
- MAMARBACHI, G. et M. CARMICHAEL, 1992. *Méthodes d'analyse des acides aminés libres dans la végétation*. Ministère des Forêts, Direction de la recherche. 14 p.
- MERCIER, S., 1991a. *Maturation et indices de maturité des semences d'épinette blanche*. Ministère des Forêts, Direction de la recherche. Mémoire de recherche forestière n° 103. 62 p.
- MERCIER, S., 1991b. *Respiration et activité métabolique des semences de type lipidique*. Symposium sur la physiologie appliquée en agronomie, Québec, le 17 avril. 8 p.
- MERCIER, S., T. MORISSETTE et D. BLANCHETTE, 1991. *Évaluation des cônes de pin gris en vue de la récolte de semences de qualité*. Ministère des Forêts, Direction de la recherche, Mémoire de recherche forestière n° 101. 42 p.
- MERCIER, S., 1992. *À chaque espèce, son temps de récolte*. Dans : Comptes rendus du colloque sur les semences forestières, Sainte-Foy, les 12 et 13 février 1992 : 103-112.
- MERCIER, S. et C.-G. LANGLOIS, 1992. *Indice de maturité et conservation en fonction de la période de récolte des semences d'épinette blanche au Québec*. Can. J. For. Res. 22 : 1516-1523.
- MIROV, N.T., 1944. *Possible relation of linoleic acid to the longevity and germination of Pine seed*. Nature 154 : 218-219.
- MISRA, S. et M.J. GREEN, 1990. *Developmental gene expression in conifer embryogenesis and germination. 1. Seed protein and protein body composition of mature embryo and the megagametophyte of White spruce [Picea glauca (Moench.) Voss]*. Plant Sci. 68 : 163-173.
- MORISSETTE, T. et J. GRENIER, 1987. *Études sur les indices de maturité des cônes et de semences d'épinette blanche*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la régénération forestière. 22 p.
- MOTHES, K., 1929. *Physiologische untersuchungen über das asparagin und das arginin in conifer. Ein beitrage zur theorie das ammoniakentgiftung im pflanzlichen organismus*. Planta 7 : 585-649.
- MURRAY, D.R., 1984. *Seed physiology. Vol. 1 : Development*. Academic Press, London : 1-40.
- PULLIAINEN, E. et L.H.J. LJUNEN, 1984. *Chemical composition of Picea abies and Pinus sylvestris seeds under subarctic conditions*. Can. J. For. Res. 13 : 214-217.
- RAMAIAH, P.K., D.J. DURZAN et A.J. MIA, 1971. *Amino acids soluble proteins, and isoenzyme patterns of peroxidase during the germination of Jack pine*. Can. J. Bot. 49(12) : 2151-2161.
- REDISKE, J.H., 1961. *Maturation of douglas-fir seed : a biochemical study*. For. Sci. 7(3) : 204-213.
- REDISKE, J.H., 1969. *Effects of cone-picking date on Douglas-fir seed quality*. For. Sci. 15(4) : 404-410.
- REDISKE, J.H. et D.C. NICHOLSON, 1965. *Maturation of noble fir seed : a biochemical study*. Weyerhaeuser Co., For. Paper 2. 12 p.
- SAGHI, M. et J. CITHAREL, 1979. *Variations de la composition azotée de Pinus canariensis au cours de la germination*. Phytochemistry 18 : 47-50.
- SCHULZE, E., 1986. *Über die beim umsatz der proteinstoffe in den Keimpflanzen einiger coniferen arten entstehenden stickstoff verbin dungen*. Physiol. Chem. 22 : 435-448.
- SMITH, R.F., 1983. *How early can white spruce cones be collected ?* Maritimes Forest Research Center, Technical Note 92. 2 p.
- STIELL, W.M., 1981. *L'épinette blanche : régénération artificielle au Canada*. Environnement Canada, Service canadien des forêts, Institut d'aménagement forestier, Rapp. FMR-X-85. 59 p.

