

## INFLUENCE DE QUELQUES FACTEURS SUR LE BOUTURAGE HERBACÉ DU PEUPLIER BLANC (*Populus alba* L.). 2 : EFFETS D'INTERACTIONS FACTORIELLES

A. HARFOUCHE<sup>1,2</sup>, N. BAOUNE<sup>1</sup>, H. MERAZGA<sup>1</sup>

1 - INRF, Réseau de recherches en génétique et amélioration des arbres forestiers.

2 - Pour correspondance.

### RÉSUMÉ

Le présent travail a permis de montrer que le substrat utilisé n'interagit avec aucun des autres facteurs d'enracinement explorés, en particulier l'origine des boutures, la période de récolte des boutures et le traitement hormonal aux auxines. Par contre, des interactions significatives sont observées entre l'origine des boutures, la période de récolte et les traitements hormonaux, notamment en ce qui concerne l'intensité de l'enracinement (exprimé en nombres de racines par bouture). L'efficacité des différents traitements hormonaux est fonction aussi bien de la période de récolte des boutures que de leur origine (drageon ou rameau de réitération) ; les concentrations faibles d'auxine seraient plus efficaces sur un type de bouture récolté à une période donnée alors que les fortes concentrations auraient un effet plus marqué sur l'autre type récolté à une période différente.

*Mots Clés* : peuplier blanc, bouturage herbacé, interaction factorielle.

### SUMMARY

Our work showed the rooting substrate do not interact with other rooting factors such as the source of cuttings, the period of collection and IBA treatments in white poplar softwood cutting. On the other hand, interactions between the source of cuttings, the period of collection and IBA treatments occurred, above all regarding the intensity of rooting (the number of roots/cutting). The efficiency of different IBA treatments also depend on the period of cutting and the source of cuttings; low concentrations IBA would work better with certain types of cuttings collected in certain period, when higher IBA concentrations would be more conclusive in other circumstances.

*Key Words* : white polar, softwood cutting, interaction between rooting factors.

## INTRODUCTION

Dans l'article précédent sur les effets factoriels principaux et, particulièrement quand il s'est agi des traitements hormonaux, nous avons perçu la nécessité de soulever la question des interactions

susceptibles d'exister entre les différents facteurs dont nous avons analysé les effets propres sur l'aptitude à la rhizogénèse des boutures herbacées de peuplier blanc. Les développements qui sont rapportés dans ce deuxième article, concernent justement ces interactions factorielles.

Celles-ci doivent être replacées dans leur contexte ; les interactions dont il est question sont, avant tout, d'ordre statistique et leur donner un sens biologique peut paraître risqué ou hasardeux. En outre, il faut distinguer les interactions vraies - avec changement de classement entre modalités de facteurs - des pseudo-interactions - sans changements de classement entre modalités de facteurs. Les interactions entre facteurs, lorsqu'elles existent, compliquent l'interprétation des effets principaux des facteurs que l'on veut contrôler. Dans un tel contexte, on ne peut considérer l'effet d'un facteur indépendamment de ceux des autres facteurs avec lesquels il interagit. Les interactions rendent difficiles la prédiction des résultats d'un essai dans lequel deux ou plusieurs facteurs contrôlés sont impliqués sous différentes modalités ; deux modalités d'un facteur peuvent engendrer des résultats différents en présence de telle ou de telle autre modalité d'un deuxième facteur. Des interactions entre facteurs de bouturage ont été signalées à maintes reprises chez les arbres forestiers (RAUTER, 1983 ; WILSON & VAN STADEN, 1990 ; THOMPSON, 1992 ; STANKOVA, 1997 ; ZALESNY *et al.*, 2003 ; HUSEN, 2004). Les auxines notamment interagissent avec des facteurs comme la lumière ou la teneur en substances hydrocarbonées dans l'arbre, paramètres qui varient avec la période de bouturage ou la position de la pousse sur l'arbre.

