

COMPTE RENDU DU
COLLOQUE SUR LE CHARANÇON DU PIN BLANC

Robert Lavallée¹ et Gilles Bonneau²
Organisateurs et éditeurs

Les 27 et 28 septembre 1994
Centre de foresterie des Laurentides
Sainte-Foy (Québec)

¹ **Ressources naturelles Canada**
Service canadien des forêts
Région du Québec

² **Ressources naturelles Québec**
Direction de la recherche forestière

ÉTUDE DE LA RÉSISTANCE GÉNÉTIQUE
DE L'ÉPINETTE DE NORVÈGE ET DU PIN BLANC
AU CHARANÇON DU PIN BLANC

Robert Lavallée, Ariane Plourde, Gaétan Daoust et François Larochelle

Service canadien des forêts - Région du Québec
1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800, Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
Tél.: (418) 648-5803 Téléc.: (418) 648-5849

Résumé

Depuis plusieurs années, des recherches ont été effectuées, tant au Canada qu'aux États-Unis, dans le but de démontrer la présence de la résistance au charançon du pin blanc chez les espèces susceptibles et d'en étudier les mécanismes en cause. À ce jour, il a été démontré que les taux d'attaques et la fréquence des réattaques pouvaient être limités sur certains arbres et certaines provenances. De plus, une moins grande susceptibilité des plantes hôtes serait associée à certaines caractéristiques physiques et chimiques. Globalement, il apparaît que c'est une approche intégrée qui permettra un certain contrôle des dommages causés par le charançon. Un bref aperçu des travaux au Service canadien des forêts - Région du Québec est aussi présenté.

Abstract

For a number of years in Canada and the United States, research work was done with the objective to show white pine weevil resistance and also to understand the mechanisms involved. Up to now, there has been strong evidence of resistance on trees and provenances expressed by the lower number of reattacks or levels of attack in plantations. Less weeviling has been associated with particular physical and chemical traits of the host plants. To reduce the negative impact of the white pine weevil, an integrated pest management system will be necessary. An overview of recent research done by the Canadian Forest Service - Quebec Region is also given.

Introduction

Au Québec, le charançon du pin blanc est devenu une nuisance importante dans les jeunes plantations d'épinettes de Norvège et de pins blancs. Le dommage causé à la flèche terminale retarde la croissance en hauteur et peut amener une déformation importante de la tige surtout si les attaques sont répétées.

Les avenues qui ont été explorées pour tenter de contrôler cet insecte sont nombreuses. Au cours des années 70, on a mis en évidence certains insecticides chimiques pouvant être efficaces pour réduire les dommages dus au charançon (Sippell, *et al.* 1977; de Groot et Helson, 1993). Un insecticide bio-rationnel, agissant sur le processus de la mue larvaire, a aussi été utilisé avec succès dans des essais expérimentaux (Retnakaran, 1976 et 1989), mais ce produit n'est pas homologué au Canada. Toutefois, l'utilisation des insecticides demeure difficile en plantations et impopulaire auprès du public. D'autre part, la mise en évidence d'une phéromone associée à la communication entre les adultes (Booth et Lanier, 1974) pourrait ouvrir la voie à de nouvelles méthodes de contrôle. Mais, comme le charançon est un insecte naturellement présent dans les forêts du Québec, il sera toujours difficile de l'empêcher d'être actif dans les plantations d'où la nécessité d'une surveillance régulière des arbres et d'un contrôle hâtif des populations par éradication (Lavallée et Morissette, 1989).

Cependant, dans un contexte préventif, l'incidence des dommages pourrait être réduite si le site reboisé est choisi plus judicieusement (Connola et Wixson, 1963; Archambault *et al.*, 1993) et si d'autres méthodes d'aménagement sont utilisées (Stiell et Berry, 1985). Cependant, tant d'un point de vue économique qu'environnemental, le développement d'arbres résistants au charançon du pin blanc offre la meilleure solution à long terme (Santamour et Zinkel, 1976). D'ailleurs, les résultats obtenus en Colombie-Britannique pour l'épinette de Sitka sont, en ce sens, très encourageants (Alfaro et Ying, 1990).

L'étude de la résistance chez les hôtes de l'insecte peut s'effectuer selon deux approches : la sélection directe ou indirecte. Le présent texte fera une courte revue de travaux effectués en Amérique du Nord concernant la résistance génétique des hôtes au charançon de même que certains des travaux entrepris par le projet de Génétique et Amélioration des Arbres du Service canadien des forêts - Région du Québec.

Étude de la résistance par la sélection directe

La sélection directe vise à observer et comparer les dommages causés par l'insecte entre des arbres, des familles ou des provenances différentes dans un contexte forestier (forêt naturelle, plantation et pépinière) (Stroh et Gerhold, 1965). Ces observations peuvent conduire à la sélection d'arbres, de familles ou de provenances démontrant de la résistance et pouvant être éventuellement inclus dans un programme d'amélioration.