\*\*\*

# Annexe

## Résultats du suivi des 16 acides aminés en fonction du taux de germination des graines d'épinette blanche

| Acides aminés<br>(nmol/g).graine <sup>-1</sup> | Date de récolte |               |               |               |               |               |              |                |             |
|------------------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|----------------|-------------|
|                                                | 18/07/89        | 25/07/89      | 01/08/89      | 08/08/89      | 15/08/89      | 22/08/89      | 29/08/89     | 05/09/89       | 12/09/89    |
| Taux de germination                            | 19,1 ± 2,3      | 35,3 ± 5,0    | 34,3 ± 2,9    | 32,4 ± 3,8    | 50,6 ± 10,1   | 74,0 ± 10,2   | 55,6 ± 7,7   | 51,0 ± 3,1     | 45,4 ± 8,2  |
| Histidine                                      | 16,2 ± 6,2      | 14,3 ± 2,8    | 11,9 ± 3,6    | 2,9 ± 1,5     | 3,0 ± 2,3     | 5,7 ± 2,2     | 3,6 ± 0,9    | 2,0 ± 1,9      | 2,2 ± 1,4   |
| Méthionine                                     | 7,7 ± 4,8       | 3,1 ± 1,6     | 2,7 ± 2,2     | N.D.          | N.D.          | 5,6 ± 3,1     | 3,2 ± 2,9    | N.D.           | N.D.        |
| Thréonine                                      | 25,2 ± 9,9      | 7,5 ± 2,2     | 7,1 ± 3,8     | 5,2 ± 1,5     | 7,3 ± 3,3     | 10,6 ± 5,1    | 7,2 ± 2,8    | 5,0 ± 5,0      | 2,6 ± 1,5   |
| Glycine                                        | 25,5 ± 9,3      | 7,1 ± 2,5     | 5,9 ± 1,7     | 6,4 ± 2,3     | 11,1 ± 4,0    | 15,7 ± 7,3    | 12,3 ± 4,6   | 5,9 ± 3,3      | 3,8 ± 2,4   |
| Alanine                                        | 47,2 ± 17,0     | 26,8 ± 8,5    | 24,2 ± 9,7    | 22,5 ± 9,1    | 30,3 ± 6,7    | 37,7 ± 11,1   | 26,5 ± 11,7  | 15,1 ± 10,3    | 11,4 ± 6,5  |
| Asparagine                                     | 20,8 ± 7,2      | 16,9 ± 5,1    | 20,2 ± 6,2    | 33,2 ± 14,9   | 40,9 ± 18,5   | 29,3 ± 8,3    | 20,1 ± 5,6   | 16,8 ± 9,9     | 20,5 ± 7,7  |
| Glutamine                                      | 232,2 ± 93,72   | 98,0 ± 57,12  | 44,7 ± 90,2   | 93,1 ± 19,4   | 42,6 ± 17,2   | 41,7 ± 26,7   | 19,2 ± 6,4   | 12,4 ± 5,9     | 14,1 ± 8,7  |
| Acide glutamique                               | 28,8 ± 14,2     | 32,6 ± 9,3    | 29,0 ± 8,2    | 31,3 ± 7,5    | 18,3 ± 5,5    | 10,8 ± 3,1    | 11,9 ± 4,1   | 12,7 ± 3,7     | 9,4 ± 3,3   |
| Phénylalanine                                  | 23,3 ± 9,3      | 5,6 ± 2,1     | 5,7 ± 3,6     | 4,0 ± 1,1     | 4,3 ± 1,5     | 6,2 ± 2,7     | 3,8 ± 1,1    | 1,7 ± 1,7      | 2,5 ± 0,9   |
| Isoleucine                                     | 29,0 ± 12,0     | 7,4 ± 2,3     | 6,7 ± 4,1     | 5,0 ± 1,2     | 5,8 ± 2,3     | 8,0 ± 3,5     | 5,0 ± 1,6    | 2,8 ± 2,5      | 3,7 ± 1,4   |
| Acide aspartique                               | 34,0 ± 11,2     | 14,0 ± 3,1    | 13,6 ± 4,3    | 9,9 ± 2,4     | 7,0 ± 1,4     | 7,7 ± 2,8     | 5,2 ± 1,4    | 4,2 ± 2,3      | 6,7 ± 1,2   |
| Valine                                         | 36,8 ± 14,5     | 12,0 ± 3,7    | 11,6 ± 6,5    | 9,2 ± 2,3     | 11,3 ± 4,6    | 12,6 ± 5,8    | 7,7 ± 2,6    | 6,5 ± 4,2      | 4,8 ± 2,1   |
| Leucine                                        | 43,7 ± 16,8     | 10,0 ± 3,4    | 9,2 ± 4,3     | 6,7 ± 1,7     | 8,2 ± 2,7     | 12,4 ± 5,2    | 8,2 ± 2,7    | 4,7 ± 4,1      | 4,7 ± 2,0   |
| Sérine                                         | 46,2 ± 17,6     | 22,2 ± 7,0    | 20,5 ± 8,1    | 20,3 ± 5,5    | 17,2 ± 6,4    | 17,4 ± 6,3    | 11,3 ± 3,1   | 11,1 ± 6,2     | 7,0 ± 3,1   |
| Tryptophane                                    | 9,0 ± 3,1       | 5,7 ± 1,6     | 3,6 ± 2,1     | 3,4 ± 0,8     | 2,4 ± 2,4     | 2,7 ± 1,5     | 2,3 ± 1,1    | 3,1 ± 2,0      | 2,5 ± 0,9   |
| Arginine                                       | 166,5 ± 83,0    | 116,9 ± 83,0  | 115,8 ± 50,6  | 123,0 ± 56,7  | 111,1 ± 39,2  | 94,7 ± 15,1   | 77,0 ± 23,6  | 76,7 ± 41,8    | 47,0 ± 2,7  |
| Total des acides<br>aminés libres              | 791,1 ± 329,8   | 612,1 ± 152,8 | 523,4 ± 218,6 | 397,5 ± 149,3 | 320,8 ± 118,0 | 318,8 ± 109,8 | 212,6 ± 88,1 | 180,7 ± 104,81 | 42,9 ± 55,8 |



Gouvernement du Québec  
**Ministère des Ressources  
naturelles**

**RN94-3098**

ISSN 0834-4833

ISBN 2-550-29873-X

Dépôt légal 1994

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

© Gouvernement du Québec 1994