

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN RESSOURCES RENOUVELABLES

par

NORMAND KEVIN AUBIN, Agr.  
B.Sc. en Bio-Agronomie

INFLUENCE DU CONTENU EN EAU DU SUBSTRAT ET DE LA  
PROFONDEUR DE PLANTATION SUR LA FORMATION DE  
RACINES ADVENTIVES CAULINAIRES, LA CROISSANCE ET L'ALLOCATION  
GLUCIDIQUE DE SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE

(*PICEA MARIANA* (MILL.)B.S.P.)

MARS 1996



### **Mise en garde/Advice**

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

## RÉSUMÉ

Depuis que la Ministère des Ressources Naturelles du Québec (MRN) a instauré son programme de reboisement au début des années quatre-vingt, la culture des semis en récipients s'est rapidement imposée comme principal mode de production. Afin de qualifier les semis au moment de la livraison des plants, le MRN utilise 15 normes et critères de qualité. Les critères visant les racines concernent entre autres la répartition uniforme de la masse racinaire et la présence de déformations. Mais aucun critère ne porte sur la présence d'un système racinaire adventif sur la tige des semis produits. Pourtant, les espèces du genre *Picea* ont un système racinaire superficiel dont la majeure partie se situe dans les 10 premiers centimètres de sol. Par exemple, des semis d'épinette noire établis en tube Ontario ont développé un système racinaire dont les deux tiers sont composés de racines adventives dix ans après la plantation. L'enfouissement de la tige causée par une plantation trop profonde ou l'accumulation de débris autour de la tige amèneraient les conditions d'humidité élevées nécessaires à la formation des racines adventives caulinaires.

L'objectif général de cette expérience est de déterminer les conditions de culture favorables à la formation de racines adventives caulinaire. Des semis d'épinette noire d'un an ont été plantés à différentes profondeurs (au collet, l'hypocotyle enfoui, 5 premiers cm de la tige enfouis) dans un mélange tourbe:vermiculite 2:1 (v/v) et soumis à différents traitements de contenu en eau du substrat (100%, 75%, 50% et 25% de la capacité de rétention en eau du substrat). Six plants ont été plantés par pot-traitement et chaque pot-traitement distribué aléatoirement dans un sous bloc. Deux sous-blocs compossaient un bloc, et quatre blocs ont été distribués dans la serre.

Le contenu en eau du substrat a été maintenu par gravimétrie à l'aide d'un système automatisé. La vérification du contenu en eau du substrat se faisait chaque semaine en pesant chaque pot. Les semis ont été cultivés durant 25 semaines: les 8 premières en période de croissance en hauteur de la tige, les 2 suivantes sous traitement photopériodique de mise en dormance et les 15 dernières en période de dormance des semis. La température ambiante jour/nuit a été maintenue à 21°C/18°C. Les semis ont été soumis à la photopériode naturelle et la dormance induite avec une photopériode de 8 heures durant deux semaines.

Les résultats indiquent que les racines adventives ne se forment que sur la partie de tige enfouie et à l'aisselle des branches dans certains cas. Aucun semis n'a formé des racines adventives sur l'hypocotyle. Une augmentation du nombre de lenticelles hypertrophiées présentes sur la tige et l'hypocotyle avec l'augmentation du contenu en eau du substrat a été observée. Ceci concorde avec le fait qu'une augmentation du contenu en eau diminue le taux d'oxygène du substrat, ce qui provoque l'hypertrophie des lenticelles. Le nombre total de racines adventives augmente avec l'augmentation du contenu en eau du substrat. Par contre, le système racinaire initial a eu une croissance importante et aucune lésion ou mort des racines n'a été observée. Il semble donc que l'enfouissement ou l'accumulation de débris autour de la tige amène des conditions d'humidité suffisantes pour la formation de racines adventives, l'augmentation du contenu en eau ne faisant qu'accélérer leur formation. La mise en dormance favorise la croissance des racines adventives tout autant que celle du système racinaire initial puisque le nombre total de racines adventives augmente dans le temps et que

le rapport biomasse sèche caulinaire/biomasse sèche racinaire diminue fortement après la mise en dormance des semis.

Pour tous les traitements et à chaque échantillonnage, la profondeur de plantation a influencé la hauteur, la biomasse sèche totale, la biomasse sèche racinaire et de la partie aérienne des semis. Les semis plantés profondément avec une partie de la tige enfouie avaient une tige plus longue après la croissance en hauteur de la tige mais plus courte à la fin de la période de dormance. Les racines adventives présentes sur la tige des semis enfouis semblent aider le système racinaire initial mais ne peuvent compenser la perte de surface photosynthétique par l'enfouissement d'aiguilles et de branches. Ceci est confirmé par une biomasse sèche totale et des organes inférieures aux semis plantés moins profondément.

Les semis soumis au stress hydrique ont vu leur croissance en hauteur diminuée durant tout le cycle de croissance. Ces semis ont par contre eu une croissance en diamètre et surtout une biomasse sèche racinaire proportionnellement plus grande que les semis bien irrigués durant la période de croissance en hauteur de la tige. De plus, le contenu en glucides solubles était élevé, surtout au niveau racinaire, durant la même période, aucune différence n'étant remarquée au niveau du contenu en amidon durant tout le cycle de croissance. Après la mise en dormance des semis, les semis stressés ont eu une croissance en diamètre et racinaire importante. L'accumulation de glucides solubles dans les racines semble provenir de l'hydrolyse de l'amidon durant la période de croissance en hauteur de la tige et de leur non utilisation par l'arrêt de croissance en hauteur et une faible croissance racinaire durant cette période. La mise en dormance a permis aux semis d'utiliser les glucides solubles présents pour leur croissance, leur contenu ne différant plus des semis soumis à des contenus en eau du substrat plus élevés à la fin de cette période. Les semis ayant été soumis à un stress hydrique semblent donc être physiologiquement identiques aux semis bien irrigués et prêts à reprendre une croissance normale.

L'enfouissement d'une partie de la tige des semis d'épinette noire est donc une condition nécessaire à la formation de racines adventives. Un contenu en eau du substrat élevé ne fait qu'accélérer la formation et la croissance de celles-ci. De plus, la mise en dormance des semis favorise la croissance des racines adventives ayant été formées durant la phase de croissance en hauteur de la tige. Les semis soumis au stress hydrique sont en mesure de survivre en accumulant des glucides solubles, surtout dans leurs racines, durant la période de croissance en hauteur de la tige. Ceci permet aux semis de maintenir la turgescence des tissus et maintenir leur métabolisme de base. La mise en dormance permet une croissance racinaire accrue afin d'explorer un volume de sol plus grand, permettant une augmentation de l'absorption de l'eau. Dans ces conditions les semis ne sont plus physiologiquement stressés et peuvent donc reprendre une seconde saison de croissance.



Etudiant: Normand Kevin Aubin



Directeur: Dr Daniel Lord

## REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier mon directeur de recherche, le Dr. Daniel Lord, qui a mis sur pied ce projet et a su me diriger dans ma démarche, dans l'analyse et la rédaction de ce mémoire pour l'obtention de mon diplôme. Je tiens à exprimer mon appréciation à M. Jacques Allaire, agronome, et M. Daniel Gagnon, technicien horticole, qui ont fourni l'aide technique et organisationnelle afin de mettre ce projet sur pied et de le réaliser. Je remercie M. Pierre-Yves Bernier du Centre de Foresterie des Laurentides pour ses conseils et pour la correction de ce mémoire ainsi que pour le stage effectué sous sa tutelle. Je tiens à mentionner l'aide précieuse de Mme Michèle Cardou-Bernier pour son temps et ses conseils pour l'analyse statistique du présent travail. J'aimerais aussi remercier M. Denis Walsh, maître en ressources renouvelables, qui m'a grandement aidé à comprendre et effectuer les techniques et les statistiques adéquates à ce travail, et Mme Jacinthe Bergeron qui a fourni une aide technique à un moment crucial. Je veux remercier la Coopérative Forestière de Girardville qui a fourni les plants nécessaire afin de réaliser cette expérience. Des remerciements s'adressent aussi à la Pépinière de Ferland-Boilleau qui a fourni la tourbe et qui a gracieusement offert de faire le mélange tourbe-vermiculite utilisé comme substrat; cette tâche aurait été fastidieuse sans cette aide. Je remercie aussi la Fondation de l'Université du Québec à Chicoutimi qui a subventionné le projet. J'aimerais mentionner l'aide financière du Consortium de Recherche sur la Forêt Boréale Commerciale et du Groupe de Recherche sur la Productivité Végétale, sans laquelle je n'aurais pu poursuivre mes études graduées. En dernier lieu, j'aimerais dire un gros merci à mes parents, qui m'ont poussé et encouragé à poursuivre mes études et ont supporté et respecté mon choix de carrière.

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	ii
REMERCIEMENTS .....	iv
TABLE DES MATIÈRES .....	v
LISTE DES TABLEAUX .....	vi
LISTE DES FIGURES .....	viii
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	xi
CHAPITRE I: INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE II: MATÉRIEL ET MÉTHODES .....	7
2.1 TRAITEMENTS ET MAINTIEN DU CONTENU EN EAU DU SUBSTRAT.....	8
2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL ET DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL...	14
2.3 MESURES DE CROISSANCE.....	17
2.4 ANALYSES BIOCHIMIQUES.....	18
2.5 TRAITEMENT DES DONNÉES .....	19
CHAPITRE III: RÉSULTATS .....	21
3.1 SURVIE DES PLANTS .....	22
3.2 RACINES ADVENTIVES ET LENTICELLES .....	24
3.2.1 OBSERVATIONS .....	24
3.2.2 CROISSANCE .....	24
3.2.3 LENTICELLES HYPERTROPHIÉES.....	29
3.3 PARAMÈTRES DE CROISSANCE .....	35
3.5 PARAMÈTRES BIOCHIMIQUES ET LE CONTENU EN EAU	52
CHAPITRE IV: DISCUSSION .....	63
4.1 RACINES ADVENTIVES .....	64
4.2 CROISSANCE DES SEMIS.....	69
CHAPITRE V: CONCLUSION.....	78
CHAPITRE VI: RÉFÉRENCES .....	82
ANNEXE A: DONNÉES BRUTES .....	93

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b>	Répartition de l'eau (g) contenu dans le substrat de quatre échantillons par section de profondeur (cm à partir de la surface du substrat) pour deux pots contrôles (25% CRE et 100% CRE) .....	13
<b>Tableau 2</b>	Taux de survie (%) du nombre total de semis pour les différents traitements après la huitième semaine de période de croissance en hauteur de la tige (semaine 8) et après les 15 semaines de période de dormance (semaine 25). Un test c2 à un seuil de signification de 5% ( $\alpha=0,05$ ) a été utilisé afin de comparer et distinguer les valeurs une à une. ....	23
<b>Tableau 3</b>	Pourcentage de la biomasse sèche racinaire que compose les racines adventives (% $\pm$ écart-type) après 25 semaines de croissance dont une période de 8 semaines de croissance en hauteur de la tige, de 2 semaines de traitement photopériodique de mise en dormance et d'une période de 15 semaines de dormance. ....	26
<b>Tableau 4</b>	Analyse de variance en fonction du contenu en eau du substrat (CES) et de la profondeur de plantation (PRF) pour le nombre moyen de racines adventives caulaires par semis après 25 semaines de croissance dont une période de 8 semaines de croissance en hauteur de la tige (semaine 8), de 2 semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis et d'une période de 15 semaines de dormance (semaine 25). Des contrastes ont été effectués sur l'interaction des facteurs principaux significatifs ( $p<0,05$ ). ....	28
<b>Tableau 5</b>	Analyse de variance en fonction du contenu en eau du substrat (CES) et la profondeur de plantation (PRF), pour la longueur moyenne des racines adventives caulaires après 25 semaines de croissance dont une période de 8 semaines de croissance en hauteur de la tige (semaine 8), de 2 semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis et d'une période de 15 semaines de dormance (semaine 25). Des contrastes polynomiaux ont été effectués sur les facteurs principaux significatifs ( $p<0,05$ ). ....	31
<b>Tableau 6</b>	Analyse de variance en fonction du contenu en eau du substrat (CES) et la profondeur de plantation (PRF), pour le diamètre moyen des racines adventives caulaires (mm) après 25 semaines de croissance dont une période de 8 semaines de croissance en hauteur de la tige (semaine 8), de 2 semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis et d'une période de 15 semaines de dormance (semaine 25). ....	33

<b>Tableau 7</b>	Analyse discriminante canonique de la hauteur (H), du diamètre au collet (D), de la biomasse sèche racinaire (BSR) et de la biomasse sèche aérienne (BSA) des semis pour les différents traitements (date d'échantillonnage (DATE), le contenu en eau du substrat (CES), la profondeur de plantation (PRF) et l'interaction DATE*CES*PRF).....	37
<b>Tableau 8</b>	Analyse des corrélations canoniques entre les traitements qu'ont subi les plants (la date d'échantillonnage (DATE), le contenu en eau du substrat (CES), et la profondeur de plantation (PRF)) et les paramètres de croissance (hauteur (H), diamètre au collet (D), biomasse sèche racinaire (BSR) et biomasse sèche aérienne (BSA)).....	47
<b>Tableau 9</b>	Analyse de variance en fonction de la date d'échantillonnage (DATE), du contenu en eau du substrat (CES) et de la profondeur de plantation (PRF) pour le pourcentage de la biomasse sèche totale que compose la biomasse sèche racinaire (%BSR). Des contrastes ont été effectuées sur les facteurs significatifs ( $p<0,05$ ).....	51
<b>Tableau 10</b>	Analyse discriminante canonique du contenu en glucides solubles (GLU), en amidon (AMI) et en eau (EAU) des différentes parties du plant (AI=aiguilles, T=tige et branches, R=racines et A=partie aérienne) pour la date d'échantillonnage (DATE), le contenu en eau du substrat (CES), la profondeur de plantation (PRF) et l'interaction DATE*CES*PRF.....	53
<b>Tableau 11</b>	Analyse des corrélations canoniques entre les paramètres biochimiques (GLU=contenu en glucides solubles, AMI=contenu en amidon, EAU=contenu en eau, AI=aiguilles, T=tige et branches et R=racines) et des traitements qu'ont subi les plants (date d'échantillonnage (DATE), contenu en eau du substrat (CES), profondeur de plantation (PRF) .....	61

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b>	Tension de l'eau (kPa) dans le substrat tourbe-vermiculite 2:1 (v/v) en fonction du contenu en eau du substrat (volume/ volume). CRE= 100% de la capacité de rétention en eau du substrat .....	10
<b>Figure 2</b>	Tuyauterie du système automatisé de contrôle du contenu en eau du substrat des pots. Un pot d'un traitement hydrique est suspendu et muni d'un micro-interrupteur (I) contrôlant l'ouverture d'une valve (V) qui laisse passer la solution nutritive dans le circuit de tuyaux spaghetti (S) jusqu'à ce que la masse consigne pour ce traitement soit atteinte et ferme automatiquement la valve.....	11
<b>Figure 3</b>	Schéma du dispositif expérimental. Les petits ronds noirs représentent les plants expérimentaux; les plus gros cercles représentent des pots contenant chacun 6 plants; chaque rectangle représente une parcelle composée de 12 pots-traitements résultant d'une combinaison d'un contenu en eau du substrat et d'une profondeur de plantation des semis affectée aléatoirement à un pot (CESmPRFn). Deux parcelles (une par date d'échantillonnage) forment une répétition. Quatre répétitions ont été disposées dans la serre. ....	15
<b>Figure 4</b>	Racines adventives présentes sur la tige de semis d'épinette noire après 8 semaines de croissance en hauteur de la tige (A) et après 15 semaines de croissance en dormance en plus des semaines de croissance en hauteur de la tige (B). T=tige, Hyp=hypocotyle, RAD=racines adventives et RI=racines initiales.....	25
<b>Figure 5</b>	Variation du nombre moyen de racines adventives par plant en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat (A) et de la profondeur de plantation (B). La flèche indique le début des deux semaines du traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard:semaine 8= 0,89 unité, semaine 25=0,90 unité.....	27
<b>Figure 6</b>	Variation de la longueur moyenne des racines adventives caulinaires (mm) en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat. La flèche indique le début des deux semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard:semaine 8=36 mm, semaine 25=105 mm.....	30

<b>Figure 7</b>	Variation du diamètre moyen des racines adventives caulinaires (mm) en fonction du temps d'échantillonnage les différents traitements de contenu en eau du substrats. La flèche indique le début du traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard:semaine 8=0,01 mm, semaine 25=0,12 mm. ....	32
<b>Figure 8</b>	Présence de lenticelles hypertrophiées (taches blanches) sur l'hypocotyle d'un semis d'épinette noire .....	34
<b>Figure 9</b>	Variation de nombre moyen de lenticelles hypertrophiées par plant en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements en contenu en eau du substrat (A) et de la profondeur de plantation (B). La flèche indique le début des deux semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard:semaine 8=0,89 unité, semaine 25=0,90 unité.....	36
<b>Figure 10</b>	Position des centroïdes des paramètres de croissance en fonction des deux premières variables canoniques significatives pour le contenu en eau du substrat (A) et pour la profondeur de plantation (B). Les groupes suivis d'une lettre différentes sont significativement différents ( $p<0,05$ ) d'après la probabilité de Mahalanobis. ....	39
<b>Figure 11</b>	Position des centroïdes des paramètres de croissance en fonction des deux premières variables canoniques significatives pour l'interaction dans le temps du contenu en eau du substrat et de la profondeur de plantation. Les groupes suivis d'une lettre différentes sont significativement différents ( $p<0,05$ ) d'après la probabilité de Mahalanobis.....	40
<b>Figure 12</b>	Variation de la hauteur des semis (mm) en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat (A) et de la profondeur de plantation (B). La flèche indique le début des deux semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard:semaine 8=9,7 mm, semaine 25=7,6 mm. ....	41
<b>Figure 13</b>	Variation du diamètre au collet des semis (mm) en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat (A) et de la profondeur de plantation (B). La flèche indique le début du traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard:semaine 8=0,16 mm, semaine 25=0,18 mm. ....	43
<b>Figure 14</b>	Variation de la biomasse sèche racinaire des semis (g) en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat (A) et de la profondeur de plantation (B). La flèche indique le début du traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard:semaine 8=0,04 g, semaine 25=0,27 g. ....	44

- Figure 15** Variation de la biomasse sèche de la partie aérienne des semis (BSA) en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat (A) et de la profondeur de plantation (B). La flèche indique le début du traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard: semaine 8=0,17 g, semaine 25=0,40 g ..... 46
- Figure 16** Variation du pourcentage de la biomasse sèche totale que compose la biomasse sèche racinaire (%BSR) en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat (A) et de profondeur de plantation (B). La flèche indique le début des deux semaines du traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard: semaine 8=0,47 %, semaine 25=0,52 %. ..... 50
- Figure 17** Position des centroïdes des paramètres biochimiques en fonction des deux premières variables canoniques significatives pour le contenu en eau du substrat (A) et la profondeur de plantation (B). Les groupes suivis d'une lettre différentes sont significativement différents ( $p<0,05$ ) d'après la probabilité de Mahalanobis ..... 55
- Figure 18** Position des centroïdes des paramètres biochimiques en fonction des deux premières variables canoniques significatives pour l'interaction dans le temps du contenu en eau du substrat et de la profondeur de plantation. Les groupes suivis d'une lettre différentes sont significativement différents ( $p<0,05$ ) d'après la probabilité de Mahalanobis ..... 56
- Figure 19** Variation du contenu en glucides solubles et en amidon (mg de D-glucose par g de biomasse sèche) des différentes parties du plant en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat (CRE). La flèche indique le début des deux semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard maximum: semaine 8=0,31mg pour les glucides solubles et 0,46mg pour l'amidon, semaine 25= 0,30mg et 0,45 mg ..... 57
- Figure 20** Variation du contenu en eau de la partie racinaire (EAU/R) et de la partie aérienne (EAU/A) (pourcentage de la biomasse fraîche) en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat. La flèche indique le début des deux semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard: semaine 8= 1% pour le EAU/R et 0,44% pour le EAU/A, semaine 25=1,33% et 0,36% respectivement ..... 59

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

- %BSR: pourcentage de la biomasse sèche totale que compose le système racinaire  
A: partie aérienne  
AI: aiguilles  
AMI/AI: contenu en amidon des aiguilles (mg D-glucose/mg de biomasse sèche)  
AMI/R: contenu en amidon de la partie racinaire (mg D-glucose/mg de biomasse sèche)  
AMI/T: contenu en amidon de la tige et des branches (mg D-glucose/mg de biomasse sèche)  
AMI: amidon  
BSA: biomasse sèche de la partie aérienne (g)  
BSR: biomasse sèche de la partie racinaire (g)  
CES: contenu en eau du substrat  
CRE: capacité de rétention en eau du substrat  
D: diamètre au collet (mm)  
EAU/A: contenu en eau de la partie aérienne  
EAU/R: contenu en eau de la partie racinaire  
GLU/AI: contenu en glucides solubles des aiguilles (mg D-glucose/mg de biomasse sèche)  
GLU/R: contenu en glucides solubles de la partie racinaire (mg D-glucose/mg de biomasse sèche)  
GLU/T: contenu en glucides solubles de la tige et des branches (mg D-glucose/mg de biomasse sèche)  
GLU: glucides solubles (hexoses)  
H: hauteur (mm)  
PRF: profondeur de plantation  
R: partie racinaire  
RAD: racines adventives caulinaires  
T: tige et branches

## **CHAPITRE I**

### **INTRODUCTION**

Depuis que le Ministère des Ressources Naturelles du Québec (MRN) a instauré son programme de reboisement au début des années quatre-vingt, la culture des semis en récipients pour la reforestation s'est rapidement imposée comme mode de production. Le nombre de semis reboisés est passé de 13 millions en 1983 à 240 millions en 1989 (Parent 1993, 1994). Bon an mal an, au moins 50% des plants produits sont de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) (Dancause 1990, Parent 1993, 1994). Afin de qualifier les semis au moment de la livraison des plants, le MRN utilise 15 normes et critères de qualité (Brouillette 1985). Ces normes sont basées sur des critères morphologiques comme la hauteur, le diamètre de la tige et l'enracinement des plants. Les critères associés au système racinaire concernent, entre autres, la répartition uniforme de la masse racinaire et la présence de déformations. Mais aucun critère ne porte sur la présence d'un système racinaire adventif se développant sur la tige (racines adventives caulaires) des semis produits. Pourtant, les travaux effectués à l'Université du Québec à Chicoutimi par les chercheurs du Consortium de Recherche sur la Forêt Boréale Commerciale (Krause, communication personnelle) et par différents auteurs (LeBarron 1945, Paterson et Maki 1994) indiquent que les arbres adultes d'épinette noire, installés de façon naturelle, ont un système racinaire composé en majeure partie de racines adventives caulaires de surface.

La répartition superficielle des racines dans le sol se vérifie également dans le cas des semis provenant d'une plantation (Armson 1972, Lamontagne 1994). McClain (1981) a étudié le système racinaire d'épinettes noires 10 ans après la plantation. Ces semis établis en tube «Ontario» avaient développé un système racinaire radial de surface où le développement du système racinaire initial à la base était presque nul. Les deux tiers supérieurs du système racinaire étaient composés de racines adventives et le tiers inférieur du système racinaire original. Les racines adventives ayant de 3 à 8 ans, les épinettes noires avaient donc formé

un système racinaire entièrement nouveau. La formation de ces nouvelles racines adventives permettrait l'ancrage à long terme du plant ainsi que l'absorption de l'eau et des minéraux à la surface du sol (Sutton 1980, Tang et Kozlowski 1983, Topa McLeod 1986, Coutts et al. 1990, Megonigal et Day 1992). Le système racinaire présent lors de la plantation cesse éventuellement de fonctionner comme composante majeure du système racinaire (McClain 1981).

Certaines conditions au moment de la plantation favoriseraient l'émergence et le développement des racines adventives. Un des facteurs importants serait l'enfouissement de la base de la tige lors de la plantation (Sutton 1967, McClain 1981, Paterson et Maki 1994) ou l'accumulation de débris autour de la tige (LeBarron 1945, Revyako 1975, McClain 1982, Zobel et Antos 1982). Ceci amènerait des conditions d'humidité élevées autour de la tige, favorisant ainsi la formation de racines adventives caulinaires (McClain 1981, Zobel et Antos 1982, Stroempl 1990, Paterson et Maki 1994). De plus, un substrat ayant un contenu en eau élevé serait associé à une baisse de la concentration en oxygène disponible aux racines et ce phénomène déclencherait la formation de racines adventives sur la tige (Lieffers et Rothwell 1986, Topa et McLeod 1986, Coutts et al. 1990).

La plantation en profondeur semble favorable à la croissance des semis de conifères (Stroempl 1990). Ce type de plantation serait favorable à la formation de racines adventives, lesquelles empêcheraient le déchaussement des plants, amélioreraient la croissance en hauteur et protégeraient la jonction tige-racine (le collet) des grandes chaleurs de l'été.

Durant la saison de croissance, les parties aériennes et les racines ne croissent pas au même rythme et, chez certaines espèces, pas au même moment. Par exemple, chez le pin

sylvestre (*Pinus sylvestris* L.), la croissance racinaire a lieu au même moment que celle de la tige durant l'année suivant la germination mais, la deuxième année, l'elongation intensive de la tige correspond à un ralentissement de la croissance racinaire (Mattsson 1986). Chez l'épinette noire, la masse racinaire croît à un rythme plus élevé pendant ou après l'aoûttement des semis, c'est-à-dire lorsque la croissance en hauteur de la tige est pratiquement complétée (Langlois et Carrier 1984, Lord et al. 1993).

La variation saisonnière des glucides solubles et de l'amidon a été étudiée par plusieurs auteurs chez les conifères (Etter et Carlson 1973, Ritchie 1982, Guehl et al. 1993, Webb et Kilpatrick 1993) et chez l'épinette noire en particulier (Campagna et Margolis 1989, Lambany et Langlois 1990, Tan et al. 1992b). Ces glucides varient en concordance avec les changements de croissance des parties aériennes et racinaires des plants. Lors du débourrement, il y a augmentation des glucides solubles et diminution du contenu en amidon. Au moment de la croissance en hauteur de la tige et l'augmentation de l'activité photosynthétique, une baisse de ces glucides est remarquée en raison de la grande demande de ces substances par les parties en croissance. Lors de la dormance active, il y a augmentation des glucides solubles suivie d'une diminution lors de la dormance hivernale avec la formation d'amidon. Tous ces changements s'observent autant dans les parties aériennes que dans les racines, les quantités mesurées étant toutefois plus faibles chez ces dernières.

Lors de la plantation de semis de conifères pour le reboisement, le stress hydrique est la première cause de mortalité ou de baisse de croissance (Örlander et al. 1989, Burdett 1990). Durant un tel stress, l'ajustement osmotique semble être le mécanisme de tolérance à la sécheresse chez les plantes (Tan et al. 1992b). Cet ajustement se manifesterait,

chez l'épinette noire, par l'accumulation de glucides, qui permettrait le maintien de la turgescence des cellules. L'ajustement osmotique a été observé chez des semis d'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.) (Amundson *et al.* 1993) et d'épinette noire (Buxton *et al.* 1985, Zwiazek et Blake 1990, Blake *et al.* 1991, Koppenaal *et al.* 1991, Tan *et al.* 1992b), où une accumulation de glucides solubles dans les aiguilles pour la première espèce, et dans tout le plant chez la dernière a été observée. De plus, certains auteurs ont observé une distribution proportionnellement plus élevée de la biomasse sèche au niveau racinaire chez les semis stressés de diverses espèces de conifères (Chapin 1991, Geiger et Servaites 1991, Peterson et Maki 1994) et chez l'épinette noire (Strong et LaRoi 1983, Lord *et al.* 1990, Lamhamadi et Bernier 1994). Ceci permettrait au plant d'explorer un plus grand volume du substrat en quête d'eau.

Le système racinaire original étant éventuellement remplacé par un système racinaire adventif caulinaire, il apparaît que la mise en place d'un tel système tôt durant la croissance des semis en culture pourrait accélérer la reprise de croissance de ceux-ci lors de la plantation en forêt. L'objectif général du projet est de déterminer les conditions favorables à l'induction et au développement des racines adventives caulinaires chez les semis d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.). L'objectif spécifique de ce travail est de vérifier l'influence des facteurs «contenu en eau du substrat» et «profondeur de plantation» sur la formation de telles racines chez cette espèce. Des mesures de croissance et d'allocation glucidique ont aussi été effectués afin de savoir si les conditions favorables à la formation des racines adventives pouvaient être défavorables à la croissance et à la physiologie des semis. Les hypothèses suivantes seront vérifiées: 1) l'ensemble de la tige (hypocotyle et tige) de la première année de croissance de semis d'épinette noire peut former des racines adventives; 2) l'enfoncissement partiel de la tige des semis n'affecte pas leur croissance pour un même contenu en eau du

substrat; 3) un contenu en eau du substrat élevé favorise la croissance des semis et la formation de racines adventives; 4) la mise en dormance des semis d'épinette noire permet la croissance du système racinaire et des racines adventives formées lors de la période de croissance en hauteur de la tige. Afin de vérifier les hypothèses émises, des semis d'épinette noire 1+0 ont été soumis à différentes conditions constantes de contenu en eau du substrat et à différentes profondeurs de plantation durant un cycle de croissance complet. Les mesures seront effectuées à deux stades phénologiques différents, soient à la fin de la période de croissance en hauteur de la tige de 8 semaines et après une période de dormance active de 15 semaines.

**CHAPITRE II**

**MATÉRIEL ET MÉTHODES**

## 2.1 TRAITEMENTS ET MAINTIEN DU CONTENU EN EAU DU SUBSTRAT

Douze traitements faisant appel à la combinaison factorielle de quatre contenus en eau du substrat (CES) et à trois profondeurs de plantation (PRF) ont été étudiés dans cette expérience. Les traitements de CES étaient les suivants: 1- maintien d'une quantité d'eau dans le substrat équivalent à 100% de la capacité de rétention en eau du substrat (CRE); 2- maintien d'une quantité d'eau dans le substrat équivalent à 75% de la CRE; 3- maintien d'une quantité d'eau dans le substrat équivalent à 50% de la CRE; 4- maintien d'une quantité d'eau dans le substrat équivalent à 25% de la CRE. Les plants expérimentaux ont été plantés au collet, avec l'hypocotyle enfoui ou avec 50 mm de la tige enfouis en plus de l'hypocotyle.

Le substrat utilisé est composé d'un mélange 2:1 (v/v) de tourbe-vermiculite, les résultats de tests préliminaires ayant montré que ce produit permet une meilleure répartition de l'eau dans le substrat comparé à la tourbe seulement. La tourbe (Fafard blonde) et la vermiculite ont été mélangées à l'aide d'un mélangeur commercial d'une capacité de 10 m<sup>3</sup> appartenant à la Coopérative Forestière de Ferland-Boilleau. Aussitôt le mélange effectué, le substrat a été ensaché dans des sacs de polyéthylène jusqu'au moment de la plantation.

Les caractéristiques hydriques du substrat ont été déterminées en laboratoire. Un pot d'un volume de 4 L a été pesé puis rempli de substrat sec qui a été entassé en laissant tomber le pot trois fois sur une surface dure. La masse du substrat a ensuite été déterminée. Le substrat a été saturé en eau et pesé afin d'obtenir le volume d'eau à saturation du substrat. Après deux heures d'égouttement, le pot a été pesé. Le substrat a été mis à sécher à 60°C jusqu'à ce que la masse soit constante. La masse d'eau ainsi trouvée permettait de calculer le

volume d'eau retenu par le substrat à capacité de rétention. La CRE du substrat utilisé a été évaluée à une teneur en eau de  $0,33 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ .

La tension de l'eau du substrat a été déterminée pour des quantités d'eau connues. À un volume donné, d'une masse donnée de substrat, une quantité d'eau connue a été ajoutée. Le substrat a été mélangé pour répartir uniformément l'eau. La tension (kPa) a été mesurée à l'aide d'un tensiomètre (à tête de céramique) après ajustement d'une heure du tensiomètre ou jusqu'à ce que la lecture ne varie plus après 15 minutes. Le rapport volume d'eau: volume du contenant a été calculé. Deux essais avec deux tensiomètres différents et trois séries de mesures ont permis de construire le graphique du CES en v/v en fonction à la tension de l'eau du substrat en kPa (Figure 1).

