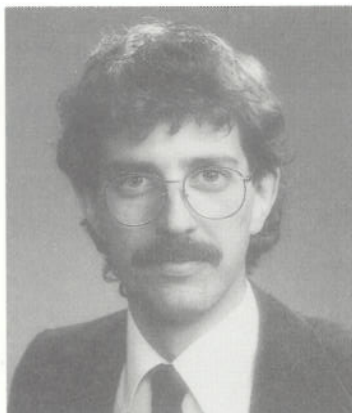


Contamination pollinique potentielle de quatre vergers à graines au Québec

par S. MERCIER
A. RAINVILLE
et G.-É. CARON



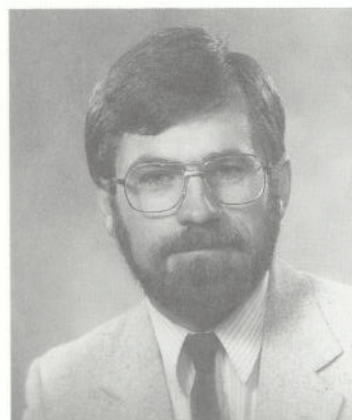
Stéphan MERCIER est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1986. En 1991, ce même établissement lui décernait le titre de maître ès sciences. À titre d'assistant de recherche, il a travaillé en 1986 sur la biologie des semences à l'Université de Joensuu (Finlande) et en 1987, sur l'induction florale à l'Institut national de recherches agronomiques d'Orléans (France). Il est à l'emploi du Service de l'amélioration des arbres depuis avril 1988 à titre de chargé de recherches sur les semences et pollens d'arbres forestiers.



André RAINVILLE est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1983. Après avoir travaillé dans l'industrie (Uniboard Canada) et en forêt privée (Syndicat des producteurs de bois), il entre au Service de l'amélioration des arbres en 1986, comme chargé de recherches sur la production de variétés multiclones, puis sur l'aménagement des vergers à graines. En 1992, l'Université Laval lui décerne le titre de maître ès sciences; il devient alors responsable de l'amélioration génétique des feuillus à bois noble.



Guy-Étienne CARON est bachelier ès sciences forestières de l'Université du Nouveau-Brunswick depuis 1980. En 1987, il obtenait un *Ph.D.* de la même institution. De 1984 à 1986, il a été professeur au Département de sciences appliquées de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue. Depuis 1986, il est professeur-chercheur à l'École de sciences forestières de l'Université de Moncton à Edmundston (Nouveau-Brunswick), où il enseigne le développement, la reproduction, la génétique et l'amélioration des arbres. Depuis 1991, il est président du Groupe de travail sur les semences de l'Association canadienne pour l'amélioration des arbres.

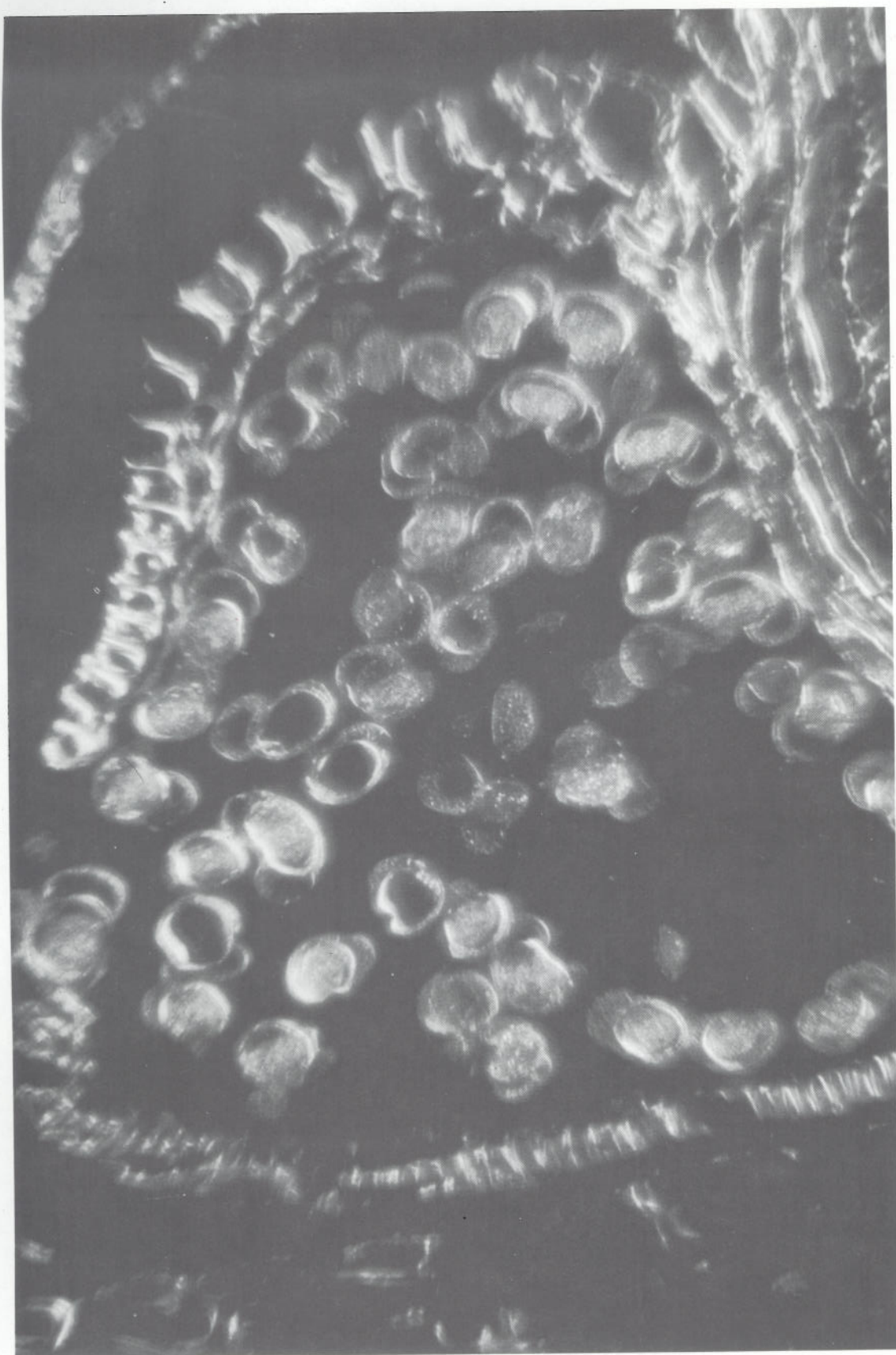


Depuis de nombreuses années, chacun des Mémoires et des autres rapports publiés par la Recherche forestière est révisé par un comité *ad hoc* d'au moins trois membres recrutés aussi bien à l'intérieur du Ministère que dans le milieu universitaire, la fonction publique du Canada ou les autres milieux de la recherche. Les responsables de la Recherche forestière remercient les scientifiques qui ont accepté bénévolement de revoir le texte présenté ici et de participer ainsi à la diffusion des résultats des recherches menées au ministère des Ressources naturelles.

Les publications de la Recherche forestière sont produites et diffusées à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation de chaque projet ou expérience. En conséquence, ces documents sont, par définition, à *tirage limité* et à *diffusion restreinte*. Adresser toute demande à la :

Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles du Québec
2700, rue Einstein
SAINTÉ-FOY (Québec)
Canada G1P 3W8

**Contamination pollinique potentielle de
quatre vergers à graines au Québec**



**Contamination pollinique potentielle de
quatre vergers à graines au Québec**

par

Stéphan MERCIER, ing.f., M.Sc.
André RAINVILLE, ing.f., M.Sc.
Service de l'amélioration des arbres

et

Guy-Étienne CARON, *Ph.D.*
École de sciences forestières
Edmundston, Nouveau-Brunswick

Mémoire de recherche forestière n° 113

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles
Direction de la recherche forestière
1994

Ce texte est un rapport partiel du projet de recherche n° 3410-02120 (02-01)
du Service de l'amélioration des arbres : *Biologie et conservation du pollen d'arbres forestiers.*

A good plan now is better than... a perfect plan later.

Tim J. Mullin

ERRATA

page-col.-parag.-ligne

8	1	2	14	PRAT et CAQUELARD 1994 HADDERS 1992
18		figure 8		Deuxième_lac_des_Marais Estcourt
25		figure 14		Taux de pollen capté (plutôt que Nombre de grains...)
29	1	2	3	...(figure 18).
31	1	1	2	...(figure 18).
34	1	1	4	...(figure 18).
59	2	1	9	...(figure 41).

ISBN 2-550-29755-5

ISSN 1183-3912

Dépôt légal 1994

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

© Gouvernement du Québec 1994

Remerciements

La réalisation de ce travail n'aurait pu être possible sans la précieuse collaboration de MM. Luc Desrosiers du Service de la production de plants, Michel Rioux de la pépinière de Saint-Modeste, Gilles Chouinard de l'unité de gestion 33 et Maurice Thibaut de l'unité de gestion 71 pour le travail sur le terrain. De plus, nous désirons souligner l'apport de M. Carol Parent, du Service de l'amélioration des arbres du ministère des Ressources naturelles (MRN), qui a réalisé l'extraction des graines de tous les lots de cônes et les tests de germination de l'épinette noire, et M. Normand Brault, du Centre de semences forestières de Berthier, qui a fait les tests de germination de l'épinette blanche. Le dénombrement des grains de pollens sur les pièges a pu être obtenu grâce à la participation de Mme Denise Châtenay du Service de l'amélioration des arbres et de MM. Jérôme Amsellem, Robbie Ritchie et Philippe Thériault de l'Université de Moncton. De plus, les cartes tridimensionnelles des vergers à graines ont été conçues par MM. Jean-Marie Bilodeau

et Steve Coulombe de la Faculté de foresterie et de géomatique de l'Université Laval. M. Lévis Beaulieu de la Direction de la recherche du MRN a réalisé les graphiques et les schémas, et la dactylographie du texte a été effectuée par Mme Sylvie Bourassa (MRN).

Ce projet a pu être réalisé grâce à la participation financière du Service de la production de plants, de la pépinière de Saint-Modeste et des unités de gestion 33 et 71. L'aide financière apportée à M. Caron par le Gouvernement du Nouveau-Brunswick, par l'entremise de la Commission permanente de coopération Nouveau-Brunswick – Québec, a aussi été fort appréciée.

À tous ces précieux collaborateurs, nous offrons nos remerciements les plus empressés et leur dédions le présent ouvrage.

Résumé

Contamination pollinique potentielle dans quatre vergers à graines au Québec. Le déplacement du pollen a été suivi en 1992 à l'intérieur de quatre vergers à graines à l'aide de la technique des pièges à pollen. Chacun des vergers choisis représente un cas particulier en ce qui a trait à l'évaluation de la contamination pollinique. La première étude porte sur un verger à graines juvénile de pin blanc situé dans le canton de Huddersfield. On a pu établir que les principales sources de contamination proviennent du nord-ouest et du sud-ouest. Toutefois, le pollen exogène demeure pour le moment un élément bénéfique pour le verger puisqu'il représente la seule source de pollen pouvant féconder les fleurs femelles. La seconde partie traite d'un verger clonal d'épinette blanche situé à proximité du Deuxième lac des Marais; il est caractérisé par une zone tampon importante due à un incendie forestier survenu en 1991. L'intérêt de cette étude est qu'elle permet de mieux suivre le déplacement du pollen sur de grandes distances, en l'occurrence environ trois kilomètres. L'abondance du pollen produit en 1992 a provoqué une contamination pollinique du verger de l'ordre de 93 %; certains peuplements adjacents ayant survécu au feu et le pollen provenant de peuplements distants et acheminé par les courants d'air dans la vallée étaient les sources principales de contaminants dans ce verger. L'étude du verger clonal d'épinette blanche et celle du verger de semis d'épinette noire du canton d'Estcourt forment le troisième volet du mémoire. Ces vergers représentent des cas-types de vergers à une phase ultérieure de production puisqu'ils produisent tous deux des inflorescences mâles et femelles. Dans ces deux derniers vergers, la principale source de contamination provient des peuplements situés en direction sud-ouest, qui pourraient être éliminés par une coupe à blanc. Dans chaque cas à l'étude, une discussion ainsi que des recommandations sont formulées à la lumière des résultats obtenus et on suggère différentes interventions permettant de réduire significativement le taux de contamination dans les vergers.

Mots-clés : contamination pollinique, pollen, verger à graines, *Picea mariana*, *Picea glauca*, *Pinus strobus*.

Abstract

Potential pollen contamination in four seed orchards in Québec. Pollen monitoring was conducted in 1992 within four seed orchards through on-site pollen deposition traps. Each orchard of conifer species represented a unique pollen contamination case study. In the first study, pollen monitoring was carried on a juvenile white pine clonal seed orchard located in the Huddersfield township. Pollen contamination was primarily from the northwest and southwest directions. In this case study, pollen contamination was considered beneficial for seed production because orchard trees do not yet produce pollen. In the second study, a clonal white spruce orchard, located near Deuxième lac des Marais (near La Malbaie), is characterized by a large pollen buffer zone around the orchard resulting from a forest fire in 1991. Pollen dynamics was evaluated over a three kilometer distance. Although native stands were distant, pollen contamination in the orchard was 93 % owing to large pollen production recorded in the area in 1992. Distant and fire surviving stands, assisted by air currents in the valley, were the principal pollen contaminant sources. In the third part of this report, pollen monitoring in a clonal white spruce orchard and a black spruce seedling seed orchard, located in the Estcourt township, is presented. In both of these orchards, pollen monitoring is more complex because trees bear both seed cones and pollen cones. Stands located southwest of the orchards appear to be the principal source of pollen contamination. This source could be eliminated through a clearcut operation. In each case study, a discussion of results is made, recommendations are formulated, and we suggest various management options to limit pollen contamination.

Key words : pollen contamination, pollen, seed orchard, *Picea mariana*, *Picea glauca*, *Pinus strobus*.

Table des matières

Remerciements	v
Résumé	vii
<i>Abstract</i>	vii
Liste des tableaux	xiii
Liste des figures	xv
Introduction	1
Chapitre premier	
Revue de littérature	3
1.1 Mode de pollinisation des arbres résineux	3
1.2 Effets des conditions environnementales sur la dissémination du pollen	4
1.2.1 Effet du vent	4
1.2.2 Effet des précipitations	4
1.2.3 Effet de la température	4
1.2.4 Présence d'obstacles	5
1.2.5 Étalement de la floraison	5
1.2.6 Hauteur de l'arbre	5
1.2.7 Qualité du pollen produit	5
1.3 Modèles de déplacement du pollen	5
1.3.1 Modèle simplifié de Faegri et van der Pijl	5
1.3.2 Modèle du taux de sédimentation	7
1.3.3 Modèle de Rombakis	7

1.4 Distance de dispersion du pollen	8	2.3 Discussion	25
1.5 Stratégies utilisées pour évaluer la contamination pollinique	9	2.3.1 Efficacité des pièges	25
1.5.1 Utilisation de marqueurs génétiques	9	2.3.2 Période de réceptivité des fleurs femelles	26
1.5.2 Suivi du pollen disséminé artificiellement	9	2.3.3 Direction du pollen capté	26
1.5.3 Échantillonnage du pollen contaminant d'origine naturelle	9	2.3.4 Date de dissémination du pollen des peuplements adjacents	26
1.5.3.1 Piège à lames fixes	11	2.3.5 Recommandations	27
1.5.3.2 Piège-girouette	11		
1.5.3.3 Piège tubulaire	12		
1.5.3.4 Piège de Di-Giovanni	12	Chapitre III	
1.5.3.5 Piège à fibres cellulosiques (ou à unité filtrante verticale)	14	Étude de la contamination pollinique du verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais	29
1.6 Diminution du gain génétique	14		
1.7 Solutions proposées pour réduire la contamination pollinique	15	3.1 Matériel et méthodes	29
Chapitre II		3.1.1 Description du site	29
Étude de la contamination pollinique du verger du canton de Huddersfield	17	3.1.2 Répartition et prélèvement des pièges	31
2.1 Matériel et méthodes	17	3.1.3 Évaluation de la contamination pollinique du verger	34
2.1.1 Description du site étudié et répartition des pièges	17	3.1.4 Évaluation de la production pollinique du verger	35
2.1.1.1 Description du site	17	3.1.5 Dénombrement et identification des pollens	35
2.1.1.2 Répartition et prélèvement des pièges	18	3.1.6 Évaluation de la production de fleurs mâles et femelles	35
2.1.2 Identification et dénombrement des pollens	18	3.1.7 Évaluation de la période de réceptivité des fleurs femelles	35
2.1.3 Évaluation de la période de réceptivité des fleurs femelles	21	3.1.8 Évaluation du rendement et de la qualité des semences	35
2.1.4 Données météorologiques	21	3.1.9 Données météorologiques	37
2.2 Résultats	23	3.2 Résultats	37
2.2.1 Période de réceptivité des fleurs femelles	23	3.2.1 Dynamique à l'intérieur du verger	37
2.2.2 Direction du pollen capté	23	3.2.1.1 Dissémination du pollen	37
2.2.3 Date de dissémination du pollen des peuplements adjacents	25	3.2.1.2 Période de réceptivité des fleurs femelles	37
		3.2.1.3 Taux de contamination	39
		3.2.1.4 Direction du pollen contaminant	39