Dans cet article, sont étudiées les interactions entre le substrat, l'origine des boutures, la période de bouturage et le traitement hormonal.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Matériel végétal et conditions de bouturage

Le matériel végétal utilisé est constitué de boutures herbacées de drageons, rejets de souche, rameaux de réitération et boutures racinées de 1

an. Ce matériel provient de peupliers blancs de quatre stations de la région d'Alger : (1) Oued Béni Messous, à hauteur de la station NAFTAL de Chéraga, (2) Oued Bougandoura, au lieu-dit "le Marabout", dans la région de la réserve de chasse de Zéralda-Mahelma, (3) Domaine Abziou, au nord de la ville de Douéra, et (4) Oued El Harrach, à hauteur de l'autopont de Gué de Constantine. La peupleraie de l'oued Beni Messous est le principal lieu de récolte pour les divers essais factoriels.

Des pots plastiques en tronc de cône au fond perforé (6.5 cm x 10 cm x 8 cm) ont été employés comme conteneurs. L'ensemble est placé dans une serre équipée d'un système de brumisation mis en marche de 8 h à 20 h à raison d'un jet de 30 secondes toutes les 20 minutes. Pour plus de détails, se référer à l'article précédent (HARFOUCHE *et al.*) dans la même revue.

### Facteurs et traitements étudiés en interaction

La démarche retenue est de type factoriel qui permet d'estimer et de tester les effets d'interaction entre les facteurs.

*Type de substrat.* Deux types de substrat ont été testés : (i) Sable fin de rivière (0.2 mm) et (2) Gravier (3-5 mm). Ces substrats sont lavés et stérilisés (eau de javel + bénomyl 1 g/l) afin d'éliminer la matière fine (limon et argiles) et les débris organiques, d'une part, et d'éventuelles spores cryptogamiques ou des germes bactériens, d'autre part. On a employé 150 répétitions par type de substrat. Des pots plastiques en tronc de cône au fond perforé (6.5 cm x 10 cm x 8 cm) ont été employés comme conteneurs.

**Origine des boutures.** Quatre types de boutures ont été utilisés : (i) Boutures issues de drageons (pousses émises par les racines), (ii) boutures de rameaux de réitération (formés à partir de branches tronquées), (iii) boutures de rejets de souche (obtenus par recépage d'arbres adultes), (iv) boutures de deuxième génération provenant de boutures racinées de première génération âgées d'un an (bouturage en cascade). On a employé 100 boutures par type de bouture.

**Période de bouturage.** Les périodes suivantes ont été testées : (i) Printemps, (ii) Été, (iii) Automne. Des boutures de drageons ont été utilisées à raison de 100 boutures par modalité de période.

**Traitement hormonal.** La substance utilisée est l'acide indole butyrique (AIB), auxine de synthèse, aux concentrations de (i) 0.000 ppm (Témoin sans AIB), (ii) 1000 ppm, (iii) 1500 ppm, (iv) 2000 ppm, (v) 6000 ppm. L'AIB est appliquée à la base des boutures sous la forme d'une préparation poudreuse (Talc + AIB. Le nombre de répétitions par modalité de traitement est de 80.

### Variables mesurées

L'aptitude au bouturage herbacé est appréciée par la mesure des variables suivantes : (i) le pourcentage de boutures racinées, (ii) le nombre de racines émises par bouture, (iii) la longueur de la plus grande racine en mm.

### Analyses statistiques

Dans le cas des fréquences (pourcentage de boutures racinées), nous avons adapté un test d'indépendance au khi-deux pour estimer l'interaction entre les différentes modalités de deux facteurs. Il est intuitif, en effet, de penser que deux facteurs qui n'interagissent pas sont

indépendants ; le test est alors non significatif, et vice versa.

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$$

où  $f_o$  est la fréquence d'enracinement observée et  $f_t$ , la fréquence théorique correspondante.