Le CES a été maintenu par gravimétrie par un système automatisé. Un pot contrôle pour chaque traitement en CES était suspendu à un contrôleur muni d'un interrupteur qui contrôlait électriquement l'ouverture d'une valve placée entre le réservoir de solution nutritive et les conduits de type spaghetti (diamètre de 5 mm) permettant le transport de celle-ci vers le pot-contrôle et les pots soumis au même traitement hydrique (Figure 2). Lorsque la masse du pot-contrôle descendait en deçà de la consigne (2500 g pour le traitement à 25% CES, 3300g pour celui à 50% CES, 4250 g pour celui de 75% CES et 5200 pour celui à 100% CES), l'interrupteur activait la valve lui étant directement reliée, laissant circuler une même quantité de solution dans chacun des pots relié à ce contrôleur. Lorsque la consigne établie était atteinte, l'interrupteur du contrôleur désactivait l'ouverture de la valve, arrêtant ainsi la circulation de l'eau dans le circuit. Afin de compenser la variation de la vitesse d'absorption de l'eau entre les plants, les contenants ont été pesés une fois par semaine, chaque semaine et chaque contenant rééquilibré à sa consigne maximale. Il n'a pas été nécessaire de réajuster la

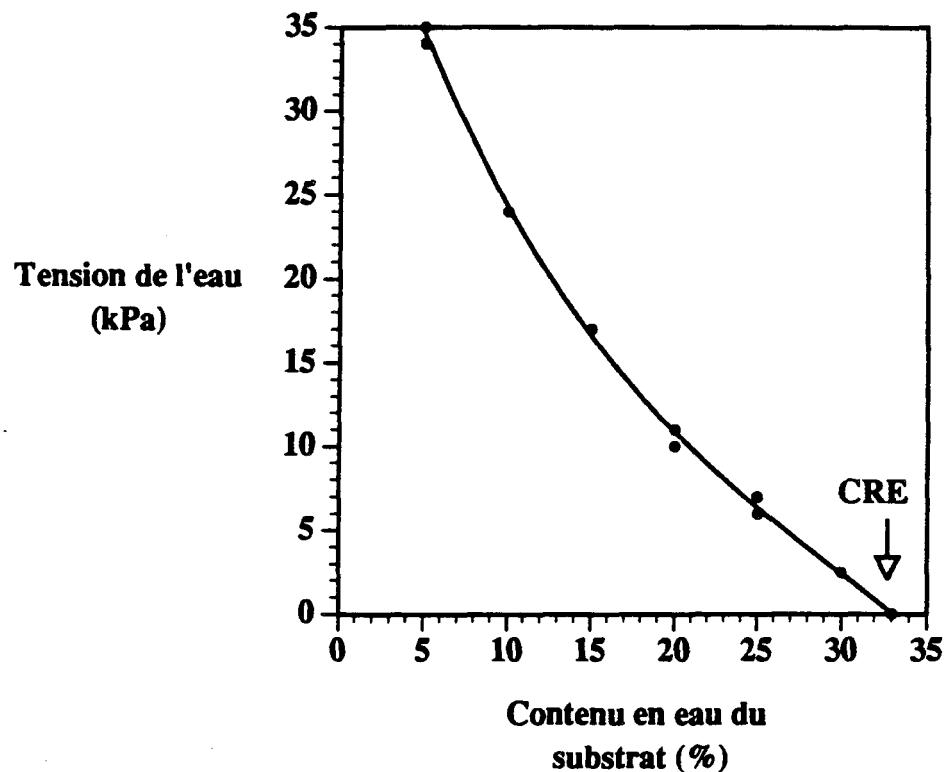


Figure 1: Tension de l'eau (kPa) dans le substrat tourbe-vermiculite 2:1 (v:v) en fonction du contenu en eau du substrat (volume/ volume). CRE= 100% de la capacité de rétention en eau du substrat



Figure 2: Tuyauterie du système automatisé de contrôle du contenu en eau du substrat des pots. Un pot d'un traitement hydrique est suspendu et muni d'un micro-interrupteur (I) contrôlant l'ouverture d'une valve (V) qui laisse passer la solution nutritive dans le circuit de tuyaux spaghetti (S) jusqu'à ce qu'une masse consigne pour ce traitement soit atteinte et ferme automatiquement la valve.

masse des contenants pour tenir compte de la croissance des plants puisque pour tous les traitements la croissance en biomasse fraîche a été minime par rapport à la masse totale des contenants. Cette méthode a permis de garder les contenants à plus ou moins 15 g de leur consigne, soit une erreur maximale de 1,01% calculée sur les pots ayant eu le traitement hydrique à 25% CRE et de 0,87% sur ceux à 100% CRE.

La distribution de l'eau dans les contenants expérimentaux a été évaluée après quelques jours d'arrosage par le système de contrôle. Un pot contenant des plants soumis au traitement à 25% CRE et un autre au traitement à 100% CRE ont été échantillonnés. Chaque pot a été divisé en trois sections de 10 cm de profondeur, et chaque section a été divisé en quatre parties égales. Un échantillon pour chacune des 12 parties des deux pots a été pesé et séché à 60°C durant 24 heures. La masse sèche a été prise afin de déterminer le contenu en eau (Tableau 1). Une diminution du CES a été observée entre les sections dans les pots, la surface du substrat ayant un CES plus élevé que la base du pot pour le pot à 25% CRE. Aucune différence n'est observée entre les échantillons d'une même section, indiquant une distribution radiale uniforme de l'eau dans le pot. Pour le pot à 100% CRE, le phénomène contraire est observé, la surface ayant un CES plus faible que la base du pot. Encore une fois, aucune différence n'est observée entre les échantillons d'une même section. Afin de réduire cette variation, l'eau a été fournie par le haut du contenant pour qu'elle soit mieux distribuée dans le pot, et un film de polyéthylène a été mis à la surface des contenants limitant ainsi l'évaporation de l'eau de surface. Puisque la distribution de l'eau a été assez uniforme, il n'a pas semblé nécessaire d'effectuer une autre vérification à la fin de l'expérience.

Tableau 1: Répartition de l'eau (g) contenu dans le substrat de quatre échantillons par section de profondeur (cm à partir de la surface du substrat) pour deux pots contrôles (25% CRE et 100% CRE)

Pot à 25% CRE (0,08v/v)					
Section	Échantillon				
	1	2	3	4	moyenne
0 à 10 cm	0,12	0,13	0,13	0,11	0,15±0,01
10 à 20 cm	0,11	0,10	0,11	0,09	0,10±0,01
20 à 30 cm	0,07	0,06	0,05	0,07	0,06±0,01
moyenne	0,10±0,03	0,10±0,04	0,10±0,05	0,09±0,02	0,10±0,03
Pot à 100% CRE (0,33v/v)					
Section	Échantillon				
	1	2	3	4	moyenne
0 à 10 cm	0,32	0,33	0,31	0,33	0,33±0,01
10 à 20 cm	0,35	0,35	0,35	0,33	0,35±0,01
20 à 30 cm	0,39	0,37	0,36	0,36	0,37±0,01
moyenne	0,35±0,04	0,35±0,02	0,34±0,03	0,34±0,02	0,35±0,02

## 2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL ET DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Les graines d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.)B.S.P.) provenant d'un peuplement forestier naturel du Canton Anville (49° 40' N 75° 15' O) de la région écologique 12b du MRN ont été semés le 29 avril 1992 et cultivés en serre à la Coopérative Forestière de Girardville (49° 00' N 72° 32' O) dans des récipients multipots de plastique de type IPL-67-50 dans un substrat de tourbe recouvert de silice. Les plants ont été livrés le 27 avril 1993 et entreposés à l'extérieur des serres de l'Université du Québec à Chicoutimi (48° 25' N 71° 04' O) jusqu'au départ de l'expérience.

Les plants expérimentaux ont été sélectionnés pour répondre aux critères de hauteur uniforme et d'absence de maladie. Vingt plants ont été échantillonnés au départ afin de caractériser la population. Les autres plants ont été répartis dans un dispositif split-plot avec comme parcelle principale la date d'échantillonnage destructif (deux dates) et en sous-parcelle un factoriel complet aléatoire des 12 combinaisons possibles entre les quatre CES et les trois PRF (Figure 3). Six semis ont été plantés dans chaque pot-traitement. Le dispositif a été répété trois autres fois, formant ainsi quatre répétitions pour un total de 576 plants expérimentaux. Chaque répétition était entourée de pots de bordure soumis aux mêmes traitements que les pots expérimentaux.

La première répétition a été mise en place le 5 mai 1993 et la deuxième le 6 mai. La semaine suivante, soit les 11 et 12 mai, les deux autres répétitions ont été préparées. La semaine écoulée entre les plantations est due au temps nécessaire à la mise en place de chaque répétition et à l'installation du système automatisé. L'expérience a débuté une semaine après la dernière plantation afin de vérifier l'ajustement du système automatisé.

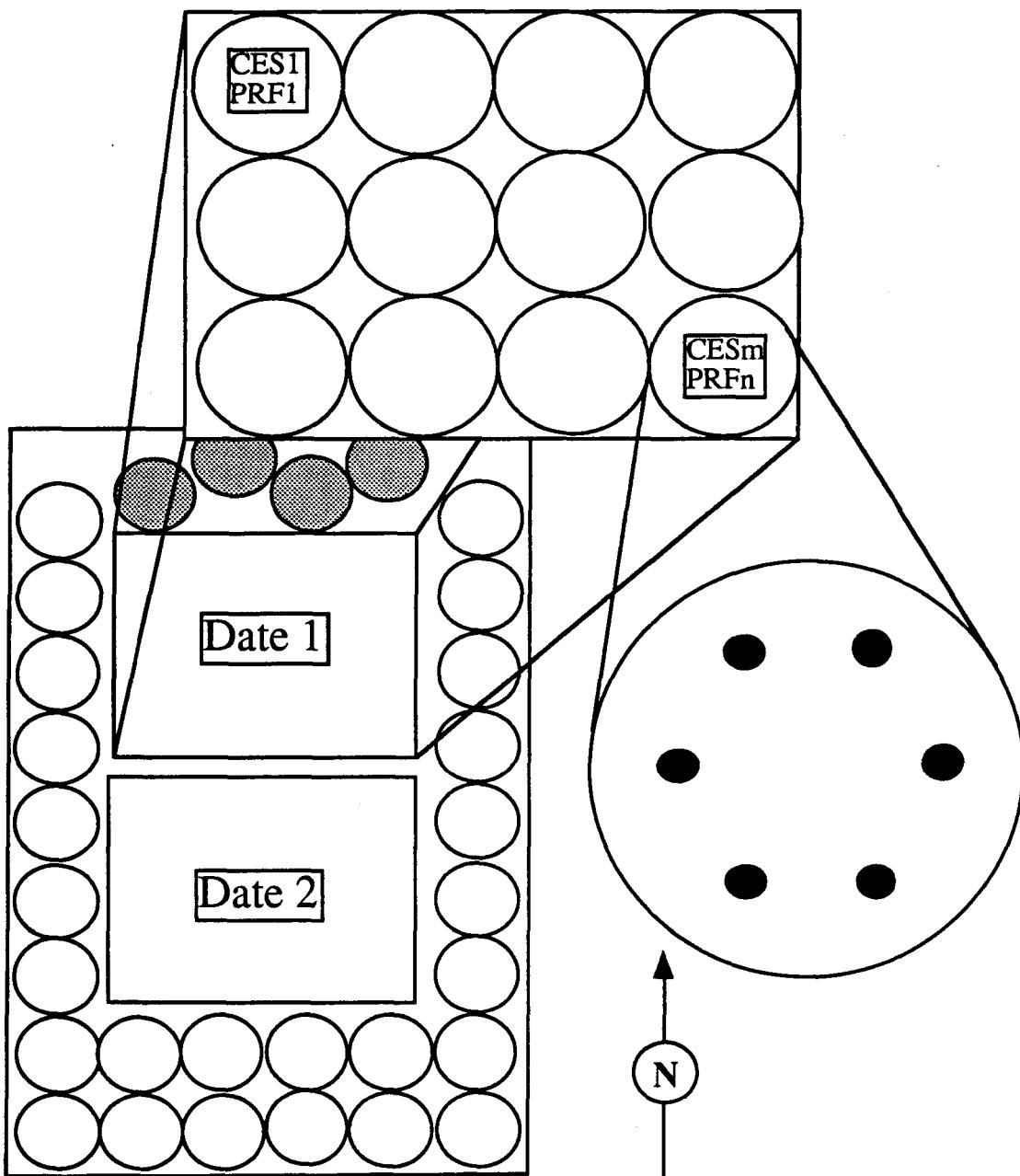


Figure 3: Schéma du dispositif expérimental. Les petits ronds noirs représentent les plants expérimentaux; les plus gros cercles représentent des pots contenant chacun 6 plants; chaque rectangle représente une parcelle composée de 12 pots-traitements résultant d'une combinaison d'un contenu en eau du substrat et d'une profondeur de plantation des semis affectée aléatoirement à un pot (CESmPRFn). Deux parcelles (une par date d'échantillonnage) forment une répétition. Quatre répétitions ont été disposées dans la serre.

Chaque pot a été rempli avec 1,5 kg de substrat. Des échantillons de substrat ont été prélevés puis séchés et pesés afin de déterminer le CES. La masse en eau à ajouter au substrat humide afin d'obtenir le traitement à 25% de la CRE était calculée. Quatorze pots contenant le substrat, les plants et la quantité d'eau nécessaire pour le traitement à 25% CRE ont été pesés afin d'évaluer la masse moyenne des semis plantés. La masse totale des pots pour chaque traitement de CES a été évaluée en additionnant la masse des contenants, la masse du substrat sec, la masse de l'eau et celle des plants. Une fois la plantation aux différentes profondeurs faite pour les traitements à 25% de la CRE, tous les autres ont été amenés à 50% de la CRE et toutes les plantations aux différentes profondeurs effectuées pour ces contenants. Puis les traitements à 75% et 100% de la CRE ont été amenés à leur contenu en eau respectif par le système de contrôle automatisé et ce 24 heures ou moins après la plantation.

La période de croissance en serre avec le maintien du CES a duré 25 semaines (du 18 mai au 25 novembre). Durant cette période, les plants ont été cultivés à des températures de 23°C le jour et de 18°C la nuit. Après une période de huit semaines de croissance en hauteur de la tige, la mise en dormance a été effectuée en modifiant la photopériode à 8 heures d'éclairement et 16 heures d'obscurité sous les mêmes conditions de température durant deux semaines. De la semaine 11 à la semaine 25 inclusivement, les conditions environnementales initiales ont été réutilisées. Durant toute la durée de l'expérience, les semis ont été soumis à l'éclairage naturel.

La solution distribuée aux plants durant les huit semaines de période de croissance en hauteur de la tige consistait en une solution Johnson modifiée diluée de moitié (Epstein 1972) préparée à partir de fertilisant soluble (Plant Products), puis complétée en éléments mineurs

avec des sels de grade analytique: 268 mg L<sup>-1</sup> de nitrate de potassium 12-0-44 + oligo-éléments; 455 mg L<sup>-1</sup> de nitrate de calcium 55,5-0-0; 115 mg L<sup>-1</sup> de monoammonium de phosphate 12-62-0; 122 mg L<sup>-1</sup> de sulfate de magnésium (9,85% Mg, 13% S); 1,85 mg L<sup>-1</sup> de KCl; 0,48 mg L<sup>-1</sup> de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; 0,06 mg L<sup>-1</sup> de Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O; et 1,95 mg L<sup>-1</sup> de NaFeEDTA. Cette solution avait un pH de 6,0 et une conductivité totale de 900µmhos/cm. Durant la période de mise en dormance, les plants ont été arrosés qu'avec de l'eau afin d'éviter l'accumulation de minéraux dans le substrat et le blocage des tuyaux du système automatisé d'arrosage. Durant la période de dormance, une autre fertilisation plus riche en phosphore et en potassium a été utilisée: 134 mg L<sup>-1</sup> de nitrate de potassium 12-0-44 + oligo-éléments; 336 mg L<sup>-1</sup> de nitrate de calcium 55,5-0-0; 115 mg L<sup>-1</sup> de monoammonium de phosphate 12-62-0; 205 mg L<sup>-1</sup> de pyrophosphate de potassium 0-54-45; 122 mg L<sup>-1</sup> de sulfate de magnésium (9,85% Mg, 13% S) et la quantité initiale des éléments mineurs. Cette solution avait un pH de 5,2 et une conductivité totale de 950µmhos/cm.

### 2.3 MESURES DE CROISSANCE

Après les huit semaines de période de croissance en hauteur de la tige ainsi qu'après les 15 semaines de dormance, une sous-parcelle a été choisie (factoriel complet) parmi les deux possibles pour chacune des quatre répétitions. Aux deux périodes, le taux de survie des plants a été effectué en comptant le nombre de semis vivants pour chaque traitement. Cinq semis de chacun des 12 pots de chaque sous-parcelle a été sélectionnés aléatoirement. Chaque semis a été coupé en sections: les racines (système racinaire initial), les racines adventives caulaires lorsque présentes, l'hypocotyle, les 50 premiers mm de la tige et la partie aérienne. Chaque section gardait les parties qui y étaient attachées (nouvelles tiges,

branches, etc...). Pour chaque section, les paramètres suivants ont été mesurés au moment de l'échantillonnage; biomasse fraîche, diamètre et longueur de la tige. Lorsqu'il y en avait, le nombre, l'orientation, la localisation sur la tige, la longueur et le diamètre des racines adventives ont été mesurés. Le décompte des lenticelles hypertrophiées a été fait sur l'hypocotyle et les cinq premiers centimètres de la tige.

Les sections des semis ont été séchés à 100°C durant au moins deux heures afin de détruire les enzymes présents dans la plantes et arrêter la dégradation des glucides. Puis la température du séchoir a été ajustée à 60°C. Après 24 heures ou plus, les aiguilles ont été séparées de la partie aérienne. La biomasse sèche de chaque section a été déterminée à l'aide d'une balance METTLER SE-160, précise à 0,00005g. Chaque section a ensuite été broyée et tamisée à 20 mesh. Les sections broyées ont été placées dans des petits contenants de verre scellés et mis au réfrigérateur à 4°C pour analyse ultérieure.

## 2.4 ANALYSES BIOCHIMIQUES

Les taux de glucides solubles et de l'amidon pour chaque section ont été mesurés après extraction dans une solution chloroforme-méthanol-eau (Haissig et Dickson 1979, Amundson *et al.* 1993) et analysés par la méthode acide sulfurique-phénol (Dubois *et al.* 1959, Haslemore et Roughan 1976, Seager et Haslemore 1993). Une masse d'environ 10 mg de chaque section a été pesée et mise dans une éprouvette de 10 mL. Puis 5 mL d'un mélange de chloroforme-méthanol-eau distillée (12:5:3 en volume) ont été ajoutés et le tout agité durant 60 minutes puis centrifugé durant 15 minutes à 10 000 G à l'aide d'une centrifugeuse (Sorvall Superspeed RC2-B) à 4°C. La première phase du surnageant

(méthanol-eau) contenant les glucides solubles a été récupérée dans une autre éprouvette et la seconde phase (chloroforme) contenant les lipides et les pigments a été jetée. Cette étape a été répétée deux fois, les phases des surnageants étant mélangées. Une extraction suivant les étapes précédentes avec le mélange de surnageants a été effectuée. Le mélange de surnageant a été évaporé et reconstitué dans 10 mL d'eau distillée. Le culot contenant l'amidon, la cellulose et l'hémicellulose a été séché. Dix mL d'eau distillée ont été ajoutés et portés à ébullition (100°C) durant 10 minutes afin de gélatiniser l'amidon.

Un mL de la solution de glucides solubles et 1 mL de la solution d'amidon ont été pris pour l'analyse. Deux mL d'une solution phénol 5% ont été ajoutés à chacune des solutions à analyser suivis de 5 mL d'une solution d'acide sulfurique 95%. La coloration précédente a été effectuée afin de construire une courbe standard. Les lectures ont été faites à 490 nm dans des cellules de quartz de 10 mm de diamètre à l'aide d'un spectrophotomètre Spectronic 2000 (Bausch and Lomb). Les lectures obtenues ont été comparées à la courbe standard faite à partir d'une solution D-glucose (dextrose anhydre) de 0,08 g L<sup>-1</sup>. La quantité obtenue a été ajustée à la dilution et divisée par la biomasse sèche utilisée au départ afin d'obtenir la quantité en équivalent D-glucose de sucres solubles et d'amidon dans l'échantillon en mg/g de biomasse sèche.

## 2.5 TRAITEMENT DES DONNÉES

Tous les résultats ont été traités à l'aide du logiciel SAS/STAT 6.03 d'IBM. Pour toutes les analyses, les résidus ont été analysés afin de vérifier l'homogénéité des variances. Dans le cas de non-homogénéité, les données ont été transformées de façon adéquate avant

d'effectuer les analyses (Zar 1984). Le nombre, le diamètre et la longueur des racines adventives caulinaires n'ont été analysés que pour la deuxième date d'échantillonnage vu leur nombre restreint à la première date. L'analyse statistique a été effectuée selon un factoriel complet en bloc pour ces paramètres à un seuil de probabilité de 5% ( $\alpha=0,05$ ). Des contrastes polynomiaux ont été effectués sur les facteurs significatifs. Deux analyses discriminantes canoniques et de corrélations canoniques ont été effectuées. La première analyse comparait les traitements (date, CES, PRF) aux paramètres de croissance (hauteur, diamètre au collet, biomasse sèche racinaire et la biomasse sèche caulinaires). La seconde comparait les traitements aux paramètres biochimiques (contenu en glucides solubles et en amidon des aiguilles, des tiges et des racines ainsi que le contenu en eau racinaire et de la partie aérienne). Le seuil de signification a été fixé à 5% ( $\alpha=0,05$ ). L'analyse statistique a été effectuée selon un plan complètement aléatoire pour la semaine 0 car les plants n'avaient pas subi de traitements.

## **CHAPITRE III**

### **RÉSULTATS**

### 3.1 SURVIE DES PLANTS

Les plants soumis aux traitements de 100% et 75% de la capacité de rétention en eau (CRE) ont eu un taux de survie de 100%, indiquant que ces traitements hydriques conviennent à la croissance des plants peu importe la profondeur de plantation (Tableau 2). Un taux de survie supérieur à 94% a été observé pour le traitement à 50% CRE, peu importe la profondeur de plantation. Pour ces trois traitements de CRE, le taux de survie demeure le même après les 8 semaines de période de croissance en hauteur de la tige et après les 15 semaines de période de dormance. Seul le traitement à 25% CRE a amené un taux de survie inférieur à 85% après la huitième semaine et aussi bas que 63,9% après la 25ième semaine. Pour ce même traitement, les semis plantés au niveau du collet ont montré un taux de survie significativement inférieur aux semis plantés avec une partie de leur tige enfouie. Cette baisse de la survie pour le traitement à 25% de la CRE peut être attribuée à une période de chaleur intense (45°C durant 2 heures) qu'ont subi les plants le 20 juillet 1993 alors qu'ils étaient sous traitement photopériodique de mise en dormance. Cinq semis étant échantillonnés sur les six plants dans chaque pot, il a été possible d'échantillonner 5 plants vivants pour chaque traitement pour l'échantillonnage de la huitième semaine. Par contre, il n'a pas été de même à la semaine 25, certains traitements dans certaines répétitions (surtout pour ceux à 25% CRE) n'étaient pas complets (moins de 5 plants) ou même n'avaient aucun semis de vivants. Les différences physiologiques entre les plants seraient responsables de la mortalité observée plutôt que les traitements hydriques, tous les plants ayant subi la haute température du 20 juillet.

Tableau 2: Taux de survie (%) du nombre total de semis pour les différents traitements après la huitième semaine de période de croissance en hauteur de la tige (semaine 8) et après les 15 semaines de période de dormance (semaine 25). Un test  $\chi^2$  à un seuil de signification de 5% ( $\alpha=0,05$ ) a été utilisé afin de comparer et distinguer les valeurs une à une.

Contenu en eau	Profondeur de plantation		
	Collet	Hypocotyle enfoui	Tige enfouie
taux de survie (%)			
<b>semaine 8</b>			
25% CRE	77,8a	83,3b	84,7b
50% CRE	97,2d	95,8c	97,2d
75% CRE	100e	100e	100e
100% CRE	100e	100e	100e
<b>semaine 25</b>			
25% CRE	63,9a	63,9a	69,4b
50% CRE	94,4c	95,8c	94,4c
75% CRE	100d	100d	100d
100% CRE	100d	100d	100d

## 3.2 RACINES ADVENTIVES ET LENTICELLES

### 3.2.1 OBSERVATIONS

Les racines adventives ont été formées sur la portion de la tige enfouie et non sur l'hypocotyle enfoui. Les racines adventives présentes après la période de croissance en hauteur de la tige étaient fragiles, blanches et non lignifiées et celles présentes après la période de dormance étaient solides, de couleur brunâtre et lignifiées (Figure 4). Les racines adventives constituaient moins de 1% de la biomasse sèche racinaire après la période de croissance en hauteur de la tige et jusqu'à 11% après la période de dormance pour les CES les plus élevés (Tableau 3). Il est à noter qu'aucune lésion ou mort apicale des racines adventives ou faisant partie du système racinaire initial n'a été observée.

### 3.2.2 CROISSANCE

Un hausse du nombre moyen de racines adventives par plant (NRAD) durant toute la saison de croissance a été observée (Figure 5). Plus le contenu en eau du substrat est élevé, plus le NRAD est élevé durant la période de croissance en hauteur de la tige, ces différences étant accentuées après la période de dormance (Tableau 4). Aucune racine adventive n'a été formée sur les semis soumis au traitement à 25% CRE. En plus, la PRF a influencé le NRAD, les racines adventives caulaires n'étant présentes que sur les semis ayant été plantés avec une partie de la tige enfouie.

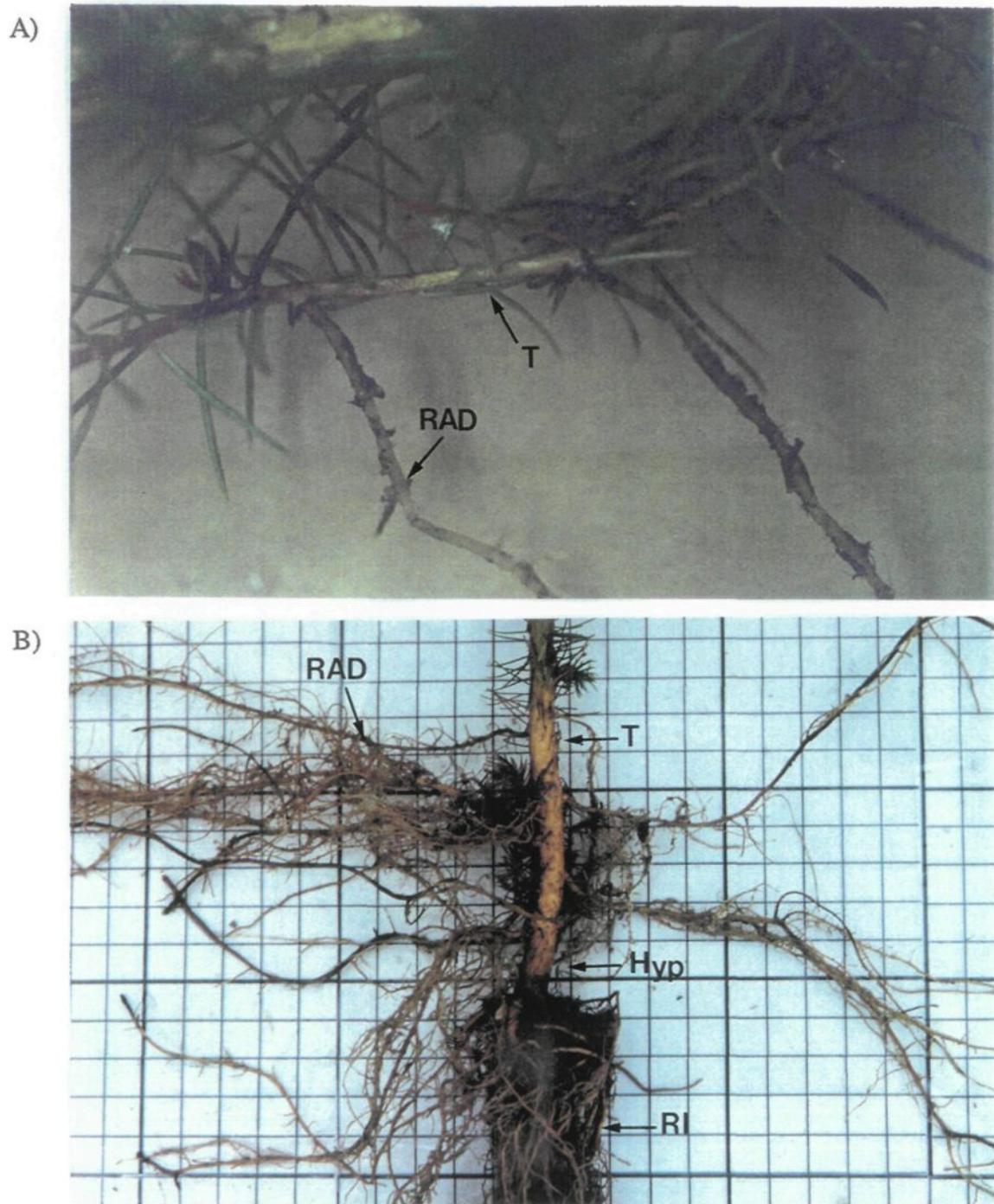


Figure 4: Racines adventives présentes sur la tige de semis d'épinette noire après 8 semaines de croissance exponentielle de la tige (A) et après 15 semaines de croissance en dormance en plus des semaines de croissance de la tige (B). T=tige, Hyp=hypocotyle, RAD=racines adventives et RI=racines initiales.

Tableau 3: Pourcentage de la biomasse sèche racinaire que compose les racines adventives (% $\pm$  écart-type) après 25 semaines de croissance dont une période de 8 semaines de croissance en hauteur de la tige, de 2 semaines de traitement photopériodique de mise en dormance et d'une période de 15 semaines de dormance.