Sélection d'individus, de familles ou de provenances résistantes

Wright et Gabriel (1959) ont recherché des arbres résistants dans des plantations de pins blancs et auraient trouvé des phénotypes apparemment résistants. Odell et Zerillo (1969) ont observé que, sur certains arbres, la résistance pourrait s'exprimer par la survie de la flèche terminale après l'attaque du charançon et ils suggèrent que ces derniers soient considérés en premier lieu dans un programme de sélection. De même, les descendants d'arbres évalués résistants ont semblé conserver cette résistance (Coleman *et al.*, 1987). On considère donc que la sélection d'arbres individuels et les tests clonaux de la résistance au charançon du pin blanc peuvent être utiles pour trouver des arbres résistants (Sullivan, 1966; Fowler et Heimburger, 1969). Cependant, si la sélection directe d'arbres résistants au charançon est une méthode efficace qui permet d'éliminer les arbres susceptibles, la précision avec laquelle des arbres résistants sont identifiés est faible, car ces derniers sont rares (Gerhold et Stroh, 1963) et une plantation de pin blanc devrait théoriquement être exposée continuellement durant une période de 10 à 15 ans avant que le pourcentage d'arbre attaqué approche les 100 % selon la distribution de Poisson (Gerhold, 1962).

Les tests effectués pour évaluer les niveaux de résistance entre différentes provenances n'ont pas donné des résultats constants. Ainsi, en examinant le nombre moyen d'attaques par arbre, des différences significatives ont été retrouvées entre certaines provenances (Garrett, 1973; Genys, 1981; Wilkinson, 1983c; Alfaro et Ying, 1990; Alfaro et Hulme, 1993). Cependant, dans d'autres tests, aucune différence n'a été retrouvée pour la résistance de différentes provenances (Pauley *et al.*, 1955; Garrett, 1972). Il est à noter que dans certains tests, l'environnement (Wright et Gabriel, 1959; Connola, 1967a; Connola, 1973; Connola et Beinkafner, 1976) et le protocole expérimental (Connola, 1967b; Soles et Gerhold, 1968) ont pu affecter les résultats obtenus.

Donc, pour l'ensemble de ces travaux, il apparaît que jamais une complète immunité des arbres n'a été observée. Mais, une susceptibilité moindre ou une plus grande tolérance des arbres au charançon ont été observées tant au niveau des individus que des familles et des provenances. Cependant, la difficulté de démontrer clairement le phénomène de la résistance peut être due en partie à la méthode utilisée. Ainsi, avec la sélection directe, l'étude d'arbres, de familles ou de provenances résistantes au charançon du pin blanc pose certaines difficultés compte tenu de la non-uniformité de l'attaque par le charançon tant à l'intérieur d'une plantation que d'une région. Ainsi, dans une plantation attaquée par le charançon, un arbre aurait pu échapper par hasard à l'attaque du charançon et ainsi avoir l'apparence d'un arbre résistant. De même, une plantation ou une région peuvent être peu ou pas affectée compte tenu de facteurs comme l'isolement ou la qualité du site. Aussi, dans une plantation fortement affectée, chaque arbre n'a pas la même probabilité d'être attaqué. Ainsi, Alfaro et Hulme (1993) ont démontré, avec des provenances résistantes, que l'attaque par le charançon était agrégée et qu'un arbre ayant déjà subi une attaque a plus de chances d'être réattaqué. De plus, la multiplication des flèches terminales accroît la probabilité d'autres attaques. Donc, dans ce contexte, la sélection doit se faire dans les secteurs des plantations ayant de fortes densités de charançon afin de tenir compte de cette agrégation. Compte tenu des difficultés inhérentes

à la sélection directe, la sélection de caractères corrélés à la résistance peut être préférable et possiblement nécessaire (Gerhold, 1966; Gerhold et Stroh, 1963).

Étude de la résistance par la sélection indirecte

La sélection indirecte vise à étudier les relations entre diverses caractéristiques physiologiques, morphologiques ou phénotypiques d'arbres, de familles ou de provenances et leur degré de résistance à l'insecte afin d'identifier un caractère lié à la résistance et l'utiliser dans la sélection des arbres. Des corrélations fortes entre les caractéristiques étudiées et les résistances observées permettent d'identifier des arbres résistants qui seront par la suite inclus dans un programme d'amélioration. Plus le caractère sera sous contrôle génétique (forte héritabilité) plus forte sera la proportion des descendants qui présenteront ce caractère de résistance (Gerhold et Stroh, 1963).

Port des cimes et densité des aiguilles

Reprenant la description des phénotypes d'épinette de Norvège faite par Larsen (1947), Holst (1955) note que les arbres ayant de larges cimes sont plus souvent attaqués que ceux ayant des cimes étroites. De plus, les arbres qui présentent un port en peigne (comb type) ont des cimes plus larges en diamètre et montrent aussi plus de dommages par le charançon que le port en brosse (comb spruce). Le phénotype avec une cime étroite serait moins sujet à l'attaque par le charançon ou présenterait une meilleure capacité à récupérer (Holst 1955).