Pour les caractères semi-continus ou continus (nombre de racines par bouture et longueur de la racine principale), nous avons procédé par analyse de variance multifactorielle, qui teste les effets d'interaction par une Statistique F de Fisher-Snedecor, selon les modèles suivants :

$$X_{ijkl} = \mu + sb_i + or_j + ht_k + (sb^*or)_{ij} + (sb^*ht)_{ik} + (or^*ht)_{jk} + (sb^*or^*ht)_{ijk} + e_{ijkl}$$

et,

$$X_{ijkl} = \mu + pe_i + or_j + ht_k + (pe^*or)_{ij} + (pe^*ht)_{ik} + (or^*ht)_{jk} + (pe^*or^*ht)_{ijk} + e_{ijkl}$$

où  $X_{ijkl}$  est la mesure effectuée sur la  $l^{\text{ième}}$  bouture,  $\mu$  la moyenne générale,  $sr_i$  l'effet (fixe) du  $i^{\text{ième}}$  substrat,  $pe_i$  l'effet (fixe) de la  $i^{\text{ième}}$  période,  $or_j$  l'effet (fixe) de la  $j^{\text{ième}}$  origine des boutures,  $ht_k$  l'effet (aléatoire) du  $k^{\text{ième}}$  traitement hormonal, entre parenthèses les interactions (d'ordre 2 et 3) entre les trois facteurs, et  $e_{ijkl}$  le résidu aléatoire.

La variable "Nombre de racines/bouture" a été transformée en racine carrée afin d'améliorer la normalité de la distribution des résidus et de stabiliser la variance d'erreur.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des analyses statistiques sont consignés dans le tableau I et illustrés par les figures 1 à 13. L'interprétation des figures se fait de la façon suivante : (i) lorsque l'interaction entre les facteurs est significative, les segments de droite joignant les valeurs des modalités du facteur A

**Tableau I** : Tests F ou  $\chi^2$  des effets d'interaction factorielle. ddl : Degrés de liberté ; CM : Carré moyen. (\*) Transformation en racine carrée ; (+) Nombre de racines/bouture/jour. Les interactions significatives au seuil de 5 % sont indiquées en gras.

Caractères	Facteurs en Interaction	ddl Interaction	ddl Erreur	CM Interaction	CM Erreur	F ou $\chi^2$	p
% d'enracinement	Sub x Orig	1	/	/	/	0.83	0.36
	Sub x Horm	4	/	/	/	1.61	0.80
	Orig x horm	4	/	/	/	1.75	0.78
	<b>Orig x Period</b>	1	/	/	/	<b>23.69</b>	<b>&lt;&lt;0.001</b>
	<b>Horm x Period</b>	4	/	/	/	<b>10.92</b>	<b>0.03</b>
Nombre de racines/ Bouture	Sub x Orig (*)	1	133	0.76	1.08	0.71	0.40
	Sub x Horm (*)	4	127	1.18	1.08	1.09	0.36
	<b>Orig x horm (*)</b>	<b>4</b>	<b>127</b>	<b>4.06</b>	<b>1.07</b>	<b>3.79</b>	<b>0.006</b>
	<b>Orig x Period (+)</b>	<b>1</b>	<b>174</b>	<b>0.064</b>	<b>0.015</b>	<b>4.25</b>	<b>0.04</b>
	<b>Horm x Period (+)</b>	<b>4</b>	<b>168</b>	<b>0.059</b>	<b>0.013</b>	<b>4.50</b>	<b>0.002</b>
	Sub x Orig x horm (*)	4	117	1.50	0.97	1.56	0.19
Longueur de la plus grande racine (mm)	Sub x Orig	1	36	48.93	2850.29	0.02	0.89
	Sub x Horm	4	86	422.6	933.59	0.45	0.77

dans chaque modalité du facteur B se coupent (exemples, figures 8 et 9), (ii) lorsque l'interaction entre les facteurs n'est pas significative, les segments de droite ainsi engendrés ne se coupent pas (exemples, figures 1 et 6).