Contenu en eau	Profondeur de plantation		
	Collet	Hypocotyle enfoui	Tige enfouie
	<i>%</i>		
<b>semaine 25</b>			
25% CRE	0,00	0,00	<0,01
50% CRE	0,00	0,00	<0,01
75% CRE	0,00	0,00	0,08 $\pm$ 0,08
100% CRE	0,00	0,00	10,31 $\pm$ 6,03

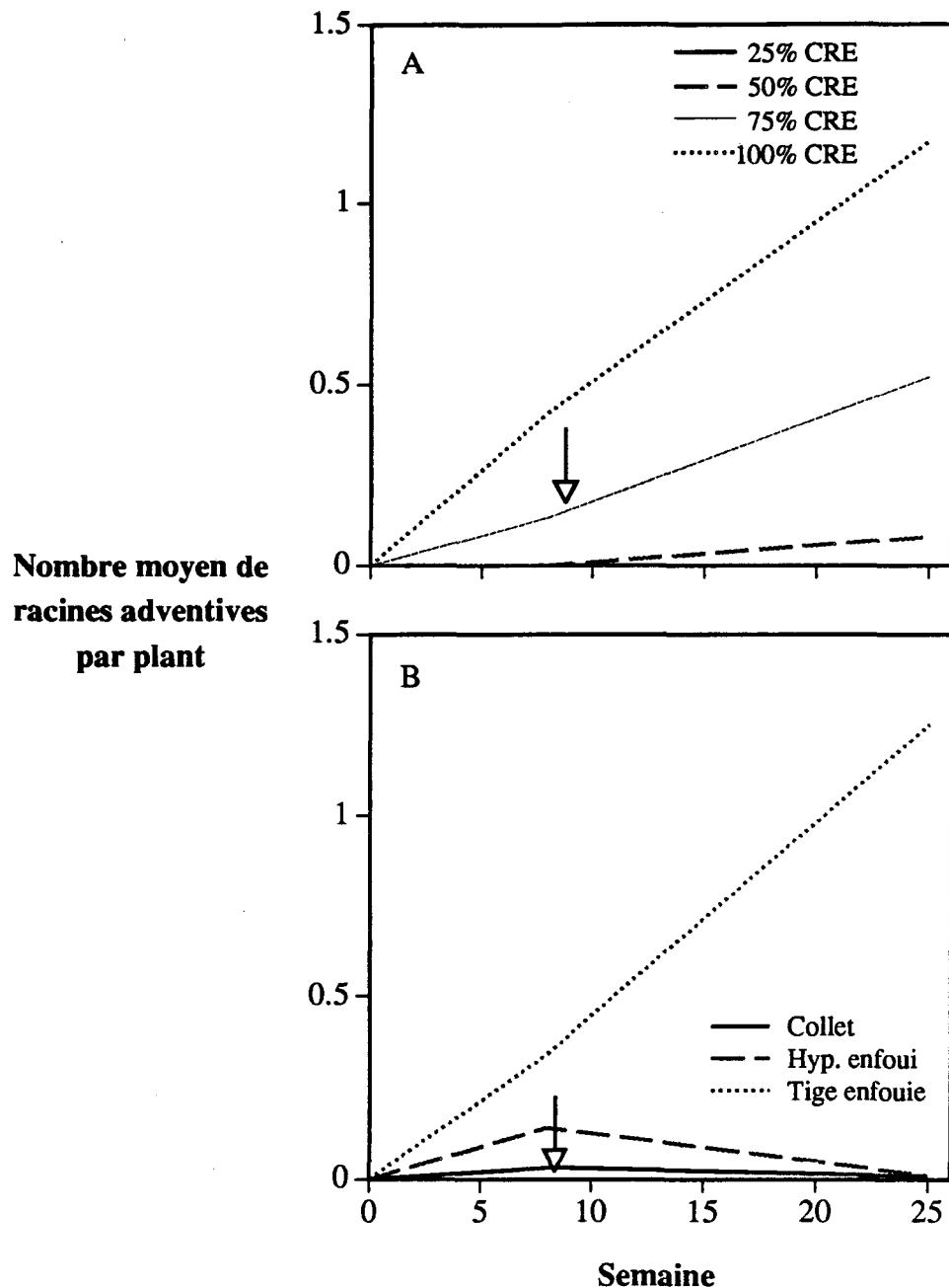


Figure 5: Variation du nombre moyen de racines adventives par plant en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat (A) et de la profondeur de plantation (B). La flèche indique le début des deux semaines du traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard: semaine 8= 0,89 unité, semaine 25=0,90 unité.

Tableau 4: Analyse de variance en fonction du contenu en eau du substrat (CES) et de la profondeur de plantation (PRF) pour le nombre moyen de racines adventives caulinaires (NRAD) par semis après 25 semaines de croissance dont une période de 8 semaines de croissance en hauteur de la tige (semaine 8), de 2 semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis et d'une période de 15 semaines de dormance (semaine 25). Des contrastes ont été effectués sur l'interaction des facteurs principaux significatifs ( $p<0,05$ ).

Source de variation	DL*	SCE†	VE‡	F	P>F
<b>semaine 25</b>					
Répétition	3	10,96	3,65	1,79	0,1843
CES	3	46,97	15,66	7,69	0,0016
PRF	2	88,36	44,18	21,69	<0,0000
CES*PRF	6	66,69	11,11	5,46	0,0023
75% vs 100%	1	33,54	33,54	3,01	0,0450
Erreur	18	36,65	2,03		
Profondeur de plantation					
Contenu en eau	Collet	Hypocotyle enfoui	Tige enfouie	Moyenne marginale	
<b>semaine 25</b>					
25% CRE	0,00	0,00	0,06		0,00
50% CRE	0,00	0,00	0,25		0,08
75% CRE	0,10	0,15	1,30		0,52
100% CRE	0,00	0,10	3,40		1,17
Moyenne marginale	0,00	0,01	1,25		

\*degrés de liberté

†somme des carrés d'écart

‡variance estimée

Seuls les résultats des traitements où les semis avaient une partie de leur tige enfouie ont été considérés pour l'analyse de la longueur et du diamètre des racines adventives, car seuls ces semis en ont formées. Une faible augmentation de la longueur des RAD durant la période de croissance en hauteur de la tige a été observée, suivie d'une augmentation plus importante durant la période de dormance (Figure 6). Plus le contenu en eau du substrat est élevé, plus les RAD sont longues après la première phase de croissance (Tableau 5). Après la période de dormance, les semis soumis au traitement à 75% CRE ont les RAD les plus longues, les RAD des semis soumis à 50% CRE et à 100% CRE ayant une longueur moyenne similaire.

Une faible augmentation du diamètre des RAD est observée durant la période de croissance en hauteur de la tige. C'est durant la période de dormance que les racines adventives ont eu une croissance en diamètre plus importante (Figure 7). Plus le CES est élevé, plus les RAD ont un diamètre élevé durant la période de croissance en hauteur de la tige et après la période de dormance des semis (Tableau 6). En général, les racines adventives sont formées et ont une croissance en longueur et en diamètre plus importante que durant la période de dormance.

### 3.2.3 LENTICELLES HYPERSTROPHIÉES

Beaucoup de lenticelles hypertrophiées, lesquelles se composent de cellules lâches blanchâtres (Esau 1966), ont été observées sur les parties enfouies des semis (hypocotyle et partie de la tige enfouie). Ces lenticelles ont été trouvées sur tout le pourtour des parties

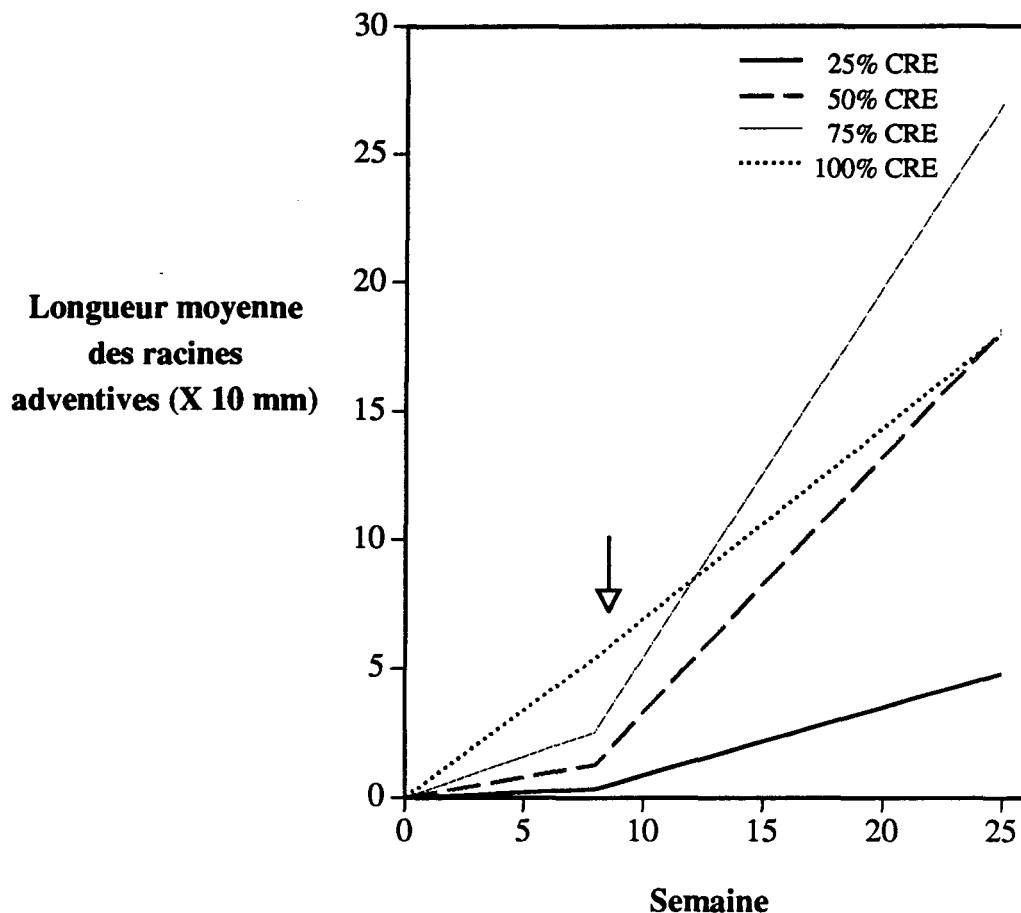


Figure 6: Variation de la longueur moyenne des racines adventives caulinaires (mm) en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat. La flèche indique le début des deux semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard: semaine 8=36 mm, semaine 25=105 mm.

Tableau 5: Analyse de variance en fonction du contenu en eau du substrat (CES) et la profondeur de plantation (PRF), pour la longueur moyenne des racines adventives caulinaires après 25 semaines de croissance dont une période de 8 semaines de croissance en hauteur de la tige (semaine 8), de 2 semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis et d'une période de 15 semaines de dormance (semaine 25). Des contrastes polynomiaux ont été effectués sur les facteurs principaux significatifs ( $p<0,05$ ).

Source de variation	dl*	SCE†	VE‡	F	P>F
<b>semaine 25</b>					
Bloc	3	31 670,1	10 566,7	0,79	0,5119
CES	3	146 461,0	48 820,0	3,68	0,0315
Linéaire	1		124 359,0	9,38	0,0067
Quadratique	1		4 801,8	0,36	0,5548
Cubique	1		7 371,2	0,56	0,4655
PRF	2	241 136,0	120 569,0	9,10	0,0002
Linéaire	1		162 611,0	12,27	0,0025
Quadratique	1		48 111,7	3,63	0,0729
CES*PRF	6	0,12	0,20	1,47	0,2420
Erreur	18	238 619	13 256,6		
Contenu en eau		Longueur (mm)	Contenu en eau	Longueur (mm)	
<b>semaine 8</b>					
25% CRE		0,00	25% CRE		47,91
50% CRE		0,00	50% CRE		181,21
75% CRE		22,94	75% CRE		269,70
100% CRE		37,06	100% CRE		180,69
<b>semaine 25</b>					

\*degré de liberté

†somme des carrés d'écart

‡variance estimée

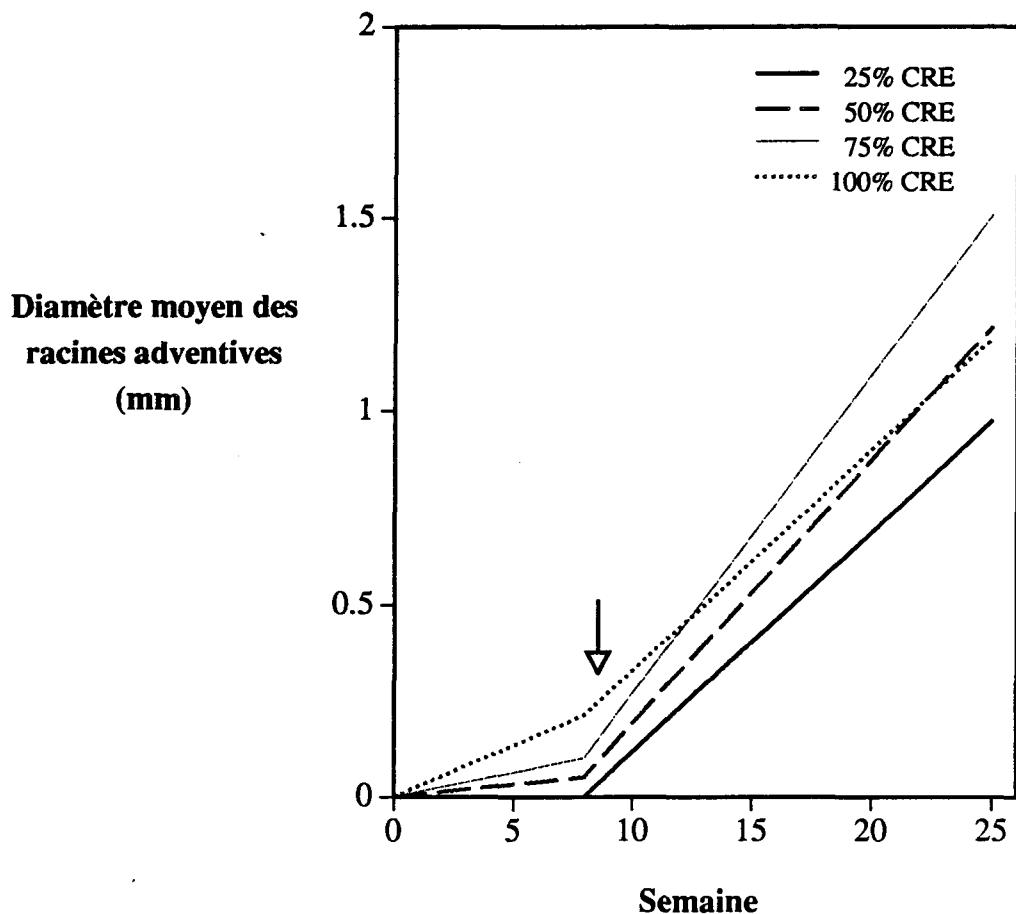


Figure 7: Variation du diamètre moyen des racines adventives caulinaires (mm) en fonction du temps d'échantillonnage les différents traitements de contenu en eau du substrats. La flèche indique le début du traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard: semaine 8=0,01 mm, semaine 25=0,12 mm.

Tableau 6: Analyse de variance en fonction du contenu en eau du substrat (CES) et de la profondeur de plantation (PRF), pour le diamètre moyen des racines adventives caulinaire (mm) après 25 semaines de croissance dont une période de 8 semaines de croissance en hauteur de la tige (semaine 8) suivies de 2 semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis et d'une période de 15 semaines de dormance (semaine 25).

Source de variation	DL*	SCE†	VE‡	F	P>F
<b>semaine 25</b>					
Bloc	3	167,97	55,99	1,04	0,3998
CES	3	127,97	42,66	0,79	0,5150
PRF	2	7,72	3,86	0,07	0,9312
CES*PRF	6	438,08	73,01	1,35	0,2858
Erreur	28	1 568 620	15 229,35		
Contenu en eau		Diamètre (mm)	Contenu en eau	Diamètre (mm)	
<b>semaine 8</b>					
25% CRE		0,00	25% CRE		0,89
50% CRE		0,01	50% CRE		1,11
75% CRE		0,11	75% CRE		1,47
100% CRE		0,27	100% CRE		1,11
<b>semaine 25</b>					

\*degré de liberté

†somme des carrés d'écart

‡variance estimée



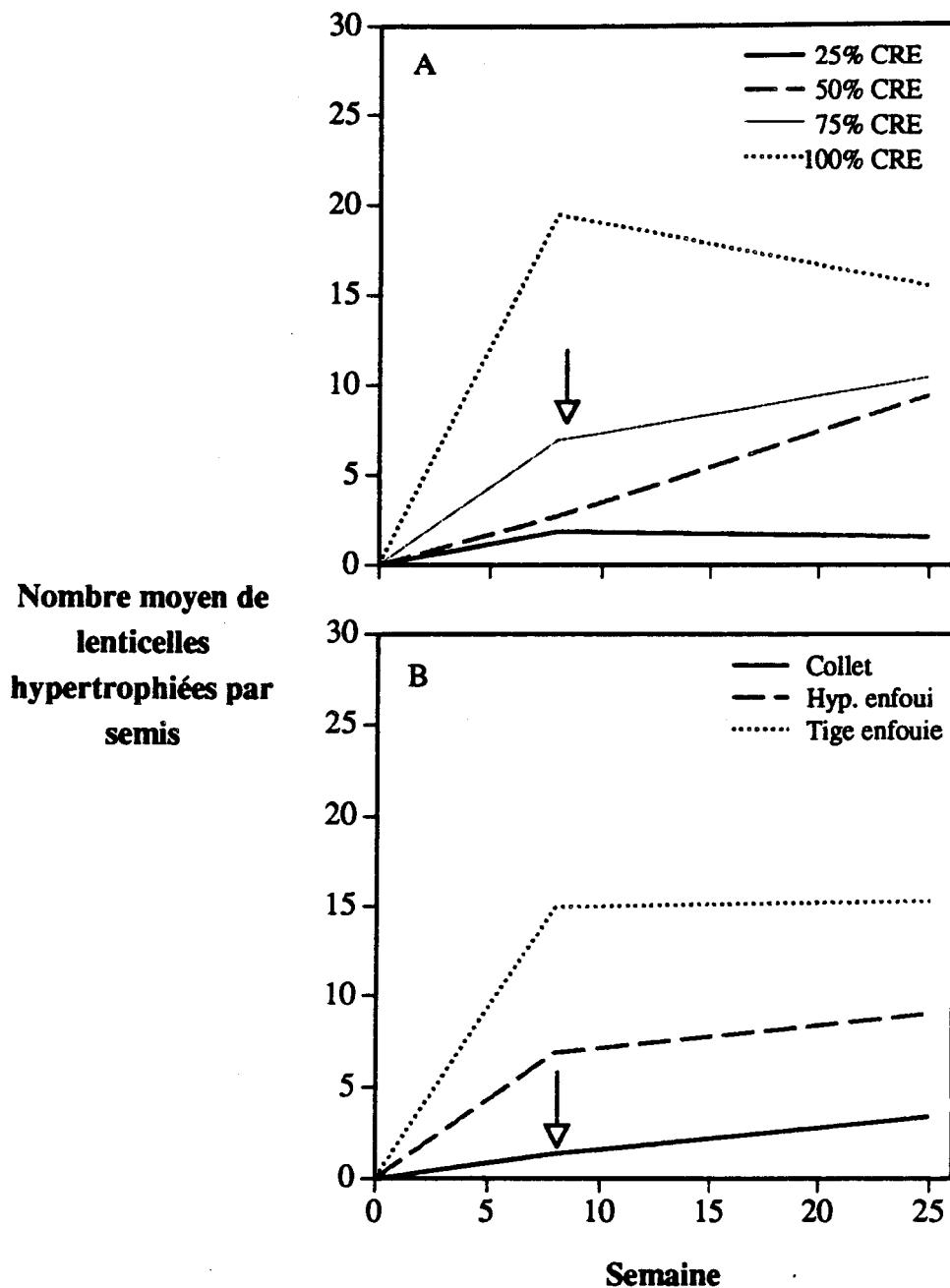
Figure 8: Présence de lenticelles hypertrophiées (taches blanches) sur l'hypocotyle d'un semis d'épinette noire

enfouies, sans emplacement préférentiel (Figure 8). Aucune racine adventive n'a été formée au travers d'une lenticelle. Une augmentation du nombre total moyen de lenticelles hypertrophiées est observée durant la période de croissance en hauteur de la tige. Aucune augmentation majeure du nombre de lenticelles hypertrophiées total moyen a été observée après la période de croissance en hauteur de la tige, le nombre restant assez stable durant la période de dormance (Figure 9).

### 3.3 PARAMÈTRES DE CROISSANCE

Les paramètres de croissance ont été plus influencés par les CES ( $R^2=0,4452$ ) que par la date d'échantillonnage ( $R^2=0,1065$ ) et par la PRF ( $R^2=0,0737$ ) (Tableau 7). L'interaction de ces trois facteurs explique 65,75% de la variance observée pour ces paramètres. La distance de Mahalanobis a permis de classer les observations en deux groupes pour la date d'échantillonnage, en trois groupes pour le CES (25% CRE et 50% CRE formant un groupe séparé de 75% CRE et de 100% CRE), et en deux groupes pour la PRF (les plants plantés au collet formant un groupe séparé). L'interaction des trois facteurs classe les observations en deux groupes selon la profondeur de plantation comme pour la PRF prise seule (Figures 10 et 11).

Une augmentation de la hauteur des semis est observée durant la période de croissance en hauteur de la tige, suivie d'un arrêt de la croissance en hauteur durant la période de dormance (Figure 12A). Cette augmentation est d'autant plus grande que le CES est élevé ( $p=0,0001$ ) (Tableau 7). Les semis des traitements à faible CES (25% et 50% CRE) ont montré une faible croissance en hauteur durant la période de croissance en hauteur de la tige.



**Figure 9:** Variation de nombre moyen de lenticelles hypertrophiées par plant en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements en contenu en eau du substrat (A) et de la profondeur de plantation (B). La flèche indique le début des deux semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard: semaine 8=0,89 unité, semaine 25=0,90 unité.

Tableau 7: Analyse discriminante canonique de la hauteur (H), du diamètre au collet (D), de la biomasse sèche racinaire (BSR) et de la biomasse sèche aérienne (BSA) des semis pour les différents traitements (date d'échantillonnage (DATE), le contenu en eau du substrat (CES), la profondeur de plantation (PRF) et l'interaction DATE\*CES\*PRF)

DATE								
Variables	Erreurs totale	Erreurs inter	Erreurs intra	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	F	P>F	
H	80,33	75,80	37,90	0,11	0,13	60,00	0,0001	
D	22,46	22,36	3,31	0,01	0,01	5,26	0,0222	
BSR	9,97	9,00	6,07	0,19	0,23	109,10	0,0001	
BSA	4,66	3,38	4,54	0,47	0,90	431,24	0,0001	
<b>R<sup>2</sup> moyen:</b>		<b>non-pondéré= 0,1956</b>			<b>pondéré=0,1065</b>			
S=1                    M=1                    N=236,5								
Statistique		Valeur	F	dl	P>F			
Lambda de Wilks		0,46	140,28	4	0,0001			
VC	Corr.	Erreurs standard	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	Proportion	F approx.	dl	P>F
1	0,74	0,0209	0,54	1,18	1,00	140,28	4	0,0001
CES								
Variables	Erreurs totale	Erreurs inter	Erreurs intra	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	F	P>F	
H	80,33	57,74	64,63	0,49	0,95	150,36	0,0001	
D	22,46	22,51	1,01	0,01	0,15	10,24	0,0001	
BSR	9,97	9,67	2,95	0,07	0,07	11,15	0,0001	
BSA	4,66	4,20	2,36	0,19	0,24	37,92	0,0001	
<b>R<sup>2</sup> moyen:</b>		<b>non-pondéré= 0,1866</b>			<b>pondéré=0,4452</b>			
S=3                    M=0                    N=235,5								
Statistique		Valeur	F	dl	P>F			
Lambda de Wilks		0,50	30,87	12	0,0001			
VC	Corr.	Erreurs standard	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	Proportion	F approx.	dl	P>F
1	0,02	0,0232	0,4919	0,97	0,99	30,87	12	0,0001
2	0,05	0,0454	0,0074	0,01	0,01	0,71	6	0,6446
3	0,05	0,0456	0,0011	0,00	0,00	0,35	2	0,7068

Tableau 7 (suite)

PRF								
Variables	Erreur totale	Erreur inter	Erreur intra	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	F	P>F	
H	80,33	79,97	11,21	0,01	0,01	3,14	0,0441	
D	22,46	9,87	24,69	0,81	4,20	1002,28	0,0001	
BSR	9,97	8,35	6,70	0,30	0,43	103,24	0,0001	
BSA	4,66	4,61	0,94	0,03	0,03	6,80	0,0012	
<b>R<sup>2</sup> moyen:</b>		<b>non-pondéré= 0,2877</b>			<b>pondéré=0,0737</b>			
S=2            M=0,5            N=236								
Statistique		Valeur	F	dl	P>F			
Lambda de Wilks		0,12	217,85	8	0,0001			
VC	Corr.	Erreur standard	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	Proportion	F approx.	dl	P>F
1	0,93	0,0058	0,87	6,85	1,00	217,85	8	0,0001
2	0,16	0,0445	0,03	0,03	0,00	4,11	3	0,0068
DATE*CES*PRF								
Variables	Erreur totale	Erreur inter	Erreur intra	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	F	P>F	
H	80,33	49,82	65,26	0,63	1,73	34,32	0,0001	
D	22,46	6,27	22,05	0,93	12,47	247,19	0,0001	
BSR	9,97	4,54	9,11	0,80	4,06	80,42	0,0001	
BSA	4,66	2,03	4,31	0,82	4,54	89,93	0,0001	
<b>R<sup>2</sup> moyen:</b>		<b>non-pondéré= 0,7953</b>			<b>pondéré=0,6575</b>			
S=4            M=9            N=225,5								
Statistique		Valeur	F	dl	P>F			
Lambda de Wilks		0,00	81,14	92	0,0001			
VC†	Corr.	Erreur standard	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	Proportion	F approx.	dl‡	P>F
1	0,97	0,0027	0,94	16,05	0,66	81,14	92	0,0001
2	0,90	0,0083	0,82	4,51	0,19	49,38	66	0,0001
3	0,85	0,0125	0,73	2,67	0,11	35,79	42	0,0001
4	0,69	0,0238	0,48	0,92	0,04	20,93	20	0,0001

†variables canoniques

‡degré de liberté

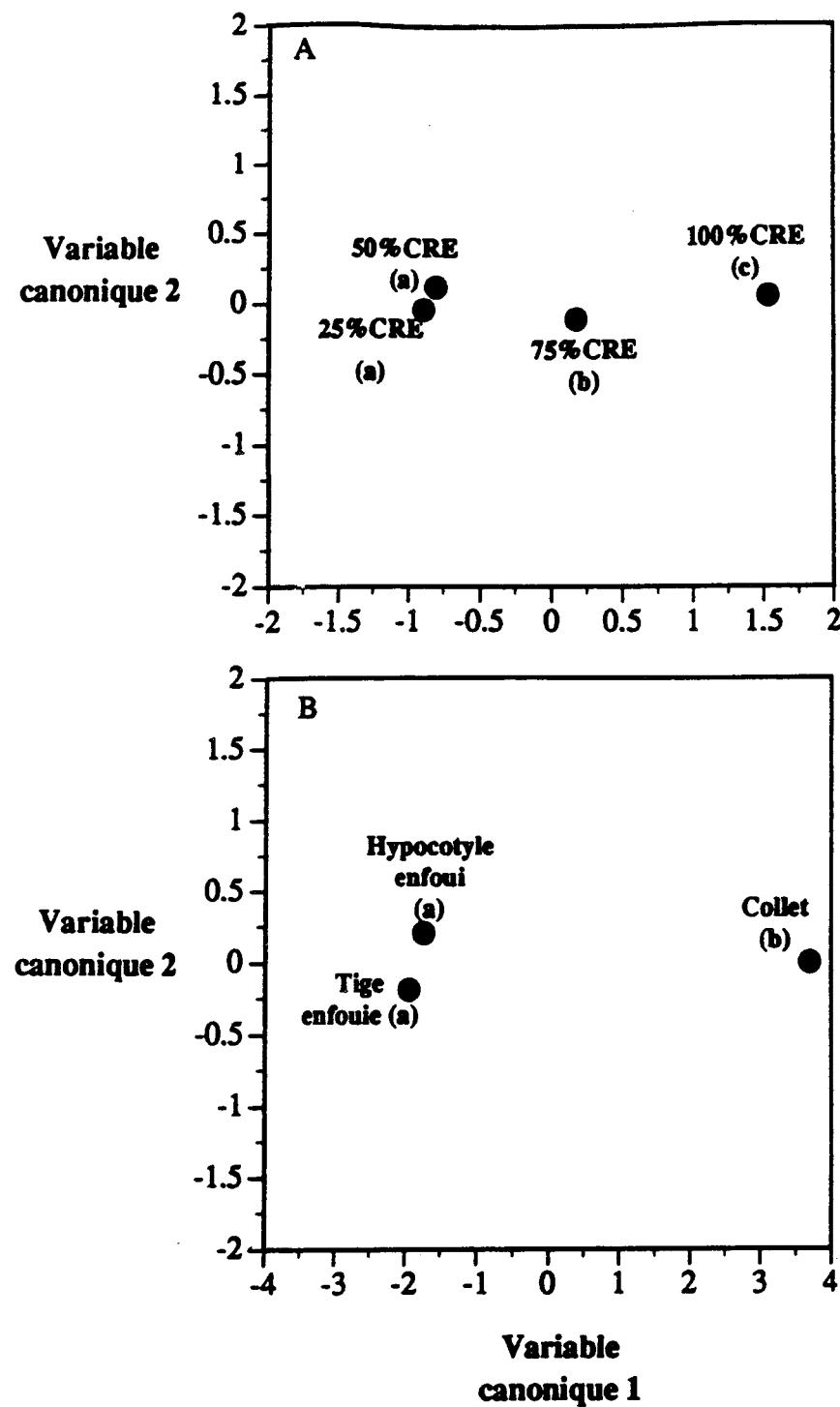


Figure 10: Position des centroïdes des paramètres de croissance en fonction des deux premières variables canoniques significatives pour le contenu en eau du substrat (A) et pour la profondeur de plantation (B). Les groupes suivis d'une lettre différentes sont significativement différents ( $p < 0,05$ ) d'après la probabilité de Mahalanobis.

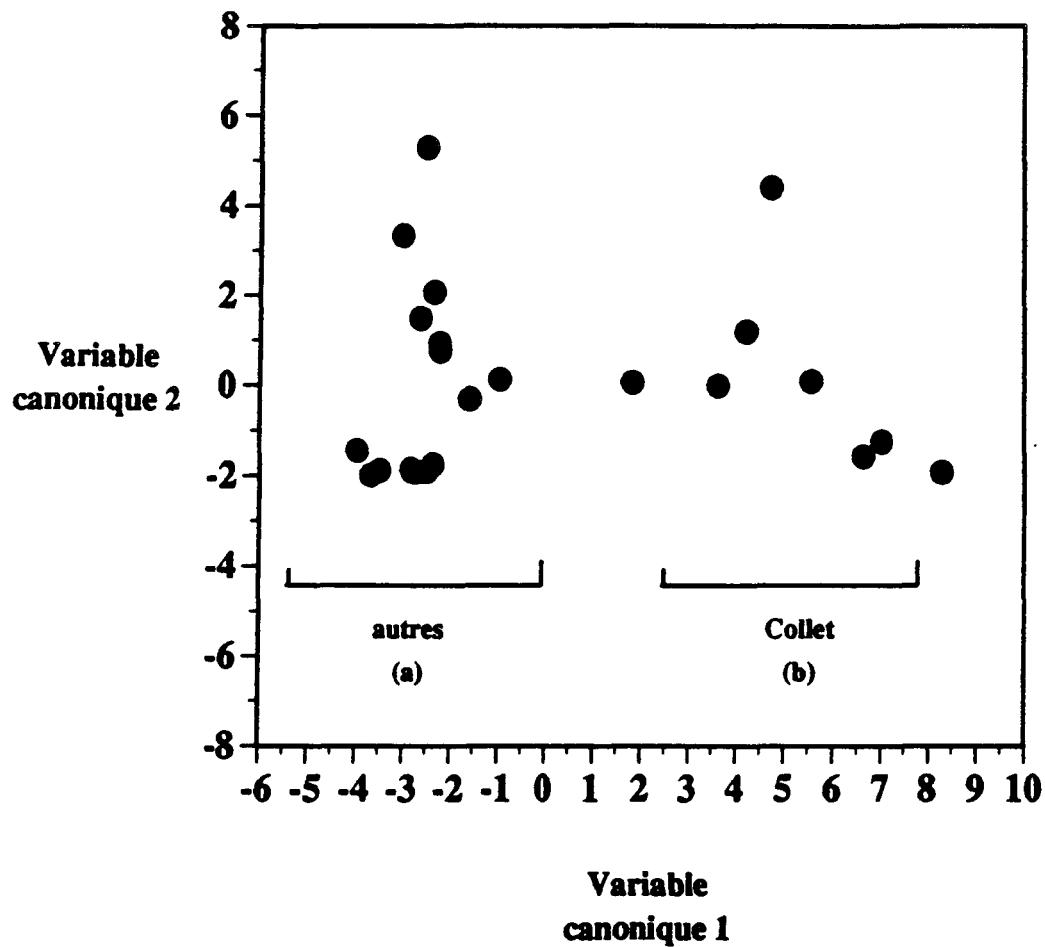


Figure 11: Position des centroïdes des paramètres de croissance en fonction des deux premières variables canoniques significatives pour l'interaction dans le temps du contenu en eau du substrat et de la profondeur de plantation. Les groupes suivis d'une lettre différentes sont significativement différents ( $p<0,05$ ) d'après la probabilité de Mahalanobis.