La densité des aiguilles sur les flèches a aussi été considérée. Mais, selon Sullivan (1961), le nombre de fascicules foliaires par unité de surface chez le pin blanc ne serait pas un critère de sélection par le charançon (Stroh et Gerhold, 1965). De même, Stroh et Gerhold (1965) n'observent aucun lien entre le nombre de fascicules foliaires du pin blanc et la nutrition du charançon. Cependant, chez l'épinette de Sitka, Tomlin et Borden (1994) trouvent que les aiguilles des arbres de provenances résistantes sont significativement plus appuyés contre la tige.

Vigueur des hôtes

Un des premiers caractères corrélés avec la résistance au charançon a été le diamètre de la flèche terminale (Plummer and Pillsbury, 1929; MacAloney, 1930; Holst, 1955). On observait un accroissement des dommages par le charançon avec l'augmentation du diamètre moyen des flèches. Wilkinson (1981) a évalué l'importance des dommages causés par le charançon et le rythme de croissance en hauteur chez des pins blancs de l'Est et de l'Ouest et certains hybrides constituant une plantation âgée de 10 ans et située dans le sud du Maine. De façon générale, les arbres les plus grands et ayant les flèches les plus

grosses (stout leaders) sont attaqués plus souvent que les arbres plus courts. Cependant, la plus faible susceptibilité du pin blanc de l'Ouest serait due à des facteurs autres que le taux de croissance. De plus, dans un test de 21 provenances géographiques de pin blanc et subissant les attaques du charançon depuis plus de 11 ans, Wilkinson (1983a) observe que de façon générale les provenances à croissance rapide sont plus fortement endommagées que les provenances à croissance lente. Sur une base individuelle, les nombres d'attaques dans la plantation sont positivement et significativement corrélés avec le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et la hauteur de l'arbre (Wilkinson, 1983a).

Qualité de l'écorce

Selon Kriebel (1954), l'épaisseur de l'écorce, mesurée au DHP est significativement corrélée avec le dommage par le charançon. Les arbres ayant des écorces minces (au DHP) étaient moins susceptibles que les arbres ayant des écorces épaisses. Cependant, Kriebel (1954) observait aussi une variation considérable qu'il ne pouvait expliquer. Plus tard, Wilkinson (1983) rapporte que l'épaisseur de l'écorce à hauteur de poitrine n'est pas un critère fiable pour distinguer les pins blancs susceptibles des pins blancs plus résistants au charançon. D'ailleurs, la corrélation entre l'épaisseur de l'écorce au DHP et le nombre d'attaques par arbre ($r = 0,24$) était plus faible que la corrélation entre l'épaisseur de l'écorce de la flèche terminale et le nombre d'attaques (Wilkinson, 1983b).

Présence de canaux résinifères

En plus de l'épaisseur de l'écorce, le rôle des canaux résinifères a aussi été considéré. Stroh et Gerhold (1965) ont observé que les charançons adultes qui se nourrissent dans le cortex du pin blanc évitent systématiquement les canaux résinifères. De plus, ce n'est que dans 9,3 % des cavités de nutrition que les cellules épithéliales des canaux résinifères externes étaient exposés. Et si la plupart des trous de nutrition sont venus en contact avec les canaux résinifères internes, ces derniers n'ont pas été perforés. Stroh et Gerhold (1965) ont observé que les seuls facteurs constamment et significativement reliés avec la nutrition des adultes étaient l'épaisseur de l'écorce et la profondeur des canaux résinifères internes et externes. Mais ces facteurs n'expliquant que 19,1 à 49,1 % de la variation dans la nutrition et étant sujet à une variation entre les sites, ils ne peuvent être utilisés dans un programme de sélection dirigé.

Dans le Maine, pour une plantation de pins blancs constituée de 27 provenances représentant la majeure portion de l'aire de distribution de l'espèce, Wilkinson (1983c) a étudié les caractéristiques des flèches terminales en relation avec la susceptibilité aux attaques répétées par le charançon au cours d'une période de 11 ans. L'épaisseur de l'écorce, la profondeur des canaux résinifères internes et externes, et les diamètres des flèches terminales étaient significativement corrélés avec le nombre d'attaques fructueuses. La longueur des flèches et les nombres de canaux résinifères internes et externes n'étaient cependant pas corrélés avec le nombre d'attaques.