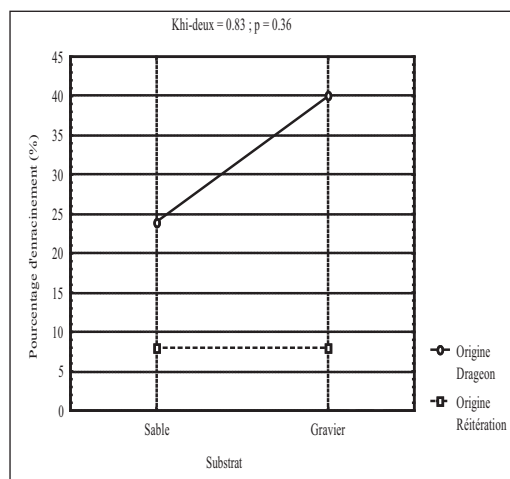
#### Interaction substrat x origine des boutures

Les analyses statistiques révèlent une interaction « substrat x origine » non significative au seuil de 5 % aussi bien en ce qui concerne le pourcentage d'enracinement ( $\chi^2 = 0.83$  ;  $p = 0.36$ ) que le nombre de racines par bouture ( $F = 0.71$  ;  $p = 0.40$ ) et la longueur racinaire ( $F = 0.02$  ;  $p = 0.89$ ) (tableau I, figures 1, 2 et 3).

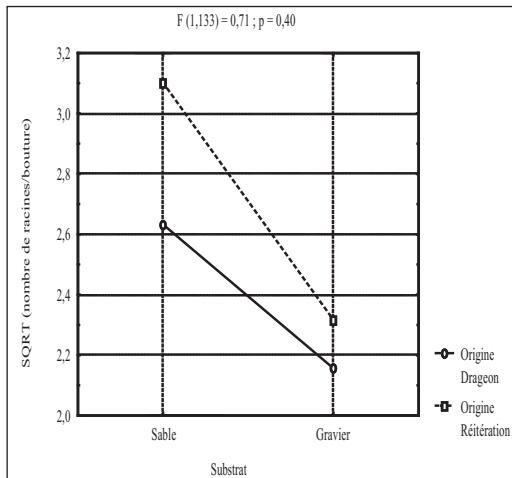
#### Interaction substrat x traitement hormonal

L'interaction « substrat x traitement hormonal » n'est pas significative au seuil de 5 % pour les trois critères considérés, pourcentage d'enracinement ( $\chi^2 = 1.61$  ;  $p = 0.80$ ), nombre de racines

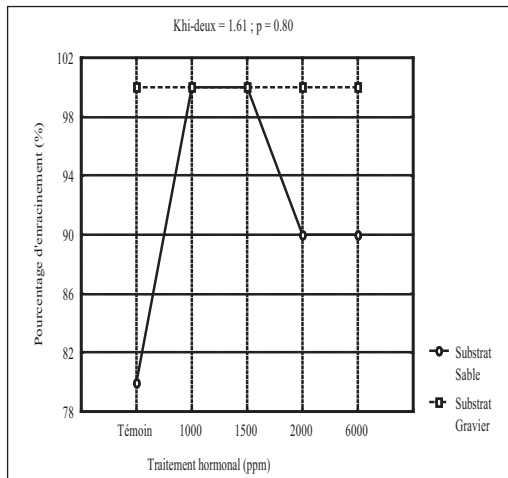
par bouture ( $F = 1.09$  ;  $p = 0.36$ ) et longueur racinaire ( $F = 0.45$  ;  $p = 0.77$ ) (tableau I, figures 4, 5 et 6).