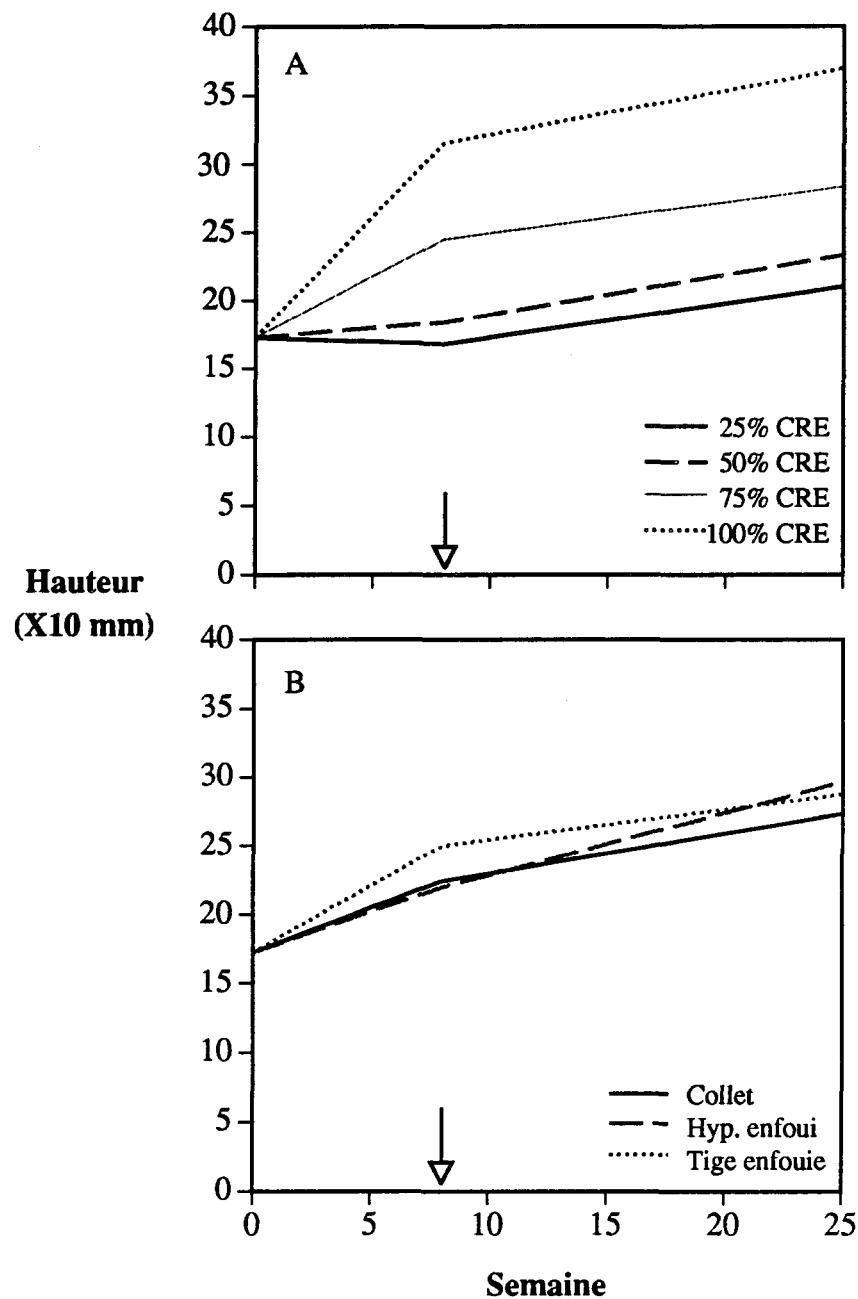
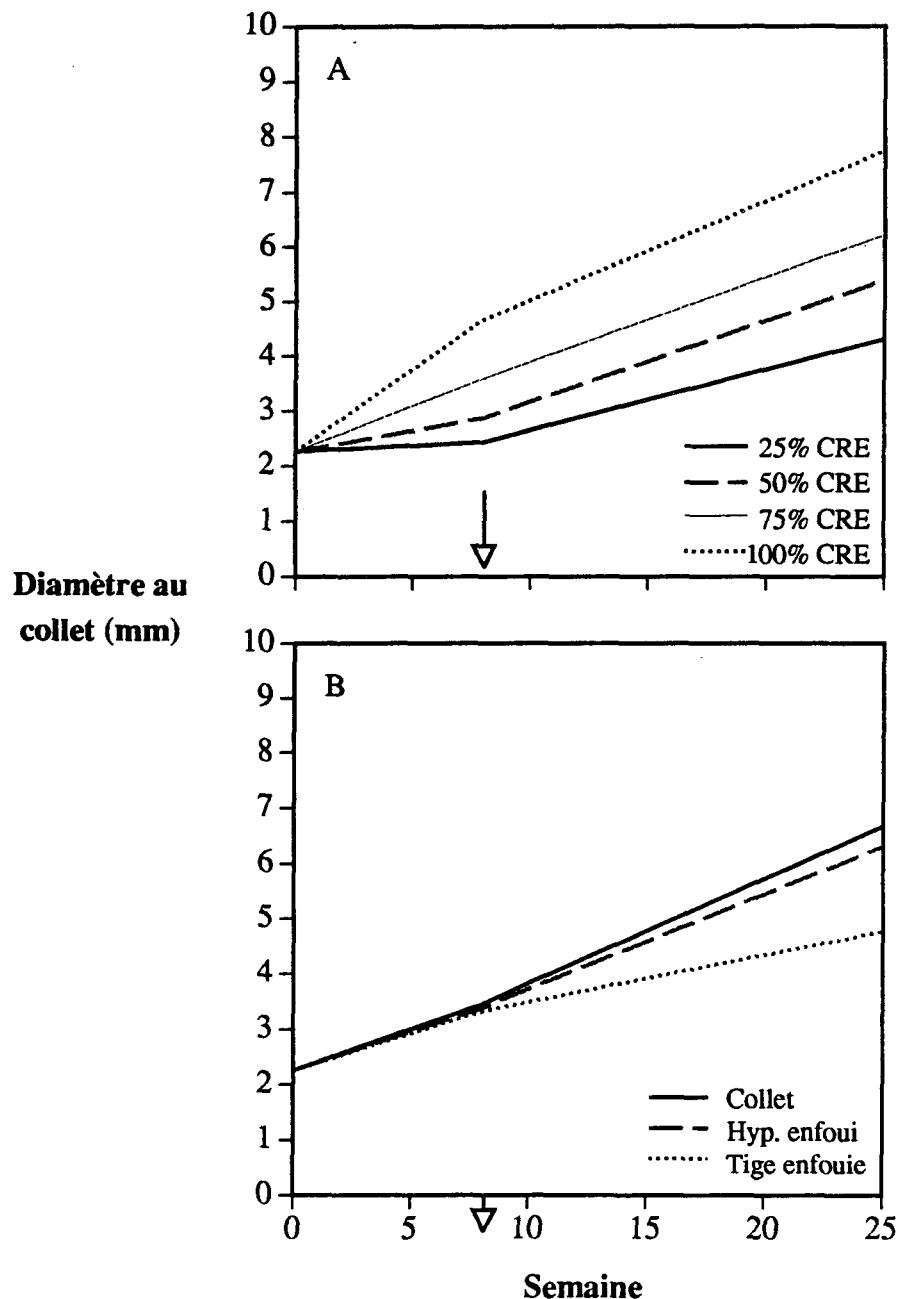


Figure 12: Variation de la hauteur des semis (mm) en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat (A) et de la profondeur de plantation (B). La flèche indique le début des deux semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard: semaine 8=9,7 mm, semaine 25=7,6 mm.

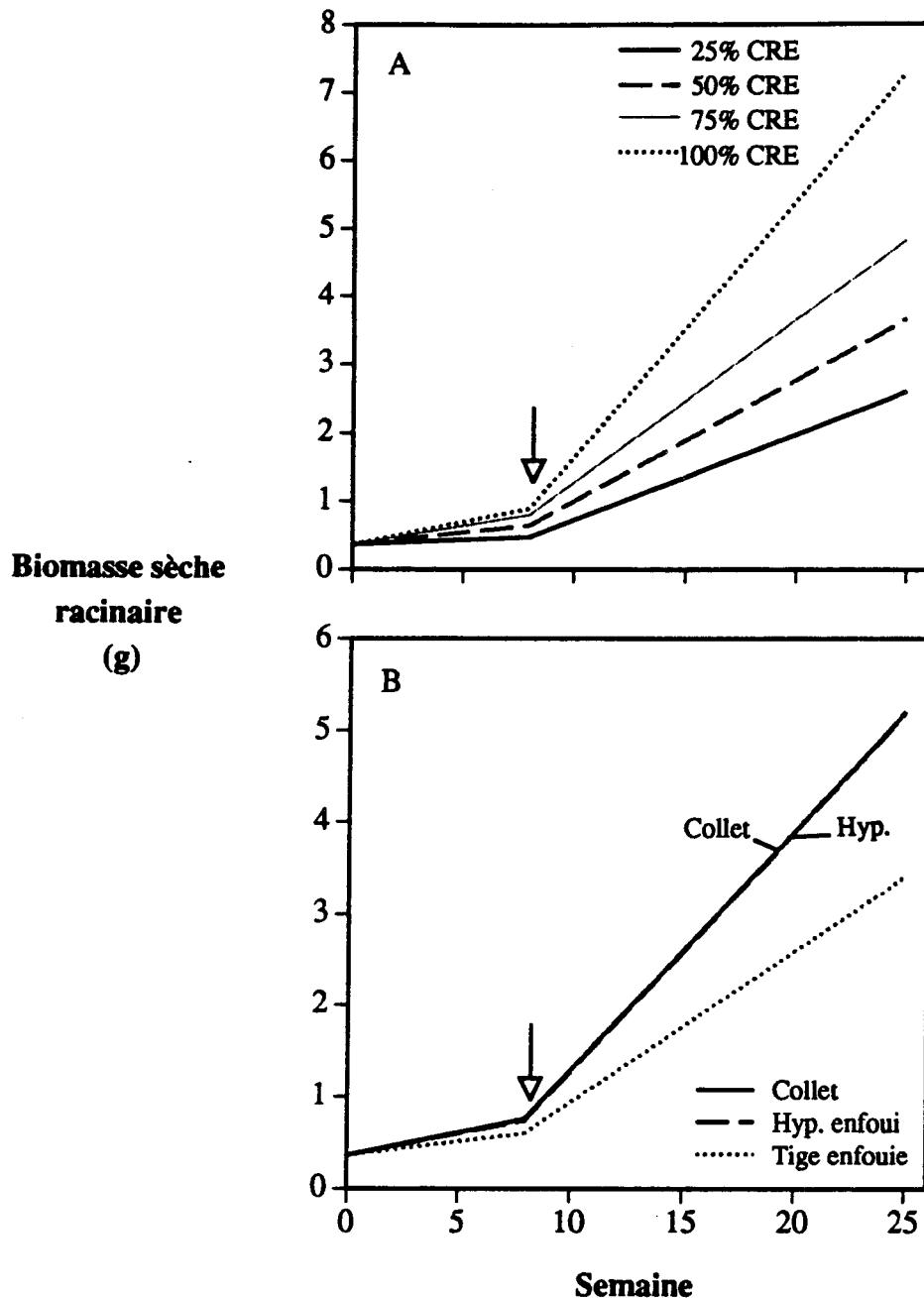
La mise en dormance des semis arrête la croissance en hauteur des semis, la longueur de la tige n'augmentant que faiblement et de façon similaire pour tous les traitements. Le CES considéré seul explique 48,7% de la variance observée pour la hauteur (Tableau 7). La PRF a aussi significativement influencé la hauteur des semis ( $p=0,0441$ ) (Tableau 7). Les semis plantés en profondeur ont eu une meilleure croissance durant la première phase de croissance, les semis plantés au collet étant toujours moins hauts durant tout le cycle de croissance (Figure 12 B). Mais ce facteur n'explique à lui seul que 1,3% de la variance observée tandis que l'interaction des trois facteurs explique 63,4% de cette variance.

Un augmentation du diamètre au collet (D) est observée durant la période de croissance en hauteur de la tige et durant la période de dormance (Figure 13). Plus le CES est élevé, plus la croissance en diamètre est importante ( $p=0,0001$ ), les différences retrouvées à la première phase de croissance restant constantes après la seconde phase de croissance (Figure 13A, Tableau 7). Ce facteur explique seulement 1% de la variance observée. La PRF a aussi influencé le diamètre au collet des semis ( $p=0,0001$ ), mais durant la période de dormance seulement (Figure 13B, Tableau 7). Les semis plantés avec une partie de la tige enfouie ont eu une croissance en diamètre beaucoup plus faible que les deux autres profondeurs de plantation. La profondeur de plantation explique à elle seule 80,8% de la variance observée tandis que l'interaction dans le temps du CES et de la PRF explique au total 92,6% de la variance.

Une faible hausse de la biomasse sèche racinaire (BSR) est observée durant la période de croissance en hauteur de la tige suivie d'une hausse importante durant la période de dormance (Figure 14). Le CES a significativement influencé l'accumulation de la BSR ( $p=0,0001$ ) (Tableau 7). Plus le CES est élevé, plus cette accumulation est importante, les



**Figure 13:** Variation du diamètre au collet des semis (mm) en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat (A) et de la profondeur de plantation (B). La flèche indique le début du traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard: semaine 8=0,16 mm, semaine 25=0,18 mm.



**Figure 14:** Variation de la biomasse sèche racinaire des semis (g) en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat (A) et de la profondeur de plantation (B). La flèche indique le début du traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard: semaine 8=0,04 g, semaine 25=0,27 g.

différences retrouvées après la première phase de croissance étant plus prononcées après la période de dormance. Le CES explique à lui seul 6,6% de la variance observée. La PRF a aussi significativement influencé l'accumulation en BSR ( $P=0,0001$ ) (Tableau 7). Peu de différences sont observées entre les traitements de profondeur de plantation après la période de croissance en hauteur de la tige, mais les semis ayant été plantés avec une partie de la tige enfouie ont eu une accumulation de BSR inférieure après la période de dormance (Figure 14B). Ce facteur est important puisqu'il explique à lui seul 30,2% de la variance observée tandis que l'interaction dans le temps du CES et de la PRF en explique 80,2%.

Une augmentation constante de la biomasse sèche de la partie aérienne (BSA) est observée durant tout le cycle de croissance, le CES augmentant significativement cette accumulation ( $p<0,0001$ ) (Figure 15A, Tableau 7). Ce facteur explique 19,3% de la variance observée. La PRF a aussi significativement influencé l'accumulation de la BSA ( $p=0,0001$ ), les semis plantés avec une partie de la tige enfouie ayant une accumulation moindre, surtout après la période de dormance (Figure 15B, Tableau 7). Mais ce facteur n'explique que 2,8% de la variance observée, tandis que l'interaction dans le temps du CES et de la PRF en explique 47,9%.

Une corrélation moyennement forte entre la hauteur des semis et la BSA ( $r=0,64$ ) indique qu'une hauteur élevée amène une BSA élevée (Tableau 8). De plus, une corrélation entre la BSA et la BSR ( $r=0,67$ ), indique qu'une BSA élevée amène une BSR élevée. Mais la corrélation entre la hauteur et la BSR n'est que de 0,37. Cette faible corrélation peut être attribuée à l'effet du stade phénologique sur ces paramètres, les semis n'ayant une accumulation importante en BSR qu'après l'arrêt de croissance en hauteur des semis. Il faut donc mesurer la hauteur et la biomasse aérienne afin de prévoir la biomasse racinaire. Le

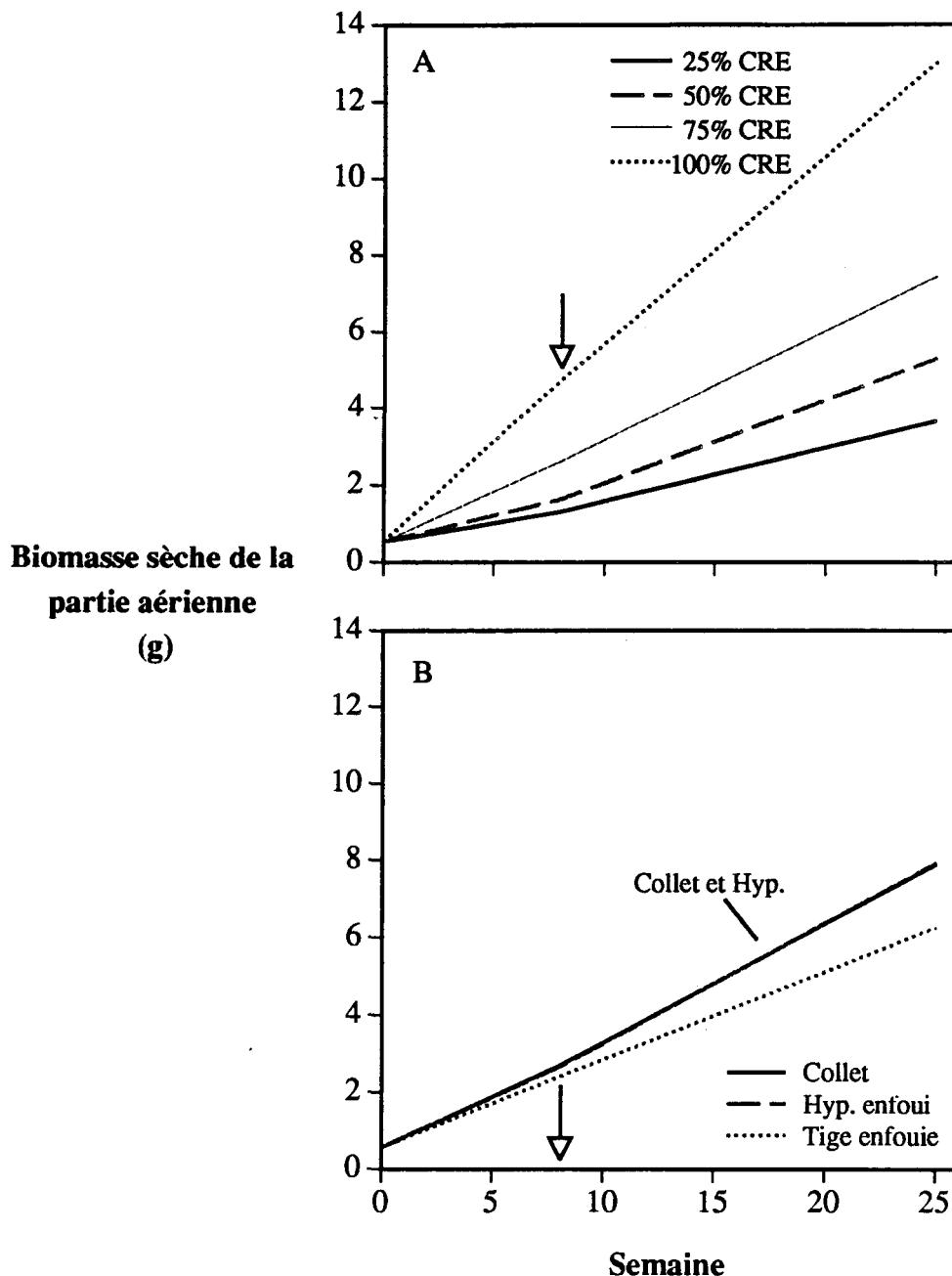


Figure 15: Variation de la biomasse sèche de la partie aérienne des semis (BSA) en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat (A) et de la profondeur de plantation (B). La flèche indique le début du traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard: semaine 8=0,17 g, semaine 25=0,40 g.

Tableau 8: Analyse des corrélations canoniques entre les traitements qu'ont subi les plants (la date d'échantillonnage (DATE), le contenu en eau du substrat (CES), et la profondeur de plantation (PRF)) et les paramètres de croissance (hauteur (H), diamètre au collet (D), biomasse sèche racinaire (BSR) et biomasse sèche aérienne (BSA))

CORRÉLATIONS ENTRE LES VARIABLES BRUTES							
	DATE	CES	PRF	H	D	BSR	BSA
traitements							
<b>DATE</b>	1,00	*	*	*	*	*	*
<b>CES</b>	0,00	1,00	*	*	*	*	*
<b>PRF</b>	0,00	0,00	1,00	*	*	*	*
paramètres							
<b>H</b>	0,33	0,66	0,11	1,00	*	*	*
<b>D</b>	-0,11	0,01	0,79	-0,06	1,00	*	*
<b>BSR</b>	0,43	0,25	-0,50	0,37	0,40	1,00	*
<b>BSA</b>	0,39	0,41	-0,17	0,64	0,11	0,67	1,00

ANALYSE DES CORRÉLATIONS CANONIQUES								
VC†	Corr.	Erreur standard	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	Proportion	F approx	dl‡	P>F
1	0,84	0,01	0,71	2,46	0,50	183,43	12	0,0001
2	0,82	0,02	0,67	2,04	0,42	166,96	6	0,0001
3	0,53	0,03	0,28	0,39	0,08	92,89	2	0,0001
	<b>Statistique</b>			<b>Valeur</b>	<b>F</b>	<b>dl</b>	<b>P&gt;F</b>	
	Lambda de Wilks			0,07	183,44	12	0,0001	
				S=3	M=0	N=235,5		

Coefficients canoniques standardisés entre les variables et leurs VC respectives									
	Trait 1	Trait 2	Trait 3		Croiss 1	Croiss 2	Croiss 3		
traitements									
<b>DATE</b>	0,59	0,54	0,61						
<b>CES</b>	0,52	0,32	-0,79						
<b>PRF</b>	0,62	-0,78	0,09						
				paramètres					
				<b>H</b>	0,40	-0,07	-1,25		
				<b>D</b>	-0,61	0,49	-0,47		
				<b>BSR</b>	0,18	0,32	0,05		
				<b>BSA</b>	0,55	0,55	0,97		

STRUCTURE CANONIQUE							
Corrélations entre les paramètres de croissance et leur variables canoniques							
	Croiss 1	Croiss 2	Croiss 3	Trait 1	Trait 2	Trait 3	
traitements							
<b>DATE</b>	0,50	0,44	0,32	0,59	0,54	0,61	
<b>CES</b>	0,44	0,27	-0,42	0,52	0,32	-0,79	
<b>PRF</b>	0,52	-0,64	0,05	0,62	-0,78	0,09	
paramètres							
<b>H</b>	0,72	0,37	-0,58	0,61	0,31	-0,31	
<b>D</b>	-0,64	0,68	-0,27	-0,54	0,56	-0,14	
<b>BSR</b>	0,09	0,85	0,04	0,07	0,70	0,02	
<b>BSA</b>	0,61	0,77	0,15	0,52	0,63	0,08	

Tableau 8 (suite)

ANALYSE CANONIQUE DE REDONDANCE						
Variance standardisée des paramètres de croissance expliquée par						
VC†	leur propres VC			les VC des traitements		
	Propor- tion	Prop, cumulative	R <sup>2</sup>	Propor- tion	Prop, cumulative	
1	0,33	0,33	0,71	0,23	0,23	
2	0,48	0,81	0,67	0,32	0,56	
3	0,11	0,92	0,28	0,03	0,59	

Le R <sup>2</sup> entre les paramètres de croissance et les 'M' premières VC des traitements			
	1	2	3
H	0,37	0,46	0,56
D	0,29	0,61	0,63
BSR	0,01	0,49	0,49
BSA	0,27	0,67	0,67

†variables canoniques

‡degrés de liberté

manque de corrélation entre le diamètre et les trois autres paramètres de croissance peut s'expliquer par l'effet important de la PRF sur celui-ci lorsque mesuré au collet.

Une diminution du pourcentage de la biomasse sèche totale que compose la biomasse sèche racinaire (%BSR) est observée durant la période de croissance en hauteur de la tige (Figure 16). Puis il y a une augmentation aussi importante durant la période de dormance des semis. Plus le CES est élevé, plus le %BSR est faible durant la première phase de croissance, les différences étant moindres après la période de dormance (Figure 16A, Tableau 9). Indépendamment, la PRF de plantation a significativement influencé ( $p=0,0002$ ) le %BSR (Tableau 9). Plus le semis est planté profondément moins le %BSR est élevé et ce durant tout le cycle de croissance (Figure 16B).

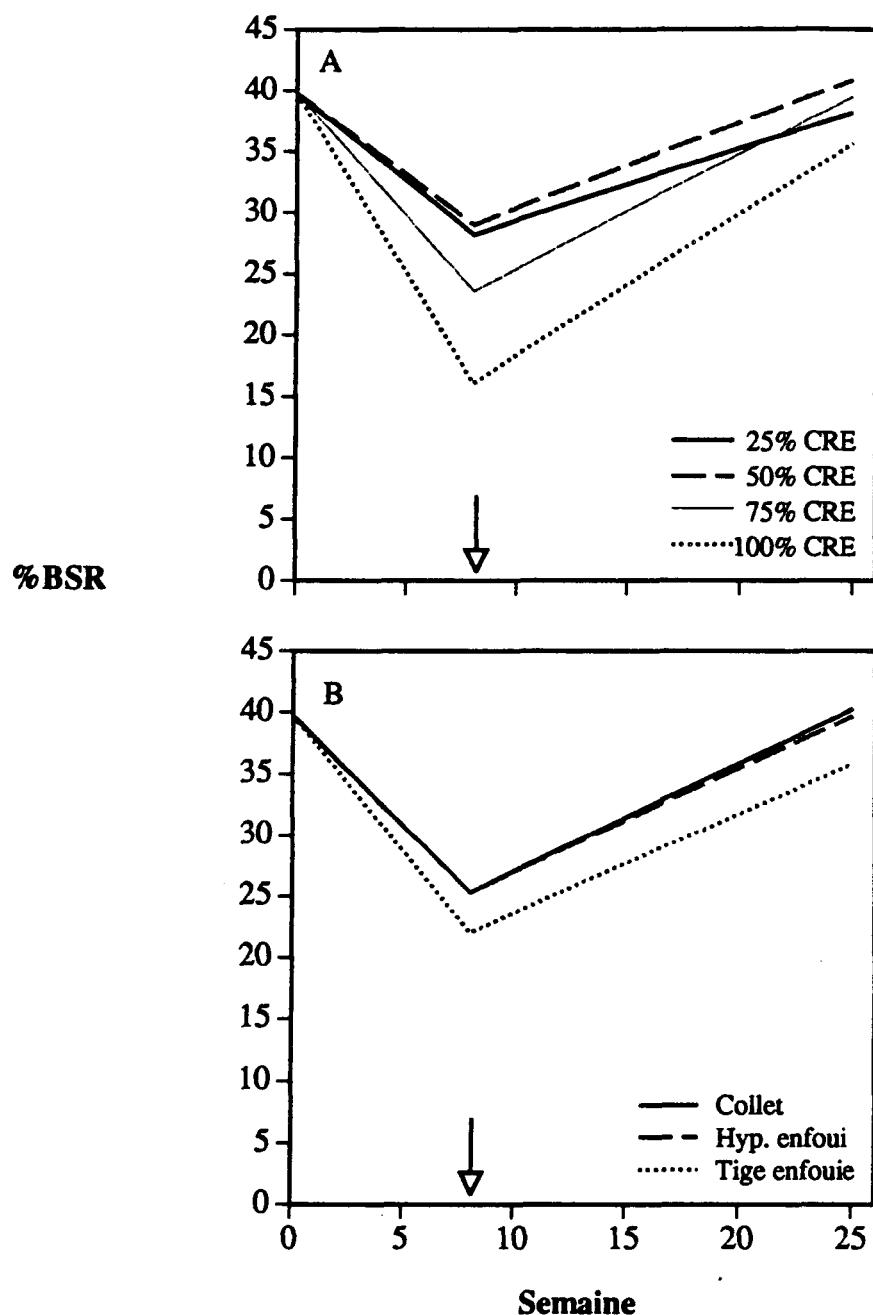


Figure 16: Variation du pourcentage de la biomasse sèche totale que compose la biomasse sèche racinaire (%BSR) en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat (A) et de profondeur de plantation (B). La flèche indique le début des deux semaines du traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard: semaine 8=0,47 %, semaine 25=0,52 %.

Tableau 9: Analyse de variance en fonction de la date d'échantillonnage (DATE), du contenu en eau du substrat (CES) et de la profondeur de plantation (PRF) pour le pourcentage de la biomasse sèche totale que compose la biomasse sèche racinaire (%BSR). Des contrastes ont été effectuées sur les facteurs significatifs ( $p<0,05$ ).

Source de variation	DL*	SCE†	VE‡	F	P>F
<b>semaine 8</b>					
Répétition (R)	3	226,18	75,39	1,6901	0,3385
Date (D)	1	20 529,37	20 539,37	460,2001	0,0002
R*D	3	133,83	44,61	1,9966	0,1139
Contenu en eau (C)	3	5730,20	1910,07	14,1476	<0,0000
Profondeur (P)	2	1744,99	872,50	6,4625	0,0027
C*P	6	164,31	27,39	0,2028	0,9748
D*C	3	1165,11	388,37	2,8766	0,0426
D*P	2	106,65	53,32	0,3950	0,6753
D*C*P	66	8910,99	135,02	6,0425	0,0046
Erreur	391	181,5635	5,5019		
Profondeur de plantation					
Contenu en eau		Collet	Hypocotyle enfoui	Tige enfouie	Moyenne marginale
<b>semaine 8</b>					
25% CRE		30,53	29,58	24,50	28,20
50% CRE		29,38	31,18	26,40	28,98
75% CRE		24,78	23,90	22,05	23,57
100% CRE		16,50	16,48	15,18	16,05
		25,29	25,28	22,03	
<b>semaine 25</b>					
25% CRE		39,94	38,23	36,40	38,19
50% CRE		42,54	42,35	37,77	40,88
75% CRE		41,12	40,92	36,35	39,47
100% CRE		37,33	37,13	32,56	35,67
Moyenne marginale		40,23	39,66	35,77	

\*degré de liberté

†somme des carrés d'écart

‡variance estimée

### 3.5 PARAMÈTRES BIOCHIMIQUES ET LE CONTENU EN EAU

La date d'échantillonnage a significativement influencé ( $p=0,0001$ ) tous les paramètres biochimiques (Tableau 10). Ce facteur explique à lui seul 73,7% de la variance totale observée, indiquant que les paramètres biochimiques sont dépendants du stade phénologique du plant. Par contre, la PRF n'a pas significativement influencé ces paramètres, contrairement au CES. Par conséquent, seul ce facteur a été retenu et décrit. De plus, ce résultat signifie que l'interaction DATE\*CES\*PRF, significative pour tous les paramètres biochimiques ( $p=0,0001$ ), se réduirait à un effet DATE\*CES pour ces mêmes paramètres. Cette interaction explique 91,8% de la variance totale observée chez ces derniers. En général, l'analyse canonique discriminante sépare, par la distance de Mahalanobis, les variables en trois groupes distincts pour le CES: 1) 25% CRE, 2) 50% CRE, et 3) 75% CRE et 100% CRE ensemble durant la période de croissance en hauteur de la tige, aucune différence n'étant observée après la période de dormance des semis (Figures 17 et 18).

Une diminution de contenu en glucides solubles des aiguilles (GLU/AI) et des branches et tiges (GLU/T) est observée durant la période de croissance en hauteur de la tige suivie d'une augmentation de ces paramètres durant la période de dormance (Figure 19A). Plus le CES est élevé, moins ces parties ont un faible contenu en glucides solubles. Malgré une tendance des semis stressés à contenir plus de glucides solubles, les différences observées ne sont pas significatives et ce durant toute la période de croissance (Figure 19 A, Tableau 10). L'interaction dans le temps du CES et de la profondeur de plantation explique plus de 90% de la variance de ces deux paramètres, indiquant l'influence plus importante de la date et donc du stade phénologique de la plante.