3.2.1.5 Production de fleurs femelles et mâles	39	4.1.3 Étude de la contamination du verger d'épinette noire	53
3.2.1.6 Rendement en graines et taux de germination	39	4.1.3.1 Description du site	53
3.2.2 Dynamique le long du transect	39	4.1.3.2 Répartition et prélèvement des pièges	53
3.2.3 Dissémination du pollen de sapin baumier	39	4.1.4 Répartition des pièges situés à l'extérieur des vergers	55
3.2.4 Dissémination du pollen de bouleau blanc	41	4.1.5 Évaluation de la production de pollen des vergers	55
3.2.5 Dissémination du pollen de l'épinette noire	41	4.1.6 Décompte et identification du pollen	55
3.2.6 Dissémination du pollen de pin gris	43	4.1.7 Évaluation des périodes de dissémination et de réceptivité des vergers	55
3.3 Discussion	43	4.1.8 Évaluation de la production de fleurs mâles et femelles	57
3.3.1 Production de pollen dans la région du verger	43	4.1.9 Évaluation du rendement et de la qualité des graines	57
3.3.2 Contamination dans le verger du Deuxième lac des Marais	43	4.1.10 Données météorologiques	59
3.3.3 Données météorologiques	47	4.2 Résultats	59
3.3.4 Origine des dépôts de pollen d'épinette blanche le long du transect	47	4.2.1 Verger d'épinette blanche	59
3.3.5 Différence quantitative des dépôts selon les espèces	49	4.2.1.1 Production de fleurs femelles et de fleurs mâles dans le verger	59
3.3.6 Dépôt des autres espèces selon le transect	49	4.2.1.2 Période de réceptivité et de dissémination	59
3.3.7 Recommandations	49	4.2.1.3 Rendement en graines et taux de germination	59
		4.2.1.4 Taux de contamination et origine des peuplements contaminants	59
		4.2.2 Verger d'épinette noire	60
		4.2.2.1 Production de fleurs femelles et de fleurs mâles dans le verger	60
		4.2.2.2 Période de réceptivité et de dissémination	60
		4.2.2.3 Rendement en graines et taux de germination	62
		4.2.2.4 Taux de contamination et origine des peuplements contaminants	62
		4.2.3 Gradient de variation selon la distance des pièges	62
Chapitre IV			
Étude de la contamination pollinique dans les vergers du canton d'Estcourt	51		
4.1 Matériel et méthodes	53		
4.1.1 Description de la coupe de 1991	53		
4.1.2 Étude de la contamination du verger d'épinette blanche	53		
4.1.2.1 Description du site	53		
4.1.2.2 Répartition et prélèvement des pièges	53		

4.3 Discussion	62
4.3.1 Verger d'épinette blanche	62
4.3.1.1 Production de fleurs femelles et de fleurs mâles du verger	62
4.3.1.2 Période de réceptivité et de dissémination	62
4.3.1.3 Taux de contamination et origine des peuplements contaminants	66
4.3.2 Verger d'épinette noire	67
4.3.2.1 Production de fleurs femelles et de fleurs mâles du verger	67
4.3.2.2 Période de réceptivité et de dissémination	67
4.3.2.3 Taux de contamination et origine des peuplements contaminants	67
4.3.3 Recommandations	68
Conclusion générale	69
Liste des ouvrages cités	73

Liste des tableaux

Tableau 1	Distance minimale suggérée comme zone tampon autour d'un verger.	8
Tableau 2	Répartition du pollen de pin blanc capté par les pièges à l'intérieur du verger d'Huddersfield et selon les quatre orientations des lames de verre.	23
Tableau 3	Répartition en pourcentage du pollen de pin blanc à l'intérieur du verger d'Huddersfield et selon les quatre directions pour chacun des jours.	24
Tableau 4	Comparaison de la répartition du pollen capté par les pièges en 1991 et en 1992 dans le verger clonal d'épinette blanche du canton d'Estcourt selon les quatre orientations des lames de verre ainsi que les périodes d'étude.	67

Liste des figures

- Figure 1** Photographie d'un grain normal de pollen de pin gris, prise à l'aide d'un microscope électronique à balayage (grossissement 1500 X). 6
- Figure 2** Photographie d'un grain de pollen d'épinette blanche possédant un ballonnet surnuméraire, prise à l'aide d'un microscope électronique à balayage (grossissement 600 X). 6
- Figure 3** Représentation d'un piège à lames fixes (tirée de CARON *et al.* 1992). Ce système utilise de une à quatre lames de verre orientées selon les directions désirées. 10
- Figure 4** Représentation d'un piège girouette (tirée de GREENWOOD et RUCKER 1985). Ce système utilise une seule lame de verre orientée selon les vents dominants. 11
- Figure 5** Représentation d'un piège tubulaire (tirée de CARON 1991). Ce système permet d'orienter la base selon les quatre points cardinaux. Un adaptateur pour le microscope est nécessaire. 12
- Figure 6** Représentation d'un piège de Di-Giovanni (tirée de DI-GIOVANNI 1992). Ce système utilise huit lames de plastique (deux pour chaque côté du piège) orientées selon les directions désirées. Chacune de ces lames possède deux perforations d'un diamètre d'environ 1 cm chacune, où le côté collant d'un ruban adhésif sert de surface capteuse. 13

- Figure 7** Représentation d'un piège à fibres cellulosiques ou unité filtrante verticale (adapté de COUR et VILLEMUR 1985 et RICHARD 1985). Ce type de piège filtre l'air grâce à une superposition de cinq trames de gaze hydrophile enduite d'une couche de silicone. Le pollen est récupéré par une série de traitements chimiques puis dénombré au microscope optique. Ce système ne permet pas d'identifier la direction exacte de la provenance du pollen. 14
- Figure 8** Localisation des quatre vergers à graines étudiés. Deux vergers se trouvent sur le site d'Estcourt. 18
- Figure 9** Localisation topographique du verger clonal de pin blanc de Huddersfield. 19
- Figure 10** Greffe de pin blanc du verger clonal du canton de Huddersfield. 20
- Figure 11** Vue d'ensemble du verger clonal de pin blanc du canton de Huddersfield. 20
- Figure 12** Disposition des pièges à lames fixes à l'intérieur du verger clonal de pin blanc de 9,7 ha situé dans le canton de Huddersfield. Ces quatre pièges comportent chacun quatre lames orientées en direction du nord-ouest, sud-ouest, nord-est et sud-est et ils sont distancés les uns des autres d'environ 150 à 200 m. 21
- Figure 13** Date de réceptivité des fleurs femelles des clones de pin blanc du verger de Huddersfield. 22
- Figure 14** Représentation graphique du nombre de grains de pollen par millimètre carré captés par les quatre pièges dans le verger du canton de Huddersfield durant la période du 2 au 26 juin 1992. 25
- Figure 15** Localisation topographique du verger dans la vallée du Deuxième lac des Marais. 30
- Figure 16** Greffe d'épinette blanche dans le verger clonal du Deuxième lac des Marais dans la circonscription de Charlevoix. 31
- Figure 17a** Vue d'ensemble du verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais dans le comté de Charlevoix. 32
- Figure 17b** Photographie représentant le brûlé de 1991 autour du Deuxième lac des Marais. 32
- Figure 18** Disposition des pièges à pollen en périphérie et à l'intérieur du verger clonal d'épinette blanche de 7 ha situé près du Deuxième lac des Marais et aussi le long d'un transect orienté nord-ouest débutant près du Premier lac des Marais. Certains pièges ont également été installés à divers endroits afin d'évaluer la contamination potentielle provenant des peuplements ayant survécu au feu de 1991. L'orientation des lames sur chaque piège indique la source de pollen. Les peuplements ayant survécu au feu de 1991 sont représentés. 33
- Figure 19** Accumulation des degrés-jours dans le verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais entre le 15 mai et le 6 juin 1992 à partir des données de la station météorologique de Saint-Hilarion. 34
- Figure 20** Dynamique du pollen d'épinette blanche dans le verger clonal du Deuxième lac des Marais : a) degrés-jours (5 °C), pluie (°, moins de 1 mm; •, plus de 1 mm) et vent dominant selon la capture du pollen sur les pièges 7 et 8 pour la période du 23 mai au 3 juin; b) dépôt total des grains de pollen d'épinette blanche provenant du verger et des peuplements environnants; c) production pollinique du verger d'épinette blanche. 36
- Figure 21** Période de réceptivité des fleurs femelles et de la dissémination des fleurs mâles chez les épinettes blanches du verger clonal du Deuxième lac des Marais en 1992. 37

- Figure 22** Nombre total de grains de pollen d'épinette blanche déposés sur les pièges 1 à 14 situés le long d'un transect près du Deuxième lac des Marais en 1992, et acheminés par A) les vents du sud-est et B) les vents du nord-ouest. Le peuplement le plus près du piège 1 était à 100 m. Le piège 15 est situé à 340 m au nord-est du piège 14 et le peuplement le plus près, à 500 m au nord-est du piège 15. 38
- Figure 23** Capture totale des grains de pollen d'épinette blanche, de sapin baumier, de bouleau à papier, d'épinette noire et de pin gris par les pièges situés près du verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais en 1992. 40
- Figure 24** Capture quotidienne du pollen de sapin baumier à partir des pièges 7 et 8 situés dans le verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais en 1992. 40
- Figure 25** Capture totale de grains d'épinette blanche, de sapin baumier, de bouleau à papier, d'épinette noire et de pin gris par les lames orientées sud-ouest et nord-est sur les pièges 7 et 8 situés dans le verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais en 1992. 41
- Figure 26** Nombre total de grains de pollen de sapin baumier déposés sur les pièges 1 à 14 situés le long d'un transect près du Deuxième lac des Marais en 1992, et acheminés par A) les vents du sud-est et B) les vents du nord-ouest. 42
- Figure 27** Capture quotidienne du pollen de bouleau blanc à partir des pièges 7 et 8 situés dans le verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais en 1992. 43
- Figure 28** Nombre total de grains de pollen de bouleau blanc déposés sur les pièges 1 à 14 situés le long d'un transect près du Deuxième lac des Marais en 1992, et acheminés par A) les vents du sud-est et B) les vents du nord-ouest. 44
- Figure 29** Capture quotidienne de pollen d'épinette noire à partir des pièges 7 et 8 situés dans le verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais en 1992. 45
- Figure 30** Nombre total de grains de pollen d'épinette noire déposés sur les pièges 1 à 14 situés le long d'un transect près du Deuxième lac des Marais en 1992, et acheminés par A) les vents du sud-est et B) les vents du nord-ouest. 46
- Figure 31** Capture quotidienne de pollen de pin gris à partir des pièges 7 et 8 situés dans le verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais. 47
- Figure 32** Nombre total de grains de pollen de pin gris déposés sur les pièges 1 à 14 situés le long d'un transect près du Deuxième lac des Marais en 1992, et acheminés par A) les vents du sud-est et B) les vents du nord-ouest. 48
- Figure 33** Localisation topographique du verger clonal d'épinette blanche, du verger de semis d'épinette noire et de la coupe de 1991. 52
- Figure 34** Disposition des pièges à pollen en périphérie du verger clonal d'épinette blanche de 11 ha situé dans le canton d'Estcourt en 1992. Les huit pièges à lames fixes ont été placés sur le périmètre du verger avec des lames captant le pollen entrant et sortant du verger. 54
- Figure 35** Disposition des pièges à pollen situés en bordure des peuplements contaminants près des vergers à graines d'Estcourt. Les quatre pièges à lames fixes, dont la lame unique était orientée en direction opposée à celle des vergers, ont été placés de manière à identifier les peuplements contaminants. 56
- Figure 36** Vue d'ensemble du verger de semis d'épinette noire du canton d'Estcourt. 57

Figure 37 Disposition des pièges à pollen en périphérie du verger de semis d'épinette noire de 59 ha situé dans le canton d'Estcourt en 1992. Les six pièges à lames fixes ont été placés sur le périmètre du verger avec des lames captant le pollen entrant et sortant du verger. 58

Figure 38 Accumulation des degrés-jours dans le verger clonal d'épinette blanche du canton d'Estcourt entre le 15 mai et le 11 juin 1992 à partir des données de la station météorologique installée sur le site du verger. 60

Figure 39 Photographie d'une inflorescence femelle d'épinette blanche du canton d'Estcourt durant la période de réceptivité. 61

Figure 40 Photographie d'une inflorescence mâle d'épinette blanche du canton d'Estcourt durant la période de dissémination du pollen. 61

Figure 41 Taux de contamination pollinique durant la période de réceptivité des fleurs femelles d'épinette blanche dans le verger clonal du canton d'Estcourt : A) à l'intérieur du verger et B) en provenance des peuplements avoisinants. 63

Figure 42 Provenance du pollen contaminant durant la période totale de dissémination dans le verger clonal d'épinette blanche du canton d'Estcourt. 64

Figure 43 Proportion de fleurs femelles et de fleurs mâles parmi les épinettes noires échantillonnées en 1992 dans le verger de semis du canton d'Estcourt. 64

Figure 44 Répartition de la date de dissémination du pollen par rapport à la période de réceptivité des fleurs femelles d'épinette noire dans le verger de semis du canton d'Estcourt. 65

Figure 45 Répartition des sources de pollen contaminant présent dans le verger de semis d'épinette noire du canton d'Estcourt au cours de la période de réceptivité des fleurs femelles. 65

Introduction

Le Québec possède actuellement 83 vergers à graines de première génération destinés à produire des graines génétiquement améliorées. Le matériel constituant ces vergers est la base du programme d'amélioration génétique des arbres; après diverses étapes de sélection, il servira à la création de variétés multifamiliales. Ces vergers à graines sont constitués de matériel provenant d'arbres sélectionnés. La contamination des vergers par du pollen provenant des forêts environnantes peut réduire considérablement la valeur génétique des graines qui seront récoltées et le gain génétique anticipé (DENISON et FRANKLIN 1975, KOSKI 1980, FRIEDMAN et ADAMS 1981, GREENWOOD et RUCKER 1985, CARON et LEBLANC 1992).

Le choix d'un site pour l'établissement d'un verger à graines doit être basé sur plusieurs critères (WERNER 1975, SIMPSON et SMITH 1988, RAINVILLE 1990). L'un d'eux est l'isolement du verger de la contamination par du pollen étranger. La meilleure façon d'y parvenir est d'établir le verger hors de l'aire de distribution de l'espèce, ce qui en pratique n'est pas toujours réalisable. Au Québec, le ministère des Ressources naturelles a choisi d'établir ses vergers dans le même environnement où les arbres-plus ont été sélectionnés. Cette option présente l'avantage de permettre aux arbres semenciers du verger de se développer dans des conditions environnementales semblables à celles de leurs parents. Néanmoins, elle présente l'inconvénient d'accentuer les risques de contamination par du pollen exogène. Dans un tel cas, l'évaluation du taux de contamination (ou pollution) pollinique est souvent réalisée après l'implantation du verger. Elle n'a alors plus pour objet d'orienter le choix d'un site pour l'établissement d'un verger à graines mais bien de déterminer si une intervention sylvicole doit être entreprise pour contrer cette contamination et, dans l'affirmative, de déterminer le type d'intervention qui serait le plus adéquat. Pour ce faire, il est important de bien mesurer le niveau de contamination ainsi que

la source de pollen et la variation annuelle. Les informations doivent donc être recueillies à au moins deux reprises, soit lors des années de faible et de forte production en pollen. Qui plus est, il n'est pas évident que les taux de contamination les plus élevés se rencontrent seulement lors des années productives de pollen (CARON et LEBLANC 1992). Une évaluation adéquate de la dynamique du pollen dans un verger à graines conduira inévitablement à des recommandations éclairées.

Ce mémoire présente une revue de littérature qui synthétise l'ensemble des travaux réalisés sur les contaminations polliniques des vergers ainsi que quatre études de contamination pollinique qui ont été réalisées dans des vergers spécifiques. Chacun présente un cas particulier en ce qui concerne l'étude de la contamination.

La première étude porte sur un verger à graines en phase juvénile de production, cas représentatif actuellement de la majorité des vergers à graines du Québec. Le verger clonal de pin blanc (*Pinus strobus* L.) du canton de Huddersfield est en effet caractérisé par une faible production de cônes femelles alors que la production de cônes mâles est encore inexistante. Ce phénomène se produit pendant les premières années de maturité sexuelle d'un arbre alors qu'existe un certain décalage entre l'apparition des cônes femelles et celui des cônes mâles (WAREING 1958, OWENS et BLAKE 1986, CARON et POWELL 1989, CARON 1992). Même si le pollen agit comme facteur limitatif de la production de semences en période juvénile, la production de graines viables à l'intérieur du verger indique clairement la présence de pollen exogène. La mise en place d'un nombre restreint de pièges à pollen permet de repérer les peuplements contaminants et de quantifier l'ampleur de cette contamination.

La seconde étude représente un cas qui ne se rencontre qu'exceptionnellement, mais qui permet néanmoins de tirer des renseignements intéressants sur la dispersion du pollen. Les peuplements entourant le verger à graines d'épinette blanche [*Picea glauca* (Moench) Voss] du Deuxième lac des Marais, situé près de la ville de La Malbaie, ont été décimés par un feu de forêt en 1991. Le feu a éliminé les sources de contamination dans un rayon d'environ un kilomètre, épargnant heureusement les semenciers du verger en raison de la perturbation du sol qui a agi comme barrière à la propagation du feu. Dans le brulis, seuls quelques bouquets d'arbres ont survécu. Ce verger présente donc une situation inverse de celle rencontrée dans le verger d'Huddersfield. En effet, nous nous trouvons en présence d'un verger qui produit à la fois des cônes femelles et des cônes mâles alors que la production de pollen par les peuplements environnants est fortement diminuée par l'effet de la distance qui doit être parcourue par le pollen étranger avant de féconder les fleurs femelles du verger.

La troisième partie représente la suite d'une étude qui a été entreprise en 1991 (CARON *et al.* 1992) dans le verger clonal d'épinette blanche et le verger de semis d'épinette noire [*Picea mariana* (Mill.) BSP] du canton d'Estcourt. Le premier verger constitue un cas-type de verger à la phase de maturité sexuelle, c'est-à-dire celle où les arbres produisent du pollen au même titre que les peuplements environnants mais en plus faible quantité. Cette situation est fort complexe à étudier puisqu'elle suppose des entrées et des sorties continues de pollen dans le verger. De plus, l'intérêt de cette étude vient du fait que la première année correspondait à une faible année productrice en pollen (CARON *et al.* 1992) alors que cette seconde année (1992) représente au contraire une année de production abondante. La comparaison de ces deux types de production de pollen devient alors intéressante.