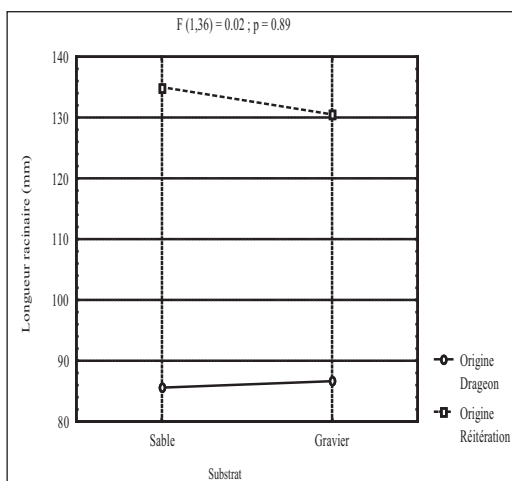
**Figure 1** : Interaction substrat x origine des boutures (non significative au seuil de 5 %).



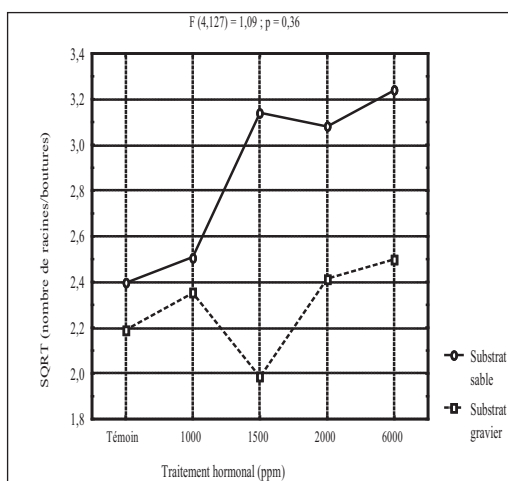
**Figure 2** : Interaction substrat x origine des boutures (non significative au seuil de 5 %).



**Figure 4** : Interaction substrat x traitement hormonal (non significative au seuil de 5 %).



**Figure 3** : Interaction substrat x origine des boutures (non significative au seuil de 5 %).



**Figure 5** : Interaction substrat x traitement hormonal (non significative au seuil de 5 %).

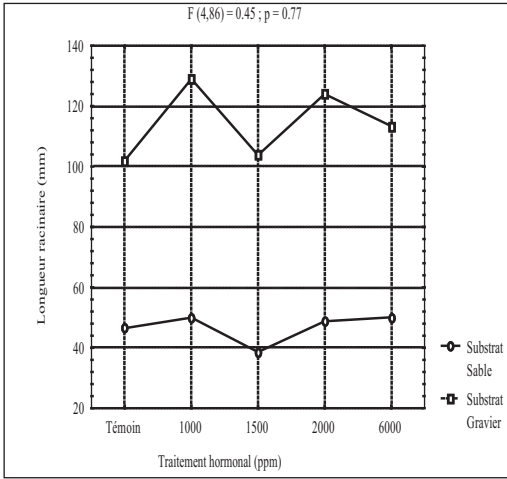
**Interaction origine x traitement hormonal**

On a enregistré une interaction « origine x traitement hormonal » non significative au seuil de 5 % pour le pourcentage d'enracinement ( $\chi^2 = 1,75 ; p = 0,78$ ) et significative au même seuil de probabilité pour le nombre de racines par bouture ( $F = 3,79 ; p = 0,006$ ) (tableau I, figures 7 et 8). On ne dispose pas de données sur la

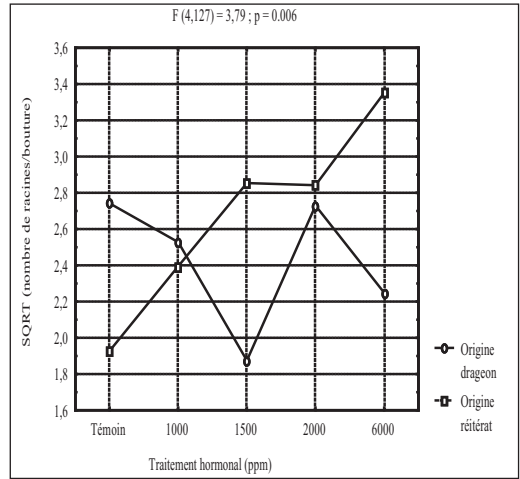
longueur racinaire.