Tableau 10: Analyse discriminante canonique du contenu en glucides solubles (GLU), en amidon (AMI) et en eau (EAU) des différentes parties du plant (AI=aiguilles, T=tige et branches, R=racines et A=partie aérienne) pour la date d'échantillonnage (DATE), le contenu en eau du substrat (CES), la profondeur de plantation (PRF) et l'interaction DATE\*CES\*PRF

DATE								
Variables	Erreur totale	Erreur inter	Erreur intra	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	F	P>F	
GLU-AI	4,57	1,59	6,04	0,88	7,33	689,06	0,0001	
AMI-AI	3,85	1,59	4,94	0,83	4,95	465,52	0,0001	
GLU-T	3,54	1,63	4,43	0,79	3,77	354,16	0,0001	
AMI-T	4,28	2,05	5,28	0,77	3,38	317,87	0,0001	
GLU-R	5,23	4,11	4,58	0,39	0,63	59,58	0,0001	
AMI-R	3,95	2,11	4,71	0,72	2,54	238,97	0,0001	
EAU-A	7,16	3,15	9,06	0,81	4,22	397,08	0,0001	
EAU-R	3,50	1,68	4,33	0,77	3,41	320,36	0,0001	
<b>R<sup>2</sup> moyen:</b>		<b>non-pondéré= 0,7452</b>		<b>pondéré=0,7369</b>		<b>dl=1</b>		
S=1                    M=3                    N=42,5								
Statistique		Valeur	F	dl	P>F			
Lambda de Wilks		0,08	117,60	8	0,0001			
VC†	Corr.	Erreur standard	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	Proportion	F approx.	dl‡	P>F
1	0,95	0,0086	0,92	10,82	1,00	117,6	8	0,0001
CES								
Variables	Erreur totale	Erreur inter	Erreur intra	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	F	P>F	
GLU-AI	4,57	4,60	0,71	0,02	0,02	0,58	0,6307	
AMI-AI	3,85	3,86	0,70	0,03	0,03	0,76	0,5010	
GLU-T	3,54	3,56	0,63	0,02	0,02	0,74	0,5300	
AMI-T	4,28	4,18	1,35	0,08	0,08	2,50	0,0647	
GLU-R	5,23	4,77	2,65	0,20	0,24	7,41	0,0002	
AMI-R	3,95	3,78	1,52	0,11	0,13	3,89	0,0116	
EAU-A	7,16	7,15	1,53	0,04	0,04	1,11	0,3510	
EAU-R	3,50	3,40	1,18	0,09	0,09	2,88	0,0404	
<b>R<sup>2</sup> moyen:</b>		<b>non-pondéré= 0,0713</b>		<b>pondéré=0,0713</b>		<b>dl=3</b>		
S=3                    M=2                    N=41,5								
Statistique		Valeur	F	dl	P>F			
Lambda de Wilks		0,22	7,11	24	0,0001			
VC	Corr.	Erreur standard	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	Proportion	F approx.	dl	P>F
1	0,72	0,0491	0,52	1,09	0,53	7,11	24	0,0001
2	0,59	0,0664	0,35	0,55	0,27	5,92	14	0,0001
3	0,54	0,0723	0,30	0,42	0,20	6,09	6	0,0001

Tableau 10 (suite)

PRF									
Variables	Erreur totale	Erreur inter	Erreur intra	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	F	P>F		
GLU-AI	4,57	4,62	0,20	<0,01	0,00	0,06	0,9421		
AMI-AI	3,85	3,87	0,47	0,01	0,01	0,47	0,6268		
GLU-T	3,54	3,58	0,06	<0,01	0,00	0,01	0,9897		
AMI-T	4,28	4,31	0,34	<0,01	0,00	0,20	0,8163		
GLU-R	5,23	5,27	0,36	<0,01	0,00	0,15	0,8596		
AMI-R	3,95	3,96	0,61	0,02	0,02	0,77	0,4657		
EAU-A	7,16	7,22	0,45	<0,01	0,00	0,13	0,8819		
EAU-R	3,50	3,53	0,12	<0,01	0,00	0,04	0,9621		
<b>R<sup>2</sup> moyen: non-pondéré= 0,0049 pondéré=0,0043</b>						<b>dl=2</b>			
S=2      M=2,5      N=42									
Statistique		Valeur	F	dl	P>F				
Lambda de Wilks		0,76	1,60	16	0,0720				
VC	Corr.	Erreur standard	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	Proportion	F approx.	dl	P>F	
1	0,38	0,0875	0,15	0,17	0,58	1,60	16	0,0720	
2	0,33	0,0911	0,11	0,13	0,42	1,56	7	0,1571	
DATE*CES*PRF									
Variables	Erreur totale	Erreur inter	Erreur intra	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	F	P>F		
GLU-AI	4,57	1,21	4,52	0,95	17,71	55,44	0,0001		
AMI-AI	3,85	1,37	3,72	0,90	9,42	29,50	0,0001		
GLU-T	3,54	1,05	3,48	0,93	13,95	43,67	0,0001		
AMI-T	4,28	1,30	4,19	0,92	13,19	41,30	0,0001		
GLU-R	5,23	0,95	5,24	0,98	39,26	122,89	0,0001		
AMI-R	3,95	1,25	3,86	0,93	12,27	38,40	0,0001		
EAU-A	7,16	2,88	6,81	0,88	7,17	22,45	0,0001		
EAU-R	3,50	1,32	3,36	0,89	8,21	25,72	0,0001		
<b>R<sup>2</sup> moyen: non-pondéré= 0,9228 pondéré=0,9184</b>						<b>dl=23</b>			
S=8      M=7      N=31,5									
Statistique		Valeur	F	dl	P>F				
Lambda de Wilks		0,00	11,39	184	0,0001				
VC	Corr.	Erreur standard	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	Proportion	F approx.	dl	P>F	
1	0,99	0,0021	0,98	47,89	0,59	11,39	184	0,0001	
2	0,98	0,0050	0,95	19,60	0,24	7,53	154	0,0001	
3	0,94	0,0128	0,88	7,05	0,09	4,94	126	0,0001	
4	0,89	0,0206	0,80	3,98	0,05	3,38	100	0,0001	

†degré de liberté ‡somme des carrés d'écarts

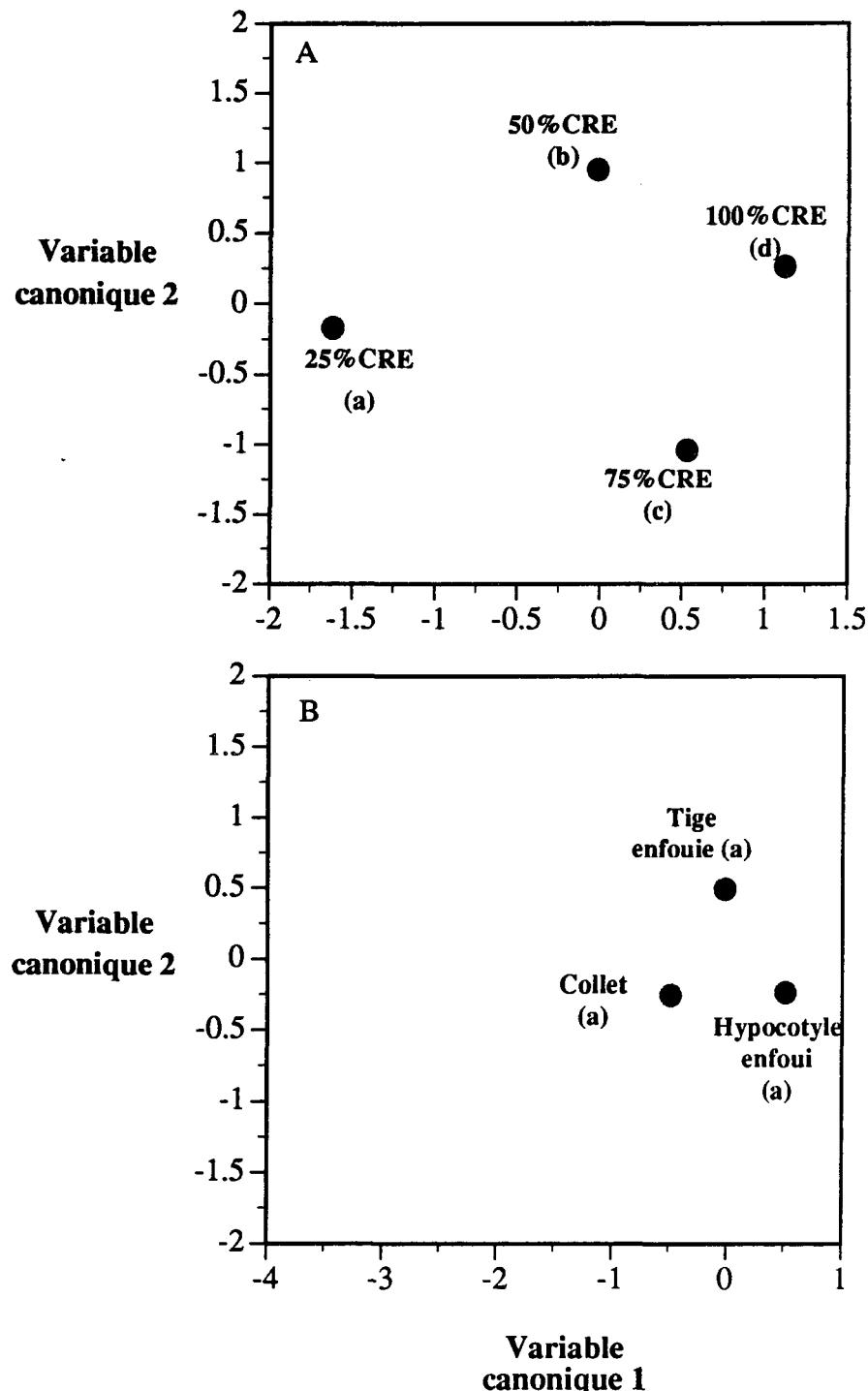


Figure 17: Position des centroïdes des paramètres biochimiques en fonction des deux premières variables canoniques significatives pour le contenu en eau du substrat (A) et la profondeur de plantation (B). Les groupes suivis d'une lettre différentes sont significativement différents ( $p < 0,05$ ) d'après la probabilité de Mahalanobis.

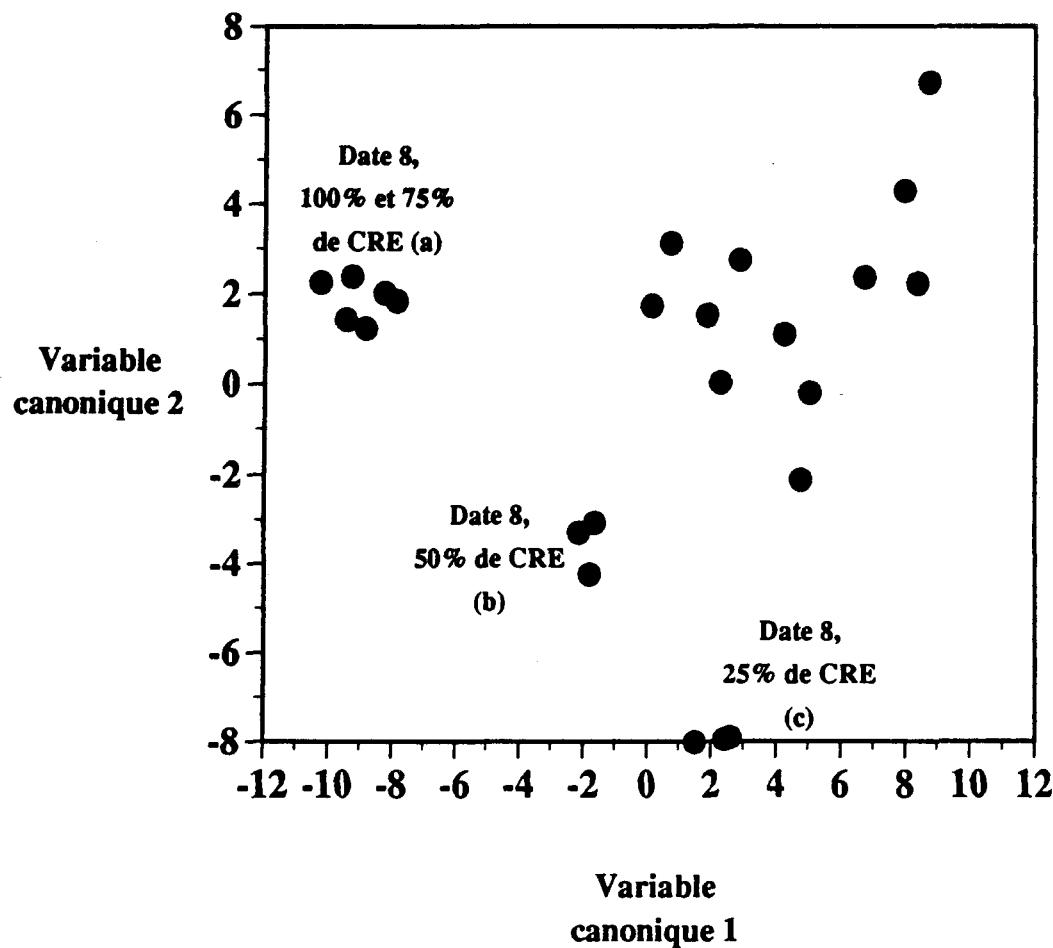


Figure 18: Position des centroïdes des paramètres biochimiques en fonction des deux premières variables canoniques significatives pour l'interaction dans le temps du contenu en eau du substrat et de la profondeur de plantation. Les groupes suivis d'une lettre différentes sont significativement différents ( $p < 0,05$ ) d'après la probabilité de Mahalanobis.

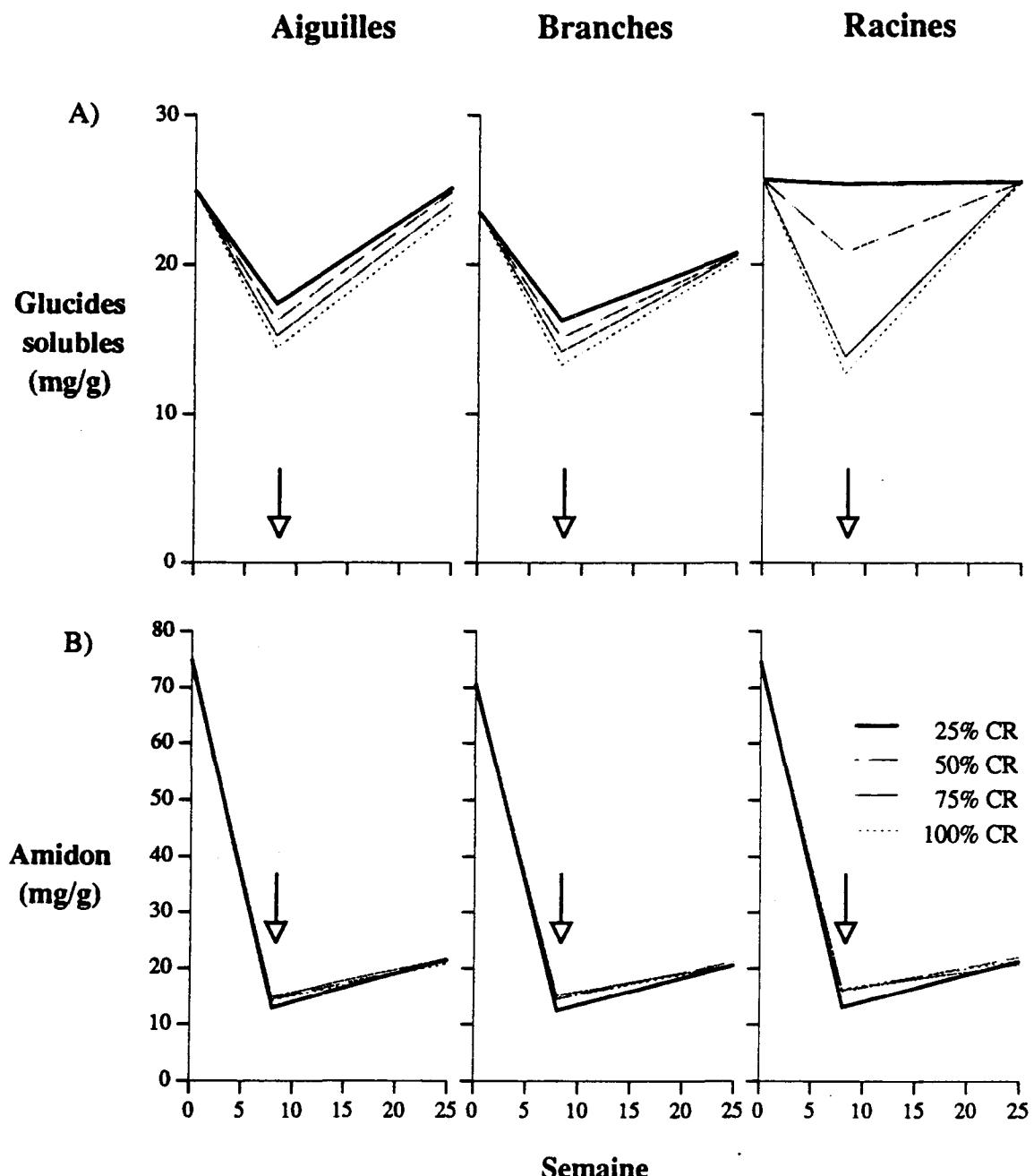


Figure 19: Variation du contenu en glucides solubles et en amidon (mg de D-glucose par g de biomasse sèche) des différentes parties du plant en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat (CES). La flèche indique le début des deux semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard maximum: semaine 8=0,31mg pour les glucides solubles et 0,46mg pour l'amidon, semaine 25= 0,30mg et 0,45 mg.

Une diminution du contenu en glucides solubles des racines (GLU/R) est observée durant la période de croissance en hauteur de la tige suivie d'une augmentation après la période de dormance (Figure 19A). Plus les CES sont élevés, plus le GLU/R est faible ( $p=0,0002$ ) (Tableau 10), mais les différences observées durant cette première phase de croissance ne le sont plus après la période de dormance. Il est important de noter qu'il n'y a pas de variation dans le temps du GLU/R pour les semis soumis à 25% CRE.

Une diminution très importante du contenu en amidon (AMI) de toutes les parties du plant est observée durant la période de croissance en hauteur de la tige, suivie d'une faible augmentation durant la période de dormance (Figure 19B). Plus le CES est élevé, moins le AMI/R l'est après la première phase de croissance, l'effet n'étant significatif que pour les racines (Tableau 10). Les différences observées après la période de croissance en hauteur ne sont plus exprimées après la période de dormance.

Une augmentation de contenu en eau de la partie racinaire (EAU/R) est observée durant la période de croissance en hauteur de la tige, suivie d'une diminution importante durant la période de dormance (Figure 20A). Le CES a significativement influencé ce paramètre ( $p=0,0404$ ) (Tableau 10); plus le CES est élevé, plus le EAU/R est élevé durant tout le cycle de croissance, à l'exception du traitement à 100% de CRE qui se retrouve au même niveau que le traitement à 25% CRE après la période de dormance des semis. Ce facteur compte à lui seul pour seulement 8,7% de la variance totale observée (Tableau 10).

Une diminution du contenu en eau de la partie aérienne (EAU/A) d'une façon plus importante durant la période de croissance en hauteur de la tige que durant la période de

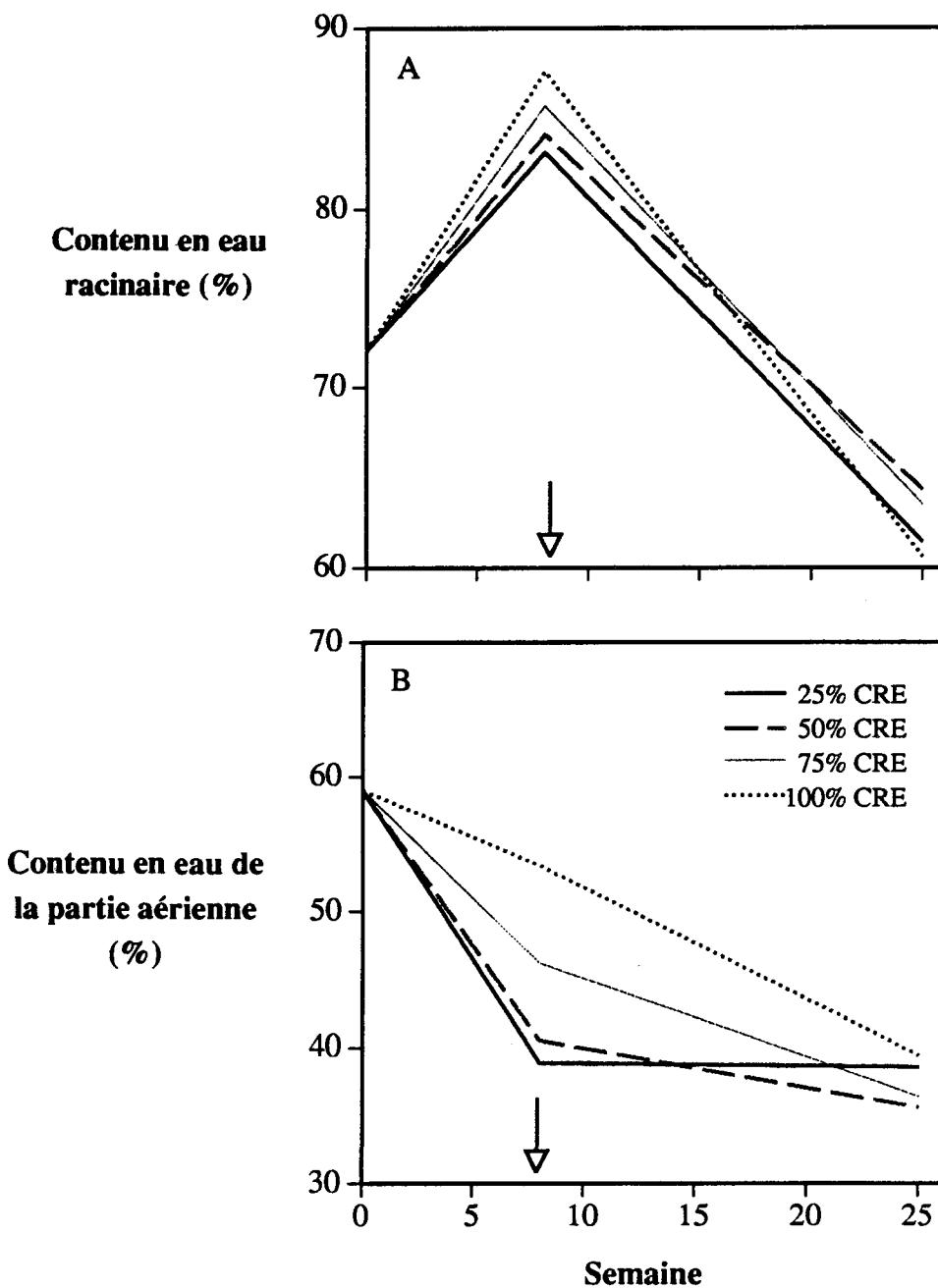


Figure 20: Variation du contenu en eau de la partie racinaire (EAU/R) et de la partie aérienne (EAU/A) (pourcentage de la biomasse fraîche) en fonction du temps d'échantillonnage pour les différents traitements de contenu en eau du substrat. La flèche indique le début des deux semaines de traitement photopériodique de mise en dormance des semis. Erreur standard: semaine 8= % pour le EAU/R et % pour le EAU/A, semaine 25=1,33% et 0,36% respectivement.

dormance a été observée (Figure 20B). Le CES a significativement influencé le EAU/A (Tableau 10). Plus le CES est élevé, plus le EAU/A est élevé à la semaine 8, les différences n'étant plus présentes après la période de dormance.

Tous les paramètres biochimiques sont fortement corrélés entre eux, le EAU/A et EAU/R étant négativement corrélés aux autres paramètres mais positivement corrélés entre eux (Tableau 11). Par exemple, de fortes corrélations négatives existent entre le contenu en glucides solubles des parties aérienne et racinaire et le contenu en eau de ces mêmes parties. Une corrélation similaire est observée mais cette fois pour le contenu en amidon des parties et leur contenu en eau. Ceci suggère qu'une diminution du contenu en eau amène une augmentation du contenu en glucides solubles et en amidon.

La forte corrélation entre les paramètres biochimiques et la date d'échantillonnage confirme l'importance de l'effet du stade phénologique sur ces paramètres (Tableau 11). De plus, la date explique la variance de plus de 70% de tous les paramètres exception faite du GLU/R ( $R^2=0,039$ ), ce dernier étant plus influencé par le CES ( $R^2=0,54$ ). Comme prévu, de faibles corrélations existent entre les paramètres biochimiques et la PRF, et ce facteur n'explique qu'un faible pourcentage de la variance observée.

Tableau 11: Analyse des corrélations canoniques entre les paramètres biochimiques (GLU=contenu en glucides solubles, AMI=contenu en amidon, EAU=contenu en eau, AI=aiguilles, T=tige et branches et R=racines) et des traitements qu'ont subi les plants (date d'échantillonnage (DATE), contenu en eau du substrat (CES), profondeur de plantation (PRF)

CORRÉLATIONS ENTRE LES VARIABLES BRUTES											
Corrélations entre les variables											
	DATE	CES	PRF	GLU/ AI	AMI/ AI	GLU/ T	AMI/ T	GLU/ R	AMI/ R	EAU/ A	EAU/ R
traitements				*	*	*	*	*	*	*	*
DATE	1.00	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CES	0.00	1.00	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PRF	0.00	0.00	1.00	*	*	*	*	*	*	*	*
paramètres											
GLU/AI	0.94	-0.12	-0.01	1.00	*	*	*	*	*	*	*
AMI/AI	0.91	0.08	-0.09	0.91	1.00	*	*	*	*	*	*
GLU/T	0.89	-0.10	0.01	0.93	0.84	1.00	*	*	*	*	*
AMI/T	0.88	0.15	0.06	0.86	0.89	0.83	1.00	*	*	*	*
GLU/R	0.62	-0.39	0.04	0.72	0.51	0.74	0.49	1.00	*	*	*
AMI/R	0.85	0.21	-0.02	0.81	0.85	0.73	0.89	0.47	1.00	*	*
EAU/A	-0.90	0.18	0.05	-0.94	-0.87	-0.89	-0.80	-0.74	-0.77	1.00	*
EAU/R	-0.88	0.25	0.01	-0.94	-0.84	-0.90	-0.79	-0.74	-0.73	0.95	1.00
ANALYSE DES CORRÉLATIONS CANONIQUES											
Corr.	Erreur standard	R <sup>2</sup>	valeur Eigen	Propor- tion	F approx	dl†	P>F				
0.96	0.01	0.92	10.94	0.90	21.97	24	0.0001				
0.71	0.05	0.51	1.03	0.08	14	0.0001	0.0001				
0.35	0.09	0.12	0.13	0.01	6	0.0794	0.0794				
S=3				M=2				N=41.5			
Statistique				Valeur F				dl P>F			
Lambda de Wilks				0.04 21.97				24 0.0001			
Coefficients canoniques standardisées entre les variables et leur VC respectives											
Trait 1	Trait 2	Trait 3	Croiss 1	Croiss 2	Croiss 3						
DATE	1.00	0.01	0.03	GLU/AI	0.42	-0.33	1.00				
CES	-0.01	1.00	0.06	AMI/AI	0.19	0.48	-1.70				
PRF	-0.03	-0.06	1.00	GLU/T	0.19	0.65	-0.38				
				AMI/T	-0.01	0.11	2.19				
				GLU/R	-0.06	-0.46	0.34				
				AMI/R	0.19	0.80	-0.47				
				EAU/A	-0.18	0.07	1.12				
				EAU/R	0.08	1.30	-0.26				

Tableau 12 (suite)

STRUCTURE CANONIQUE						
	Corrélations entre les paramètres et les variables canoniques					
	Trait 1	Trait 2	Trait 3	Croiss 1	Croiss 2	Croiss 3
traitements						
DATE	1.00	0.01	0.03	0.96	0.00	0.01
CES	-0.01	1.00	0.06	-0.01	0.71	0.02
PRF	-0.03	-0.06	1.00	-0.03	-0.04	0.34
paramètres						
GLU/AI	0.94	-0.11	0.02	0.98	-0.16	0.05
AMI/AI	0.91	0.09	-0.05	0.95	0.13	-0.14
GLU/T	0.89	-0.10	0.04	0.93	-0.14	0.11
AMI/T	0.87	0.15	0.10	0.91	0.21	0.28
GLU/R	0.62	-0.39	0.04	0.65	-0.54	0.13
AMI/R	0.85	0.22	0.02	0.88	0.30	0.06
EAU/A	-0.90	0.18	0.03	-0.94	0.25	0.09
EAU/R	-0.88	0.24	0.00	-0.92	0.34	-0.01

ANALYSE CANONIQUE DE REDONDANCE						
Variance standardisée des paramètres biochimiques expliquée par						
VC‡	leur propres VC			les VC des traitements		
	Propor-	Prop.	R <sup>2</sup>	Propor-	Prop.	
1	tion	cumulative		tion	cumulative	
1	0.33	0.33	0.92	0.31	0.31	
2	0.33	0.67	0.51	0.17	0.47	
3	0.33	1.00	0.12	0.04	0.51	

Le R <sup>2</sup> entre les paramètres biochimiques et les 'M' premières VC des traitements	1	2	3
GLU/AI	0.88	0.98	0.89
AMI/AI	0.84	0.84	0.85
GLU/T	0.79	0.80	0.80
AMI/T	0.77	0.79	0.80
GLU/R	0.39	0.54	0.54
AMI/R	0.72	0.76	0.76
EAU/A	0.81	0.84	0.85
EAU/R	0.78	0.84	0.84

†degré de liberté

‡variable canonique

## **CHAPITRE IV**

### **DISCUSSION**

#### 4.1. RACINES ADVENTIVES

Les racines adventives ne se forment que sur la partie de la tige enfouie ou au mieux, à la jonction hypocotyle-tige, mais pas sur l'hypocotyle comme tel. Coutts *et al.* (1990) mentionnent que de jeunes sujets d'épinette de Sitka de plantation ou de régénération naturelle forment des racines adventives à la base de la tige. Topa et McLeod (1986a) et Grönroos et von Arnold (1988) observent la présence de racines adventives sur les quatre premiers centimètres de la tige chez trois espèces de pin, sans spécifier s'il s'agit de l'hypocotyle ou de la tige. Chez l'épinette noire, Larouche (1994) et Simard (1995), ainsi que des observations faites lors d'expériences à l'Université du Québec à Chicoutimi (Allaire, communication personnelle), laissaient entrevoir que les racines adventives ne se formaient que sur la tige enfouie. Les raisons qui font que les racines adventives ne se forment que sur la tige chez l'épinette noire et non sur l'hypocotyle restent obscures. Une différence morphologique pourrait en être la cause (Esau 1965). Il faudrait déterminer en premier lieu si ce phénomène résulte d'une absence de formation de méristèmes de racines adventives sur cette partie du semis ou d'une formation de tels méristèmes sans élévation subséquente.

Il n'est guère surprenant que les semis d'épinette noire aient formé des racines adventives puisque les sujets adultes semblent en former un au détriment du système racinaire initial (LeBarron 1945, Sutton 1963, McClain 1981, Cloutier et Filion 1995). L'accumulation de débris et de sphaignes autour de la tige (LeBarron 1945, Revyako 1975, McClain 1981, Zobel et Antos 1982, Cloutier et Filion 1995) ou une plantation en profondeur des plants (LeBarron 1945, McClain 1981, Stroempl 1990, Paterson et Maki 1994) pourraient expliquer le phénomène, ces deux facteurs maintenant une certaine obscurité et un contenu en eau potentiellement plus élevé autour de la tige.

Le contenu en eau du substrat (CES) a significativement influencé la formation et la croissance des racines adventives. Plus le CES était élevé, plus il y avait formation de racines adventives par plant (Figure 5). De plus, le nombre de plant ayant au moins une racine adventive augmente avec l'augmentation du CES. La baisse du contenu en oxygène du substrat au niveau du système racinaire original pourrait expliquer la formation des racines adventives (Walsh 1993). En effet, la saturation en eau du substrat observée au fond des pots pour les contenus élevé en eau amènerait une baisse de la concentration d'oxygène au niveau du substrat, ce qui forcerait le semis à former des racines adventives en surface afin d'aller chercher l'oxygène, l'eau et les minéraux nécessaires au métabolisme de la plante (Sutton 1980, Tang et Kozlowski 1983, Topa et McLeod 1986a, Coutts *et al.* 1990, Megonigal et Day 1992).