Chapitre premier

Revue de littérature

1.1 Mode de pollinisation des arbres résineux

Tous les arbres résineux présents au Québec sont anémophiles (ou anémogames), c'est-à-dire que leur pollen est véhiculé à partir de la fleur mâle jusqu'à l'ovule par l'intermédiaire du vent sans aucune participation d'insectes. L'anémophilie est considérée comme un caractère primitif chez les Gymnospermes et un caractère évolutif chez les Angiospermes comme le hêtre ou l'orme (DOWDING 1987). Selon ce dernier auteur, la proportion de plantes anémophiles augmente avec la latitude et l'altitude et l'on croit que ce phénomène peut être attribué à la durée de la saison de croissance qui s'amenuise ainsi qu'aux températures qui diminuent (FAEGRI et VAN DER PIJL 1966).

Les plantes anémophiles possèdent des caractéristiques communes que l'on regroupe sous le terme du « syndrome de l'anémophilie » (FAEGRI et VAN DER PIJL 1966, ABID 1991). Ainsi, les fleurs anémophiles sont produites avant la formation des feuilles ou situées loin de la masse foliaire. Ces inflorescences sont clairement exposées et souvent pendantes. En dehors du calice nécessaire à la protection des fleurs, périanthe et corolle sont réduits ou souvent absents. Ces pièces florales, nécessaires pour attirer les insectes et autres agents pollinisateurs chez les plantes entomogames, nuiraient à l'efficacité de la pollinisation en s'interposant sur le parcours du pollen mais elles sont bien protégées par une série de bractées ou d'écaillies. Il y a absence de substances attractives (comme le nectar); les anthères et les stigmates sont clairement exposés; les grains de pollen sont en général de taille réduite (20-30 μm de diamètre, exceptionnellement de 50 à 125 μm chez les Pinacées), de faible densité et ils sont produits en très grande quantité; il y a un nombre réduit d'ovules. L'exine est sans plages visqueuses (plages qui permettent aux pollens entomophiles d'adhérer entre eux). Les grains de pollen se présentent sous forme de particules

pulvérulentes, sèches et légères (une diminution du poids est provoquée par la déshydratation des pollens au contact de l'air), facilement disséminables par le vent. Les stigmates des fleurs anémogames sont larges et visqueux. Chez les arbres feuillus, la floraison a généralement lieu tôt dans la saison en l'absence du feuillage.

Les avantages de l'anémophilie sont les suivants (DOWDING 1987) :

- l'arbre ne dépend pas de la présence d'insectes pour la pollinisation. Ceci représente un avantage particulièrement intéressant dans les latitudes élevées où les populations d'insectes se manifestent tard dans la saison de croissance;
- il n'y a pas de gaspillage de gamètes mâles par les insectes vecteurs qui consomment une partie du pollen produit;
- il n'est pas nécessaire d'investir « métaboliquement » dans la production de pétales et de nectars;
- il est possible de couvrir de plus longues distances.

Toutefois, l'anémophilie présente également certains inconvénients (DOWDING 1987) :

- les arbres anémophiles dépendent des conditions météorologiques pour la dissémination et la dispersion du pollen ainsi que la réussite de la fécondation;
- il y a une perte considérable de pollen due à la sédimentation ainsi qu'au lessivage par la pluie, la mort prématurée du pollen par les rayons ultraviolets et la teneur en eau;
- la probabilité que le grain de pollen atteigne le micropyle est très faible.

1.2 Effets des conditions environnementales sur la dissémination du pollen

L'étude de la contamination pollinique dans les vergers à graines résineux doit tenir compte des conditions environnementales puisque la fécondation des arbres est anémogame. En plus de ce dernier facteur, la pollinisation naturelle des conifères est aussi tributaire d'une multitude de paramètres environnementaux. Déjà, BLACKLEY (1873) remarquait que l'ensoleillement, la présence de vent, l'absence de pluie et la chaleur favorisent le dépôt d'une quantité importante de pollen. Ainsi, la distance parcourue par le pollen et sa direction de dispersion dépendent de plusieurs facteurs, comme :

- la direction et la vélocité du vent;
- la présence ou l'absence de pluie;
- la température;
- la présence ou l'absence d'obstacles naturels (comme les montagnes);
- la longueur de la période de dissémination;
- la hauteur de l'arbre (ou du rameau qui dissémine le pollen);
- la qualité du pollen produit.

DOWDING (1987) démontre que tous ces facteurs environnementaux influencent effectivement le moment de dissémination du pollen. Cet auteur a pu remarquer que la période optimale de dissémination de pollen à l'intérieur d'une même journée était la fin de la matinée et exceptionnellement, lors de journées particulièrement chaudes, au cours de la nuit.

1.2.1 Effet du vent

La température, le vent et l'humidité relative de l'air ont un effet important sur l'abondance du pollen disséminé, mais la direction du vent et sa vitesse influencent le modèle de distribution du pollen (GRIFFIN 1980).

Le vent agit sur le contenu pollinique de l'air par sa direction, en modifiant la représentation des différents taxons entre eux et surtout, par sa vitesse, en conditionnant sélectivement la quantité de pollen. Un vent violent, c'est-à-dire dont la vitesse est supérieure à 12 m/s, dilue les grains de pollen et augmente le

transport (ABID 1991). Par contre, un vent dont la vitesse est inférieure à 12 m/s entraîne une mauvaise dispersion. Dans les deux cas, le nombre de grains de pollen par mètre cube d'air est faible.

1.2.2 Effet des précipitations

Selon l'époque où elles surviennent, les précipitations influencent soit la quantité de pollen produit par les arbres, soit leur émission et leur dispersion dans l'atmosphère (ABID 1991). Si elles ont lieu juste avant la pollinisation, l'émission pollinique sera importante dès l'arrêt des pluies (ABID 1991). Lorsque les précipitations surviennent durant la période de pollinisation, leur action sur l'intensité des émissions polliniques se manifeste de deux manières : on observe un blocage des émissions polliniques au niveau de l'arbre et un lavage de l'atmosphère à la suite de la sédimentation des grains de pollen au sol (COUR 1974, TAMPIERI *et al.* 1977). Il en résulte une diminution sensible du contenu pollinique dans l'atmosphère immédiatement après l'événement (HYDE 1952). L'incidence de l'action des précipitations dépend de la quantité de pluie tombée, mais aussi de la durée de la pluie et par conséquent de son intensité. McDONALD (1962) constate qu'une pluie fine et prolongée nettoie l'atmosphère beaucoup plus efficacement qu'une averse violente à grosses gouttes.

Par ailleurs, il apparaît évident à certains auteurs que la présence d'une humidité relative de l'air, sous forme de rosée ou de fine pluie, est souvent nécessaire pour que la fécondation des arbres anémogames se fasse adéquatement (SWEET *et al.* 1992).

1.2.3 Effet de la température

Au moment des émissions polliniques, l'action de la température sur la quantité de pollen produit ou sur sa qualité est immédiate (LJUNGKVIST *et al.* 1977, MULLENDERS *et al.* 1978). Tout abaissement ou élévation de température est automatiquement suivi d'une réduction ou d'une augmentation de l'émission pollinique. LEJOLY-GABRIEL (1978) note que l'élévation de la température entraîne une augmentation de l'intensité des émissions polliniques; il note également une relation étroite entre la température et la durée de la période de pollinisation. De très mauvaises conditions climatiques (gel durant la période de floraison par exemple) entraînent une forte diminution de la qualité du pollen produit en engendrant parfois la malformation de certains grains (HYDE 1950, MERCIER et STIPANICIC 1990, MERCIER 1992).

Les études entreprises sur la phénologie de la floraison des espèces forestières mettent en évidence l'action prépondérante de la température sur les émissions polliniques et l'effet déterminant qu'elle exerce sur leur date d'apparition, leur durée et leur intensité (STIPANICIC et MERCIER 1993). Deux paramètres relatifs à la température sont mis en cause dans la floraison mâle : le besoin en froid nécessaire pour la levée de dormance des bourgeons et l'épanouissement des inflorescences (ABID 1991).

1.2.4 Présence d'obstacles

Le relief plus ou moins égal ainsi que la présence de certains obstacles (comme une forêt, des bâtiments, etc.) entraînent des perturbations de l'air qui amènent inévitablement des remous ou, du moins, des changements anarchiques de la direction et de la force du vent. Ces obstacles peuvent être bénéfiques pour contrer la contamination (FAEGRI et VAN DER PIJL 1966). Ils peuvent également être très nuisibles mais, dans tous les cas, ils augmentent le degré de complexité de l'étude du déplacement du pollen.

1.2.5 Étalement de la floraison

Il est également important de signaler un problème qui est propre à l'avènement des vergers à graines. En effet, la présence de plusieurs clones ou familles d'origines diverses sur un même site favorise un étalement de la période de l'anthèse nettement supérieur à celui observé dans un peuplement naturel où les génotypes ont subi un long processus d'adaptation aux conditions environnementales locales (CARON *et al.* 1992).

1.2.6 Hauteur de l'arbre

La hauteur de l'arbre ou de la branche d'où est disséminé le pollen influence sensiblement la distance de dispersion de celui-ci. En effet, SILEN (1962) tire la conclusion qu'un arbre dissémine son pollen sur une distance qui égale entre 5 à 10 fois sa hauteur. Il est généralement admis que plus la hauteur du point de chute du pollen sera élevée, plus grande sera la distance qu'il parcourra. C'est d'ailleurs pour cette raison que le pollen des arbres résineux voyage sur une distance nettement supérieure à celui des Graminées (FAEGRI et VAN DER PIJL 1966).

1.2.7 Qualité du pollen produit

L'influence de la qualité du pollen sur sa dissémination a été signalée à quelques reprises (LINSKEN 1964). Il apparaît ainsi que des malformations morphologiques du pollen peuvent réduire sa distance

de dissémination, de même que l'absence de ballonnets (LINSKEN 1964); elles peuvent au contraire augmenter cette distance dans le cas de ballonnets surnuméraires (figures 1 et 2). Par ailleurs, certains auteurs ont démontré que le pollen mort, c'est-à-dire qu'il est privé de son cytoplasme, voyageait plus facilement dans l'air que le pollen vivant compte tenu qu'il est plus léger (HASKELL 1943).

Par ailleurs, la durée de vie d'un grain de pollen dans l'atmosphère demeure très courte, de l'ordre de quelques jours seulement (DOWDING 1987). Ce dernier auteur attribue ce phénomène à la présence des rayons ultra-violets qui tuent le pollen ainsi que, peut-être, les variations trop grandes de la teneur en eau. Conséquemment, le pollen qui parcourt une distance importante perd considérablement de sa vigueur et de son pouvoir fécondant.

1.3 Modèles de déplacement du pollen

Les pollens des espèces anémogames ont des caractéristiques particulières (FAEGRI et VAN DER PIJL 1966). Ils ont un diamètre beaucoup plus faible (20 à 30 μm) que la plupart des espèces entomogames (50 à 150 μm). Toutefois, les pollens des essences résineuses, particulièrement ceux de l'épinette blanche, de l'épinette de Norvège et du sapin baumier, ont des diamètres exceptionnellement élevés pour des espèces anémogames (entre 120 et 150 μm). Le poids élevé de ces pollens a une incidence certaine sur leur déplacement dans l'atmosphère. Ce problème étant particulier aux conifères, il explique le fait que l'on retrouve uniquement chez ce groupe la présence de ballonnets qui ont pour objet d'alléger les grains de pollen en augmentant la surface de l'exine tout en maintenant la même masse (ABID 1991). L'établissement d'un modèle mathématique de déplacement du pollen dans l'atmosphère doit donc tenir compte de ce paramètre en plus de ceux déjà mentionnés au point précédent.

Certains travaux ont déjà démontré qu'il n'existe pas de relation arithmétique entre la densité du pollen dans l'air et la distance qui sépare la source de dissémination d'un verger à graines (GEARY 1970). Cette relation semble être davantage logarithmique. Toutefois, GRIFFIN (1980) a pu établir une corrélation linéaire entre la densité du pollen et la faible distance par rapport à la source de dissémination (c'est-à-dire moins de 50 m). Ce modèle ne s'applique toutefois pas aux grandes distances ni lorsque la vitesse du vent est élevée.

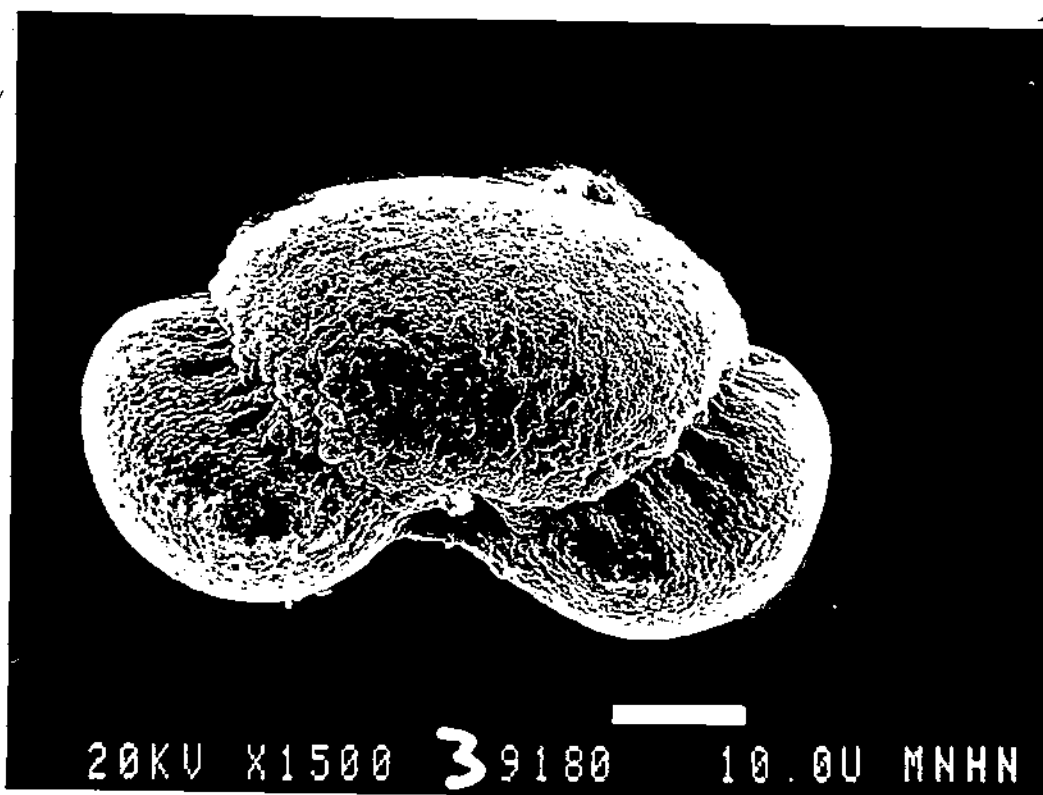


Figure 1. Photographie d'un grain normal de pollen de pin gris, prise à l'aide d'un microscope électronique à balayage (grossissement 1500 X).

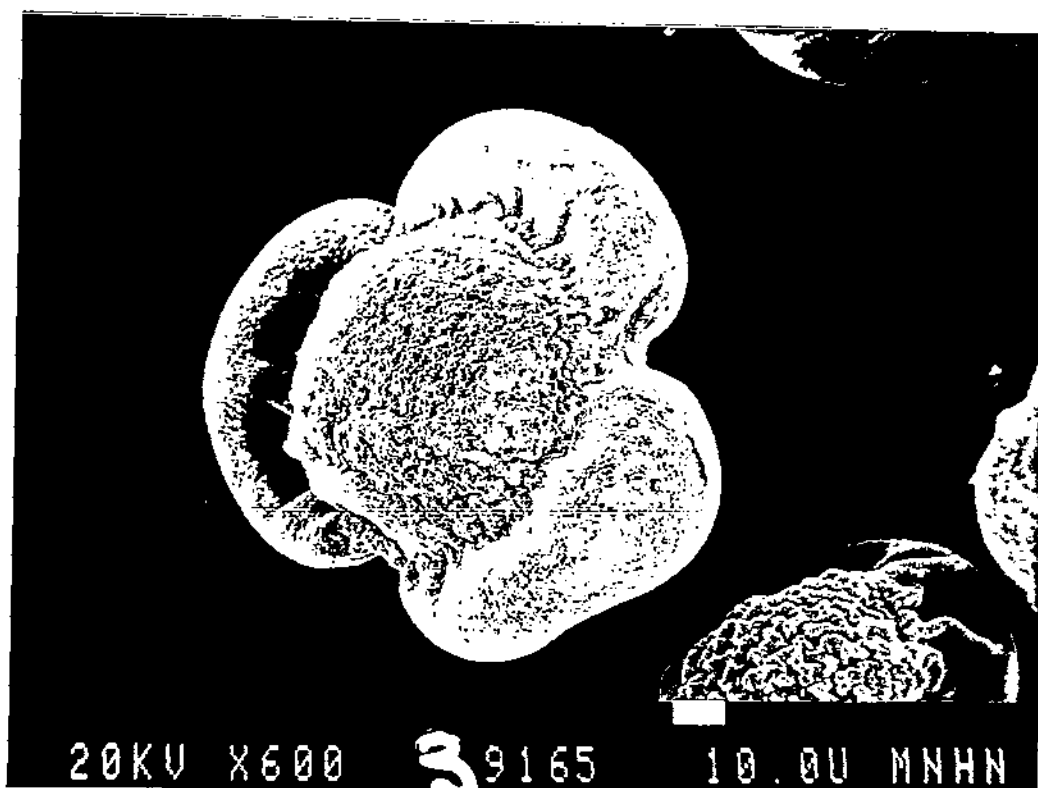


Figure 2. Photographie d'un grain de pollen d'épinette blanche possédant un ballonnet surnuméraire, prise à l'aide d'un microscope électronique à balayage (grossissement 600 X).

1.3.1 Modèle simplifié de FAEGRI et VAN DER PIJL

FAEGRI et VAN DER PIJL (1966) ont présenté une équation qui illustre bien la relation entre la quantité totale de pollen dans l'air et l'efficacité de la fécondation. Elle s'applique aux espèces anémogames comme l'épinette noire, l'épinette blanche et le pin blanc. Cette équation s'exprime comme suit :

$$\frac{n}{N} = \frac{a}{A} \quad (1)$$

où N représente la quantité totale de pollen produit, n représente le nombre de grains de pollen qui réaliseront une fécondation, a représente la sommation des superficies couvertes par la surface stigmatique et A, la superficie totale du milieu.