**Interaction origine x période de bouturage**

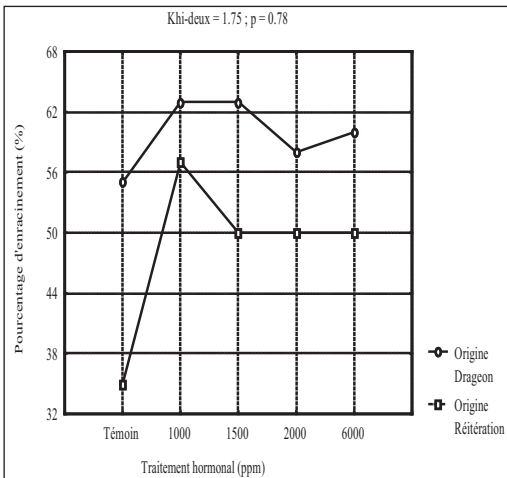
Les deux facteurs origine et période interagissent significativement au seuil de 5 % pour le pourcentage d'enracinement et le nombre de boutures par racine comme le montrent les tests statistiques respectifs ( $\chi^2 = 23,69 ; p << 0,001$



**Figure 6 :** Interaction substrat x traitement hormonal (non significative au seuil de 5 %).



**Figure 8 :** Interaction origine x traitement hormonal (significative au seuil de 1 %).



**Figure 7 :** Interaction origine x traitement hormonal (non significative au seuil de 5 %).

et  $F = 4.25$  ;  $p = 0.04$ ) et les figures 9 et 10. Les données ne sont pas disponibles en ce qui concerne la longueur racinaire.

**Interaction période x traitement hormonal**

L'interaction « période x traitement hormonal » se révèle non significative au seuil de 5 % s'agis-

sant du pourcentage d'enracinement ( $\chi^2 = 11.82$  ;  $p = 0.16$ ) ; par contre, elle significative au même seuil de probabilité pour le nombre de racines par bouture ( $F = 4.50$  ;  $p = 0.002$ ). Les figures 11 et 12 illustrent ces résultats. On ne dispose pas de données pour la longueur racinaire.

**Interaction substrat x origine x traitement hormonal**

Cette interaction de troisième ordre est disponible uniquement pour le nombre de boutures par racines ; elle n'est pas significative au seuil de 5% comme l'indiquent le test F correspondant ( $F = 1.56$  ;  $p = 0.19$ ) et la figure 13. On n'a pas pu calculer les autres interactions de troisième ordre du fait de la non orthogonalité des dispositifs mis en œuvre.

Les analyses montrent que les facteurs de l'enracinement considérés dans ce travail exercent, en interaction, une influence plus moins importante sur l'enracinement des boutures herbacées de peuplier blanc. Le substrat n'interagit avec aucun des autres facteurs testés, à savoir l'origine

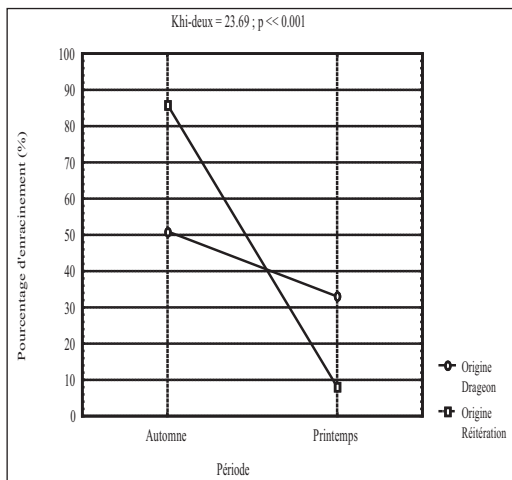


Figure 9 : Interaction origine x période (significative au seuil de 1 %).