À l'instar de Stroh et Gerhold (1965), Tomlin et Borden (1994) observent que la grandeur des trous de nutrition serait reliée à la distance entre les canaux externes et internes. Plank et Gerhold (1965) et, plus récemment, Tomlin et Borden (1994) trouvent que le pin blanc de l'Ouest est un hôte défavorable au charançon en raison de ses canaux résinifères externes plus gros et plus nombreux comparativement à ceux de l'épinette d'Engelmann. Ces derniers rapportent également une relation entre la densité des canaux résinifères externes et la résistance. Mais puisqu'une des provenances des plus susceptibles (soit *Necanicum*, Oreg.) avait relativement beaucoup de canaux résinifères, il est possible que ces arbres aient produit des canaux résinifères traumatiques en réponse à l'attaque (Tomlin et Borden, 1994).

Tel que mentionné précédemment, la méthodologie utilisée peut conduire à des interprétations erronées sur la résistance des arbres. Ainsi, considérer uniquement le nombre de trous de nutrition dans l'étude de la résistance peut conduire à de fausses interprétations. Selon Stroh et Gerhold (1965), une flèche terminale qui ne serait pas adéquate pour la nutrition du charançon à cause de la disposition des canaux résinifères corticaux pourrait en fait avoir plus de trous de nutrition qu'une flèche plus adéquate. VanderSar (1978) observe qu'il y a autant de trous sur des flèches terminales de pin blanc de l'Ouest que sur l'épinette d'Engelmann mais qu'il n'y a pas de ponte sur le pin.

La présence des canaux résinifères fait aussi intervenir un important mécanisme de résistance des conifères, soit la production de résine (Vité et Wood, 1961). Selon Heimburger (1967), la résistance au charançon serait principalement basée sur une abondante production de résine consécutive à l'attaque. Cette production de résine serait affectée par certaines conditions environnementales de même que la taille et la distribution des canaux résinifères. Dans le même sens, Tomlin et Borden (1994) notent que certaines provenances (ex: Fair Harbour) parmi les plus susceptibles ont aussi les plus petits canaux résinifères. Ainsi, les canaux résinifères qui produisent des résines traumatiques devraient être alors la première ligne de défense rencontrée par les charançons (Tomlin et Borden, 1994).

Composition des oléorésines

Les résines des conifères sont constituées d'acides résiniques dissous dans une huile terpénique. Par des études en laboratoire, Carlson (1971) a vérifié l'effet individuel de certains terpènes sur le charançon du pin blanc. Ainsi, il trouve que le myrcène et le α -pinène sont très répulsifs alors que le limonène attire les charançons. Alfaro *et al.* (1980) ont démontré que le piperitone et le limonène dissuadent la nutrition du charançon. Avec des analyses foliaires et corticales d'épinette de Sitka, Brooks *et al.* (1987) notent des différences significatives entre 38 arbres résistants et 60 arbres susceptibles. Ainsi, les quantités de α -pinène, β -pinène, camphène et camphre sont significativement supérieures dans certains arbres résistants, mais ces différences ne sont pas constantes entre les sites. Hrutfiord et Gara (1989) ont montré que les flèches terminales à croissance rapide contiennent moins de myrcène que celles d'arbres à croissance lente et que les flèches âgées d'un an contiennent moins de myrcène que la flèche de l'année courante. Mais en combinant les caractéristiques de la pousse apicale et les concentrations en monoterpènes de l'écorce

de pin blanc, Wilkinson (1983c) n'expliquent que 13 % de l'attaque par le charançon. De plus, selon Wilkinson (1985) les concentrations en α -pinène et en limonène des pins blancs de l'Ouest, les plus résistants, sont similaires à ceux précédemment retrouvés dans les pins blancs les plus susceptibles. Donc, aucun des monoterpènes, seul ou combinés, n'est un indicateur fiable de la résistance au charançon du pin blanc.

Lorsque des larves sont confrontées à la résine de la plante-hôte, la non-cristallisation de cette dernière peut amener la mort des larves. Puisque chez le pin blanc, la non-cristallisation des résines est corrélée avec l'absence d'acide strobique (Wilkinson, 1979), un pin blanc ayant peu ou pas d'acide strobique pourrait être plus résistant au charançon. Cependant, Wilkinson (1979) n'a pas trouvé de relation entre le contenu en acide strobique et la résistance au charançon dans un test de 27 provenances. De même, Bridgen *et al.* (1979) ont comparé 86 pins blancs âgés de 19 ans et provenant de différentes plantations du Maine, pour la qualité et la composition de leur oléorésine. La résistance était basée sur l'efficacité d'attaque (flèches non attaquées, flèche attaquées mais vivante, émergence d'adulte et flèche morte). Les résultats ne démontrent aucune différence significative entre les résistants et les susceptibles pour ce qui est du contenu en acide strobique. Cependant, il faut tenir compte du fait que des larves peuvent démontrer une certaine adaptation à survivre aux résines. Santamour (1965) rapportait que les oléorésines corticales du pin blanc (et d'autres espèces et hybrides) peuvent cristalliser au contact de capsules céphaliques larvaires du charançon du pin blanc. Alors, dans certains cas la non-cristallisation semble être reliée à une résistance larvaire (Santamour et Zinkel, 1976).