Cette équation ne tient évidemment pas compte des effets de la turbulence ni de la gravité; elle donne néanmoins un aperçu du volume énorme de pollen qui doit être produit chez les espèces anémogames pour réaliser une pollinisation qui rencontre un minimum de succès. Elle fait ressortir également qu'un très faible pourcentage du pollen produit par les espèces anémogames réalisera la fécondation. On estime entre 250 000 et 3,5 millions le nombre de grains de pollen produits pour chaque ovule chez les espèces anémogames (FAEGRI et VAN DER PIJL 1966). Ces valeurs sont nettement supérieures à celles des espèces entomogames.

1.3.2 Modèle du taux de sédimentation

Le modèle du taux de sédimentation tient compte de la forme de la source (STAND 1957), de la densité de la végétation et des conditions météorologiques, comme le gradient vertical de la température de l'air (FRITSCHEN 1970) et les précipitations (MERCIER 1992). Ce modèle mathématique estime la distance parcourue par le pollen avant d'atteindre le sol. Cette équation s'exprime comme suit :

D = distance parcourue depuis la source (en mètres);

Y₀ = pollen dénombré à la source;

Y = pollen dénombré à une distance D;

b = coefficient de régression;

K = constante de la diminution du taux de dispersion du pollen en fonction de la distance.

$$\text{Log } Y = \text{Log } Y_0 - (\text{Log}_{10} e) KD \quad (2)$$

où, selon FRANKEL et GALUN (1977) :

$$K = \frac{b}{\text{Log}_{10} e} = \frac{b}{0,4343} \quad (3)$$

Ce dernier modèle va dans le sens de la théorie présentée par GEARY (1970) selon laquelle la distance de dispersion du pollen suit une courbe logarithmique.

1.3.3 Modèle de ROMBAKIS

ROMBAKIS (1947) a également développé un modèle de dispersion du pollen dans l'atmosphère. Ce modèle prend en compte la hauteur de l'arbre (ou du rameau qui dissémine le pollen) ainsi que la densité du pollen et le coefficient d'échange atmosphérique; il s'exprime comme suit :

- Z = altitude du pollen par rapport au sol (ou hauteur moyenne du peuplement), à une distance D de la source (en m);
- D = distance parcourue depuis la source (en m);
- δ = masse spécifique de l'air;
- V = vitesse du vent (en m/s);
- C = vitesse limite de chute des particules étudiées dans l'air calme (m/s). Cette constante a été évaluée à 40 m/s pour l'épinette noire (BAILEY 1992).
- A = coefficient d'échange atmosphérique (en g.m/cm.s).

Ce dernier coefficient représente la quantité de matière échangeable à travers une surface donnée à une altitude Z pendant une unité de temps. Selon les météorologistes, ce coefficient varie en fonction de l'altitude. Selon les meilleures approximations, il est égal à :

- 1 g.m/cm.s de 0 à 10 m d'altitude;
- 10 g.m/cm.s de 10 à 100 m d'altitude;
- 50 g.m/cm.s de 100 à 500 m d'altitude;

$$Z = 0,4769 \sqrt{\frac{4AD}{V\delta}} - \frac{CD}{V} \quad (4)$$

et lorsque cette distance est atteinte, Z = 0 d'où;

$$D = 0,91 \frac{AV}{C^2\delta} \quad (5)$$

Cette distance moyenne probable est donc proportionnelle au coefficient d'échange atmosphérique (A) et à la vitesse du vent (V) et inversement proportionnelle au carré de la vitesse limite de chute de la particule en air calme (C^2). Autrement dit, la distance moyenne probable parcourue est d'autant plus longue que le vent est fort et la turbulence élevée, et que la vitesse limite de chute est faible (ou que le grain de pollen est léger).

1.4 Distance de dispersion du pollen

Le principal facteur limitant la réussite de la pollinisation chez les arbres anémogames est l'éloignement entre la source d'émission pollinique et la surface réceptrice. La plupart des travaux palynologiques font état d'exemples étonnants de transport de pollens anémogames sur de grandes distances : les distances records enregistrées pour les conifères ont été de 150 à 1 300 km mais les quantités transportées étaient négligeables (ABID 1991). Toutefois, le transport du pollen par les masses d'air est nettement inefficace sur de grandes distances. En effet, la quantité décroît rapidement avec la distance qui sépare la source d'émission pollinique de la surface réceptrice (ABID 1991, PRAT et CAQUELARD 1993).

La distance parcourue par le pollen de conifères a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche et il apparaît que la distance moyenne pour ces pollens anémogames de fortes dimensions se situe dans l'ordre de quelques douzaines de kilomètres pour un potentiel de fécondation relativement élevé (FAEGRI et VANDER PIJL 1966). Le coefficient de variation peut être évidemment très élevé et cette moyenne est donc peu représentative. De plus, la probabilité qu'il y ait fécondation est d'autant plus faible que la distance du pollen

dispersé sera grande compte tenu que la densité du « nuage pollinique » diminue avec l'éloignement. De plus, il est raisonnable de croire que la viabilité du pollen qui aura parcouru une grande distance sera moins élevée. Toutefois, une seule étude jusqu'à présent mentionne que du pollen de pin sylvestre viable à 75 % avait parcouru une distance supérieure à 72 km (ANDERSSON 1965). Par ailleurs, HADDERS (1972) a réalisé une étude sur la contamination pollinique dans un jeune verger de pin sylvestre situé à 2 km du peuplement naturel le plus proche. Malgré la castration de tous les ramets porteurs de fleurs mâles, le rendement en graines s'est révélé proche de la normale (620 g/ha). D'autres travaux plus récents, utilisant des marqueurs génétiques, mettent également en évidence des taux de contaminations supérieurs à 30 % dans des vergers âgés, en dépit d'une production de pollen importante, parfois supérieure à 50 kg/ha (PHILIPPE 1993). Quoi qu'il en soit, la présence de grains de pollen ayant parcouru une grande distance constitue un artefact qu'il est préférable de négliger dans l'analyse des résultats (Ho 1992).

La détermination de la distance moyenne parcourue par le pollen de fortes dimensions est importante puisqu'elle permet d'une part de fixer une zone tampon et, d'autre part, de connaître les peuplements susceptibles de causer une contamination du verger. Cette distance ne peut évidemment être considérée comme clairement sécuritaire et absolue; on doit parler davantage de probabilité que de valeurs absolues. Il est donc important de maximiser la distance d'isolation afin de couvrir une zone qui tiendra compte des différentes forces de vent susceptibles d'être rencontrées sur le site en question. De plus, il est important de considérer la direction du vent puisqu'il ne serait pas nécessaire de réaliser une bande de protection dans une direction

Tableau 1. Distance minimale suggérée comme zone tampon autour d'un verger

Auteur(s)	Distance suggérée	Espèce
Wang <i>et al.</i> (1960)	120 m	<i>Pinus taeda</i>
Silen (1962)	700 m	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
Geary (1970)	700 m	<i>Pinus kesya</i> , <i>Pinus patula</i>
McElwee (1970)	150 m	Tous conifères
Castaing et Vergeron (1976)	500 à 1 000 m	<i>Pinus pinaster</i>
Griffin (1980)	900 m	<i>Pinus radiata</i>
Baradat <i>et al.</i> (1984)	10 m	<i>Pinus pinaster</i>
Simpson et Smith (1988)	500 m	Tous conifères
Erickson et Adams (1989)	30 m	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
Prat et Caquelard (1993)	30 à 35 m	<i>Pseudotsuga menziesii</i>

où il n'y a pas de vents dominants ou, encore, de peuplements contaminants. Certains auteurs s'entendent toutefois pour dire que la majeure partie de la contamination des arbres résineux se situe à l'intérieur d'une distance relativement courte de forme elliptique, au centre de laquelle l'arbre disséminateur est situé (BARADAT *et al.* 1984, PRAT et CAQUELARD 1993).

GRIFFIN (1980) trouve en effet que 75 % du pollen recueilli provient d'une zone inférieure à 30 m de la périphérie du verger mais qu'il n'y a pas de différence significative dans la densité du pollen et la distance pour une zone de 900 m. ZANDONELLA (1984) arrive à des conclusions semblables. Toutefois, la distance minimale à respecter est loin de faire l'unanimité parmi les auteurs (tableau 1).

1.5 Stratégies utilisées pour évaluer la contamination pollinique

Trois approches ont été utilisées pour évaluer la contamination pollinique dans un verger à graines. Chacune de ces approches possède ses avantages et ses inconvénients.

1.5.1 Utilisation de marqueurs génétiques

Cette technique permet d'identifier les parents d'un lot de graines produites par le verger à partir de marqueurs moléculaires qui repèrent certains locus du génome spécifiques aux clones présents dans le verger ou aux peuplements bordant le verger (FRIEDMAN et ADAMS 1981, SMITH et ADAMS 1983, HARJU et MUONA 1989, LOWE et WHEELER 1990, WHEELER et JECH 1992, PRAT et CAQUELARD 1993).

Cette technique est évidemment très précise puisqu'elle indique le taux réel de contamination dans un verger (PRAT et CAQUELARD 1993). Toutefois, pour être efficace et donner une idée exacte du portrait de la contamination dans le verger, il est nécessaire d'avoir un échantillonnage passablement élevé (STEWART 1992). Ce nombre élevé d'échantillons suppose donc un temps de travail relativement long ainsi qu'un coût d'analyse passablement élevé.

1.5.2 Suivi du pollen disséminé artificiellement

Cette approche consiste à suivre, dans l'espace et dans le temps, un lot de pollen disséminé artificiellement en bordure du verger (généralement, la bordure opposée au vent dominant). Ce suivi est rendu possible grâce à une série de pièges à pollen répartis à travers la superficie du verger et qui captent le pollen ainsi disséminé (Ho 1992, Di-GIOVANNI 1993). Ce dernier peut être facilement identifié par l'implantation

d'un marqueur radioactif (Ho 1992), ou en caractérisant une espèce lorsque les pollens appartiennent à une autre espèce que celle présente dans le verger (ou ses alentours) mais dont la morphologie et les dimensions des grains de pollen sont similaires, ou encore que la période de dissémination diffère (Di-GIOVANNI 1993).

Cette modélisation du chemin parcouru par le lot témoin permet de connaître le mode de répartition du pollen contaminant dans le verger. Ce type d'information est utile puisqu'il permet de connaître, à peu de frais, les zones du verger qui sont particulièrement vulnérables à la contamination. Il présente toutefois l'inconvénient de nécessiter une quantité appréciable de pollen (de 500 à 1 000 ml). De plus, l'information acquise reflète uniquement une zone déterminée de peuplement contaminant et ne tient pas compte de la contamination par des peuplements lointains.

1.5.3 Échantillonnage du pollen contaminant d'origine naturelle

Cette technique est celle qui a été retenue dans notre étude. Elle consiste à identifier et à dénombrer le pollen produit par les arbres du verger ainsi que celui provenant des peuplements avoisinants. Ces pollens sont captés par des pièges qui sont situés généralement en périphérie du verger. Chacun de ces pièges est orienté de manière à indiquer l'origine de la source des grains de pollen qui entrent et qui sortent du verger. L'observation au microscope optique permet d'identifier et de dénombrer les grains de pollen captés par les pièges.

Cette approche est de loin la plus utilisée actuellement par les chercheurs (ADAMS 1992, ASKEW 1992, CARON et LEBLANC 1992, CARON *et al.* 1992, Di-GIOVANNI 1992). Ce phénomène s'explique par la relative simplicité de cette technique ainsi que par des coûts de recherche inférieurs à ceux des marqueurs génétiques. Toutefois, la quantité de pollen captée avec ces pièges ne représente pas une valeur absolue. CARON *et al.* (1992) ont montré qu'il existait des variations du nombre de grains de pollen captés selon le type de piège utilisé. La valeur obtenue par cette technique est donc une approximation du nombre de grains de pollen entrant et sortant du verger.

Par contre, l'interprétation des résultats obtenus par ces pièges peut être compliquée par les décalages de floraison entre les clones à l'intérieur du verger. De plus, l'observation et le dénombrement des grains de pollen au microscope étant réalisés uniquement après la période de dispersion du pollen, ce délai nuit à l'interprétation des résultats. De plus, nous savons

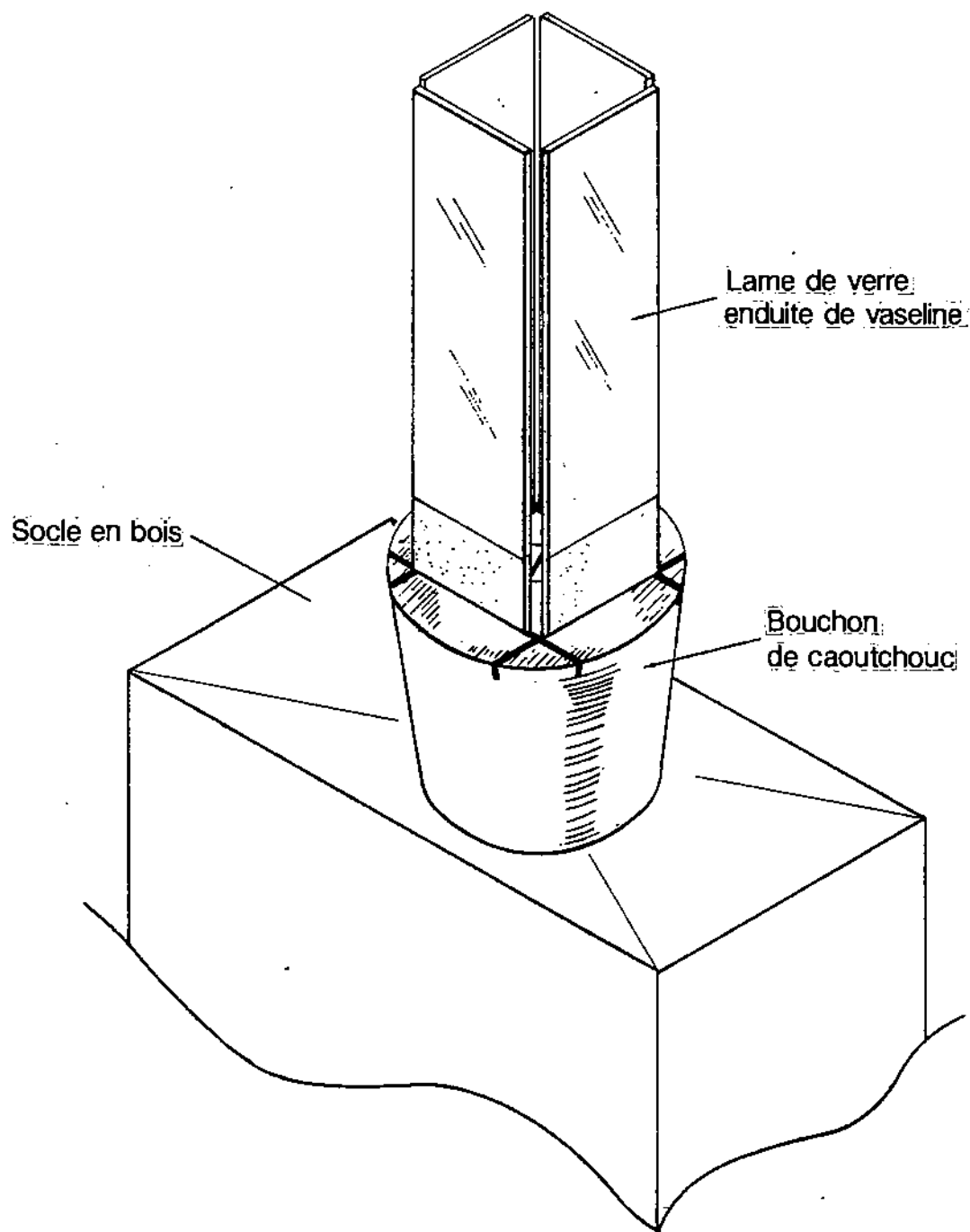


Figure 3. Représentation d'un piège à lames fixes (tirée de CARON *et al.* 1992). Ce système utilise d'une à quatre lames de verre orientées selon les directions désirées.

déjà qu'il existe un phénomène de sédimentation locale (COUR 1974, TAMPIERI *et al.* 1977) sur le lieu d'émission. Sans connaître son importance par rapport à l'ensemble de la production pollinique d'un peuplement, TAMPIERI *et al.* (1977) ont pu montrer qu'une partie du pollen déposé au sol est remise en suspension dans l'air. C'est donc dire qu'il faut considérer, lors de l'analyse des résultats, un niveau minimal de « bruit de fond » qui s'observe tant qu'il n'y a pas de neige (COUR 1992).

Il existe plusieurs modèles de pièges à pollen :

1. Piège à lames fixes
(CARON *et al.* 1992);
2. Piège à girouette
(GREENWOOD et RUCKER 1985);
3. Piège tubulaire
(CARON 1991);
4. Piège de Di-Giovanni
(DI-GIOVANNI 1992);
5. Piège à fibres celluloseuses
(COUR et VILLEMUR 1985, RICHARD 1985).

1.5.3.1 Piège à lames fixes

Ce piège est constitué d'une à quatre lames de verre utilisées en microscopie, qui sont fixées par une extrémité à un bouchon de caoutchouc, en position perpendiculaire par rapport au sol (figure 3). Les lames sont retenues grâce à des fentes découpées à angle droit de façon à former un carré dans la partie supérieure du bouchon. Chaque bouchon est rivé à un poteau en bois d'une hauteur fixe de 1,5 m. Les lames

sont protégées de la pluie par une toiture faite de polyéthylène ou de métal qui est suspendue à une distance de 20 à 25 cm au-dessus des lames. Avant leur installation sur le terrain, les lames sont enduites d'une fine couche de gelée de pétrole (vaseline) qui permet au pollen d'y adhérer. L'observation des échantillons sous le microscope optique se fait directement à partir de cinq à huit plages d'observation par lame, choisies aléatoirement sur celles-ci. C'est ce type de piège qui a été retenu dans cette étude en raison de sa grande simplicité d'action, de son faible coût et également du fait qu'il permet d'identifier les orientations des sources de pollen.