Cette hypothèse semble confirmée par la présence de lenticelles hypertrophiées sur la tige et l'hypocotyle enfouis, ces structures servant de contact direct entre l'extérieur du plant et les vaisseaux vasculaires en laissant passer l'eau, l'oxygène et les minéraux en situation d'hypoxie (Esau 1965, Tang et Kozlowski 1983, Kozlowski 1984, Leiffers et Rothwell 1986a, Aronen et Häggman 1994). Une présence accrue de lenticelles hypertrophiées serait donc indicatrice du niveau d'oxygénation du substrat. La présente étude observe en effet une augmentation du nombre moyen de lenticelles hypertrophiées avec la plantation en profondeur et l'augmentation du contenu en eau du substrat. Mais l'augmentation du nombre de telles lenticelles avec la profondeur de plantation peut s'expliquer en partie par la plus grande surface de la tige enfouie et sur laquelle les lenticelles ont été comptées. De plus, même si une augmentation du nombre de lenticelles augmente effectivement avec le contenu en eau du substrat et donc avec la diminution du taux d'oxygène, des lenticelles hypertrophiées ont été observées sur la tige des semis ayant subi le traitement à faible contenu

en eau du substrat ainsi que sur l'hypocotyle des semis plantés au collet pour tous les traitements hydriques. Ceci suggère donc l'existence d'une autre cause à la présence des lenticelles hypertrophiées que la seule présence de l'eau autour de l'ensemble de la tige enfouie et/ou la présence de conditions hypoxiques du substrat.

Cette baisse du contenu en oxygène du substrat au niveau du système racinaire original aurait aussi pu aussi causer des lésions, la mort apicale des racines et la dégradation du système racinaire primaire initial (Coutts 1980, Lord *et al.* 1991, Topa et Cheeseman 1992). Cependant, nos résultats indiquent que ce ne fut pas le cas, puisque le système racinaire initial a montré une croissance importante et qu'aucune lésion n'a été observée sur les racines. De plus, les semis soumis à des CES plus faibles ont quand même formé des racines adventives, mais en moins grand nombre et avec une croissance plus faible. La présence de lenticelles hypertrophiées sur l'hypocotyle et la tige, quoiqu'en moins grand nombre, ne peuvent pas résulter d'une situation d'hypoxie dans ces conditions de sécheresse. Chez l'épinette noire, un CES élevé ne ferait donc qu'accélérer la formation de racines adventives et des lenticelles hypertrophiées, le potentiel de formation de ces structures pouvant s'exprimer dès qu'une partie de la tige est enfouie.

Les racines adventives se sont formées aux deux stades phénologiques étudiés dans cette expérience, mais avec une croissance plus importante durant la période de dormance des semis. Le système racinaire initial suit le même patron de croissance (Figures 6 et 7). Ce phénomène était attendu puisqu'il a été observé que le système racinaire montre une croissance en biomasse plus importante après la mise en dormance des semis, la croissance de la partie aérienne mobilisant toute l'énergie disponible lors de la période de croissance en

hauteur de la tige (Langlois *et al.* 1983, Tyron et Chapin 1986, Lambany et Langlois 1991, Lord *et al.* 1993, Lamhamadi et Bernier 1994).

Pour la majorité des semis, le nouveau système racinaire adventif ne constituait qu'un faible pourcentage de la biomasse sèche du système racinaire (Tableau 3). Mais leur présence et leur croissance importante chez certains individus indiquent que le système racinaire adventif pourrait possiblement représenter la majeure partie du système racinaire des semis après plusieurs années de croissance. Les résultats d'une expérience réalisée avec des plants d'épinette noire 2+0 ayant déjà formé des racines adventives et plantés profondément montrent que le système racinaire adventif peut composer presque la moitié du système racinaire après un cycle de croissance complet de 14 semaines (Larouche 1994). McClain (1981) a fait des observations similaires chez des semis d'épinette noire plus âgés, les semis d'épinette noire cultivés en multipots «Ontario» et plantés en champs ayant développé un système racinaire adventif composant les 2/3 supérieur du système racinaire après dix ans de croissance.

Le système racinaire des épinettes noires adultes serait composé presqu'exclusivement de racines adventives (LeBarron 1945, Cloutier et Filion 1995, Krause, communication personnelle), les conditions hydriques du milieu influençant majoritairement le système racinaire initial (Lieffers et Rothwell 1986a). Par contre, Lamontagne (1994) a observé, cinq ans après plantation, que seuls les semis plantés dans un sol organique avaient développé un nouveau système racinaire (adventif), les plants échantillonnés sur le site sablonneux conservant et développant leur système racinaire initial. Il conclut que la variation de la productivité du sol et de la profondeur de la nappe phréatique influencerait la production d'un nouveau système racinaire. Les résultats obtenus dans la présente expérience suggèrent

plutôt une autre explication à ce résultat. La plantation au collet des semis et les conditions sèches du terrain sablonneux, conditions rendant difficile l'accumulation de débris autour de la tige, pourrait expliquer les résultats obtenus par Lamontagne (1994). De plus, Filion et Marin (1988) ont trouvé, en milieu dunaire subarctique, des arbres adultes d'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss) ayant un système racinaire adventif caulinaire en réponse à la sédimentation rapide de sable autour de la tige. Ceci indique l'importance primordiale de l'enfouissement d'une partie de la tige pour qu'il y ait expression du potentiel de formation du système racinaire adventif.

Des lenticelles hypertrophiées se sont formées en grand nombre sur la tige des semis d'épinette noire. Le nombre moyen de lenticelles hypertrophiées par semis augmente avec l'augmentation du contenu en eau du substrat (Figure 9). De plus, aucune racine adventive n'a émergée au travers de ces lenticelles. Selon Topa et McLeod (1986a), les lenticelles hypertrophiées seraient un lieu privilégié pour la formation de racines adventives chez le pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.). De plus, les racines adventives se développeraient au travers de ces pores tout le long de la tige. Selon les résultats de la présente expérience, la présence de ces lenticelles hypertrophiées n'est pas nécessaire à l'émergence des racines adventives chez l'épinette noire, cette espèce réagissant différemment du pin sylvestre à cet égard.

## 4.2 CROISSANCE DES SEMIS

Le facteur contenu en eau du substrat (CES) explique la majorité de la variation de tous les paramètres de croissance mesurés et calculés (Tableau 7). Les semis stressés en eau ont montré des faibles croissances en hauteur, en biomasse sèche caulinaire et en diamètre durant la période de croissance en hauteur de la tige, alors que les croissances en diamètre et en biomasse sèche racinaire sont demeurées faibles durant la période de dormance (Figures 10, 11, 12 et 13). Par contre, les semis stressés ont une biomasse sèche racinaire proportionnellement plus élevée que les semis bien irrigués, surtout durant la période de croissance en hauteur de la tige (Figure 14). De plus, les semis soumis au stress hydrique ont maintenu un contenu en eau de toutes leur parties à un niveau comparable aux semis bien irrigués et un contenu en glucides solubles plus élevé dans la partie racinaire, mais seulement durant la période de croissance en hauteur de la tige (Figures 15 et 16). Aucune différence n'a été observée en ce qui a trait au contenu en amidon des organes des semis.

La survie des semis soumis au stress hydrique prolongé pourrait être attribuable à l'ajustement osmotique résultant d'une accumulation de glucides solubles observée dans la partie racinaire. Cet ajustement osmotique permettrait au plant de maintenir la turgescence minimale exigée par les fonctions métaboliques de base chez l'épinette noire, ce qui empêcherait la dégradation des protéines et des acides nucléiques (Buxton *et al.* 1985, Zwiazek et Blake 1990, Koppenaal *et al.* 1991, Tan *et al.* 1992, Amundson *et al.* 1993, Lamhamdi et Bernier 1994). Et vu le contact direct du système racinaire avec le substrat déséché, il semble logique que cet organe réagisse plus que la partie aérienne à un stress hydrique. Mais les auteurs cités plus haut n'ont observé ce mécanisme de tolérance à la sécheresse que pour la partie aérienne des semis d'épinette noire. À l'encontre de ces études,

Blake *et al.* (1991) et Zine El Abidine *et al.* (1994) n'observent aucune différence significative du potentiel osmotique pour la partie aérienne des semis stressés, et suggèrent plutôt que les changements de l'élasticité des tissus observés contribuent davantage au mécanisme de tolérance à la sécheresse chez l'épinette noire que l'ajustement osmotique. L'apparente contradiction des résultats de toutes ces études peut provenir de la durée et de l'intensité du stress hydrique imposé aux semis. Un autre facteur peut être l'utilisation du polyéthylène glycol afin de générer le stress hydrique par Zwiazek et Blake (1989), Blake *et al.* (1991) et Tan *et al.* (1992). Le polyéthylène glycol est un composé reconnu pour son effet toxique sur différentes espèces végétales (Lawlor 1975). De plus, l'immersion du système racinaire dans ce composé en solution ne fait qu'imiter partiellement la dynamique de dessèchement d'un substrat (Zine El Abidine *et al.* 1994)

Lors de la croissance, l'expansion cellulaire avant la division crée un appel d'eau important vers l'intérieur de la cellule (Levitt 1980). La croissance en hauteur serait donc plus sensible à un stress hydrique que la photosynthèse (Levitt 1980, Loescher *et al.* 1990, Lamhamdi et Bernier 1994). L'accumulation de glucides solubles dans toutes les parties du plant pourrait être l'indication que la photosynthèse a toujours lieu en l'absence de croissance. Mais Kuhns et Gjerstad (1988) ont montré que, chez le pin sylvestre, plus le stress hydrique est important, moins les produits de la photosynthèse sont acheminés vers les racines. De plus, Brix (1979) chez différentes espèces de conifères, Zine El Abidine *et al.* (1994) et Stewart et Bernier (1995) chez l'épinette noire, ont montré que la photosynthèse décroît lors d'un stress hydrique. De plus, Buxton *et al.* (1985) ont montré que le contenu en chlorophylle totale diminuait lorsque des plants d'épinettes (noire et blanche) étaient soumis à un stress hydrique. Aussi, la baisse de croissance des parties des semis due au stress abaisse la demande en glucides de ces parties pour leur croissance (Kozlowski 1980, Kuhns et

Gjerstad 1988). Un stress hydrique amène donc des changements physiologiques qui ne favorisent pas l'acheminement des glucides vers le système racinaire des plants de conifères. Les glucides proviendraient donc de l'hydrolyse de l'amidon qui a lieu lors du débourrement chez l'épinette noire (Lambany et Langlois 1989) et de l'inutilisation des glucides due à l'arrêt de croissance en situation de stress lors de la période de croissance de la tige.

Ainsi, durant la période de croissance en hauteur de la tige, un contenu élevé en glucides solubles de la partie racinaire permettrait le maintien de la turgescence des cellules (Buxton *et al.* 1985, Geiger et Servaites 1991, Koppenaal *et al.* 1991). Cette réaction serait très importante afin de maintenir la synthèse de cytokinine à l'apex des racines (Geiger et Servaites 1991, Taiz et Zeiger 1991). En effet, il a été observé que la production de cytokinine diminue à mesure que le sol se dessèche (Schulze 1986). La cytokinine produite par les racines et distribuée vers la partie aérienne du plant semble prévenir la fermeture des stomates sous l'action de l'acide abscissique. Ainsi, cette hormone aiderait à maintenir une conductance stomatique la plus élevée possible en tenant compte du contenu en eau du sol (Turner 1986 *In* Geiger et Servaites 1991). Ceci pourrait expliquer la croissance racinaire après la période de mise en dormance des semis stressés. Cette croissance racinaire permettrait l'exploration d'un volume plus grand de substrat, et d'augmenter l'absorption d'eau et de minéraux (Koppenaal *et al.* 1991). En plus de l'augmentation de l'absorption d'eau, l'augmentation de la production de cytokinine pourrait accentuer l'ouverture des stomates, permettant au plant de retrouver un gradient de potentiel hydrique favorable. Le plant peut donc rétablir ses fonctions métaboliques et faire ses réserves glucidiques.

Le système racinaire serait donc non seulement un organe servant à l'acquisition de l'eau et des minéraux, mais aussi un organe senseur permettant aux plantes de réagir au contenu en eau du substrat, et ce par le jeu du rapport cytokinine/acide abscissique (Geiger et Servaites 1991).

Les plants ayant subi un stress hydrique ont eu une accumulation de biomasse sèche plus faible pour tous les organes. Mais ils ont alloué proportionnellement plus de biomasse à leur système racinaire, amenant un rapport biomasse sèche caulinaire-biomasse sèche racinaire (BSC/BSR) plus faible tout au long de la période de croissance. Des résultats similaires ont été obtenus chez diverses espèces de conifères (Chapin 1991, Geiger et Servaites 1991, Peterson et Maki 1994) et chez l'épinette noire (Strong et LaRoi 1983, Lord *et al.* 1990, Lord *et al.* 1993, Lamhamdi et Bernier 1994). Le maintien d'un faible rapport BSC/BSR durant la période de croissance en hauteur de la tige par les semis stressés pourrait indiquer qu'un bon équilibre entre la surface de transpiration (aiguilles) et la surface d'absorption (racines) est atteinte (Paterson et Maki 1994) permettant ainsi aux plants de survivre. Un rapport BSC/BSR semblable pour tous les traitements hydriques à la fin de la période de dormance, semble indiquer que ce rapport est optimal pour l'épinette noire de cet âge. Mais vu la différence de croissance des parties des semis durant le cycle de croissance et l'influence des traitements hydriques sur cette croissance, ces résultats peuvent aussi indiquer que les conditions de croissance n'affectent le rapport qu'à un stade phénologique donné.

Les faibles croissances en hauteur et en biomasse sèche des semis d'épinette noire soumis au stress hydrique peuvent être attribuées non seulement au manque d'eau et à la baisse de turgescence qui s'en suit, mais aussi à un stress nutritionnel (Chapin 1991, Schulze 1991). Lorsqu'il y a un manque d'eau disponible dans un sol, tous les ions deviennent

moins mobiles dû au remplacement de l'eau du sol par de l'air. Cet effet sur la mobilité des ions est important pour de petits changements de contenu en eau du sol (Nye et Tinker 1977 *In* Chapin 1991). Le faible contenu en eau du substrat a pu entraîner une réduction de la disponibilité des minéraux, donc une carence minérale et une croissance réduite des plants. Schulze (1991) propose même que cette carence minérale amènerait une augmentation du pH interne de la plante qui causerait la protonation de l'acide abscissique et son transport vers les stomates. La fermeture des stomates s'en suivrait. Par contre, les semis stressés de la présente expérience n'ont pas montré de signe de carence minérale, à part un faible jaunissement au bout des aiguilles sur certains plants. Il est important de mentionner que ces semis avaient été fertilisés abondamment l'année précédent l'expérience. Les semis pouvaient donc avoir accumulé assez d'éléments minéraux durant ce temps, rendant les besoins en minéraux moins importants durant la période de croissance suivante. De plus, ces plants étaient fertilisés durant l'expérimentation, et le peu de fertigation reçue a pu leur fournir le peu de minéraux nécessaires à leur fonctions métaboliques et à leur croissance.

La croissance de l'épinette noire a été favorisée par une forte teneur en eau du substrat. Ce résultat était attendu chez les conifères quoique plusieurs auteurs (Sena Gomez et Kozlowski 1980, Topa McLeod 1986, Topa et Cheeseman 1992) dont Lord *et al.* (1990) et Lieffers et Rothwell (1986) pour l'épinette noire, indiquent qu'un contenu en eau du substrat trop élevé amène une diminution de la croissance des plants et même la mort. Ceci serait causé par une diminution importante de la concentration en oxygène du substrat lorsqu'il tend vers la saturation. Cette hypoxie amène des lésions, la mort apicale des racines et la dégradation du système racinaire primaire, l'absorption de l'eau et des minéraux étant donc affectée négativement.

Le type de substrat utilisé est de première importance, la tourbe pure étant utilisée pour la production des semis d'épinette noire. Il est reconnu que ce substrat a une très grande capacité de rétention en eau et qu'à saturation, le taux d'oxygénation de la tourbe y est très faible (Richards 1964). Dans la présente étude, un mélange tourbe-vermiculite (2:1, volume par volume) ayant une CRE de 0,33 en volume d'eau par volume total a été utilisé. Cette capacité de rétention du substrat est faible par rapport à celui de la tourbe pure (jusqu'à 0,60) grâce à l'ajout de vermiculite qui aère le substrat. Malgré cela, une sursaturation du substrat en eau a été observée dans les pots expérimentaux ce qui pourrait expliquer en partie la plus faible production de biomasse sèche totale, caulinaire et racinaire des semis ayant été soumis à un traitement à 100% de la CRE et plantés en profondeur. Le manque d'oxygène, dans ce cas, affecterait le métabolisme du plant et donc une diminution de sa croissance.

Contrairement à l'hypothèse émise au départ, la profondeur de plantation a influencé grandement la croissance des semis d'épinette noire en général. La hauteur des semis a été favorisée par la plantation en profondeur des semis mais seulement après les 8 semaines de période de croissance en hauteur de la tige et surtout pour des contenus en eau du substrat élevés. De plus, les semis stressés plantés en profondeur ont eu une meilleure survie que les semis plantés au collet ou ayant l'hypocotyle enfoui (Tableau 2). Cette observation va dans le même sens que les résultats obtenus par Paterson et Maki (1994). Ces auteurs ont planté des semis de pin à trois profondeurs semblables à l'expérience présente (plantation au collet, collet enfoui à 25 mm et le collet enfoui à 50 mm de la surface). Malgré qu'aucune différence significative pour la hauteur et la survie des semis n'ait été obtenue, les semis plantés le plus en profondeur ont produit les arbres les plus hauts après 6 années de croissance. Sutton (1967) obtient les même résultats pour l'épinette blanche et attribue la performance supérieure des semis enfouis au placement du système racinaire en contact avec un sol profond ayant de

bonnes relations hydriques. De plus, le développement des racines adventives sur la tige suppléerait le système racinaire primaire initial pour l'absorption de l'eau et des minéraux, et donc pour la croissance en hauteur de la tige (LeBarron 1945, Sutton 1967, McClain 1981). Par contre, la plantation en profondeur serait néfaste pour la croissance des semis de pin blanc et de pins du sud sur des sites à mauvais drainage (Stroempl 1990).

Stroempl (1990) rapporte que la plantation en profondeur est bénéfique pour plusieurs espèces d'arbres en augmentant la stabilité et la croissance des semis avec la formation de racines adventives et en protégeant la jonction racine-tige (collet) des grandes chaleurs de l'été. Même si l'expérience présente n'a pas été conçue afin de vérifier l'effet des hautes températures sur la croissance et la survie des semis, le malfonctionnement de la ventilation survenue durant la période de mise en dormance des semis a soumis ceux-ci à une température de plus de 45°C durant plus de deux heures. Bien que tous les semis aient montré des signes de flétrissement, ce sont surtout les semis soumis à 25% de la capacité de rétention en eau du substrat qui ont subi des pertes. De plus, les semis ayant eu une partie de la tige enfouie et à un faible CES ont eu un taux de survie supérieur aux semis plantés au collet ou ayant l'hypocotyle enfoui.

Il est vrai que malgré l'effet positif sur la croissance en hauteur, la plantation en profondeur a été néfaste sur la croissance en diamètre au collet ainsi que les biomasses sèches des parties racinaire et aérienne dans ce cas-ci. La perte d'une partie de la surface photosynthétique lors de la plantation en profondeur des semis pourrait expliquer la plus faible production de biomasse de tous les organes. Aussi, la comparaison du diamètre pris au collet plutôt qu'au niveau du substrat pourrait expliquer la croissance significativement inférieure du diamètre chez les semis plantés en profondeur. En effet, il a été observé par

Filion et Marin (1988) que des épinettes blanches ayant une partie de leur tige enfouie par une dune de sable voyait le diamètre de la portion enfouie (au collet) être inférieur au diamètre pris au niveau du sol. Ces auteurs proposent que ce phénomène est dû au dégel printanier de la surface du sol, ce qui permettrait à la tige en surface de croître plus tôt et plus longtemps que la portion de tige enfouie. Mais dans la présente expérience aucun gel n'a été appliqué. Par ailleurs, les résultats d'une étude de Knight (1961), portant sur l'évolution dans le temps de l'activité cambiale de toutes les parties de trois cultivars de pommiers (*Malus* sp.), montrent une vague d'activité partant du sommet des tiges et progressant lentement vers le bas du plant jusqu'à la base de la tige durant la période de croissance. Cette vague ne se rend pas toujours jusqu'au bout de la portion de tige enfouie. Avec les années, le diamètre au niveau du sol s'accroît tandis que celui du collet ne varie que très peu. La tige prend donc une forme d'effilement inversé. Ce phénomène serait dû en partie aux conditions nutritionnelles de la partie de tige enfouie, partie étant située sous les racines adventives et en deçà de l'échange nutritif entre les feuilles et les racines (Knight 1961). Vu les observations d'effilement inversé chez la tige enfouie d'arbres adultes d'épinette noire (Desrochers, communication personnelle) et la présence de la vague d'activité cambiale semblable à celle des pommiers chez les conifères (Kozlowski *et al.* 1991), la faible croissance en diamètre au collet des semis ayant une partie de la tige enfouie est tout à fait attendue. Il apparaît donc que la mesure du diamètre au niveau de la surface du sol soit plus appropriée afin de comparer l'effet d'un traitement sur ce paramètre.

La baisse de la croissance racinaire lors d'un plantation profonde a conduit à une diminution de la croissance en diamètre des semis, les racines adventives ne pouvant compenser cette baisse due à leur position sur la tige au-dessus de l'hypocotyle. Les racines adventives contribueraient donc d'avantage à la croissance de la tige et des parties aériennes

des semis (Sutton, 1967, McClain 1981, Paterson et Maki 1994). Et vu leur emplacement, l'avantage donnée à la partie aérienne pourraient leur bénéficier en leur permettant de capter les glucides formés et les utiliser à leur croissance avant le système racinaire initial. Cette hypothèse reste à vérifier.

La tige des jeunes semis d'épinette noire montre donc une grande facilité à former des racines adventives lorsqu'elle est enfouie (Simard 1995, les résultats de la présente étude). De plus, la présence d'un système racinaire composé presqu'exclusivement de racines adventives chez les arbres de cette espèce (LeBarron 1945, McClain 1981, Cloutier et Filion 1995, Krause, communication personnelle) montre l'importance de la formation de ces racines pour la survie des semis en forêt. La formation des racines adventives caulaires semblent être une réponse des plants à l'accumulation de matière organique et de la croissance de sphaignes autour de la tige qui surélève le niveau du sol avec les années (LeBarron 1945, Lieffers et Rothwell 1985, Cloutier et Filion 1995). Mais il n'est pas clair si ces racines peuvent conférer à l'épinette noire un avantage physique, physiologique ou écologique permettant à cette espèce de dominer et de composer en grande partie la forêt boréale de l'Amérique du nord. Surtout que d'autres espèces de conifères cohabitant avec l'épinette noire, comme le mélèze (Strong et LaRoi 1983, Lieffers et Rothwell 1986, 1987) et le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) (Krause, communication personnelle) peuvent aussi former des racines adventives. Il s'agirait plutôt d'une adaptation de l'espèce lui permettant d'occuper un spectre très large de sites présents dans la forêt boréale, allant des terrasses sablonneuses plutôt sèches jusqu'aux tourbières humides. Cette faculté d'adaptation de l'épinette noire pourrait être attribuée à la plasticité de l'espèce, particulièrement en ce qui concerne son système racinaire. Cette interprétation devrait faire l'objet d'expériences futures en vue d'en confirmer la validité.

## **CHAPITRE V**

### **CONCLUSIONS**

L'enfouissement d'une partie de la tige des semis d'épinette noire et le maintien d'un contenu en eau du substrat élevé sont donc suffisants pour entraîner la formation de racines adventives sur la tige. L'enfouissement de la tige est une condition essentielle alors que le maintien du substrat à saturation ne fait qu'accentuer le phénomène, des racines adventives s'étant quand même formées sous les conditions les plus sèches. À l'encontre de l'hypothèse émise au départ, aucune racine adventive ne se forme cependant sur l'hypocotyle, fait probablement attribuable à une différence morphologique entre ces deux parties.

Les racines adventives se sont formées autant durant la période de croissance en hauteur de la tige que durant la période de dormance, quoique leur croissance était significativement plus importante durant la seconde période, confirmant l'hypothèse de départ. Après une saison de culture dans les conditions favorables pour son développement, le système racinaire adventif ne constituaient qu'un faible pourcentage du système racinaire total, le maximum étant de 27%. Mais sa présence et sa croissance importante chez certains individus, ainsi que chez les arbres adultes tel qu'observés lors d'expériences antérieures, indiquent que le système racinaire adventif pourrait éventuellement remplacer le système racinaire initial.

Contrairement à l'hypothèse émise au départ de l'expérience, la profondeur de plantation a influencé de façon importante la croissance des semis. Une hauteur des semis plus élevée a été observée durant la période de croissance en hauteur de la tige, fait qui peut être attribuable à la présence de racines adventives durant cette phase qui suppléeraient le système racinaire original pour l'absorption de l'eau et des minéraux. Mais la perte d'une partie de la surface photosynthétique pour ces plants cause une accumulation de biomasse sèche plus faible pour tous les organes. Aussi, la protection du collet par le substrat

permettrait au plant de survivre aux grandes chaleurs, ce qui expliquerait le taux de survie supérieur des plants plantés en profondeur.

Les semis soumis à un stress hydrique continu durant tout leur cycle de croissance ont vu leur croissance diminuée de façon importante comme prévu, surtout celle en hauteur. L'effet négatif sur la croissance en hauteur serait dû à la sensibilité des plants aux changements de turgescence, l'expansion cellulaire avant la division provoquant un appel d'eau important. Afin de survivre à un stress hydrique, les semis d'épinette noire accumulent des glucides solubles, surtout dans les racines, ce qui leur permet de conserver une turgescence adéquate dans tous les tissus durant la période de croissance en hauteur de la tige. Cette accumulation de glucides solubles proviendrait surtout de l'hydrolyse de l'amidon durant cette période et de l'inutilisation de ces glucides pour la croissance, la photosynthèse ne procurant que le minimum requis au métabolisme de base des semis.

Les semis stressés ont alloué proportionnellement plus de biomasse au système racinaire après la mise en dormance des semis. Ceci a permis une exploration plus grande du substrat, et donc l'augmentation de l'absorption d'eau et des minéraux. De ce fait, il y a rétablissement des fonctions métaboliques, les semis stressés n'ayant plus de différences pour leur contenu en eau et leur contenu en glucides solubles dans tout le plant. Une hypothèse émise veut que le système racinaire initial agit comme senseur du contenu en eau du substrat en contrôlant l'ouverture des stomates par l'entremise d'hormones et affectant la biochimie du plant traduit, durant un stress, par une accumulation de glucides solubles.

Malgré de nombreuses études sur l'effet du stress hydrique sur la physiologie des semis de conifères, aucune étude ne traite, à notre connaissance, de l'effet de la présence des

racines adventives caulinaires sur celle-ci. Puisque l'épinette noire semble former aisément des racines adventives, leur présence pourrait leur conférer un avantage significatif aux plans mécanique, hydrique et nutritionnel; donc une résistance accrue à différents stress dans les différents milieux tourbeux occupés par cette espèce. Ceci reste à confirmer.

## **CHAPITRE VI**

### **RÉFÉRENCES**

- Allaire, Jacques. 1995. Communication personnelle. Agronome, Personnel des Serres, Département des sciences fondamentales, l'Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec, G7H 1B2.
- Armson, K.A. 1972. Distribution of conifer seedling roots in a nursery soil. For. Chron. June: 141-143.
- Amundson, R.G., Kohut R.J., Laurence A., Fellows S. et L.J. Colavito. 1993. Moderate water stress alters carbohydrate content and cold tolerance of red spruce foliage. Experimental and Environmental Botany 33 (3): 383-390.
- Aronen, T.S. et H.M. Häggman. 1994. Occurrence of lenticels in roots of Scots pine seedlings in different growth conditions. J. Plant Physiol. 143: 325-329.
- Blake, T.J., E. Bevilacqua et J.J. Zwiazek. 1991. Effects of repeated stress on turgor and cell elasticity changes in black spruce seedlings. Can. J. For. Res. 21: 1329-1333.
- Bradford, K.J., et T.C. Hsiao. 1990. Physiological responses to moderate water stress. In x.:264-324.
- Brix, H. 1979. Effects of water stress on photosynthesis and survival of four conifers. Can. J. For. Res. 9: 160- 165.
- Burdett, A.N. 1990. Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. Can. J. For. Res. 20: 415-427.
- Brouillette, J.G., J.P Tétreault et J. Lortie. 1987. Guide d'évaluation de la qualité des plants de reboisement produits en récipients. Gouvernement du Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources. Service de la régénération forestière. 43p.
- Burdett, A.N., D.G. Simpson et C.F. Thompson. 1983. Root development and plantation establishment success. Plant and Soil 71: 103-110.

- Burdett, A.N., L.J. Herring et C.F. Thomson. 1984. Early growth of planted spruce. Can. J. For. Res. 14: 644-651.
- Buxton, G.F., D.F. Cyr, E.B. Dumbroff et D.P. Webb. 1985. Physiological responses of three northern conifers to rapid and slow induction of moisture stress. Can. J. For. Res. 63: 1171-1176.
- Calmé, S., Margolis H.A. et F.J. Bigras. 1993. Influence of cultural practices on the relationship between frost tolerance and water content of containerized black spruce, white spruce, and jack pine seedlings. Canadian Journal of Forest Research 23: 503-511.
- Campagna, M.A., et H.A. Margolis. 1989. Influence of short term atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on growth, allocation patterns, and biochemistry of black spruce seedlings at different stages of development. Can. J. For. Res. 19: 773-782.
- Carlson, W.C., C.L. Preisig et L.C. Promnitz. 1980. Comparative root system morphologies of seeded-in-place, bareroot, and container-cultured plug Sitka spruce seedlings after outplanting. Can. J. For. Res. 10: 250-256.
- Chapin, F.S. III. 1991. Effects of Environmental multiple stresses on nutrient availability and use. In Response of plants to multiple stresses, 1991. H.A Mooney, W.E Winner and E.J. Pell, Eds. p67-88.
- Cloutier, J. et L. Filion. 1995. Analyse dendrométrique d'une frange forestière soumise à l'entourbement sur une île centrale du lac Bienville, Québec subarctique. Recueil des résumés de communications, 63 ième congrès de l'Association canadienne française pour l'avancement de la science, Université du Québec à Chicoutimi, p47.
- Colombo, S.J. 1986. Second-year shoot development in black spruce *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. container seedlings. Can. J. For. Res. 16: 68-73.
- Colombo, S.J. 1987. Changes in osmotic potential, cell elasticity, and turgor relationships of 2nd-year black spruce container seedlings. Can. J. For. Res. 17: 365-369.

- Coutts, M.P. 1987. Development processes in tree root systems. *Can. J. For. Res.* 17: 761-767.
- Coutts, M.P., C. Walker et A.C. Burnand. 1990. Effects of establishment method on root form of Lodgepole pine and Sitka spruce and on production of adventitious roots. *Forestry* 63(2): 143-159.
- Coutts, M.P. et B.C. Nicoll. 1993. Orientation of lateral roots of trees. II. Hydrotropic and gravitropic responses of lateral roots of Sitka spruce grown in air at different humidities. *New Phytol.* 124: 277-281.
- Dancause, A. 1990. Seedling production in Quebec. Paper read at Northeastern State, Federal and Provincial Nurserymen's Conference, Montreal, Quebec, July 24 to July 27. pp.7-18.
- Drapeau, J.P. 1987. Priorité: reboisement. *Forêt et Conservation*. Avril 1987. p25-33.
- Dubois, K., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers et F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Analytical Chemistry* 28(3): 350-356.
- Etter, H.M. et L.W. Carlson. 1973. Sugars, relative water content, and growth after planting of dormant lodgepole pine seedlings. *Can. J. Plant Sci.* 53: 395-399.
- Filion, L. et P. Marin. 1988. Modifications morphologiques de l'çpinette blanche soumise à la sédimentation éolienne en milieu dunaire, Québec subarctique. *Can. J. Bot.* 66: 1862-1869.
- Geiger, D.R. et J.C. Servaites. 1991. Carbon allocation and response to stress. In Response of plants to multiple stresses. 1991. H.A Mooney, W.E Winner and E.J. Pell, Eds. p104-128.
- Glerum, C. et G. Pierpoint. 1968. The influence of soil moisture defecit on seedling growth of three conifer species. *For. Chron.* 44(5): 26-29.