Travaux actuellement en cours au Service canadien des forêts - Région du Québec

Malgré les incertitudes liées aux méthodes précédemment mentionnées, la sélection d'arbres résistants en milieu naturel représente toujours une première étape dans l'étude de la résistance. Dans ce contexte, l'objectif de nos travaux est de mettre en évidence la résistance de certaines épinettes de Norvège par l'utilisation du charançon comme indicateur biologique. L'hypothèse étant que sur des arbres résistants les charançons devraient avoir des performances biologiques moindres. Les performances ont donc été évaluées par trois variables soit : les trous de nutrition, les trous de ponte et finalement par le développement du charançon sur des greffes.

Dans un test de 22 provenances situé à Valcartier (46°57'N, 71°30'O) et dans 28 plantations situées près de Québec, des paires d'arbres jugées susceptibles et résistants ont été sélectionnées. Toutes ces plantations ont été retenues pour leur fort taux annuel d'infestation. De plus, les paires ont été choisies dans les secteurs les plus affectés de chacune des plantations. L'arbre susceptible a été choisi en fonction des nombreuses attaques antérieures par le charançon. L'arbre résistant, localisé le plus près possible du sujet susceptible, devait être exempt de dommages et démontrer une croissance égale ou supérieure à la moyenne du peuplement.

Des tests de nutrition et de ponte ont été réalisés avec des écorces ou des sections de flèches terminales provenant des arbres sélectionnés. L'écorce et les sections de flèches étaient présentés aux insectes adultes en situation de choix ou forcé. L'objectif de ce test était de déterminer si les adultes pouvaient discriminer entre les écorces provenant d'arbres résistants et susceptibles pour se nourrir et pour pondre. Ces tests n'ont pas permis de mettre en évidence une réponse de l'insecte qui serait en accord avec notre classification initiale des arbres. Ainsi, dans le test de nutrition avec choix entre de l'écorce provenant d'un arbre susceptible ou résistant, pour l'ensemble des 45 paires d'arbres, le charançon a préféré l'arbre susceptible dans 16 cas et l'arbre résistant dans 15 cas. De même, avec les tests de ponte sur des sections de flèches terminales, aucune préférence particulière n'a été mise en évidence tant au niveau de la nutrition que de la ponte, en situation forcée.

Parmi, ces arbres sélectionnés au printemps de 1992, 28 paires ont été observés à nouveau au cours de l'automne 1992 pour noter l'attaque annuelle (tableau 1). Ces observations démontraient que pour les arbres considérés résistants, 64 % ont été attaqués mais seulement 21 % ont permis l'émergence d'une nouvelle génération de charançons. Pour ce qui est des arbres susceptibles, sur les 68 % qui ont été attaqués, 54 % ont permis l'émergence d'une nouvelle génération de charançons. Donc, il est possible que l'absence de réponse des insectes en fonction des types d'écorces soit due à la méthodologie utilisée.

Compte tenu du caractère artificiel des expériences précédentes et de façon à recréer des conditions plus naturelles de choix, des ramets de chacun des arbres sélectionnés ont été produits par greffage. Ces greffes âgées de 3 ans ont été utilisées pour étudier le comportement des insectes sur des arbres entiers. Au total, le dispositif comptait 450 arbres répartis en 5 répétitions de 45 paires d'arbres considérés susceptibles ou résistants. Trois mâles et deux femelles ont été placés sur chaque paire durant une période de 15 jours. Le dispositif utilisé permettait aux insectes de faire un choix entre l'arbre susceptible et l'arbre résistant. La nutrition, le développement sous l'écorce, le nombre d'insectes émergeant et leur poids ont été mesurés. L'objectif de ce test était de déterminer si les adultes pouvaient choisir entre des arbres ayant une susceptibilité apparemment différente et si le développement de nouvelle génération était affecté.

Tableau 1. Résultats de l'attaque de 1992 sur 28 paires d'arbres sélectionnées avant la période d'activité printanière du charançon du pin blanc

Statut initial	Sains	Attaqués SANS émergence	Attaqués AVEC émergence	Total
Résistant	10	12	6	28
Susceptible	9	4	15	28

L'analyse préliminaire des résultats du développement des insectes sur ces greffes n'indique aucune préférence des insectes pour l'une ou l'autre de catégories de greffes. Au cours des analyses ultérieures, les résultats seront étudiés afin d'observer s'il y a eu une certaine uniformité dans la réponse des insectes avec des paires d'arbres au cours des trois types d'essais. Ainsi, il est possible que des paires aient été plus judicieusement choisies que d'autres et qu'elles nous permettent d'identifier des arbres possédant une résistance importante au charançon.