1.5.3.2 Piège-girouette

Ce piège comporte également une lame de verre qui est fixée par une extrémité à une épingle à linge (figure 4). Cette dernière est elle-même collée à l'extrémité d'une tige en bois qui est maintenue parallèle au sol avec un pivot situé en son centre de gravité. La seconde extrémité de la tige porte une plaque servant à orienter la girouette dans la direction du vent. Le pivot est rivé à un poteau en bois et, dans certains cas, la lame de verre est protégée des intempéries selon le dispositif décrit plus haut. La surface adhérente peut être une fine couche de gelée de pétrole ou un ruban adhésif des deux côtés. L'observation des échantillons au microscope optique se fait directement à partir de cinq à huit plages d'observation choisies aléatoirement sur la lame.

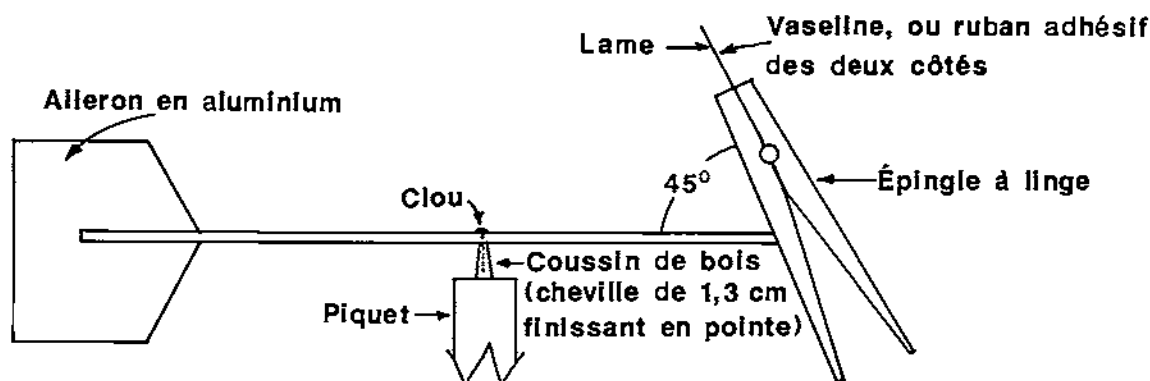


Figure 4. Représentation d'un piège-girouette (tirée de GREENWOOD et RUCKER 1985). Ce système utilise une seule lame de verre orientée selon les vents dominants.

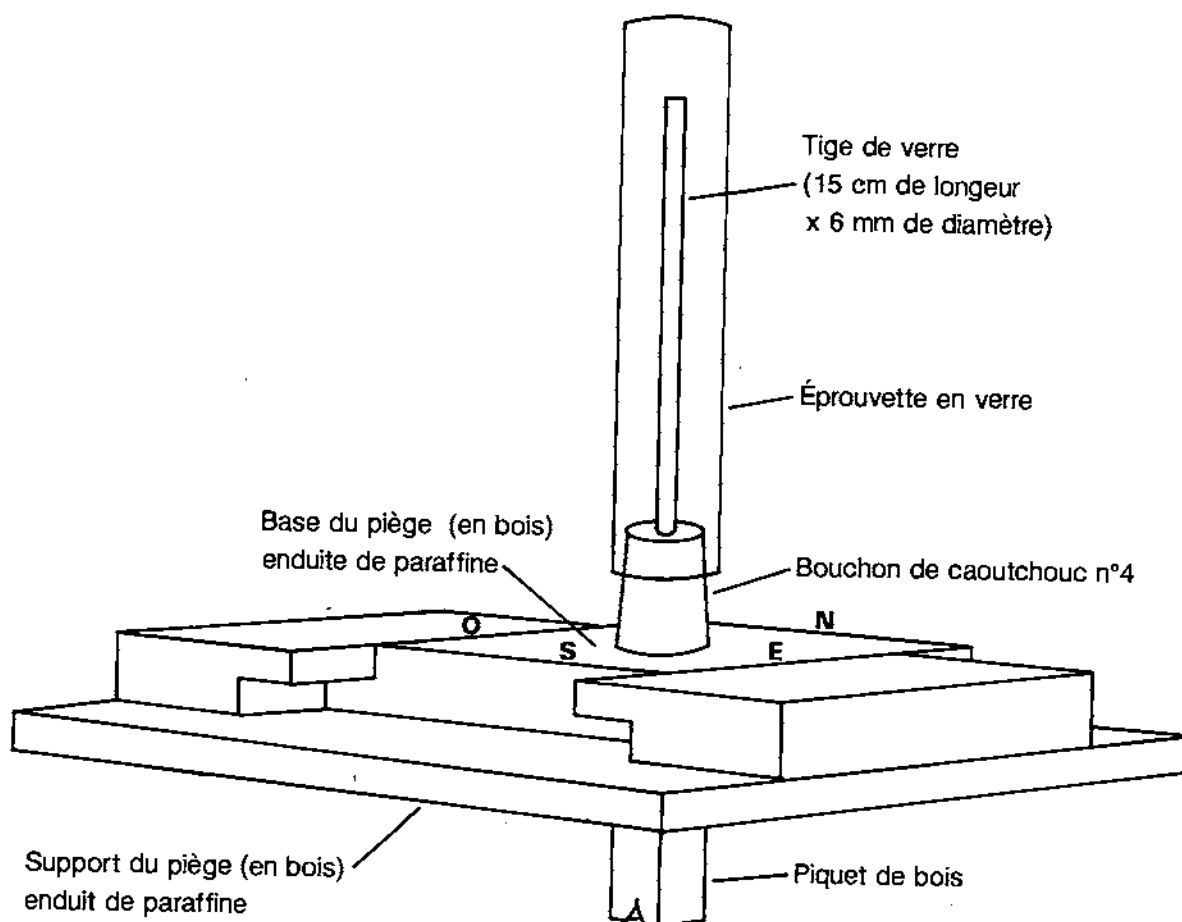


Figure 5. Représentation d'un piège tubulaire (tirée de CARON 1991). Ce système permet d'orienter la base selon les quatre points cardinaux. Un adaptateur pour le microscope est nécessaire.

1.5.3.3 Piège tubulaire

Une tige de verre d'un diamètre de 5 mm est maintenue en position verticale grâce à un trou foré dans un bouchon de caoutchouc (figure 5). Ce bouchon est rivé à une plaque de bois sur laquelle sont inscrits comme repères les quatre points cardinaux. Cette plaque peut s'insérer facilement dans une fente horizontale creusée au sommet d'un poteau en bois qui est installé en permanence sur le terrain. La tige de verre est enduite d'une fine couche de gelée de pétrole qui capte le pollen et elle est protégée des intempéries selon le dispositif décrit précédemment. L'ensemble du piège, c'est-à-dire la tige de verre, le bouchon et la plaque en bois, est remplacé chaque jour. L'observation des échantillons au microscope optique se fait directement à partir de cinq à huit plages d'observation choisies aléatoirement sur la tige de verre.

1.5.3.4 Piège de Di-Giovanni

À l'instar du piège à lames fixes, le piège de Di-Giovanni utilise des lames de plastiques orientées selon les quatre points cardinaux (figure 6). Il existe néanmoins certaines différences qui opposent ces deux types de piège; en effet, le piège de Di-Giovanni porte deux lames par point cardinal (huit lames au total pour l'ensemble du piège) qui se trouvent à un angle de 45° par rapport au sol. Ces lames sont montées sur un support en bois d'une hauteur variant de 1,3 à 3,0 m. Le piège de Di-Giovanni est simplement composé d'une pièce de plastique avec deux perforations et la surface adhésive est représentée par du ruban adhésif dont le côté collant est exposé à travers les perforations. Cette lame de plastique est munie de deux perforations de diamètre égal à environ 1 cm. La superficie de ces perforations représente la surface à laquelle adhère le pollen. L'observation des échantillons au microscope optique se fait directement à partir de la totalité de la surface adhésive.

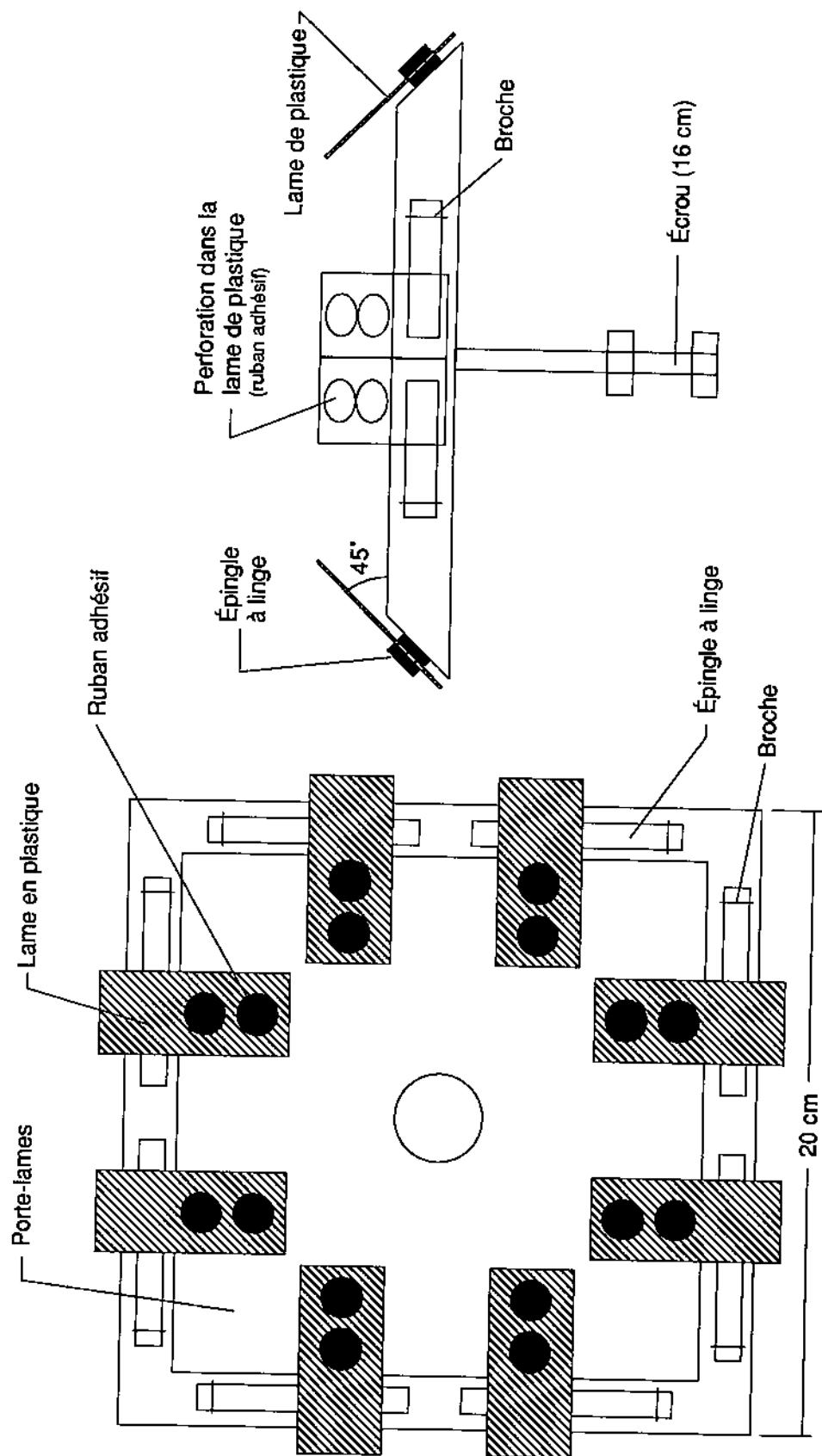


Figure 6. Représentation d'un piège de Di-Giovanni (tirée de Di-Giovanni 1992). Ce système utilise huit lames de plastique (deux pour chaque côté du piège) orientées selon les directions désirées. Chacune de ces lames possède deux perforations d'un diamètre d'environ 1 cm chacune, où le côté collant d'un ruban adhésif sert de surface capteuse.

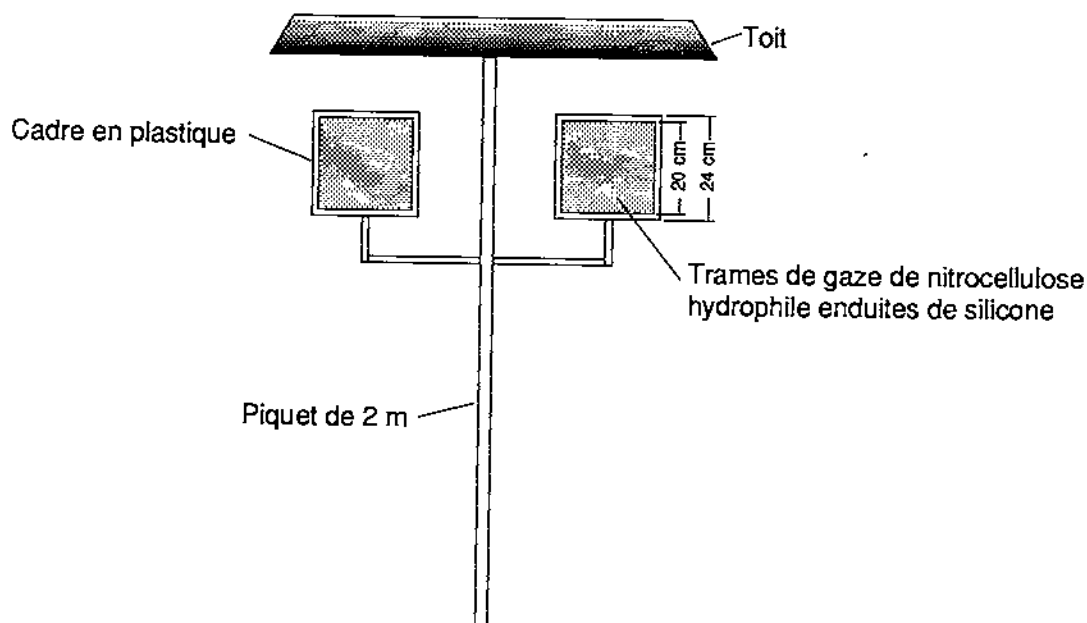


Figure 7. Représentation d'un piège à fibres cellulosiques ou unité filtrante verticale (adapté de COUR et VILLEMUR 1985 et RICHARD 1985). Ce type de piège filtre l'air grâce à une superposition de cinq trames de gaze hydrophile enduite d'une couche de silicone. Le pollen est récupéré par une série de traitements chimiques puis dénombré au microscope optique. Ce système ne permet pas d'identifier la direction exacte de la provenance du pollen.

1.5.3.5 Piège à fibres cellulosiques (ou unité filtrante verticale)

Contrairement aux autres pièges dont la surface de contact est rigide et imperméable, ce type de piège filtre l'air de manière à n'intercepter que les grains de pollen. Il est constitué par la superposition de cinq trames de gaze de nitrocellulose hydrophile enduites d'une couche de silicone et serties entre deux cadres en plastique de 20 cm de côté interne, soit une surface de filtration de 400 cm² (figure 7). Chacune de ces plaques est protégée par un toit situé à environ 10 cm au-dessus. Après leur exposition, les trames de gaze sont traitées en laboratoire afin de libérer et de récupérer le pollen qu'elles contiennent. Une série de traitements chimiques avec des acides concentrés permet de solubiliser totalement le support filtrant ainsi que la plupart des particules minérales ou organiques piégées. La totalité des grains de pollen, qui sont demeurés intacts à la suite de ces traitements, est recueillie puis observée au microscope optique entre lame et lamelle pour le dénombrement et l'identification.

1.6 Diminution du gain génétique

La contamination d'un verger à graines par du pollen étranger entraîne inévitablement une baisse du gain génétique pour chaque caractère en cours d'amélioration. Certains auteurs ont estimé cette diminution du gain génétique en fonction du taux de contamination pollinique et de la valeur génétique des peuplements émettant le pollen exogène (BARADAT 1970, FRIEDMAN et ADAMS 1981, BUCHERT 1992, STEWART 1992). Il en ressort que cette contamination peut réduire le gain génétique d'un verger de 2 à 4 %, même dans les vergers les plus vieux qui produisent une grande quantité de pollen. Ces valeurs sont élevées lorsque l'on sait que le gain génétique espéré dans un programme d'amélioration génétique est de l'ordre de 5 à 10 % (TALBERT *et al.* 1985, PARK *et al.* 1989, DANELL 1991, RAINVILLE 1992). SQUILLACE et LONG (1981) ont estimé ce gain génétique en fonction du taux de contamination pollinique. Selon ces auteurs, le gain génétique étant basé sur une contribution égale des gamètes mâles et femelles dans le verger, une contamination pollinique de 100 % annulerait la contribution gamétique mâle par le pollen du verger et réduirait de moitié le gain génétique des graines récoltées.

Il n'est évidemment pas envisageable d'éliminer systématiquement la contamination d'un verger à graines traditionnel de première génération. Les conditions environnementales sont telles qu'il serait impossible d'arriver à ce résultat. Une étude menée par Koski (1980) suggère cependant qu'un verger à graines de première génération ne devrait pas produire plus de 20 % de graines issues de pollens provenant d'arbres non sélectionnés. Le risque de contamination devrait être entièrement éliminé dans les vergers des générations ultérieures (Koski 1987).

Par ailleurs, le problème de la contamination pollinique est plus important pendant les premières années du verger alors que les arbres produisent relativement peu de pollen. Il est vraisemblable que le taux de contamination dans le verger diminuera au cours des années. C'est pour cette raison qu'il est important de réaliser un suivi de cette contamination sur au moins quelques années, c'est-à-dire jusqu'à la maturité sexuelle des géniteurs du verger.