- Glerum, C. et G. Pierpoint. 1968. The influence of soil moisture deficit on seedling growth of three conifer species. *For. Chron.* 44(5): 26-29.
- Grönroos, R. et Sara von Arnold. 1988. Initiation of roots on hypocotyl cuttings of *Pinus sylvestris*, with emphasis on direct rooting, root elongation, and auxine uptake. *Can. J. For. Res.* 18: 1457-1462.
- Guehl, J.M., Clement A., Kaushal P. et G. Aussénac. 1993. Planting stress, water-status and non-structural carbohydrate concentrations in Corsican pine seedlings. *Tree Physiology* 12: 173-183.
- Haslemore, R.M. et P.G. Roughan. 1976. Rapid chemical analysis of some plant constituents. *J. Sci. Food Agric.* 27: 1171-1178.
- Knight, R.C. 1961. Taper and secondary thickening in stems and roots of the apple. East Malling Research Station, Annual Report, 1960, p65-71.
- Koppenaal, R.S. et S.J. Colombo. 1988. Heat tolerance of actively growing, bud-initiated, and dormant black spruce seedlings. *Can. J. For. Res.* 18: 1103-1105.
- Koppenaal, R.S., T.J. Taschaplinski et S.J. Colombo. 1991. Carbohydrate accumulation and turgor maintenance in seedling shoots and roots of two boreal conifers subjected to water stress. *Can. J. Bot.* 69(11): 2522-2528.
- Kozlowski, T.T., P.J. Kramer, et G.P. Pallardy. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press, New York, 657p.
- Kozlowski, T.T. 1992. Carbohydrate sources and sinks in woody plants. *The Botanical Review* 58(2): 107-222.
- Krause, Cornelia. 1995. Communication personnelle. Docteure, Personnel de Recherche, Département des sciences fondamentales, l'Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec, G7H 1B2.

- Kuhns, M.R., et D.H. Gjerstad. 1988. Photosynthate allocation in loblolly pine (*Pinus taeda*) seedlings as affected by moisture stress. Can. J. For. Res. 18: 285-291.
- Langlois, C.G., L. Godbout et J.A. Fortin. 1983. Seasonal variation of growth and developement of the roots of five second-year conifer species in the nursery. Plant and Soil 71: 55-62.
- Lambany, G. et C.-G. Langlois. 1987. Connaissances sur les mécanismes de croissance pour produire des plants de qualité. Carrefour de la Recherche, Québec, le 26 et 27 mars 1987. 6pp.
- Lambany, G. et C.G. Langlois. 1990. La quantification physiologique des plants: un nouvel outil pour l'amélioration des techniques culturales en pépinières. IUFRO Montréal 1990, 6pp.
- Lamhamedi, M.S. et P.-Y. Bernier. 1994. Ecophysiology and field performance of black spruce (*Picea mariana*): a review. Ann. Sci. For. 51: 529-551.
- Lamontagne, Manuel. 1994. Influence du gauchissement de la tige de l'épinette noire (*Picea mariana*(Mill.)B.S.P.) sur le redressement de la tige et la croissance des plants de plus d'un an. Mémoire présenté en exigence partielle de la Maîtrise en ressources renouvelables, à l'Université du Québec à Chicoutimi, Université du Québec.
- Langlois, C.-G. et G. Lambany. 1988. Le dosage de l'amidon est-il un critère adéquat pour qualifier les plants forestiers. Carrefour de la recherche, Québec, 8pp.
- Langlois, C.G., L. Godbout et J.A. Fortin. 1983. Seasonal variation of growth and developement of the roots of five second-year conifer species in the nursery. Plant and Soil 71: 55-62.
- Larouche, Manon. 1994. Initiation à la recherche, Module de biologie, Département des sciences fondamentales, Université du Québec à Chicoutimi. XX pp.

- LeBarron, R.K. 1945. Adjustment of black spruce root systems to increasing depth of peat. *Ecology*, 26(3): 309-311.
- Levan, M.A. et S.J. Riha. 1986. Response of root systems of northern conifer transplants to flooding. *Can. J. For. Res.* 16: 42-46.
- Lieffers, V.J., et R.J. Rothwell. 1986a. Effects of depth of water table and substrate temperature on root and top growth of *Picea mariana* and *Larix laricina* seedlings. *Can. J. For. Res.* 16: 1201-1206.
- Lieffers, V.J., et R.J. Rothwell. 1986b. Rooting of peatland black spruce and tamarack in relation to depth of water table. *Can. J. Bot.* 65: 817-821.
- Lord, D., J. Allaire et D. Gagnon. 1990. Effets du niveau de dessèchement du substrat avant le réarroisage sur le gauchissement et la croissance des semis d'épinette noire produits en récipients. Rapport de recherche, Groupe de Recherche en Productivité Végétale, Département de Sciences Fondamentales, Université du Québec à Chicoutimi, 14pp.
- Lord, D., Morissette, S. et J. Allaire. 1993. Influence de l'intensité lumineuse, de la température nocturne de l'air et de la concentration en CO<sub>2</sub> sur la croissance de semis d'épinette noire (*Picea mariana*) produits en récipients en serres. *Can. J. For. Res.* 23: 101-110.
- McClain, K.M. 1981. Growth, nutrition and root development of Ontario tubeling, plugs and 3+0 bare-root black spruce. Proc. Can. Containerized Tree Seedling Symp., September 1981, Toronto: 331-342.
- Megonigal, J.P. et F.P. Day. 1992. Effects of flooding on root and shoot production of bald cypress in large experimental enclosures. *Ecology* 73(4): 1182-1193.

- Munson, A. et V.R. Timer. 1990. Site-specific growth and nutrition of planted *Picea mariana* in the Ontario Clay Belt. III. Biomass and nutrient allocation. Can. J. For. Res. 20: 1165-1171.
- Munson, A.D. et P.-Y. Bernier. 1993. Comparing natural and planted black spruce seedlings. II. Nutrient uptake and efficiency of use. Can. J. For. Res. 23: 2435-2442.
- Nye,P.H. et P.B. Tinker. 1977. Solute movement in the soil-root system. University of California Press, Berkley.
- Örlander, G. et K. Due. 1986. Location of hydraulic resistance in the soil-plant pathway in seedlings of *Pinus sylvestris* L. grown in peat. Can. J. For. Res. 16: 115-123.
- Parent, B. 1994. Ressources et industrie forestière: rapport statistique. Ministère des Ressources Naturelles, Gouvernement du Québec. 155pp.
- Parent, B. 1993. Ressources et industrie forestière: rapport statistique. Ministère des Ressources Naturelles, Gouvernement du Québec. 99pp.
- Paterson, J.M. et D.S. Maki. 1994. Effect of initial seedling morphology and planting practices on field performance of jack pine 6 years after planting. Ontario Ministry of Resources, Ontario Forest Research Institute, Sault Ste-Marie, Ont., Forest Research Report no. 130, 15p.
- Revyako, I.V. 1975. Effect of deposits from dust storms on the growth of trees in forest belts in the Rostov region. (Résumé en Anglais; Russe) Novocherkas 16(3): 77-81.
- Richards, S.J., J.E. Warneke, A.W. Marsh et F.K. Aljibury. 1964. Physical properties of soil mixes. Paper No. 1521, Citrus Research Centre and Agricultural Experiment Station, Riverside, California, pp129-132.

- Ritchie, G.A. 1982. Carbohydrates reserves and root growth potential in Douglas-fir seedlings before and after cold storage. Can. J. For. Res. 12: 905-912.
- Schultze, P.J. 1992. The units of currency for plant water status. Plant, Cell and Environment 15 : 7-10.
- Schultze, E.-D. 1991. Water and nutrients interactions with plant water stress. In Response of plants to multiple stresses. 1991. H.A Mooney, W.E Winner and E.J. Pell, Eds. p89-103.
- Seager, N.G. et R.M. Haslemore. 1993. Rapid estimation of fruit starch and soluble sugar concentrations in Kiwifruit. HortScience 28(9): 948-950.
- Sena Gomes, A.R. et T.T. Kozlowski. 1980. Responses of *Pinus halepensis* seedlings to flooding. Can. J. For. Res. 10: 308-311.
- Simard, Luc. 1995. Développement des racines adventives sur la tige de semis d'épinettes noires (*Picea mariana* (Mill.)B.S.P.) âgés de 6 à 14 semaines. Initiation à la recherche, Module de biologie, Département des sciences fondamentales, Université du Québec à Chicoutimi. 19 pp.
- Soffer, H. et W. Burger. 1988. Effects of dissolved oxygen concentrations in aero-hydroponics on the formation and growth of adventitious roots. Journal of the American Society for Horticultural Science 113(2): 218-221.
- Stanhill, G. 1957. The effect of differences in soil-moisture status on plant growth: a review and analysis of soil moisture regime experiments. Soil Science 84: 205-214.
- Stroempl, G. 1990. Deeper planting of seedlings and transplants increases plantation survival. Tree Planter's Notes, 41(4): 17-21.
- Strong, W.L. and G.H. La Roi. 1983. Root-system morphology of common boreal forest trees in Alberta, Canada. Can J. For. Res. 13: 1164-1173.

- Sutton, R.F. 1965. Influence of planting depth on early growth of conifers. Source inconnue. 14pp.
- Sutton, R.F. 1987. Root growth capacity and field performance of jack pine and black spruce in boreal stand forest. Can. J. For. Res. 17: 794-804.
- Sutton, R.F. 1991. Soil properties and root development in forest trees: a review. Forestry Canada, Ontario region, Great Lakes Forestry Centre. Information report O-X-413, 42 pp.
- Tan, W., Blake T.B. et T.J.B. Boyle. 1992. Drought tolerance in faster- and slower-growing black spruce (*Picea mariana*) progenies: I. Stomatal and gas exchange responses to osmotic stress. Physiologia Plantarum 85: 639-644.
- Tan, W., Blake T.B. et T.J.B. Boyle. 1992. Drought tolerance in faster- and slower-growing black spruce (*Picea mariana*) progenies: II. Osmotic adjustment and changes of soluble carbohydrates and amino acids under osmotic stress. Physiologia Plantarum 85: 645-651.
- Tang, Z.C., et T.T. Kozslowski. 1983. Responses of *Pinus banksiana* and *Pinus resinosa* seedlings to flooding. Can. J. For. Res. 13: 633-639.
- Topa, M.A. et J.M. Cheeseman. 1992. Carbon and phosphorus partitioning in *Pinus serotina* growing under hypoxic and low-phosphorus conditions. Tree Physiology 10: 195-207.
- Topa, M.A. et K.W. McLeod. 1986. Responses of *Pinus clausa*, *Pinus serotina* and *Pinus taeda* seedlings to anaerobic solution culture. I. Changes in growth and root morphology. Physiol. Plantarum 68: 523-531.
- Tryon, P.R., et F.S. Chapin III. 1983. Temperature control over root growth and root biomasse in taiga forest trees. Can. J. For. Res. 13: 827-833.

- Walsh, D. 1993. Gauchissement de la tige et croissance de semis de conifères traités à l'éthylène et soumis à l'anaérobiose racinaire. Mémoire présenté en exigence partielle de la Maîtrise en ressources renouvelables, à l'Université du Québec à Chicoutimi, Université du Québec.
- Webb, W.L. et K.J. Kilpatrick. 1993. Starch content in Douglas-fir: diurnal and seasonal dynamics. *Forest Science* 39 (2): 359-367.
- Zar, J.H. 1984. Biostatistical analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 718p.
- Zine El Abidine, A., P.-Y. Bernier, J.D. Stewart et A.P. Plamondon. 1994. Water stress preconditioning of black spruce seedlings from lowland and upland sites. *Can. J. Bot.* 72: 1511-1518.
- Zobel, D.B., et J.A. Antos. 1982. Adventitious rooting of eight conifers into a volcanic tephra deposit. *Can. J. For. Res.* 12: 727-719.
- Zwiazek, J.J et T.J. Blake. 1989. Effects of preconditioning on subsequent water relations, stomatal sensitivity, and photosynthesis in osmotically stressed black spruce. *Can. J. Bot.* 67: 2240-2244.

## **ANNEXE A**

### **DONNÉES BRUTES**

### DONNÉES DES PARAMÈTRES DE CROISSANCE

BLOC	Date	CES	PRF	Pot	P1	H	D	BSR	BSA	RAD	EAU/R	EAU/A
1	8	25	Tige	15	1	241	4,35	0,79	2,39	0	86,34	72,60
1	8	25	Tige	15	2	155	1,97	0,39	1,10	0	84,64	71,44
1	8	25	Tige	15	4	123	2,22	0,37	0,89	0	77,68	64,29
1	8	25	Tige	15	5	151	1,88	0,50	0,83	0	82,48	68,73
1	8	25	Tige	15	6	165	2,25	0,30	0,83	0	76,95	67,49
1	8	25	Coll	22	1	180	2,69	0,61	1,65	0	85,89	71,56
1	8	25	Coll	22	2	120	1,60	0,40	0,53	0	84,77	69,08
1	8	25	Coll	22	3	85	1,56	0,51	0,61	0	80,19	69,99
1	8	25	Coll	22	4	230	3,29	0,66	2,16	0	86,78	72,86
1	8	25	Coll	22	5	140	1,20	0,37	1,09	0	77,23	67,41
1	8	25	Hyp	21	1	115	2,64	0,60	1,14	0	84,94	72,91
1	8	25	Hyp	21	2	140	1,74	0,44	0,76	0	78,98	66,35
1	8	25	Hyp	21	4	231	3,11	0,46	1,41	0	86,81	71,06
1	8	25	Hyp	21	5	157	3,61	0,68	1,35	0	84,42	69,95
1	8	25	Hyp	21	6	173	3,66	0,58	1,96	0	85,83	73,71
1	8	50	Tige	23	1	330	4,18	0,79	2,52	0	85,95	71,78
1	8	50	Tige	23	2	186	3,61	0,68	1,85	0	87,29	70,93
1	8	50	Tige	23	3	185	2,85	0,57	1,21	0	84,57	68,84
1	8	50	Tige	23	4	196	2,11	0,61	1,56	0	84,39	71,13
1	8	50	Tige	23	5	157	2,99	0,62	1,59	0	83,92	74,64
1	8	50	Coll	16	1	195	3,14	0,53	1,45	0	83,78	70,12
1	8	50	Coll	16	2	219	3,66	0,51	1,48	0	81,91	71,22
1	8	50	Coll	16	3	162	3,06	0,39	1,51	0	82,02	70,86
1	8	50	Coll	16	4	221	3,83	0,85	3,12	0	85,51	74,02
1	8	50	Coll	16	5	181	3,26	0,80	2,08	0	85,21	74,30
1	8	50	Hyp	20	1	180	2,79	0,67	1,45	0	84,12	70,26
1	8	50	Hyp	20	2	170	2,69	0,78	1,26	0	83,43	72,03
1	8	50	Hyp	20	3	131	1,95	0,42	0,75	0	76,29	67,40
1	8	50	Hyp	20	4	170	3,26	0,76	1,80	0	84,83	71,04
1	8	50	Hyp	20	5	189	3,30	1,01	2,80	0	86,30	71,01
1	8	75	Tige	24	1	271	3,45	0,62	2,41	0	87,83	74,21
1	8	75	Tige	24	2	320	3,98	0,83	3,31	0	88,15	73,83
1	8	75	Tige	24	3	245	2,96	0,58	2,11	0	85,76	71,45
1	8	75	Tige	24	4	294	3,61	0,70	2,72	0	85,50	72,28
1	8	75	Tige	24	5	280	4,17	1,03	3,03	0	86,37	73,41
1	8	75	Coll	17	1	234	5,68	1,07	3,29	0	85,55	74,86
1	8	75	Coll	17	2	230	3,63	0,79	2,09	0	85,76	72,47
1	8	75	Coll	17	3	260	3,61	0,86	2,81	0	86,51	73,74
1	8	75	Coll	17	4	222	4,62	0,94	2,37	0	85,47	73,41
1	8	75	Coll	17	5	236	3,88	1,04	3,11	0	84,37	74,21
1	8	75	Hyp	19	1	230	4,10	0,94	3,37	0	88,22	72,65
1	8	75	Hyp	19	2	214	4,34	0,85	2,30	0	86,36	70,94
1	8	75	Hyp	19	3	241	4,54	1,09	3,00	0	85,47	74,18
1	8	75	Hyp	19	4	222	3,72	0,77	2,59	0	83,04	73,21
1	8	75	Hyp	19	5	258	5,49	1,03	2,76	0	84,83	70,75
1	8	100	Tige	13	1	375	4,75	0,57	4,30	1	82,84	72,61

BLOC	Date	CES	PRF	Pot	P1	H	D	BSR	BSA	RAD	EAU/R	EAU/A
1	8	100	Tige	13	2	289	3,66	0,46	2,84	0	86,65	76,04
1	8	100	Tige	13	3	296	4,23	0,64	3,98	0	88,46	74,32
1	8	100	Tige	13	4	314	3,48	0,60	3,80	0	88,68	73,44
1	8	100	Tige	13	5	376	5,67	0,93	6,50	0	87,05	73,81
1	8	100	Coll	18	1	346	6,17	1,01	5,82	0	87,96	73,79
1	8	100	Coll	18	2	236	5,00	0,87	5,44	0	87,47	75,96
1	8	100	Coll	18	3	236	4,79	0,87	5,09	0	86,17	73,57
1	8	100	Coll	18	4	319	5,56	1,23	4,21	0	87,77	73,35
1	8	100	Coll	18	5	315	4,67	0,86	5,16	0	85,22	74,18
1	8	100	Hyp	14	1	392	5,49	1,10	6,14	0	88,79	74,43
1	8	100	Hyp	14	2	287	5,35	0,78	6,58	0	87,29	73,90
1	8	100	Hyp	14	3	327	5,53	1,19	6,22	0	88,81	75,13
1	8	100	Hyp	14	4	336	5,86	1,55	4,61	0	86,62	71,22
1	8	100	Hyp	14	5	312	4,43	0,78	3,49	0	88,14	73,08
1	25	25	Tige	3	1	356	5,09	1,42	3,93	0	79,49	57,94
1	25	25	Tige	3	2	250	5,19	2,01	4,57	0	78,48	54,71
1	25	25	Tige	3	3	312	4,51	1,61	3,33	0	78,85	56,68
1	25	25	Coll	4	1	112	3,42	1,01	2,22	0	72,38	57,31
1	25	25	Coll	4	2	345	5,75	3,55	5,43	0	78,78	55,48
1	25	25	Coll	4	3	252	6,47	7,15	7,23	0	79,75	59,91
1	25	25	Coll	4	4	240	5,49	2,37	4,53	0	73,30	58,41
1	25	25	Hyp	5	1	154	3,53	0,91	2,11	0	72,06	59,20
1	25	25	Hyp	5	2	179	3,55	0,80	2,05	0	73,17	62,42
1	25	25	Hyp	5	3	156	4,06	1,22	2,32	0	73,17	61,24
1	25	25	Hyp	5	4	282	7,14	5,89	8,85	0	79,89	59,07
1	25	25	Hyp	5	5	275	6,15	5,78	5,24	0	77,08	59,75
1	25	50	Tige	7	1	330	8,07	5,66	9,94	0	77,26	58,09
1	25	50	Tige	7	2	313	7,67	4,37	9,17	0	77,76	58,65
1	25	50	Tige	7	3	331	8,22	4,13	7,76	0	78,20	57,99
1	25	50	Tige	7	4	250	5,74	2,96	4,59	0	78,57	58,98
1	25	50	Tige	7	5	271	6,75	3,12	7,20	0	79,93	59,92
1	25	50	Coll	6	1	240	6,57	4,06	6,79	0	76,10	57,47
1	25	50	Coll	6	2	310	7,06	4,33	7,45	0	72,95	56,85
1	25	50	Coll	6	3	300	7,83	9,02	10,41	0	82,86	58,83
1	25	50	Coll	6	4	260	6,00	3,20	6,09	0	73,91	57,30
1	25	50	Coll	6	5	306	5,96	5,50	5,98	0	78,99	57,84
1	25	50	Hyp	12	1	330	7,07	6,71	6,63	0	80,13	59,56
1	25	50	Hyp	12	2	340	8,02	5,06	10,58	0	77,41	60,49
1	25	50	Hyp	12	3	360	7,70	6,51	10,82	0	78,92	59,03
1	25	50	Hyp	12	4	230	4,72	3,68	3,53	0	80,30	58,57
1	25	50	Hyp	12	5	310	7,70	9,18	7,84	0	82,81	57,01
1	25	75	Tige	1	1	215	4,80	1,78	3,72	3	76,45	66,01
1	25	75	Tige	1	2	360	6,63	3,90	7,85	1	80,06	58,87
1	25	75	Tige	1	3	344	7,12	3,79	10,01	2	79,91	58,80
1	25	75	Tige	1	4	334	7,70	5,00	10,81	3	81,27	59,18
1	25	75	Tige	1	5	330	7,00	3,46	7,51	4	78,89	63,14
1	25	75	Coll	9	1	320	6,58	4,16	7,38	0	73,61	56,30
1	25	75	Coll	9	2	290	7,11	3,63	6,93	0	74,65	55,83

BLOC	Date	CES	PRF	Pot	P1	H	D	BSR	BSA	RAD	EAU/R	EAU/A
1	25	75	Coll	9	3	296	7,05	5,98	7,17	0	75,58	58,16
1	25	75	Coll	9	4	338	7,62	6,05	7,37	0	78,53	57,55
1	25	75	Coll	9	5	374	8,26	7,87	11,04	0	80,02	56,13
1	25	75	Hyp	10	1	313	7,91	5,14	8,22	0	76,24	60,01
1	25	75	Hyp	10	2	363	8,90	7,30	11,13	0	79,23	57,61
1	25	75	Hyp	10	3	370	7,78	6,76	8,89	0	81,39	58,03
1	25	75	Hyp	10	4	370	9,41	8,68	14,47	0	77,92	57,65
1	25	75	Hyp	10	5	308	6,71	5,25	5,48	0	79,97	58,03
1	25	100	Tige	11	1	346	6,98	3,48	8,51	10	80,03	60,67
1	25	100	Tige	11	2	380	5,84	3,38	8,44	4	82,21	60,38
1	25	100	Tige	11	3	410	8,38	4,60	10,54	0	82,47	57,99
1	25	100	Tige	11	4	311	7,84	4,81	10,51	3	81,35	56,18
1	25	100	Tige	11	5	362	5,83	2,56	8,83	8	80,87	62,12
1	25	100	Coll	2	1	414	6,23	4,60	8,64	0	77,22	58,25
1	25	100	Coll	2	2	429	8,08	8,08	14,17	0	79,01	59,12
1	25	100	Coll	2	3	464	10,16	9,80	15,83	0	80,54	58,48
1	25	100	Coll	2	4	382	11,23	10,78	20,50	0	79,56	60,07
1	25	100	Coll	2	5	450	8,78	6,90	10,62	0	80,12	60,11
1	25	100	Hyp	8	1	372	10,90	8,47	15,35	0	78,13	58,67
1	25	100	Hyp	8	2	435	9,47	10,16	15,08	0	78,53	60,49
1	25	100	Hyp	8	3	382	8,10	6,15	14,00	0	76,77	59,13
1	25	100	Hyp	8	4	460	9,82	13,29	14,39	0	83,06	58,88
1	25	100	Hyp	8	5	372	9,67	11,29	11,42	0	82,52	58,18
2	8	25	Tige	4	1	275	3,76	0,61	2,50	0	86,20	71,89
2	8	25	Tige	4	2	155	1,89	0,24	0,87	0	81,12	70,11
2	8	25	Tige	4	4	153	1,91	0,26	0,84	0	79,49	64,19
2	8	25	Tige	4	5	291	2,88	0,55	2,10	0	86,91	70,85
2	8	25	Tige	4	6	310	3,32	0,57	3,20	0	87,41	73,71
2	8	25	Coll	5	1	180	3,12	0,55	1,61	0	87,79	76,10
2	8	25	Coll	5	2	215	2,98	0,61	2,00	0	85,06	72,16
2	8	25	Coll	5	3	145	2,79	0,52	1,23	0	86,67	73,15
2	8	25	Coll	5	4	200	2,75	0,57	1,54	0	85,90	72,83
2	8	25	Coll	5	5	170	2,47	0,63	1,40	0	86,40	74,03
2	8	25	Hyp	1	1	235	4,48	0,80	2,65	0	85,39	72,09
2	8	25	Hyp	1	2	200	3,41	0,55	1,82	0	84,44	72,84
2	8	25	Hyp	1	3	210	3,25	0,55	1,79	0	84,15	73,53
2	8	25	Hyp	1	4	170	2,53	0,45	1,39	5	79,15	73,31
2	8	25	Hyp	1	5	110	2,10	0,33	0,84	0	81,78	68,69
2	8	50	Tige	9	1	284	3,99	0,68	2,65	0	87,74	73,92
2	8	50	Tige	9	2	199	2,55	0,50	1,29	0	84,88	69,73
2	8	50	Tige	9	3	196	2,40	0,58	1,39	0	83,36	70,50
2	8	50	Tige	9	4	180	2,11	0,52	1,19	0	82,81	67,00
2	8	50	Tige	9	6	195	3,32	0,54	1,99	0	81,17	72,16
2	8	50	Coll	12	1	183	3,10	0,71	1,93	0	84,87	72,65
2	8	50	Coll	12	2	111	2,41	0,51	1,00	0	81,96	71,57
2	8	50	Coll	12	3	201	3,84	0,79	1,82	0	82,88	70,75
2	8	50	Coll	12	4	260	3,93	1,03	2,75	0	86,16	73,23
2	8	50	Coll	12	5	189	3,10	0,67	1,60	0	84,05	68,82
2	8	50	Hyp	8	1	119	1,90	0,51	0,99	0	81,03	68,50
2	8	50	Hyp	8	2	144	1,72	0,56	0,87	0	78,14	66,01

BLOC	Date	CES	PRF	Pot	P1	H	D	BSR	BSA	RAD	EAU/R	EAU/A
2	8	50	Hyp	8	4	147	2,78	0,68	1,38	0	85,20	72,90
2	8	50	Hyp	8	5	255	4,60	0,92	3,72	0	86,66	73,83
2	8	50	Hyp	8	6	262	3,74	0,67	2,17	0	86,94	73,62
2	8	75	Tige	2	1	312	3,99	0,85	3,92	2	88,36	73,21
2	8	75	Tige	2	2	270	4,43	0,70	2,48	0	86,66	73,29
2	8	75	Tige	2	3	312	3,21	0,55	2,10	0	85,16	73,62
2	8	75	Tige	2	4	246	2,81	0,61	2,06	0	88,45	73,59
2	8	75	Tige	2	5	274	2,80	0,49	1,61	0	86,84	74,74
2	8	75	Coll	10	1	180	3,43	0,50	1,69	0	87,72	73,04
2	8	75	Coll	10	2	185	2,88	0,69	1,86	0	85,51	72,78
2	8	75	Coll	10	3	280	4,16	1,06	3,88	0	86,26	72,27
2	8	75	Coll	10	4	280	3,39	0,76	2,54	0	86,18	73,59
2	8	75	Coll	10	5	218	3,47	0,93	2,11	0	84,57	74,43
2	8	75	Hyp	7	1	135	2,41	0,62	1,17	0	81,97	73,63
2	8	75	Hyp	7	2	220	3,65	0,86	2,58	0	86,61	70,98
2	8	75	Hyp	7	3	220	3,92	0,69	3,20	0	87,16	69,45
2	8	75	Hyp	7	4	230	4,37	0,76	2,99	0	85,87	75,70
2	8	75	Hyp	7	5	140	4,28	0,70	3,39	0	85,88	76,77
2	8	100	Tige	3	1	315	4,69	0,75	3,91	2	88,77	75,45
2	8	100	Tige	3	2	370	4,37	0,80	3,97	0	88,17	75,16
2	8	100	Tige	3	3	300	4,27	0,56	3,24	0	85,35	75,14
2	8	100	Tige	3	4	290	4,17	0,54	3,45	1	87,14	75,79
2	8	100	Tige	3	5	338	5,06	0,92	4,68	0	86,84	74,82
2	8	100	Coll	11	1	310	5,16	0,88	4,49	0	88,91	73,11
2	8	100	Coll	11	2	275	5,54	0,93	4,89	0	88,50	73,61
2	8	100	Coll	11	3	284	4,67	0,84	3,66	0	88,43	73,08
2	8	100	Coll	11	4	302	4,46	0,82	4,01	0	89,19	73,23
2	8	100	Coll	11	5	230	5,67	0,84	4,18	0	86,76	74,16
2	8	100	Hyp	6	1	310	5,35	0,93	5,83	0	88,64	74,11
2	8	100	Hyp	6	2	210	4,92	0,77	4,20	1	88,88	75,27
2	8	100	Hyp	6	3	260	4,22	0,81	3,76	0	87,02	74,42
2	8	100	Hyp	6	4	300	4,49	0,64	3,80	0	86,87	73,90
2	8	100	Hyp	6	5	327	5,58	0,91	3,92	0	88,63	74,76
2	25	25	Tige	31	1	165	3,23	1,49	2,35	0	77,97	58,77
2	25	25	Tige	31	2	238	4,79	2,78	4,28	0	80,03	57,46
2	25	25	Tige	31	3	198	3,51	1,46	1,94	1	81,81	59,79
2	25	25	Tige	31	4	128	2,51	0,75	1,32	0	79,24	60,49
2	25	25	Tige	31	5	287	4,76	2,55	4,40	0	81,32	56,99
2	25	25	Coll	36	1	130	4,07	1,71	2,69	0	76,83	56,27
2	25	25	Coll	36	2	298	7,21	7,71	9,56	0	80,06	55,31
2	25	25	Coll	36	3	177	4,63	2,09	3,09	0	77,65	57,86
2	25	25	Coll	36	4	320	6,12	5,31	8,55	0	79,10	55,70
2	25	25	Hyp	27	1	176	4,67	2,53	3,75	0	79,76	58,73
2	25	25	Hyp	27	2	87	2,22	0,54	0,83	0	82,95	64,48
2	25	25	Hyp	27	3	247	6,66	5,57	7,58	0	81,95	57,91
2	25	25	Hyp	27	4	307	5,24	4,58	5,70	0	77,83	56,03
2	25	50	Tige	26	1	260	7,86	4,59	7,16	2	77,34	59,15
2	25	50	Tige	26	2	148	3,33	1,26	1,75	0	79,06	59,95
2	25	50	Tige	26	3	260	5,76	3,30	5,87	1	79,09	57,93
2	25	50	Tige	26	4	231	6,44	3,75	6,82	0	75,64	56,33