Cependant, si ces travaux ont porté principalement sur l'insecte, la réponse de l'arbre suivant l'attaque du charançon doit aussi être considérée. Ainsi, dans un dispositif clonal d'épinettes de Norvège, nous avons pu observer qu'après un rabattage de la flèche terminale, l'aptitude au redressement des branches latérales semble être un caractère génétiquement relié au clone. Cette aptitude à s'autocorriger pourrait être un facteur aussi important que la résistance des arbres au charançon. Ainsi, trouver ou développer des variétés synthétiques possédant ces caractéristiques permettrait de réduire l'impact négatif de cet insecte.

Conclusion

L'objectif de l'améliorateur est de créer des variétés synthétiques peu ou pas affectées par l'insecte et qui peuvent réduire la taille de la population (Stroh et Gerhold, 1965). Selon Heimburger (1967), la sélection d'arbres résistants basée sur une flèche terminale longue et mince inclurait indirectement la sélection pour une dominance apicale forte. Par le fait même, une récupération satisfaisante après l'attaque du charançon serait favorisée, diminuant ainsi les pertes de croissance en hauteur. De même, Coleman *et al.* (1987) suggèrent de sélectionner les arbres en fonction de leur capacité à corriger les dommages après attaque. L'aptitude de certains arbres à tolérer l'infestation en permettant à seulement une branche latérale d'assumer la dominance apicale et les caractéristiques de cette flèche de remplacement doivent donc être considérées (Brooks *et al.*, 1987). En ce sens, Alfaro et Ying (1990) ont bien démontré que le type de dommage varie entre les familles et les provenances. Ainsi, même avec un nombre d'attaques supérieures par arbre, certaines provenances peuvent produire des arbres ayant encore une très bonne valeur marchande.

D'autre part pour réduire la taille des populations, la sélection pour la résistance au charançon doit être basée sur plusieurs caractéristiques alternatives incluant les caractéristiques morphologiques comme la profondeur des canaux résinifères, la présence de produits chimiques répulsifs ou dissuasifs de la prise alimentaire, ainsi que de l'effet antibiotique des résines traumatiques et autres constituants. De plus, il est important de tenir compte de la survie du charançon dans les flèches terminales attaquées. Un dommage par le charançon n'est pas synonyme d'un bon développement et ne donne aucune indication sur la production de nouveaux charançons (Kulman et Harman, 1965). De plus, Sahota *et al.* (1994) ont récemment mis en évidence un mécanisme de résistance faisant intervenir une réduction de la capacité de ponte des femelles.

Une meilleure connaissance des mécanismes de résistance des arbres au charançon pourra nous guider dans le développement d'arbres résistants ou tolérants à cet insecte. Cependant, l'impact positif des travaux de sélection génétique sera grandement réduit si le reboisement des essences-hôtes ne se fait pas en regard des exigences écologiques des essences et s'il n'y a pas de surveillance et de contrôle pour limiter le développement des populations.

Remerciements

Les auteurs désirent remercier L. Côté, S. Légaré, M. LePage, A. Roy, F. Tremblay et A. Simard du SCF pour l'aide technique ainsi que E. Begin, R. Trudel, R. Berthiaume et I. Deglaire alors étudiants.

Bibliographie

- Alfaro, R. I., H. D. Pierce, Jr., J. H. Borden & A. C. Oehlschlager. 1979. A quantitative feeding bioassay for *Pissodes strobi* Peck (Coleoptera: Curculionidae). *J. Chem. Ecol.* 5: 663-671.
- _____. 1980. Role of volatile and nonvolatile components of Sitka spruce bark as feeding stimulant for *Pissodes strobi* Peck (Coleoptera: Curculionidae). *Can. J. Zool.* 58: 626-632.
- Alfaro, R. I. & C. C. Ying. 1990. Levels of Sitka spruce weevil, *Pissodes strobi* (Peck), damage among Sitka spruce provenances and families near Sayward, British Columbia. *Can. Entomol.* 122: 607-615.
- Alfaro, R. I. & M. Hulme. 1993. Variation in attack by Sitka spruce weevil, *Pissodes strobi* (Peck), within a resistant provenance of Sitka spruce. *J. Entomol. Soc. Brit. Columbia* 90: 24-30.
- Archambault, L. J. Morissette, R. Lavallée & B. Comtois. 1993. Relationships between susceptibility of Norway spruce plantations to white pine weevil and site and stand variables in southern Québec. *Can. J. For. Res.* 23: 2362-2369.
- Booth, D. C. & G. N. Lanier. 1974. Evidence of an aggregating pheromone in *Pissodes approximatus* and *P. strobi*. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 67: 992-994.
- Bridgen, M. R., J. W. Hanover & R. C. Wilkinson. 1979. Oleoresin characteristics of eastern white pine seed sources and relationship to weevil resistance. *For. Sci.* 25: 175-183.
- Brooks, J. E., J. H. Borden & H. D. Pierce. 1987. Foliar and cortical monoterpenes in Sitka spruce: potential indicators of resistance to the white pine weevil, *Pissodes strobi* Peck (Coleoptera: Curculionidae). *Can. J. For. Res.* 17: 740-745.
- Carlson, R. L. 1971. Behavior of the Sitka spruce weevil, *Pissodes sitchensis* Hopkins (Coleoptera: Curculionidae), in southwestern Washington. Ph.D. thesis, Univ. Washington.
- Coleman, M. N., T. C. Nieman & T. J. B. Boyle. 1987. Growth, survival, and stem form of a 22-year-old Norway spruce progeny test. *Inf. Rep., Can. For. Serv. PI-X-73*.
- Connola, D. P. 1967a. Three years of cage-testing for resistance in eastern white pine (*Pinus strobus* L.) to the white pine weevil (*Pissodes strobi* [Peck]), p. 8. *Proc. 14th Int. Congr. Union. For. Res., Organ., Munich, 1967. Pt. III, Sec. 22*.
- _____. 1967b. Cage studies of white pine weevil resistance with potted eastern white pine, pp. 63-64. *Proceedings of the 14th Northeastern Forest Tree Improvement Conference. Aug. 10-11, 1966. Toronto, Canada.*