1.7 Solutions proposées pour réduire la contamination pollinique

Depuis l'établissement des premiers vergers à graines au Québec il y a une quinzaine d'années, la gestion de ce type de plantation a beaucoup progressé. Les productions juvéniles des vergers à graines, même sans recours à des techniques comme l'induction florale, conjuguées à des besoins décroissants en graines découlant de l'ampleur réduite du programme de reboisement, se sont traduites par une capacité de production qui dépasse parfois largement les besoins en graines. Cette situation nous amène donc à faire des choix d'aménagement qui permettent de réduire l'effet négatif du pollen contaminant soit en réduisant l'apport de pollen exogène au verger ou en diluant le pollen contaminant avec du pollen de qualité. Plusieurs auteurs ont proposé des solutions diverses. Ces approches consistent à :

1. Récolter les cônes à l'extrémité du verger qui est opposée au vent dominant ou aux peuplements susceptibles de contaminer les arbres du verger (CARON *et al.* 1992). Ainsi, il serait envisageable d'utiliser les semenciers présents de façon sumuméraire dans le verger comme « coupe-pollen » et de ne récolter que les cônes produits à l'extrémité du verger, c'est-à-dire ceux qui ont la plus grande probabilité d'être pollinisés par les arbres du verger;
2. Récolter uniquement sur les semenciers (clones ou familles) qui présentent un gain génétique supérieur à la moyenne des arbres présents dans le verger (CAMPAGNA 1993). Cette approche semble

intéressante bien qu'il faut connaître ces semenciers génétiquement supérieurs. Et malgré tout, ces clones (ou familles) pourraient fournir un gain encore supérieur en étant pollinisés par d'autres individus;

3. Éliminer les peuplements contaminants localisés en périphérie (CARON *et al.* 1992). Cette solution s'applique relativement bien lorsque la source de contamination provient d'une direction unique et, qui mieux est, d'un peuplement de faibles dimensions, c'est-à-dire de quelques hectares;
4. Reboiser la périphérie immédiate d'un verger avec des espèces autres que celles utilisées à l'intérieur du verger (SIMPSON et SMITH 1988). L'établissement d'un peuplement destiné à protéger le verger à graines contre l'intrusion de pollen exogène peut sans doute être efficace. Toutefois, aucun auteur n'a évalué les limites de cette pratique bien qu'il a été démontré qu'elle influençait grandement le mouvement du pollen à l'intérieur même du verger (GEARY 1970);
5. Reboiser la périphérie avec la même espèce, mais de qualité génétique identique ou supérieure (SIMPSON et SMITH 1988);
6. Réaliser une pollinisation de masse qui aura pour effet de diluer le pollen contaminant et d'augmenter ainsi le taux de succès de la fécondation avec du pollen d'un génotype intéressant (BRIDGEWATER et TREW 1981, BRIDGEWATER et BRAMLETT 1982, ADAMS 1992);
7. Favoriser la pollinisation à l'intérieur du verger à l'aide d'un brassage d'air. En effet, PHILIPPE (1993) signale que des essais de pollinisation de masse ont été tentés en Suède à l'aide d'un hélicoptère radiocommandé, muni d'un réservoir de pollen. Cette technique n'a pas donné satisfaction, le pilote ne disposant pas de la visibilité nécessaire pour que le pollen atteigne, en quantité suffisante, les fleurs femelles. Par ailleurs, les Finlandais utilisent parfois un hélicoptère pour améliorer la pollinisation, et ainsi réduire les contaminations polliniques dans des vergers de pin sylvestre. Leur survol à basse altitude engendre des turbulences qui favorisent la libération du pollen et contribuent à augmenter la densité du nuage pollinique. Pour être efficace, ce traitement doit être réalisé au tout début de la pollinisation dans le verger, c'est-à-dire à un moment où les peuplements indigènes ne contaminent pas encore. Un seul passage d'hélicoptère semble néanmoins insuffisant pour espérer un gain important;

8. Faire fleurir, à l'aide de techniques d'induction florale, les clones du verger lors des mauvaises années semencières (ROSS 1988). Cette approche permet d'obtenir des cônes qui auront plus de chances d'être pollinisés par les clones du verger puisque les arbres des peuplements environnants seront peu productifs. Dans ce cas-ci, la récolte de cônes n'aurait lieu que lors de ces années d'induction;
9. Retarder le développement des bourgeons reproducteurs grâce à une irrigation intensive à l'eau froide dans le verger (SILEN et KEANE 1969; FASHLER et DEVITT 1980; EL-KASSABY *et al.* 1990). Cette technique permet de séparer la période de l'anthèse des semenciers du verger et celles des peuplements environnants;
10. Localiser le verger à graines à l'extérieur de l'aire de distribution de l'espèce (SIMPSON et SMITH 1988). JOHNSON (1988) indique toutefois que le déplacement d'un verger vers un climat plus chaud dans le but de favoriser la croissance des arbres et d'éviter les problèmes de contamination peut résulter en une adaptation des arbres à leurs nouvelles conditions; les graines issues de ce verger seront-elles encore adaptées au reboisement dans des conditions plus nordiques ?
11. Localiser le verger à graines sur un site possédant un microclimat plus chaud qui permettrait à l'anthèse de se produire plus tôt sans subir la fécondation par du pollen exogène (GANSEL 1973, SARVAS 1970, WERNER 1975);
12. Réaliser des vergers à graines de dimensions réduites, c'est-à-dire des vergers sous abri (SMITH et POWELL 1992) ou des vergers à haute densité (SMITH et POWELL 1992, SWEET *et al.* 1992). SMITH et POWELL (1992) expliquent les avantages des vergers à graines à pollinisation dirigée (verger à haute densité et verger sous abri). En outre, il est démontré que ce type de verger permet un gain génétique plus facile puisque toutes les graines produites seront issues d'une pollinisation dirigée (complétée soit par une pollinisation de masse, soit par des croisements spécifiques), éliminant ainsi les problèmes posés par la contamination exogène et un accouplement inégal entre les clones parentaux (ASKEW 1992).

Chapitre II

Étude de la contamination pollinique du verger du canton de Huddersfield

Le verger clonal de pin blanc du canton de Huddersfield est représentatif du problème de production juvénile de cônes qu'on retrouve dans la plupart des vergers à graines présentement établis au Québec. En effet, ce verger a commencé tout récemment à produire des cônes femelles alors que la production de cônes mâles demeure encore inexistante. Cette situation simplifie significativement l'étude de la contamination puisque tout pollen présent sur le site provient forcément des peuplements situés en périphérie du verger.

Pour le moment, l'apport de pollen exogène est bénéfique à la production de graines de ce verger puisqu'il représente la seule source de pollen pouvant féconder les cônes femelles. Éventuellement, lorsque le verger sera autosuffisant en production de pollen, il sera nécessaire d'évaluer la proportion de la contamination provenant des peuplements avoisinants susceptibles de le contaminer. Toutefois, il est indispensable de réaliser une première évaluation de la nature et de la provenance du pollen présent sur le site de l'étude avant que la production de cônes mâles du verger ne vienne compliquer l'analyse de la dynamique du pollen. En somme, l'installation de seulement quelques pièges serait suffisante pour identifier les peuplements qui devront être suivis de près lorsque le verger sera autonome.

Parallèlement à l'étude du déplacement du pollen, il serait important de connaître les variations saisonnières de production de celui-ci. En effet, nous savons déjà que la production de cônes femelles de pin blanc est périodique avec un cycle d'environ 3 à 10 ans (GRENIER 1992). Toutefois, aucune étude ne fournit ce renseignement pour la production de cônes mâles de cette espèce.

En conséquence, l'étude de la contamination pollinique du verger de Huddersfield aura pour but de :

- i) évaluer la nature, la direction et la quantité de pollen produit par les peuplements situés en périphérie du verger et
- ii) caractériser l'influence des conditions environnementales sur la dissémination du pollen.

* * *

2.1 Matériel et méthodes

2.1.1 Description du site étudié et répartition des pièges

2.1.1.1 Description du site

Le verger clonal de pin blanc du canton de Huddersfield est situé dans la région écologique 3a dans l'Outaouais (45° 55' N.; 76° 37' O.; figure 8) à une altitude de 175 m, soit à environ 20 km au nord-est du village de Fort-Coulonge. Il a été établi en 1989 et couvre une superficie de 9,7 ha. Un total de 3100 ramets représentant 220 clones s'y retrouve. En tout, on estime que ce verger aura une capacité de production de l'ordre 1,3 million de plants livrables (LAMONTAGNE 1992). La figure 9 représente la topographie du verger de Huddersfield.

Des peuplements de pin blanc se retrouvent en périphérie du verger sauf à l'est (figures 10 et 11). Ces peuplements de pin blanc contiennent un certain nombre de pins rouges mais la majorité de ces derniers se trouvent à plus d'un kilomètre du verger. Seuls quelques rares pins gris sont situés dans les environs immédiats du verger.

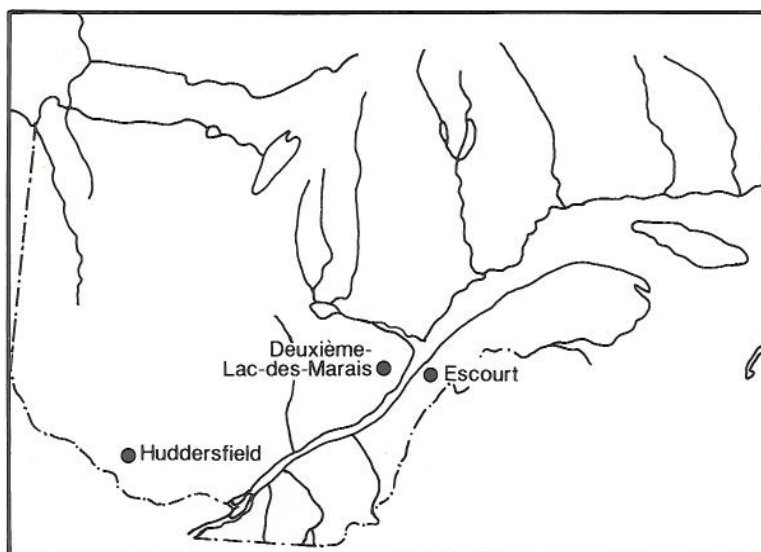


Figure 8. Localisation des quatre vergers à graines étudiés. Deux vergers se trouvent sur le site d'Escourt.

2.1.1.2 Répartition et prélèvement des pièges

Au total, quatre pièges à pollen à lames fixes (figure 3) ont été installés au centre du verger, à une distance variant de 150 à 200 m les uns des autres suivant un transect est-ouest (pièges 1 à 4; figure 12). Ces pièges comportent quatre lames de verre orientées en direction nord-ouest, sud-ouest, nord-est et sud-est. L'information acquise par ces pièges sert à déterminer la nature, l'orientation et la quantité de pollen présent dans le verger. Avant leur installation sur le terrain, les lames avaient été recouvertes d'une fine couche de gelée de pétrole qui permettait au pollen d'y adhérer. Ces lames étaient ainsi préparées chaque matin avant leur mise en place sur le terrain. Elles étaient transportées sur le site de l'étude dans une boîte à lames avant et après la récolte afin de limiter les pertes et les risques de contamination des échantillons. Elles étaient remplacées tous les deux jours entre 9 h et 9 h 30, durant une période qui s'est étendue entre le 2 et le 26 juin 1992. À la fin de l'expérience, les lames recueillies ont été expédiées au Laboratoire de biologie forestière de l'École de sciences forestières de l'Université de Moncton à Edmundston, pour les observations microscopiques.

2.1.2 Identification et dénombrement des pollens

Avant leur observation au microscope optique, les lames ont été recouvertes d'une fine couche de colorant d'ALEXANDER (1969) selon la technique décrite par COLAS (1992) afin de faciliter le décompte des grains ainsi que leur identification.

Le dénombrement et l'identification du pollen ont été réalisés à un grossissement de 100 X. Six plages, d'une superficie de 2,84 mm² chacune, réparties aléatoirement sur la surface de la lame, ont servi à estimer la densité du pollen présent, exprimée en nombre de grains par millimètre carré par jour (grains/mm².jour). L'identification des pollens a été réalisée à l'aide des descriptions fournies par BÉLANGER (1963), ADAMS et MORTON (1972, 1974, 1976, 1979), BASSETT (1978) et RICHARD (1967, 1970) ainsi qu'à partir des échantillons de pollen contenus dans la banque de pollens du Laboratoire de biologie forestière de l'École de sciences forestières de l'Université de Moncton à Edmundston. Les grains de pollen observés ont été classés selon les catégories suivantes : i) pin blanc; ii) pin rouge et; iii) toutes les autres espèces.



Figure 9. Localisation topographique du verger clonal de pin blanc de Huddersfield.



Figure 10. Greffe de pin blanc du verger clonal du canton de Huddersfield.



Figure 11. Vue d'ensemble du verger clonal de pin blanc du canton de Huddersfield.

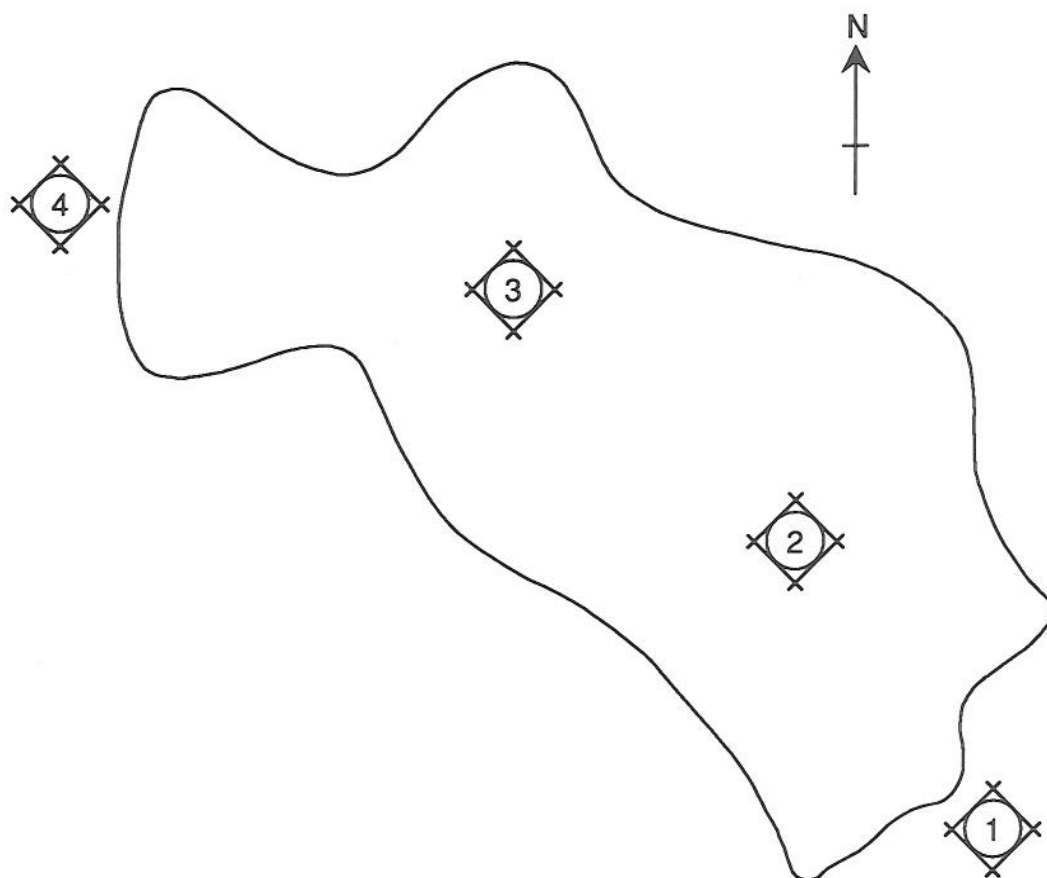


Figure 12. Disposition des pièges à lames fixes à l'intérieur du verger clonal de pin blanc de 9,7 ha situé dans le canton de Huddersfield. Ces quatre pièges comportent chacun quatre lames orientées en direction du nord-ouest, sud-ouest, nord-est et sud-est et ils sont distancés les uns des autres d'environ 150 à 200 m.

2.1.3 Évaluation de la période de réceptivité des fleurs femelles

La période de réceptivité des fleurs femelles produites par les clones du verger a été évaluée. Pour ce faire, 20 clones ont été choisis aléatoirement à l'intérieur de tout le verger. Une observation phénologique quotidienne des cônes femelles, basée sur les critères fournis par BEERS *et al.* (1981), a permis de déterminer la durée de la réceptivité pour chacun des 20 individus sélectionnés. L'examen des cônes fut réalisé entre le 12 et le 28 juin 1992.

2.1.4 Données météorologiques

Les données météorologiques ont été prises à la fois à la station 621 Davidson de la Société de conservation de l'Outaouais, située à Fort-Coulonge, ainsi que sur le lieu même de l'expérience. La température, la direction du vent ainsi que sa vitesse (km/heure), l'humidité relative de l'air, le nombre de millimètre de pluie et le pourcentage de nuages présents lors de la visite représentaient les données météorologiques disponibles. Ces renseignements ont été recueillis quotidiennement entre le 1^{er} et le 30 juin 1992.

Numéro du clone	Juin 1992												
	12 ¹	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	28
71073													
71503													
71517													
71528													
71565													
71027 ²													
71139													
71411 ³													
71507													
71138													
71306													
71144													
71081													
71031													
71076 ²													
71075													
71103													
71059													
71401													
71527 ²													

- (1) 12 juin: il y a présence de 1 à 12 strobiles femelles sur tous les arbres observés
- (2) Les strobiles femelles de ces arbres sont complètement blanches; sur les autres arbres, elles sont blanches et rouges
- (3) Après avoir émergées, les strobiles femelles de cette arbre ont disparues, ne laissant que la couronne inférieure

Figure 13. Date de réceptivité des fleurs femelles des clones de pin blanc du verger de Huddersfield.

2.2 Résultats

2.2.1 Période de réceptivité des fleurs femelles

La période de réceptivité des fleurs femelles présentes dans le verger s'est étendue du 17 au 22 juin pour une durée totale de 6 jours (figure 13). De tous les clones observés durant cette étude, seules les fleurs femelles du clone 71138 ont été réceptives jusqu'au 24 juin. Individuellement, ces fleurs n'étaient réceptives que durant une période d'environ 3,5 jours. Par ailleurs, la période de réceptivité des clones du verger s'est produite quelques jours après celle du pin blanc adjacent au verger.