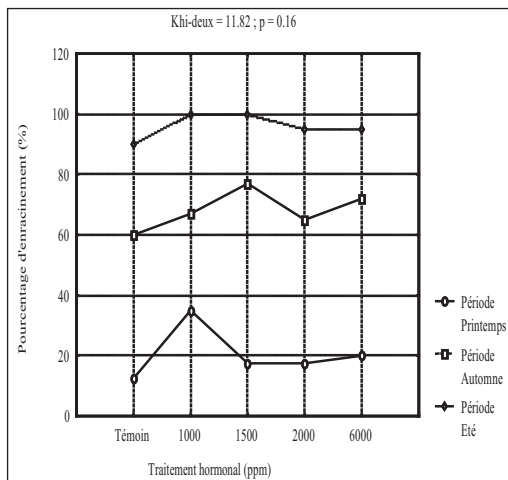


Figure 11 : Interaction période x traitement hormonal (non significative au seuil de 5 %).

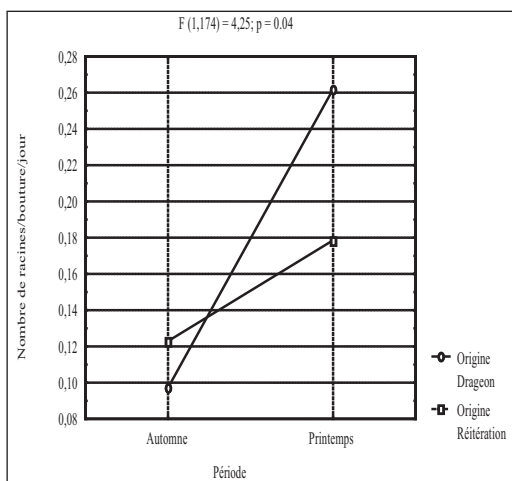


Figure 10 : Interaction origine x période (significative au seuil de 5 %).

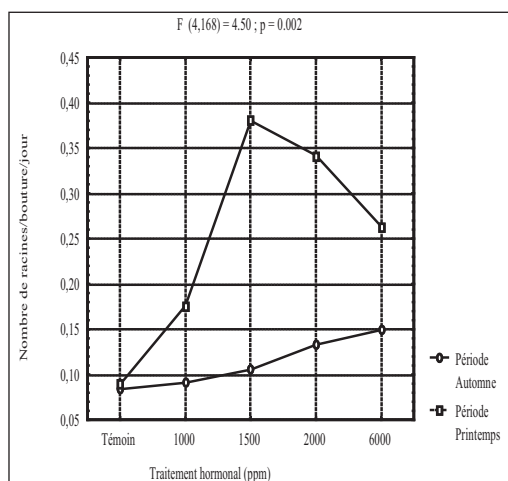


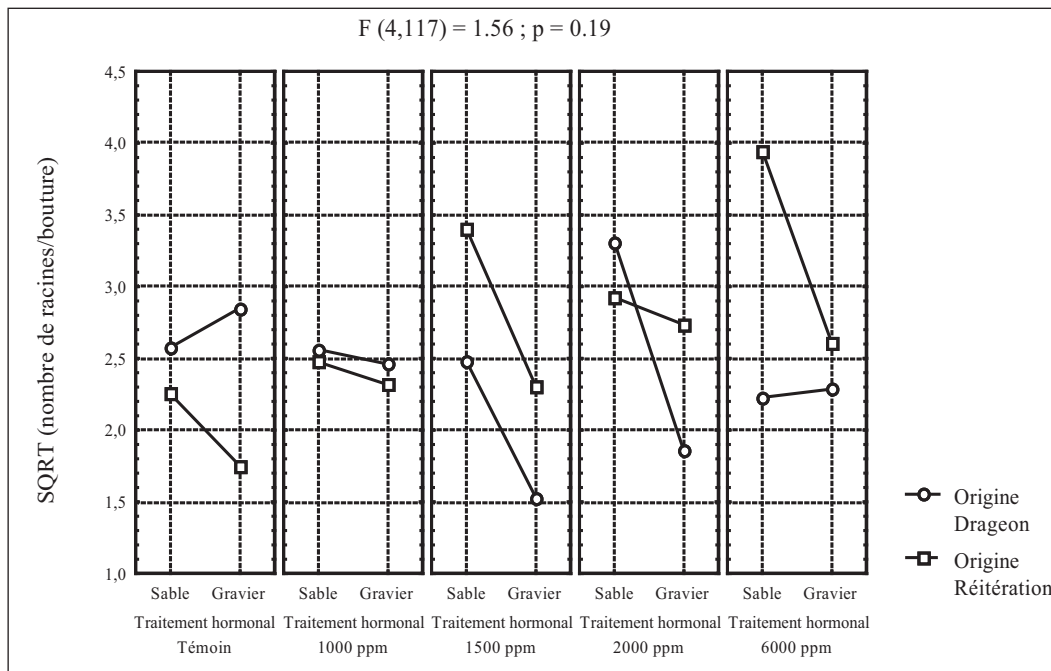
Figure 12 : Interaction période x traitement hormonal (significative au seuil de 1 %).