- _____. 1973. A comparison of white pine weevil resistance in caged and outplanted seedlings from two sources, pp. 109-115. Proceedings of the 20th Northeastern Forest Tree Improvement Conference. July 31 - August 2, 1972. Durham, N.H.
- _____. & E. C. Wixson. 1963. Effects of soil and other environmental conditions on white pine weevil attack in New York. *J. For.* 61: 447-448.
- _____. & K. Beinkafner. 1976. Large outdoor cage tests with eastern white pine being tested in field plots for white pine weevil resistance, 56-64. Proceedings of the 23rd Northeastern Forest Tree Improvement Conference. August 4-7, 1975. Rutgers University, Cook College, New Brunswick, N.J.
- De Groot, P. & B. V. Helson. 1993. Efficacy and timing of insecticide sprays for control of white pine weevil (Coleoptera: Curculionidae) in high-value pine plantations. *J. Econ. Entomol.* 86: 1171-1177.
- Fowler, D. P. & C. C. Heimbürger. 1969. Genetic improvement of red pine and eastern white pine. *For. Chron.* 45: 414-420.
- Garrett, P. W. 1972. Resistance of eastern white pine (*Pinus strobus* L.) provenances to the white pine weevil (*Pissodes strobi* Peck). *Silvae Genet.* 21: 119-121.
- _____. 1973. Geographic variation in resistance to white pine weevil (*Pissodes strobi*) (Coleoptera: Curculionidae) by eastern white pine (*Pinus strobus*). *Can. Entomol.* 105: 347-350.
- Genys, J. B. 1981. Preferences of *Pissodes strobi* in attacking different geographic strains of *Pinus strobus*, pp. 191-194. 17th IUFRO World Congress. Proceedings-Referate-Exposés.
- Gerhold, H. D. 1966. In quest of insect resistant forest trees, pp. 305-318. In H. D. Gerhold, E. J. Schreiner, R. E. McDermott and J. A. Winieski [eds.]. *Breeding pest resistant trees*. Pergamon Press, New York.
- _____. & R. C. Stroh. 1963. Integrated selections for white pine weevil resistance and its components, 7 p. Proceedings World Consult. Forest Genet. and Tree Improv. Stockholm. FAO/FORGEN 63-6b/1.
- Heimbürger, C. 1967. Some observations on weevil resistance of *Pinus peuce*. White pine weevil symposium. Northeastern For. Tree Improvement Conf. Proc. 14: 64-69.
- Holst, M. J. 1955. Breeding for weevil resistance in Norway spruce. *Zeit. für Forstgenetik.* 4: 33-37.
- Hrutfjord, B. F. & R. I. Gara. 1989. The terpene complement of slow and fast growing Sitka spruce terminals as related to *Pissodes strobi* (Peck) (Col., Curculionidae) host selection. *J. Appl. Entomol.* 108: 21-23.
- Kriebel, H. B. 1954. Bark thickness as a factor in resistance to white pine weevil injury. *J. For.* 52: 842-845.
- Kulman, H. M. & D. M. Harman. 1965. Unsuccessful attacks by the white pine weevil in Virginia, 11 p. Va. Poly. Inst. Res. Rept. No. 100.
- Lavallée, R. & J. Morissette. 1989. Mechanical control of the white pine weevil, 9 p. Forestry Canada, Information Leaflet LFC-25E.
- Larsen, C. S. 1947. Estimation of the genotype in forest trees, pp. 87-128. Royal Veterinary and Agricultural College, Copenhagen, Yearbook 1947.
- MacAloney, H. J. 1930. The white pine weevil (*Pissodes strobi* Peck) - its biology and control. N.Y. State College For., Syracuse University. Tech. Publ. 28: 1-97.
- ODell, T. M. & R. T. Zerillo. 1969. White pine provenance test of weevil resistance, 15 p. Progress U.S.A Dep. Agric. For. Serv. Report - 969.
- Pauley, S. S., S. H. Spurr & F. W. Whitmore. 1955. Seed source trials of eastern white pine. *For. Sci.* 1: 244-256.