2.2.2 Direction du pollen capté

L'analyse microscopique a démontré que les quatre lames d'une même direction donnent des valeurs relativement semblables en terme de nombre de grains de pollen par millimètre carré puisque les coefficients de variation ne sont guère supérieurs à 25 % (tableau 2). Par ailleurs, les quatre pièges ont fourni des renseignements très répétitifs puisqu'une analyse de contraste n'a démontré aucune différence significative entre les pièges avec un niveau de précision de 90 % ($F = 3,20$; $P = 0,0753$). Durant la période de réceptivité des clones, le nombre de grains de pollen présent dans le verger s'est élevé à 5,99 grains ($@ 1 \text{ mm}^2/\text{jour}$ cumulatif durant 6 jours). La présence de pollen d'espèces autres que le pin blanc et le pin rouge est presque inexistante durant la période du 4 au 26 juin. D'ailleurs, de ces deux espèces, 74 % du pollen capté était du pin blanc alors que 26 % était du pin rouge.

Le tableau 2 montre par ailleurs que le pollen trouvé dans le verger était véhiculé à 29 % par les vents du nord-ouest, à 15 % par les vents du nord-est, à 24 % par les vents du sud-est et à 32 % par ceux du sud-ouest. Ces valeurs montrent en fait que le pollen au cours de la période à l'étude provenait à 61 % de la direction ouest (somme des directions nord-ouest et sud-ouest).

La quantité de pollen de pin blanc circulant durant la période de réceptivité des fleurs femelles représente 50 % de la quantité totale retrouvée durant toute l'étude. Par contre, les pourcentages de pollen captés pour chacune des directions sont respectivement de 22 %, 10 %, 40 % et 28 % (tableau 3). La principale source de contamination provient donc de la direction sud-est. Par contre, il faut considérer que le pollen de pin blanc produit avant le début de la période de réceptivité (16 juin) peut également contaminer le verger. Le pollen de pin blanc produit entre le 4 et le 22 juin représente 96 % de tout le pollen recueilli au cours de l'étude.

Les observations météorologiques prises sur le terrain démontrent qu'il y avait des tourbillons de vent sur l'emplacement même du verger. Cette observation est confirmée par les résultats anarchiques obtenus sur les lames de verre ainsi que par le manque de correspondance entre la direction du vent enregistré et l'orientation du pollen sur les pièges.

Tableau 2. Répartition du pollen de pin blanc capté par les pièges à l'intérieur du verger d'Huddersfield et selon les quatre orientations des lames de verre

Direction des lames	Pourcentage de pollen capté (%)	Nombre moyen de grains de pollen captés (grains/mm ² ± é.t.)	Coefficient de variation (%)
nord-ouest	29,4	14,7 ± 3,6	24,5
nord-est	14,6	7,3 ± 1,7	23,3
sud-est	23,7	9,3 ± 2,3	24,7
sud-ouest	32,3	15,0 ± 2,1	14,0
Total	100,0	46,3 ± 10,1	21,6

Tableau 3. Répartition en pourcentage du pollen de pin blanc à l'intérieur du verger d'Huddersfield et selon les quatre directions pour chacun des jours

Pourcentage de pollen capté en juin														Total
Direction	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26		
nord-ouest	0,6	0,1	21,2	1,0	36,3	12,2	6,0	2,6	1,1	16,5	0,8	1,3	100	
nord-est	3,4	0,2	8,0	2,0	26,7	29,8	13,0	1,4	0,9	12,9	1,0	1,1	100	
sud-est	2,0	0,5	2,7	0,9	11,5	2,3	55,0	20,2	1,0	1,9	0,8	0,8	100	
sud-ouest	0,7	0,6	12,0	2,0	48,1	1,6	17,1	12,6	0,3	2,1	1,0	1,0	100	
Direction ¹ des vents	E	N	O	N	O	O	O	S	S	O	E	O		
	NE	S	N	NO	NO	NO	NO	SO	N	N	NO	NO		
	S	O	O	O	O	N	S	S	N	N	O	S		

¹ La direction des vents a été mesurée à trois occasions au cours des deux journées écoulées entre le prélèvement des lames de verre (E, est; N, nord; O, ouest et S, sud).

2.2.3 Date de dissémination du pollen des peuplements adjacents

La figure 14 montre que la présence de pollen dans le verger les 10 et 11 juin (résultats obtenus avec les pièges posés le 10 juin) ainsi que les 20 et 21 juin (résultats obtenus avec les pièges posés le 20 juin) était très faible.

Une forte augmentation de la production de pollen a toutefois été remarquée sur les pièges posés le 12 juin (11 grains/mm²) suivie par une seconde augmentation sur les pièges du 16 juin (6,9 grains/mm²). Quoi qu'il en soit, cette augmentation du pollen sur les pièges du 12 juin représentait à elle seule 34 % de tout le pollen circulant dans le verger entre le 4 et le 26 juin et provenait en bonne partie du sud-ouest (46,4 %) et du nord-ouest (34 %). Durant cette journée, les vents étaient orientés en direction ouest et nord-ouest et ils étaient légers (environ 20 km/heure).

La période de réceptivité est caractérisée dans l'ensemble par des vents constants provenant du sud (de légers à modérés). Cette observation est appuyée

par l'analyse des pièges qui démontre la présence de pollen sur les lames orientées du côté sud ces jours-là. Durant cette période, la quantité totale de pollen (toutes directions confondues) en circulation dans l'air a diminué constamment jusqu'à une valeur presque nulle vers le 19 et le 20 juin.

2.3 Discussion

2.3.1 Efficacité des pièges

Les pièges à lames fixes posés dans le verger de Huddersfield ont présenté une bonne stabilité dans l'obtention des résultats. Cette observation est d'autant plus intéressante que les pièges sont distancés de 150 à 200 m l'un de l'autre. C'est dire qu'il ne semble pas y avoir de « micro-perturbations » sur le site étudié, qui feraient en sorte que certains secteurs du verger réagiraient différemment à l'intrusion de pollen extérieur. Seul le piège 1 semblait *a priori* fournir des renseignements quelque peu différents de ceux des trois autres pièges. En fait, l'analyse des contrastes démontre qu'il n'y a aucune différence significative à un seuil de $\alpha = 0,10$.

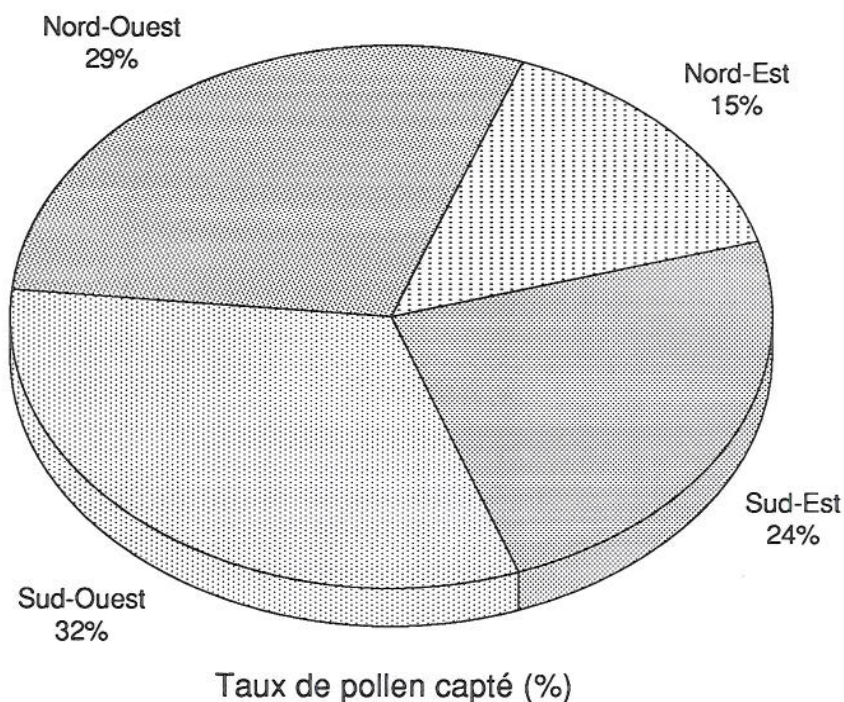


Figure 14. Représentation graphique du nombre de grains de pollen par millimètre carré captés par les quatre pièges dans le verger du canton de Huddersfield durant la période du 2 au 26 juin 1992

Les études à venir sur ce site pourront donc utiliser des pièges localisés à ces mêmes endroits tant et aussi longtemps que le verger lui-même ne sera pas productif en pollen. Toutefois, il serait pertinent de réorienter les pièges en direction des points cardinaux (c'est-à-dire franc nord, sud, est et ouest). En effet, les résultats montrent que les directions préférentielles de pollen exogène dans le verger sont le sud-ouest et le nord-ouest, ce qui laisse présager que la contamination viendrait principalement de l'ouest. Cette nouvelle réorientation permettrait de vérifier cette hypothèse.

Par ailleurs, les résultats montrent qu'il n'est pas toujours possible d'établir une relation entre la direction des vents et celle du pollen capté par les pièges (tableau 3). La direction des vents ne représente donc pas un bon indicateur de l'origine des peuplements contaminants durant la période de l'anthèse pour le verger de Huddersfield car les observations sur la direction des vents ne se font qu'à quelques reprises au cours de la journée alors que le pollen est libéré continuellement autour du site et subit donc les aléas des changements météorologiques.

2.3.2 Période de réceptivité des fleurs femelles

Aucune étude connue ne s'est penchée jusqu'à présent sur la question de l'étalement de l'anthèse dans les peuplements naturels de pin blanc. Ce phénomène a toutefois été observé chez l'épinette blanche (MERCIER 1991, CARON *et al.* 1992; voir également nos chapitres III et IV). Il ressort de ces études que l'étalement de la floraison apparaît beaucoup plus important dans les vergers à graines où existe un nombre élevé de clones ayant une grande diversité génétique sur un même site (contrairement à un peuplement naturel qui est davantage homogène au plan génétique).

L'étalement de la floraison a été relativement court (du 17 au 22 juin) pour les arbres du verger. Cette période est effectivement homogène lorsque l'on sait que la durée moyenne de réceptivité d'un pin blanc donné est de l'ordre de 3,5 jours (figure 13). Les fleurs femelles des arbres présents dans le verger étaient réceptives bien avant celles des peuplements avoisinants. Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer ce phénomène. Ce décalage de la période de réceptivité peut être en effet imputé à : i) l'âge différent des arbres; ii) la hauteur des fleurs par rapport au sol, où la température serait plus élevée, favorisant ainsi le développement des fleurs des arbres les moins hauts, ou encore; iii) au génotype différent des peuplements adjacents et des clones du verger.

2.3.3 Direction du pollen capté

Le verger clonal de Huddersfield en est actuellement au stade juvénile. Ceci suppose que l'apport de pollen exogène à ce site est bénéfique puisqu'il représente la seule possibilité qu'ont les fleurs femelles du verger d'être fécondées. Il est donc impensable de vouloir contrer la venue de pollen extérieur tant et aussi longtemps que le verger ne pourra être autonome en fait de production de cônes mâles. L'évaluation de l'origine des peuplements contaminants demeure néanmoins pertinente à réaliser avant que le pollen soit produit par le verger puisque l'analyse de la dynamique du pollen en est d'autant plus facilitée. Le gain génétique est basé sur une contribution égale des gamètes mâles et femelles dans le verger. Avec une contamination pollinique de 100 %, la contribution gamétique mâle par le pollen endogène est considérée comme nulle. Il en résulte que le gain génétique des graines récoltées en 1993 sera réduit de moitié (SQUILLACE et LONG 1981).

Les vents du nord-ouest et du sud-ouest ont été les plus importants dans le transport du pollen contaminant dans le verger. Plus de 61 % du pollen trouvé dans le verger provenait de ces deux directions durant la période de l'étude. Toutefois, au cours de la période de réceptivité des fleurs femelles des arbres du verger, le pollen exogène semble provenir davantage du sud que de toute autre direction. La direction des vents varie constamment et il est peu probable que, d'une année à l'autre, l'origine du pollen soit toujours de sources situées au sud durant la période de réceptivité. L'échantillonnage réalisé au cours de l'étude laisse supposer que les sources de contamination seraient davantage situées à l'ouest du verger. Par contre, l'observation du relief autour du site montre bien la présence de deux vallées au voisinage du verger, l'une en direction du nord-ouest et la seconde en direction du sud-ouest. Ainsi, la première hypothèse voulant que ces directions soient les principales sources de contamination se confirme. Quoi qu'il en soit, il serait pertinent, dans les études à venir sur ce site, d'orienter les pièges à pollen en direction des points cardinaux, pour vérifier ces deux hypothèses.

2.3.4 Date de dissémination du pollen des peuplements adjacents

La quantité de pollen provenant des peuplements adjacents s'est élevée à 5,99 grains ($1 \text{ mm}^2/\text{jour}$ cumulatif durant 6 jours) durant la période de réceptivité des fleurs femelles des arbres du verger. Ce niveau de production à partir des peuplements environnants peut être considéré comme fort si on le compare à celui que l'on a observé chez l'épinette blanche en 1991 dans le

verger d'Estcourt (0,6 grains à 1 mm²/jour cumulatif durant 15 jours). Les pièges ont donc capturé plus de pollen dans un intervalle de temps plus court, ce qui représente en somme 24,5 fois plus de pollen produit. De plus, la période de dissémination des peuplements avoisinants ne s'est pas, de toute vraisemblance, produite durant la période de réceptivité des fleurs femelles puisque seulement 18,2 % du pollen recueilli sur les pièges durant cette expérience étaient présents au cours de cette période. Néanmoins, les valeurs obtenues sont élevées puisque le pin blanc est reconnu pour être un bon producteur de pollen (STIPANICIC et MERCIER 1993). Il est donc raisonnable de croire que la quantité de pollen présent dans le verger durant la période de réceptivité serait suffisante pour féconder adéquatement les fleurs femelles du verger. Les tests de germination qui seront réalisés en 1994 sur ces cônes permettront de vérifier cette hypothèse.

L'absence de pollen sur les pièges posés le 10 juin peut s'expliquer par les teneurs en humidité très élevées de l'atmosphère et du feuillage, qui sont dues aux précipitations du 6 au 8 juin. Les températures rencontrées les 9 et 10 juin et la présence des vents ont sans doute contribué à éliminer l'humidité présente sur le site de l'expérience. Cette diminution du taux d'humidité serait sans doute à l'origine de la forte libération de pollen enregistrée sur les pièges le 12 juin puisque l'hygrométrie de l'air provoque l'éclatement des sacs polliniques (MERCIER et STIPANICIC 1990). Ainsi, le taux d'humidité de l'atmosphère était de 33 % au cours de cette journée, ce qui représente la plus basse valeur enregistrée durant la période du 4 au 26 juin. De plus, la dernière journée de pluie observée fut le 8 juin, suivie de journées relativement chaudes les 11 et 12 juin (25 et 24 °C respectivement). Ces observations confirment les résultats obtenus par MERCIER et STIPANICIC (1990).

Par ailleurs, l'augmentation de la production de pollen le 12 juin serait le résultat d'une juxtaposition de deux périodes de dissémination : d'abord celle de la fin de la période de dissémination du pin rouge qui chevaucherait le début de celle du pin blanc dont la valeur optimale aurait été atteinte le 16 juin. En effet, les périodes de dissémination du pollen de ces deux espèces sont très proches alors que celle du pin rouge survient à peine quelques temps avant celle du pin blanc (GRENIER 1992). Ce phénomène expliquerait par conséquent les fortes augmentations survenues entre le 12 et le 16 juin 1992 à Huddersfield.

L'absence de pollen sur les pièges posés le 20 juin est carrément due aux précipitations de cette journée qui ont provoqué la sédimentation du pollen au sol. La forte diminution du pollen présent dans le verger après cette date serait certainement imputable à la fin de la période de dissémination des peuplements adjacents. Les quelques grains de pollen trouvés sur les lames résultaient de la remise en circulation dans l'atmosphère du pollen déposé au sol (COUR 1974, TAMPIERI *et al.* 1977).

La quasi-absence de pollen autre que celui du pin blanc et du pin rouge au cours de la période de l'étude s'explique par le fait que l'anthèse de ces deux espèces se produit alors que celle des autres espèces ligneuses est terminée et que celle des plantes herbacées n'a pas encore débuté dans cette région. Par ailleurs, le phénomène de « bruit de fond » du pollen présent dans l'atmosphère en tout temps (COUR 1974, TAMPIERI *et al.* 1977) peut expliquer la présence de pollen d'autres espèces sur les lames.

2.3.5 Recommandations

Malgré la pertinence des informations recueillies, la dynamique du pollen dans le verger de Huddersfield est appelée à varier avec l'avènement de la maturité sexuelle des arbres. Il est donc encore tôt pour prévoir des mesures précises à suivre pour limiter la contamination. Une étude ultérieure pourra confirmer certaines tendances observées en 1992 et, surtout, déterminer l'ampleur de la production de pollen mesurée cette année. En effet, l'année 1992 est considérée comme étant une bonne année de production de pollen chez le pin blanc. Or, comme il est peu probable que deux bonnes années semencières se succèdent, il sera possible de comparer une année de faible production et une de forte production pollinique chez le pin blanc. Toutefois, la période d'induction florale de cette dernière espèce est différente pour les fleurs mâles et les fleurs femelles. En conséquence, il n'existe peut-être pas de lien entre une forte production de fleurs femelles et la production de pollen pour une même année.

Par ailleurs, une troisième étude deviendra pertinente pour évaluer le taux de contamination pollinique du verger lorsque ce dernier produira suffisamment de cônes mâles pour diluer le pollen exogène permettant d'élaborer des recommandations quant aux moyens à prendre pour contrer le plus possible l'effet des pollens contaminants.

L'extraction des graines en 1993 à partir des cônes femelles produits en 1992 permettra d'appuyer ou d'infirmer certains résultats obtenus dans la présente étude en évaluant le rendement en graines des pins blancs de Huddersfield. L'obtention de graines viables serait en effet une bonne démonstration qu'il y a eu suffisamment de pollen exogène pour féconder les arbres du verger. En outre, le regroupement des arbres par direction (nord, sud, est et ouest) permettrait d'aider à identifier la provenance des sources contaminantes. Parallèlement à la récolte des cônes dans le verger, une seconde récolte, celle des pins blancs entourant le verger, serait également pertinente afin d'obtenir un point de comparaison.