des boutures (drageons ou rameaux de réitération), la période de récolte des boutures (printemps, été ou automne) et les traitements hormonaux à base d'auxine AIB à différentes concentrations.

On peut penser que l'absence d'interaction entre le type de substrat et les différentes moda-

lités des autres facteurs pourrait s'expliquer par l'inertie, au sens chimique, des substrats utilisés (sable ou gravier).

Par contre, des interactions significatives existent entre l'origine des boutures, la période de récolte et les applications hormonales, notamment pour l'intensité de la rhizogénèse exprimée



**Figure 13** : Interaction origine x traitement hormonal (non significative au seuil de 5 %).

en nombre de racines par bouture. En conséquence, la réponse à l'enracinement de boutures herbacées de peuplier blanc est fortement influencée à la fois par l'origine des boutures, la période de prélèvement sur l'arbre mère et la dose d'application d'hormone. Certaines doses d'hormones ne seraient efficaces que durant certaines périodes de l'année et sur un certain type de matériel végétal seulement.

La conséquence pratique de ces effets d'interaction est qu'il ne peut exister une méthode standard valable quelle que soit l'origine ou la période de récolte des boutures.

L'existence de telles interactions factorielles pourrait être liée à la balance hormonale endogène et à la quantité d'hydrates de carbones contenus dans les boutures, comme le laisse

supposer les résultats obtenus chez plusieurs autres espèces forestières (RAUTER, 1983 ; WILSON & VAN STADEN, 1990 ; THOMPSON, 1992 ; ZALESNY *et al.*, 2003).

### Références bibliographiques

HUSEN, A., 2004. Clonal propagation of *Dalbergia sissoo* Roxb. By softwood nodal cuttings : Effects of genotypes, Application of IBA and Position of cuttings on shoots. *Silvae Genetica* 53 (2) : 50-55.

RAUTER, R.M., 1983. Current status of macro-propagation. In : Clonal forestry: its impact on tree improvement and our future forests. Proceedings of the 9th meeting of CTIA, Toronto, part 2. pp 58-74.



THOMPSON, D.G., 1992. Current state-of-the-art of rooting cuttings and a view to the future. In the proceedings of the 1992 - symposium of Bordeaux : *Mass production technology for genetically improved fast growing forest tree species*. Ed. AFOCEL, 333-349.

WILSON, P.J., VAN STADEN, J., 1990. Rhizocaline, rooting co-factors, and the concept of promoters and inhibitors of adventitious rooting – A review. *Ann. Bot.* 66 : 479-490.

ZALESNY, R.S., JR., HALL, R.B., BAUER, E.O., RIEMENSCHNEIDER, D.E., 2003. Shoot position affects root initiation and growth of dormant unrooted cuttings of *Populus*.