- Plank, G. H. & H. D. Gerhold. 1965.** Evaluating host resistance to the white-pine weevil, *Pissodes strobi*, (Coleoptera: Curculionidae) using feeding preference tests. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 58: 527-532.
- Plummer, C. C. & A. E. Pillsbury. 1929.** The white pine weevil in New Hampshire. *N. H. Agric. Exp. Stn., Durham, N.H.* 247: 3-31.
- Retnakaran, A. 1976.** The potential of insect growth regulators as ecologically acceptable agents for controlling forest insect pests. *USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep.* 8: 151-158.
- _____. 1989. Insect growth regulator may be solution to white pine weevil problem. *Forest Pest Manag. Inst. Newsletter* 8: 2-6.
- Sahota, T.S., J.F. Manville & E. White. 1994.** Interaction between Sitka spruce weevil and its host, *Picea sitchensis* (Bong) Carr: a new mechanism for resistance. *Can. Entomol.* 126: 1067-1074.
- Santamour, F. S., Jr. 1965.** Insect-induced crystallization of white pine resins. I. White pine weevil, 8 p. *U.S. Dep. Agric. For. Serv., Northeastern For. Exp. Stn., Res. Note* NE-38.
- _____. & **D. F. Zinkel. 1976.** Weevil-induced resin crystallization related to resin acids in eastern white pine. *Northeast Forest Tree Improv. Conf. Proc.* 23: 52-56.
- Sippell, W. L., G. M. Howse & R. F. DeBoo. 1977.** Le charançon du pin blanc *Pissodes strobi* Peck, pp. 268-273. *In* Prebble M. J. [ed.]. *Traitement aériens pour combattre les insectes forestiers au Canada.* Ottawa, Canada.
- Soles, R. L. & H. D. Gerhold. 1968.** Caged white pine seedling attacked by white pine weevil, *Pissodes strobi*, at five population densities. *Ann. Entol. Soc. Amer.* 61: 1468-1473.
- Stiell, W. M. & A. B. Berry. 1985.** Limiting white pine weevil attacks by side shade. *For. Chron.* 61: 5-9.
- Stroh, R. C. & H. D. Gerhold. 1965.** Eastern white pine characteristics related to weevil feeding. *Silvae Genet.* 4: 160-169.
- Sullivan, C.R. 1966.** Testing pre-selected pine grafts for resistance to the white pine weevil, *Pissodes strobi* Peck. *Proc. 10th Meeting Comm. Forest Tree Breeding Can.* II: 145-150.
- Tomlin, E. S. & J. H. Borden. 1994.** Relationship between leader morphology and resistance or susceptibility of Sitka spruce to the white pine weevil. *Can. J. For. Res.* 24: 810-816.
- VanderSar, T. J. D. 1978.** Resistance of western white pine to feeding and oviposition by *Pissodes strobi* (Peck) in western Canada. *J. Chem. Ecol.* 4: 641-647.
- Vité, J. P. & D. L. Wood. 1961.** A study on the applicability of the measurement of oleoresin exudation pressure in determining susceptibility of second-growth ponderosa pine to bark beetle infestation. *Contrib. Boyce Thompson Inst.* 21: 67-78.
- Wilkinson, R. C. 1979.** Cortical strobic acid concentrations in eastern white pine resistant and susceptible to the white pine weevil. *Northeast Forest Tree Improv. Conf. Proc.* 26: 121-132.
- _____. 1981. White pine weevil attack. Susceptibility of western white pine in the Northeast. *U.S. Dep. Agric. For. Serv. Res. Pap.* NE-483.
- _____. 1983a. Seed source variation in susceptibility of eastern white pine to white-pine weevil attack. *Northeast Forest Tree Improvement Conference Proceedings, Vol. 28.* July. Institute of Natural and Environmental Resources, Univ. of New Hampshire, Durham, NH,
- _____. 1983b. A re-examination of the relationship between bark thickness and susceptibility of eastern white pines to white pine weevil attack. *Northeast Forest Tree Improvement Conference Proceedings, Vol. 28.* Institute of Natural and Environmental Resources, Univ. of New Hampshire, Durham, NH, July.
- _____. 1983c. Leader and growth characteristics of eastern white pine associated with white pine weevil attack susceptibility. *Can. J. For. Res.* 13: 78-84.

- _____ 1985. Comparative white-pine weevil attack susceptibility and cortical monoterpene composition of western and eastern white pines. *For. Sci.* 31: 39-42.
- Wright, J.W. & W.J. Gabriel. 1959. Possibilities of breeding weevil-resistant white pine strains. 35 pp. U.S. Dept. Agric., For. Serv., Northeast. *For. Exp. Stn. Paper.* No. 115.