BLOC	Date	CES	PRF	Pot	P1	H	D	BSR	BSA	RAD	EAU/R	EAU/A
2	25	50	Tige	26	5	318	7,85	5,17	8,08	0	78,75	57,39
2	25	50	Coll	28	1	183	4,92	3,05	4,04	0	79,17	59,12
2	25	50	Coll	28	2	192	5,75	3,86	5,08	0	78,96	58,33
2	25	50	Coll	28	3	165	4,20	1,53	2,37	0	75,80	57,94
2	25	50	Coll	28	4	140	4,07	1,64	2,32	0	76,63	58,99
2	25	50	Coll	28	5	263	6,89	5,49	5,92	0	80,12	56,52
2	25	50	Hyp	30	1	272	7,72	6,76	9,26	0	79,16	57,84
2	25	50	Hyp	30	2	267	6,93	4,43	8,15	0	77,99	59,00
2	25	50	Hyp	30	3	205	5,49	3,02	4,33	0	77,14	57,35
2	25	50	Hyp	30	4	260	6,72	5,37	6,33	0	79,68	58,35
2	25	50	Hyp	30	5	279	6,67	4,07	6,29	0	76,17	56,46
2	25	75	Tige	35	1	250	3,73	2,92	4,55	3	80,70	62,93
2	25	75	Tige	35	2	262	5,16	2,90	4,24	0	77,84	58,47
2	25	75	Tige	35	3	269	6,16	3,65	6,12	2	80,75	57,78
2	25	75	Tige	35	4	230	6,52	3,11	7,22	0	82,09	57,04
2	25	75	Tige	35	5	359	9,41	6,45	12,11	4	78,34	61,86
2	25	75	Coll	25	1	310	10,06	8,54	16,68	0	76,98	57,03
2	25	75	Coll	25	2	281	7,62	6,88	11,15	0	75,00	55,46
2	25	75	Coll	25	3	143	5,28	2,19	3,09	0	80,80	60,18
2	25	75	Coll	25	4	312	6,72	5,71	7,12	0	81,64	57,76
2	25	75	Coll	25	5	230	6,33	5,10	6,23	0	78,22	57,93
2	25	75	Hyp	33	1	235	7,09	4,32	6,72	0	80,93	62,40
2	25	75	Hyp	33	2	277	6,78	4,43	7,22	0	78,75	57,36
2	25	75	Hyp	33	3	240	6,38	4,60	6,22	0	80,22	57,10
2	25	75	Hyp	33	4	170	4,32	2,53	3,48	0	81,96	58,93
2	25	75	Hyp	33	5	218	7,09	4,14	7,95	0	80,13	56,80
2	25	100	Tige	34	1	420	9,74	5,76	14,97	3	81,45	57,53
2	25	100	Tige	34	2	350	7,04	3,54	7,85	7	83,69	62,78
2	25	100	Tige	34	3	329	8,39	6,27	13,27	1	82,33	58,53
2	25	100	Tige	34	4	360	7,88	3,27	9,23	9	84,08	65,83
2	25	100	Tige	34	5	350	7,38	4,29	9,67	1	83,89	59,30
2	25	100	Coll	29	1	300	7,35	5,15	10,75	0	80,89	58,73
2	25	100	Coll	29	2	320	8,50	7,09	13,15	0	77,60	59,93
2	25	100	Coll	29	3	448	13,07	13,90	26,22	0	79,83	61,39
2	25	100	Coll	29	4	320	6,85	5,71	8,70	0	81,42	61,22
2	25	100	Coll	29	5	300	8,80	6,97	15,37	0	80,25	60,30
2	25	100	Hyp	32	1	385	9,13	8,66	18,30	0	82,32	57,13
2	25	100	Hyp	32	2	340	9,87	5,88	14,02	0	81,24	60,93
2	25	100	Hyp	32	3	350	8,51	5,49	10,11	0	79,04	58,36
2	25	100	Hyp	32	4	350	11,44	8,45	19,44	0	81,40	58,62
2	25	100	Hyp	32	5	355	8,10	7,28	12,03	0	80,02	56,49
3	8	25	Tige	112	1	146	1,59	0,39	0,86	0	80,22	69,80
3	8	25	Tige	112	3	265	3,15	0,34	1,20	0	88,43	84,20
3	8	25	Tige	112	4	235	3,13	0,57	2,54	0	80,12	72,59
3	8	25	Tige	112	5	171	3,05	0,49	2,04	0	73,22	52,25
3	8	25	Tige	112	6	159	1,63	0,32	0,86	0	84,43	69,90
3	8	25	Coll	1110	1	85	1,54	0,45	0,53	0	78,72	40,54
3	8	25	Coll	1110	2	100	1,69	0,24	0,61	0	87,04	37,93
3	8	25	Coll	1110	3	200	3,10	0,44	1,68	0	85,09	73,13
3	8	25	Coll	1110	4	98	1,32	0,42	0,62	0	78,75	35,33

BLOC	Date	CES	PRF	Pot	P1	H	D	BSR	BSA	RAD	EAU/R	EAU/A
3	8	25	Coll	1110	5	91	1,51	0,24	0,67	0	79,61	40,55
3	8	25	Hyp	115	1	123	1,74	0,44	0,82	0	81,25	69,25
3	8	25	Hyp	115	2	89	1,38	0,40	0,62	0	78,36	43,55
3	8	25	Hyp	115	3	100	1,41	0,45	0,74	0	80,67	42,84
3	8	25	Hyp	115	5	201	2,58	0,51	1,94	0	86,12	72,55
3	8	25	Hyp	115	6	205	3,50	0,73	1,73	0	83,61	71,46
3	8	50	Tige	114	1	197	2,54	0,50	1,44	0	87,65	70,90
3	8	50	Tige	114	2	205	2,76	0,46	1,43	0	84,40	73,46
3	8	50	Tige	114	3	208	3,09	0,60	1,83	0	84,48	72,03
3	8	50	Tige	114	4	170	1,95	0,71	1,11	0	80,28	69,51
3	8	50	Tige	114	5	149	1,76	0,36	0,69	0	83,18	68,23
3	8	50	Coll	1111	1	196	3,67	0,81	1,64	0	87,35	72,74
3	8	50	Coll	1111	2	185	4,81	1,29	2,54	0	86,72	70,24
3	8	50	Coll	1111	3	165	2,21	0,61	1,02	0	83,55	68,73
3	8	50	Coll	1111	4	214	3,01	0,72	1,73	0	84,98	70,70
3	8	50	Coll	1111	5	197	3,78	0,98	2,73	0	85,34	71,67
3	8	50	Hyp	118	1	220	3,09	0,71	1,69	0	85,21	70,77
3	8	50	Hyp	118	2	155	2,70	0,54	1,23	0	84,27	70,50
3	8	50	Hyp	118	3	172	2,60	0,65	1,21	0	82,52	69,00
3	8	50	Hyp	118	4	210	2,94	0,56	1,53	0	83,17	72,36
3	8	50	Hyp	118	5	239	3,33	0,87	2,59	0	85,82	73,96
3	8	75	Tige	119	1	234	3,70	1,09	2,85	1	87,81	73,89
3	8	75	Tige	119	2	254	2,73	0,71	1,80	0	82,97	73,30
3	8	75	Tige	119	3	273	3,21	0,71	2,34	0	85,91	71,57
3	8	75	Tige	119	4	274	2,88	0,75	1,65	0	86,19	72,68
3	8	75	Tige	119	5	270	2,87	0,59	2,21	0	86,02	70,96
3	8	75	Coll	113	1	230	3,51	0,92	2,39	0	87,54	74,42
3	8	75	Coll	113	2	282	3,42	0,70	2,20	0	88,02	75,15
3	8	75	Coll	113	3	197	3,44	0,78	2,43	0	86,98	75,32
3	8	75	Coll	113	4	271	4,06	0,91	2,70	0	83,92	75,30
3	8	75	Coll	113	5	230	3,96	0,70	3,11	0	84,28	75,69
3	8	75	Hyp	1112	1	315	4,47	1,02	3,91	0	85,89	74,10
3	8	75	Hyp	1112	2	224	3,60	0,79	2,74	0	85,81	72,94
3	8	75	Hyp	1112	3	232	4,29	0,87	1,89	0	85,34	72,38
3	8	75	Hyp	1112	4	169	2,03	0,29	1,43	4	72,62	68,96
3	8	75	Hyp	1112	5	209	3,87	0,83	1,85	0	80,88	71,21
3	8	100	Tige	111	1	326	4,10	0,67	3,31	0	86,06	74,60
3	8	100	Tige	111	2	310	4,46	0,68	3,96	1	88,34	76,31
3	8	100	Tige	111	3	305	4,16	0,60	2,85	0	86,60	75,89
3	8	100	Tige	111	4	375	4,91	0,81	4,47	2	86,47	76,58
3	8	100	Tige	111	5	389	5,43	0,95	4,06	8	86,06	76,69
3	8	100	Coll	116	1	300	5,25	0,82	4,42	0	88,57	73,65
3	8	100	Coll	116	2	301	5,45	1,14	5,23	0	88,23	74,93
3	8	100	Coll	116	3	345	6,23	1,21	6,43	0	88,23	75,13
3	8	100	Coll	116	4	280	5,21	1,21	5,15	0	87,87	75,44
3	8	100	Coll	116	5	325	5,22	1,15	6,90	0	87,56	74,69
3	8	100	Hyp	117	1	365	5,60	1,05	5,28	0	89,43	76,17
3	8	100	Hyp	117	2	411	5,48	0,92	5,18	0	86,34	73,02
3	8	100	Hyp	117	3	363	4,48	0,82	4,31	1	86,79	74,28
3	8	100	Hyp	117	4	350	6,32	1,22	5,83	0	85,24	74,45

BLOC	Date	CES	PRF	Pot	P1	H	D	BSR	BSA	RAD	EAU/R	EAU/A
3	8	100	Hyp	117	5	341	5,46	0,88	4,90	0	85,82	73,29
3	25	50	Tige	23	1	273	6,44	4,79	6,85	0	77,45	54,77
3	25	50	Tige	23	2	155	3,83	0,99	2,11	0	79,98	49,13
3	25	50	Tige	23	3	160	3,99	1,63	2,01	0	77,78	54,51
3	25	50	Tige	23	4	252	5,57	2,31	3,99	0	78,51	56,59
3	25	50	Coll	17	1	229	6,28	3,81	6,05	0	75,64	55,01
3	25	50	Coll	17	2	182	5,77	4,24	4,16	0	78,82	55,42
3	25	50	Coll	17	3	130	4,81	2,04	2,53	0	75,56	55,89
3	25	50	Coll	17	4	212	5,70	2,39	3,26	0	75,88	55,50
3	25	50	Hyp	18	2	169	4,60	1,57	2,75	0	75,51	52,62
3	25	50	Hyp	18	3	173	5,29	3,15	4,09	0	77,45	56,07
3	25	50	Hyp	18	4	220	5,43	3,00	3,69	0	75,89	55,42
3	25	50	Hyp	18	5	140	4,61	2,07	3,21	0	77,97	54,52
3	25	50	Hyp	18	1	230	5,83	3,91	4,91	0	79,12	53,89
3	25	75	Tige	19	1	202	5,17	2,43	3,70	0	77,42	55,69
3	25	75	Tige	19	2	204	3,93	1,75	2,52	0	77,53	55,16
3	25	75	Tige	19	3	273	6,08	3,14	5,30	0	79,56	55,75
3	25	75	Tige	19	4	365	8,75	5,13	9,20	0	78,83	55,31
3	25	75	Tige	19	5	373	6,85	6,28	7,19	0	80,26	56,20
3	25	75	Coll	24	1	300	6,30	4,71	6,47	1	79,89	58,87
3	25	75	Coll	24	2	305	6,42	4,49	5,97	0	79,41	55,26
3	25	75	Coll	24	3	247	4,69	3,11	4,15	1	76,90	55,23
3	25	75	Coll	24	4	332	7,41	4,41	8,11	0	80,84	55,59
3	25	75	Coll	24	5	205	5,26	3,14	5,54	0	79,33	54,60
3	25	75	Hyp	13	1	320	9,35	10,72	15,14	0	79,30	59,41
3	25	75	Hyp	13	2	326	8,03	6,68	10,47	0	87,10	57,09
3	25	75	Hyp	13	3	278	6,32	2,89	5,54	0	74,74	57,16
3	25	75	Hyp	13	4	221	4,79	2,87	4,01	0	78,14	57,19
3	25	75	Hyp	13	5	258	6,58	3,82	5,24	0	76,29	55,10
3	25	100	Tige	22	1	352	9,56	5,67	11,64	0	81,81	55,82
3	25	100	Tige	22	2	361	5,49	6,16	6,02	1	61,92	58,53
3	25	100	Tige	22	3	370	8,33	5,69	8,83	1	82,04	57,12
3	25	100	Tige	22	4	445	9,91	5,34	11,08	1	81,26	56,50
3	25	100	Tige	22	5	421	8,22	5,60	15,15	5	79,83	59,48
3	25	100	Coll	15	1	391	9,29	9,66	14,60	0	81,66	58,47
3	25	100	Coll	15	2	337	11,09	10,23	16,94	0	79,29	57,75
3	25	100	Coll	15	3	305	7,74	5,27	10,71	0	75,44	56,59
3	25	100	Coll	15	4	360	7,82	7,47	12,67	0	78,95	56,54
3	25	100	Coll	15	5	320	8,47	7,87	12,64	0	78,30	57,99
3	25	100	Hyp	14	1	425	10,52	7,59	14,70	2	79,35	59,67
3	25	100	Hyp	14	2	382	9,99	9,96	18,27	0	78,91	57,83
3	25	100	Hyp	14	3	361	8,22	6,39	11,23	0	79,72	58,40
3	25	100	Hyp	14	4	343	7,28	5,79	8,52	0	82,31	56,24
3	25	100	Hyp	14	5	380	9,89	10,49	17,28	0	76,64	57,77
4	8	25	Tige	32	1	199	2,97	0,53	1,75	0	84,96	72,02
4	8	25	Tige	32	2	202	2,38	0,54	1,31	0	84,06	69,91
4	8	25	Tige	32	3	195	2,30	0,40	1,38	0	86,22	69,77
4	8	25	Tige	32	4	172	1,58	0,29	0,85	0	83,27	71,79
4	8	25	Tige	32	5	180	2,58	0,54	1,42	0	83,52	69,28
4	8	25	Coll	35	1	56	1,61	0,19	0,34	0	77,13	39,68

BLOC	Date	CES	PRF	Pot	P1	H	D	BSR	BSA	RAD	EAU/R	EAU/A
4	8	25	Coll	35	2	140	2,48	0,43	1,17	0	85,88	69,19
4	8	25	Coll	35	3	190	2,67	0,54	1,46	0	86,13	72,28
4	8	25	Coll	35	4	129	2,00	0,29	0,74	0	82,61	67,72
4	8	25	Coll	35	5	120	1,75	0,30	0,73	0	83,02	70,03
4	8	25	Hyp	34	1	250	3,41	0,88	2,19	0	85,26	74,64
4	8	25	Hyp	34	2	159	1,90	0,45	1,04	0	80,79	67,75
4	8	25	Hyp	34	3	105	1,46	0,28	0,63	0	78,48	29,36
4	8	25	Hyp	34	4	130	1,66	0,27	0,69	0	82,75	68,31
4	8	25	Hyp	34	5	115	2,67	0,61	1,12	0	82,76	69,39
4	8	50	Tige	36	1	127	2,98	0,43	2,08	0	86,04	70,03
4	8	50	Tige	36	2	134	1,46	0,46	0,99	0	81,16	65,06
4	8	50	Tige	36	3	210	2,29	0,35	1,28	0	83,28	67,33
4	8	50	Tige	36	4	148	1,78	0,32	0,95	0	79,67	66,92
4	8	50	Tige	36	5	155	1,87	0,17	0,89	0	80,66	64,31
4	8	50	Coll	27	1	204	3,44	0,65	1,55	0	87,69	74,16
4	8	50	Coll	27	2	155	2,50	0,69	1,28	0	83,26	69,54
4	8	50	Coll	27	3	152	2,99	0,63	1,39	0	87,08	73,45
4	8	50	Coll	27	4	156	2,38	0,44	1,13	0	83,74	70,60
4	8	50	Coll	27	5	150	2,95	0,83	1,61	0	84,94	71,08
4	8	50	Hyp	31	1	40	1,63	0,44	0,84	0	82,15	70,01
4	8	50	Hyp	31	2	195	3,39	0,88	2,06	0	85,09	70,74
4	8	50	Hyp	31	3	168	2,75	0,63	1,27	0	86,26	70,76
4	8	50	Hyp	31	4	145	2,00	0,47	0,87	0	82,79	70,42
4	8	50	Hyp	31	5	182	3,09	0,69	1,42	0	83,68	69,04
4	8	75	Tige	29	1	300	4,61	0,72	3,09	0	86,39	75,01
4	8	75	Tige	29	2	308	3,35	0,58	2,91	1	85,72	71,45
4	8	75	Tige	29	3	252	3,37	0,61	2,12	0	83,56	70,52
4	8	75	Tige	29	4	257	3,18	0,63	2,43	0	84,15	72,96
4	8	75	Tige	29	5	240	3,03	0,47	2,49	0	86,80	72,40
4	8	75	Coll	30	1	234	3,56	0,81	2,39	0	87,22	72,97
4	8	75	Coll	30	2	266	4,48	1,00	3,47	0	86,64	73,75
4	8	75	Coll	30	3	267	4,16	1,00	3,13	0	85,85	73,30
4	8	75	Coll	30	4	215	3,19	0,68	2,55	0	86,48	73,58
4	8	75	Coll	30	5	187	3,42	0,67	1,61	0	84,11	70,97
4	8	75	Hyp	33	1	257	4,88	0,94	2,71	0	85,57	71,32
4	8	75	Hyp	33	2	215	3,59	0,76	2,52	0	85,10	71,17
4	8	75	Hyp	33	3	230	4,10	0,77	3,29	0	85,92	73,85
4	8	75	Hyp	33	4	310	5,43	1,07	3,43	0	87,27	74,15
4	8	75	Hyp	33	5	240	4,63	0,92	3,82	0	85,72	73,39
4	8	100	Tige	28	1	375	4,12	0,73	3,73	0	89,83	75,99
4	8	100	Tige	28	2	345	4,21	1,12	4,68	4	86,27	74,86
4	8	100	Tige	28	3	292	3,94	0,60	3,23	1	88,00	75,06
4	8	100	Tige	28	4	320	4,94	0,79	4,17	1	87,33	75,56
4	8	100	Tige	28	5	432	6,00	0,76	6,63	2	84,74	73,88
4	8	100	Coll	26	1	311	6,25	1,39	6,41	0	90,32	75,02
4	8	100	Coll	26	2	290	5,46	1,18	6,17	0	90,05	74,40
4	8	100	Coll	26	3	310	5,04	1,00	6,16	0	88,26	74,27
4	8	100	Coll	26	4	330	5,50	1,33	6,51	0	87,73	73,42
4	8	100	Coll	26	5	205	3,76	0,68	3,15	0	87,74	75,25
4	8	100	Hyp	25	1	244	5,06	0,84	4,26	0	90,09	73,93

BLOC	Date	CES	PRF	Pot	P1	H	D	BSR	BSA	RAD	EAU/R	EAU/A
4	8	100	Hyp	25	2	210	4,33	0,96	4,62	0	88,91	76,60
4	8	100	Hyp	25	3	350	5,08	0,98	4,89	0	88,50	74,72
4	8	100	Hyp	25	4	372	5,67	1,01	5,77	0	87,69	75,09
4	8	100	Hyp	25	5	253	4,01	0,72	3,25	0	86,47	71,07
4	25	25	Tige	15	1	155	2,49	0,48	1,13	0	77,50	53,69
4	25	25	Tige	15	2	175	3,08	1,02	1,71	1	77,76	53,45
4	25	25	Tige	15	3	160	2,50	0,53	1,15	0	75,47	56,18
4	25	25	Tige	15	4	240	3,96	1,38	2,69	0	75,48	53,86
4	25	50	Tige	14	1	170	3,30	0,89	1,74	2	77,61	57,56
4	25	50	Tige	14	2	230	4,92	2,67	4,74	0	75,58	54,75
4	25	50	Tige	14	3	191	5,35	3,21	5,40	0	77,10	57,65
4	25	50	Tige	14	4	222	2,92	0,72	2,00	0	78,01	56,21
4	25	50	Tige	14	5	215	4,94	2,55	4,35	0	79,25	55,11
4	25	50	Coll	20	1	210	6,49	4,82	5,84	0	76,04	54,75
4	25	50	Coll	20	2	160	4,56	2,12	2,43	0	75,64	62,81
4	25	50	Coll	20	3	235	6,20	3,72	5,99	0	73,79	54,16
4	25	50	Coll	20	4	170	4,50	2,64	2,55	0	79,25	55,16
4	25	50	Coll	20	5	214	5,98	2,96	3,32	0	77,25	54,89
4	25	50	Hyp	22	1	225	5,58	4,32	4,76	0	79,88	56,90
4	25	50	Hyp	22	2	292	4,68	3,29	4,70	0	77,92	55,60
4	25	50	Hyp	22	3	201	5,26	3,07	4,73	0	77,06	56,00
4	25	50	Hyp	22	4	220	5,71	4,12	4,62	0	78,22	57,09
4	25	50	Hyp	22	5	166	3,96	2,03	2,43	0	74,60	57,75
4	25	75	Tige	17	1	255	6,54	2,73	5,17	0	77,17	57,75
4	25	75	Tige	17	2	250	4,93	3,02	4,13	0	79,84	57,32
4	25	75	Tige	17	3	320	9,64	8,33	10,35	2	81,42	59,01
4	25	75	Tige	17	4	270	4,85	2,57	4,40	2	76,39	58,87
4	25	75	Tige	17	5	338	7,58	6,39	9,62	0	80,20	58,27
4	25	75	Coll	23	1	325	9,29	9,63	12,86	0	79,53	56,68
4	25	75	Coll	23	2	280	5,60	3,07	4,65	0	78,90	59,04
4	25	75	Coll	23	3	252	7,27	7,53	8,45	0	79,74	56,87
4	25	75	Coll	23	4	180	7,41	5,01	7,13	0	77,68	55,31
4	25	75	Coll	23	5	172	5,76	3,66	4,42	0	79,09	57,19
4	25	75	Hyp	19	1	250	6,36	4,50	6,01	0	75,57	55,40
4	25	75	Hyp	19	2	239	5,50	4,05	5,39	0	79,39	58,63
4	25	75	Hyp	19	3	262	5,14	2,53	6,02	3	77,48	68,38
4	25	75	Hyp	19	4	330	7,31	4,72	8,40	0	77,08	55,77
4	25	75	Hyp	19	5	330	8,29	8,55	12,79	0	81,10	56,31
4	25	100	Tige	24	1	320	7,51	4,20	9,06	0	80,31	56,49
4	25	100	Tige	24	2	350	8,30	6,76	11,32	0	81,40	54,72
4	25	100	Tige	24	3	362	9,11	8,02	15,58	6	79,89	59,59
4	25	100	Tige	24	4	360	7,79	3,85	9,33	8	80,69	61,26
4	25	100	Tige	24	5	402	7,30	5,13	8,28	0	81,73	55,63
4	25	100	Coll	18	1	460	10,94	10,72	20,52	0	77,38	58,68
4	25	100	Coll	18	2	270	7,83	7,64	11,05	0	81,88	56,00
4	25	100	Coll	18	3	381	9,84	10,85	18,90	0	79,03	58,44
4	25	100	Coll	18	4	270	7,24	7,23	11,48	0	78,66	57,63
4	25	100	Coll	18	5	330	8,45	8,98	14,47	0	79,33	58,95
4	25	100	Hyp	16	1	412	10,35	10,65	17,96	0	81,53	58,71
4	25	100	Hyp	16	2	327	7,79	8,84	13,04	0	80,70	57,78

4	25	100	Hyp	16	3	353	7,10	6,60	10,59	0	79,48	56,44
4	25	100	Hyp	16	4	362	9,93	11,28	17,14	0	78,33	54,82
4	25	100	Hyp	16	5	402	7,44	6,39	12,75	0	78,83	55,89

### DONNÉES DES PARAMÈTRES BIOCHIMIQUES

BLOC	Date	CES	PRF	GLU/AI	AMI/AI	GLU/T	AMI/T	GLU/R	AMI/R	EAU/A	EAU/R
1	8	25	COLL	18.01	10.72	16.25	11.48	23.98	12.48	70.01	83.25
1	8	25	HYP	17.63	13.81	15.16	13.27	25.27	11.49	68.80	84.43
1	8	25	TIGE	18.01	10.71	16.61	12.11	26.30	13.52	68.19	82.54
1	8	50	COLL	14.84	16.06	14.92	13.98	20.02	15.68	71.14	84.01
1	8	50	HYP	15.13	13.51	15.92	12.72	20.32	14.88	71.48	82.86
1	8	50	TIGE	15.19	13.80	13.69	15.30	21.36	17.34	73.38	85.39
1	8	75	COLL	14.95	13.65	14.66	13.94	15.52	15.91	72.95	85.71
1	8	75	HYP	14.69	12.34	14.65	12.38	13.14	13.60	74.16	85.10
1	8	75	TIGE	15.34	15.62	13.23	17.74	12.43	18.21	74.00	85.59
1	8	100	COLL	14.52	13.93	13.15	15.30	12.12	16.81	73.88	86.72
1	8	100	HYP	15.01	16.40	13.33	16.07	11.26	17.42	74.68	87.04
1	8	100	TIGE	14.51	13.88	13.02	15.37	13.84	17.34	75.55	87.16
1	25	25	COLL	23.52	21.32	20.76	20.14	20.59	20.35	53.22	76.84
1	25	25	HYP	26.89	23.99	21.21	21.22	26.21	22.41	54.99	75.54
1	25	25	TIGE	24.60	22.18	20.67	20.98	23.32	21.95	56.61	78.04
1	25	50	COLL	26.57	22.27	21.39	21.48	24.18	24.27	58.09	77.44
1	25	50	HYP	26.17	21.62	22.81	23.49	27.45	22.81	58.31	78.47
1	25	50	TIGE	24.60	19.48	21.41	25.50	26.21	25.27	57.41	76.56
1	25	75	COLL	23.86	22.59	20.53	21.17	25.77	20.66	59.68	78.50
1	25	75	HYP	24.25	22.08	20.39	20.72	21.11	20.18	59.04	78.98
1	25	75	TIGE	24.34	21.19	24.43	25.55	24.25	20.22	60.20	79.12
1	25	100	COLL	23.45	21.08	21.96	22.81	26.82	25.11	60.75	80.50
1	25	100	HYP	24.94	20.65	20.67	20.94	24.47	20.21	60.53	80.06
1	25	100	TIGE	22.52	20.07	19.15	19.81	27.65	24.53	60.65	80.56
2	8	25	COLL	17.46	12.98	17.74	11.70	25.91	12.97	71.88	85.26
2	8	25	HYP	17.65	13.95	14.77	13.83	24.98	14.02	68.90	83.27
2	8	25	TIGE	16.91	15.21	15.46	10.65	25.46	11.72	67.05	84.47
2	8	50	COLL	15.79	16.80	14.96	17.63	20.97	17.45	71.06	84.07
2	8	50	HYP	14.87	12.20	16.81	13.26	20.02	13.01	72.03	85.38
2	8	50	TIGE	15.20	13.84	15.03	14.01	20.51	15.20	73.73	85.59
2	8	75	COLL	16.18	14.78	14.00	14.95	12.32	16.17	72.58	86.12
2	8	75	HYP	15.43	16.07	13.26	17.25	14.73	17.36	73.98	86.29
2	8	75	TIGE	15.30	15.38	12.44	14.24	12.95	15.56	75.38	86.77
2	8	100	COLL	14.66	14.66	12.87	16.45	11.81	18.75	73.58	87.94
2	8	100	HYP	13.76	15.17	14.68	13.25	13.10	14.85	75.30	88.21
2	8	100	TIGE	14.33	13.02	13.44	13.92	12.66	15.46	76.06	87.57
2	25	25	COLL	25.52	21.32	20.76	20.14	20.59	20.35	51.90	78.55
2	25	25	HYP	26.89	23.99	21.21	21.22	26.21	22.41	55.45	78.21
2	25	25	TIGE	24.90	22.18	20.67	20.98	23.32	21.95	58.30	76.68
2	25	50	COLL	26.37	22.27	21.39	21.48	24.18	24.27	58.72	77.80
2	25	50	HYP	26.17	21.62	22.81	23.49	27.45	22.81	58.31	79.79
2	25	50	TIGE	25.30	19.48	21.41	25.50	26.21	25.27	57.61	78.21
2	25	75	COLL	24.06	22.59	20.53	21.17	25.77	20.66	60.61	79.94
2	25	75	HYP	24.38	22.08	20.39	20.72	21.11	20.18	59.77	79.65
2	25	75	TIGE	24.34	21.19	24.43	25.55	24.25	20.22	59.37	79.79
2	25	100	COLL	23.45	21.08	21.96	22.81	26.82	25.11	61.61	80.75
2	25	100	HYP	23.97	20.65	20.67	20.94	24.47	20.21	60.45	77.96
2	25	100	TIGE	22.36	20.07	19.15	19.81	27.65	24.53	60.69	81.13
3	8	25	COLL	15.85	14.94	14.05	13.75	24.09	15.23	60.05	82.38

BLOC	Date	CES	PRF	GLU/AI	AMI/AI	GLU/T	AMI/T	GLU/R	AMI/R	EAU/A	EAU/R
3	8	25	HYP	18.08	11.09	17.05	11.83	26.19	13.18	67.78	83.52
3	8	25	TIGE	17.36	12.46	15.84	13.98	23.92	10.71	69.93	82.76
3	8	50	COLL	15.35	14.58	17.19	12.74	21.15	13.93	69.74	83.84
3	8	50	HYP	15.49	15.28	15.09	15.67	21.25	17.22	68.83	83.89
3	8	50	TIGE	16.11	13.42	13.57	15.97	20.99	17.86	68.18	82.98
3	8	75	COLL	15.55	16.66	15.98	16.23	13.04	18.53	72.47	85.13
3	8	75	HYP	15.29	15.37	16.01	14.06	12.83	15.34	69.56	84.26
3	8	75	TIGE	14.91	13.45	14.45	13.91	13.37	15.32	69.84	85.49
3	8	100	COLL	13.19	12.29	11.83	13.65	11.03	15.78	73.40	86.25
3	8	100	HYP	14.67	14.71	12.99	16.39	13.03	15.23	70.64	85.73
3	8	100	TIGE	14.46	13.63	15.67	12.42	12.75	13.87	78.84	87.38
3	25	25	COLL								
3	25	25	HYP								
3	25	25	TIGE								
3	25	50	COLL	26.57	22.27	21.39	21.48	24.18	24.27	54.00	76.57
3	25	50	HYP	26.17	21.62	22.81	23.49	27.45	22.81	57.48	76.40
3	25	50	TIGE	24.60	19.48	21.41	25.50	26.21	25.27	58.20	77.92
3	25	75	COLL	24.06	22.59	20.53	21.17	25.77	20.66	54.00	78.04
3	25	75	HYP	24.38	22.08	20.39	20.72	21.11	20.18	57.48	78.82
3	25	75	TIGE	24.34	21.19	24.43	25.55	24.25	20.22	58.20	78.18
3	25	100	COLL	23.45	21.08	21.96	22.81	26.82	25.11	55.08	79.93
3	25	100	HYP	22.64	20.65	20.67	20.94	24.47	20.21	58.41	80.33
3	25	100	TIGE	22.52	20.07	19.15	19.81	27.65	24.53	59.20	79.30
4	8	25	COLL	17.23	11.83	15.03	12.03	26.09	13.37	67.95	82.93
4	8	25	HYP	16.50	13.19	18.67	11.03	25.59	12.97	65.55	82.35
4	8	25	TIGE	17.69	14.12	17.93	13.88	26.74	15.55	67.85	85.04
4	8	50	COLL	14.74	16.53	15.40	15.87	21.15	17.95	69.95	84.62
4	8	50	HYP	15.16	13.65	13.91	13.90	19.69	16.04	70.68	84.17
4	8	50	TIGE	14.88	12.27	14.38	12.77	21.81	14.60	69.73	83.57
4	8	75	COLL	14.98	13.80	13.74	15.04	15.08	17.12	70.70	85.10
4	8	75	HYP	15.43	16.05	12.48	18.99	14.42	16.08	72.14	86.19
4	8	75	TIGE	14.94	13.59	14.77	12.75	15.81	14.71	72.62	85.22
4	8	100	COLL	14.44	13.54	13.60	14.38	14.17	16.35	71.86	87.17
4	8	100	HYP	15.07	16.71	13.15	16.63	13.11	18.51	73.23	86.86
4	8	100	TIGE	14.17	12.18	12.43	13.91	13.09	15.57	73.39	86.98
4	25	25	COLL								
4	25	25	HYP								
4	25	25	TIGE	24.60	22.18	20.67	20.98	23.32	21.95	53.18	78.44
4	25	50	COLL	26.57	22.27	21.39	21.48	24.18	24.27	55.52	76.89
4	25	50	HYP	26.17	21.62	22.81	23.49	27.45	22.81	55.36	75.61
4	25	50	TIGE	24.60	19.48	21.41	25.50	26.21	25.27	57.30	79.56
4	25	75	COLL	23.86	22.59	20.53	21.17	25.77	20.66	58.18	79.18
4	25	75	HYP	24.25	22.08	20.39	20.72	21.11	20.18	57.29	77.23
4	25	75	TIGE	24.34	21.19	24.43	25.55	24.25	20.22	57.81	77.96
4	25	100	COLL	23.45	21.08	21.96	22.81	26.82	25.11	59.02	80.11
4	25	100	HYP	24.94	20.65	20.67	20.94	24.47	20.21	58.22	80.30
4	25	100	TIGE	22.52	20.07	19.15	19.81	27.65	24.53	59.06	80.80