Chapitre III

Étude de la contamination pollinique du verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais

Le verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais a été implanté en 1986. Ce verger, d'une superficie de 7,0 ha, comprend un total de 196 clones (LAMONTAGNE 1992). Il s'inscrit dans les objectifs de production annuelle de cônes au Québec qui comprend 17 vergers d'épinette blanche établis sur le territoire québécois (LAMONTAGNE 1992).

En 1991, la vallée du Deuxième lac des Marais fut touchée par un feu qui couvrit plus de 6 500 ha dans cette région (figure 8). Le verger clonal se trouve dans la partie sud du territoire touché par le feu. La présence d'un coupe-feu entourant le verger ainsi qu'une répression régulière de la végétation à l'intérieur du verger ont permis à ce dernier d'être épargné par les flammes.

Lors de l'établissement de tout verger, il est recommandé d'établir une zone tampon qui permet d'isoler les arbres du verger des sources de pollen non sélectionnées provenant d'arbres indigènes (WERNER 1975, SIMPSON et SMITH 1988, RAINVILLE 1990). Le feu de 1991 a produit une augmentation de la zone tampon déjà existante autour du verger du Deuxième lac des Marais. Certains chercheurs ont toutefois démontré que le pollen peut être transporté par les courants d'air sur de longues distances (WANG *et al.* 1960, LANNER 1966, GEARY 1970, SQUILLACE et LONG 1981, GREENWOOD et RUCKER 1985, CARON et LEBLANC 1992). Ce vaste incendie permettait d'établir une étude sur la dynamique du pollen près d'un verger ayant une zone tampon naturelle qui l'isole du pollen exogène sur une grande distance.

L'étude de la dynamique du pollen dans la vallée du Deuxième lac des Marais a été entreprise en 1992 et avait pour objectifs : i) de déterminer le taux de contamination pollinique dans le verger clonal d'épinette blanche; ii) d'identifier les sources potentielles de contamination; iii) d'établir un lien entre la production totale de pollen et la production de graines viables et; iv) d'évaluer le transport du pollen de l'épinette blanche, du sapin baumier, du bouleau blanc, de l'épinette noire et du pin gris durant la période de dissémination.

3.1 Matériel et méthodes

3.1.1 Description du site

Ce verger se trouve dans la circonscription de Charlevoix à proximité du Deuxième lac des Marais (47° 49' 40" N.; 70° 15' 30" O.; altitude de 550 m). Il est situé dans une vallée entourée de montagnes pouvant atteindre jusqu'à 888 m d'altitude (figures 15 à 17). Les sols sont principalement des loams sablo-graveleux de la série Éternité (CARRIER 1981). La région se caractérise par des peuplements résineux composés ou bien d'une seule espèce, ou bien d'un mélange d'épinette blanche, de sapin baumier et d'épinette noire. Le bouleau blanc est généralement éparpillé dans la plupart des peuplements en vallée et représente rarement plus de 5 à 10 % du couvert. De 1983 à 1987, la plupart des peuplements de cette vallée ont été coupés et des plantations, principalement d'épinette blanche, ont été établies par la suite. Du pin gris a été planté dans les jetées et parfois le long des routes d'exploitation.

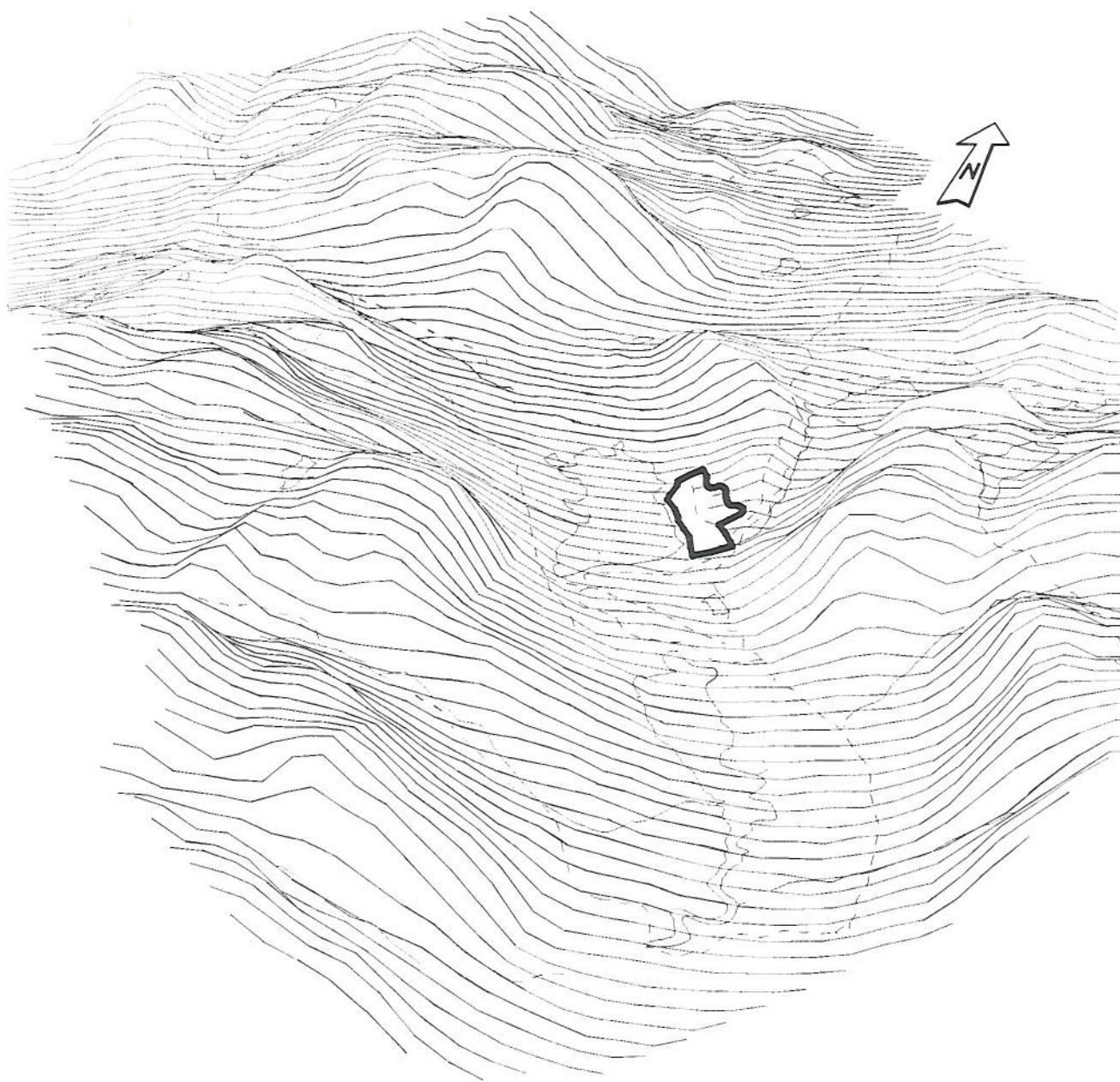


Figure 15. Localisation topographique du verger dans la vallée du Deuxième lac des Marais.

En 1991, un incendie a ravagé la région, y compris la vallée du Deuxième lac des Marais (figure 15). Il en résulte que la plupart des peuplements non coupés avoisinant le verger ont été brûlés. Un coupe-feu entourant le verger a permis de sauvegarder ce dernier bien que certains ramets situés sur les bords du verger aient été la proie du feu. Seuls quelques petits peuplements situés près du Deuxième lac des Marais, le long de certains ruisseaux ou endroits humides et sur certaines falaises, ont survécu au feu (figure 18). Certains autres peuplements situés au nord-ouest et au sud du verger ont été épargnés par les flammes. Certaines plantations d'épinette blanche situées à l'ouest et nord-est du verger ont également été épargnées.

Selon la station météorologique de Saint-Hilarion (47° 36' N.; 70° 24' O.; altitude de 411 m), la température moyenne annuelle dans cette région est de $3,0 \pm 0,7$ °C (moyenne $\pm$ écart-type) avec des extrêmes de + 35,0 et - 34,0 °C (ANONYME 1982a). Les précipitations moyennes annuelles sont de $1078,5 \pm 148,6$ mm (ANONYME 1982b).

3.1.2 Répartition et prélèvement des pièges

Dix pièges à lames fixes ont été installés le long d'un transect N. 30° O., à partir du peuplement non brûlé près du Premier lac des Marais jusqu'au lac de la Glissette (figure 18). Le piège 1 a été installé à environ 100 m d'un peuplement non brûlé près du



Figure 16. Greffe d'épinette blanche dans le verger clonal du Deuxième lac des Marais dans la circonscription de Charlevoix.

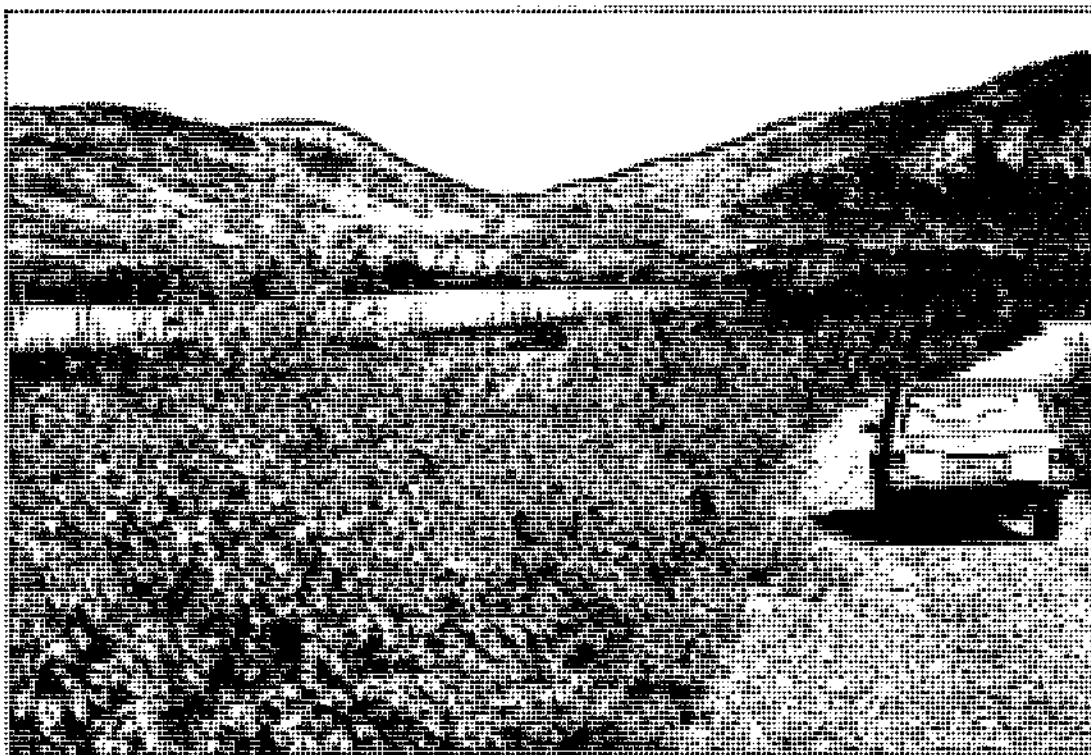


Figure 17a. Vue d'ensemble du verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais.



Figure 17b. Brûlé de 1991 autour du Deuxième lac des Marais.

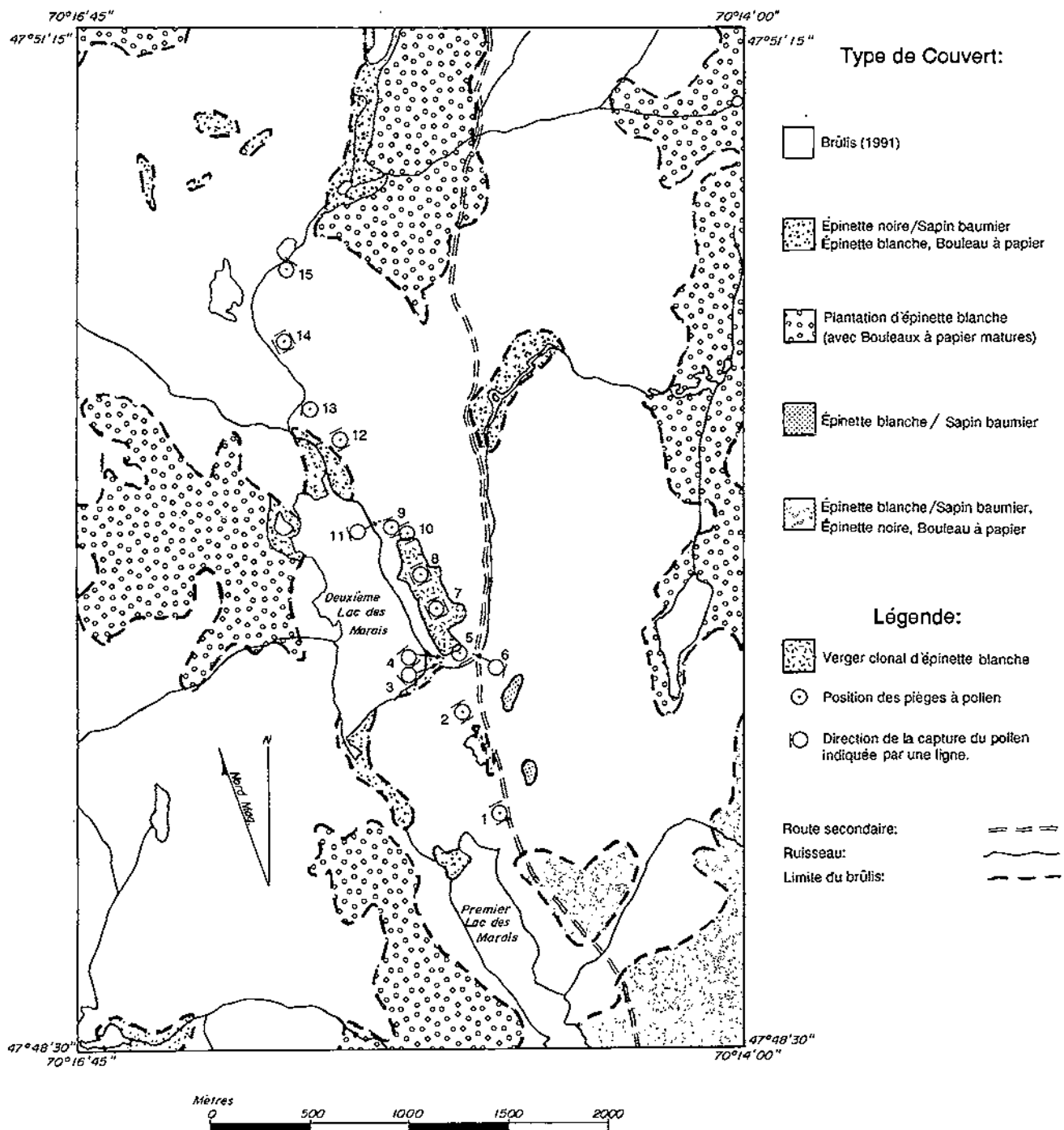


Figure 18. Disposition des pièges à pollen en périphérie et à l'intérieur du verger clonal d'épinette blanche de 7 ha situé près du Deuxième lac des Marais, le long d'un transect orienté nord-ouest débutant près du Premier lac des Marais. Certains pièges ont également été installés à divers endroits afin d'évaluer la contamination potentielle provenant des peuplements ayant survécu au feu de 1991. L'orientation des lames sur chaque piège indique la source de pollen. Les peuplements ayant survécu au feu de 1991 sont représentés.

Premier lac des Marais. La distance entre les pièges varie et elle est respectivement de 560, 300, 230, 200, 260, 530 et 560 m entre les pièges 1 et 2, 2 et 4 (ou 5), 4 (ou 5) et 7, 7 et 8, 8 et 9 (ou 10), 9 (ou 10) et 12 et finalement entre 12 et 14. Tous les pièges le long du transect comportaient au minimum deux lames de verre dont l'une était orientée vers le sud-est et l'autre vers le nord-ouest.

Cinq autres pièges (numérotés 3, 6, 11, 13 et 15) ont été installés afin d'estimer la quantité de pollen provenant de sources potentielles de contamination (figure 19). Le piège 15 était situé à 340 m du piège 14 et à 500 m d'un peuplement non brûlé le plus près (au nord-est). De plus, le piège 14 portait deux lames de verre additionnelles afin d'établir la contribution pollinique provenant du sud-ouest et du nord-est.

L'installation des pièges a été réalisée le 23 mai. La récolte a été effectuée chaque jour entre 9 h et 10 h du 24 mai au 4 juin.

3.1.3 Évaluation de la contamination pollinique du verger

La quantité de pollen entrant dans le verger a été estimée à l'aide des lames de verre dirigées vers l'extérieur du verger. Les pièges 4 et 5 ont servi à évaluer le pollen exogène pour les vents du sud-est et les pièges 9 et 10, pour les vents du nord-ouest. La quantité de pollen sortant du verger a été estimée pour les vents du nord-ouest à l'aide des lames de verre sur les pièges 4 et 5 qui étaient dirigées vers l'intérieur du verger. Pour les vents du sud-est, les lames orientées sud-est sur les pièges 7 et 8 ont servi à estimer le pollen sortant, en remplacement des pièges 9 et 10. La raison de ce choix réside dans le fait qu'un fort dépôt de pollen a été observé sur les lames orientées sud-est sur les pièges 9 et 10, et qu'il ne représentait donc pas en fait une quantité réelle à la sortie du verger. Ce fort dépôt observé pour l'épinette blanche a également été observé avec les autres espèces. Finalement, les lames orientées sud-ouest et nord-est sur les pièges 7 et 8 ont servi à évaluer la contamination ainsi que la production du verger sans toutefois les distinguer l'une de l'autre.

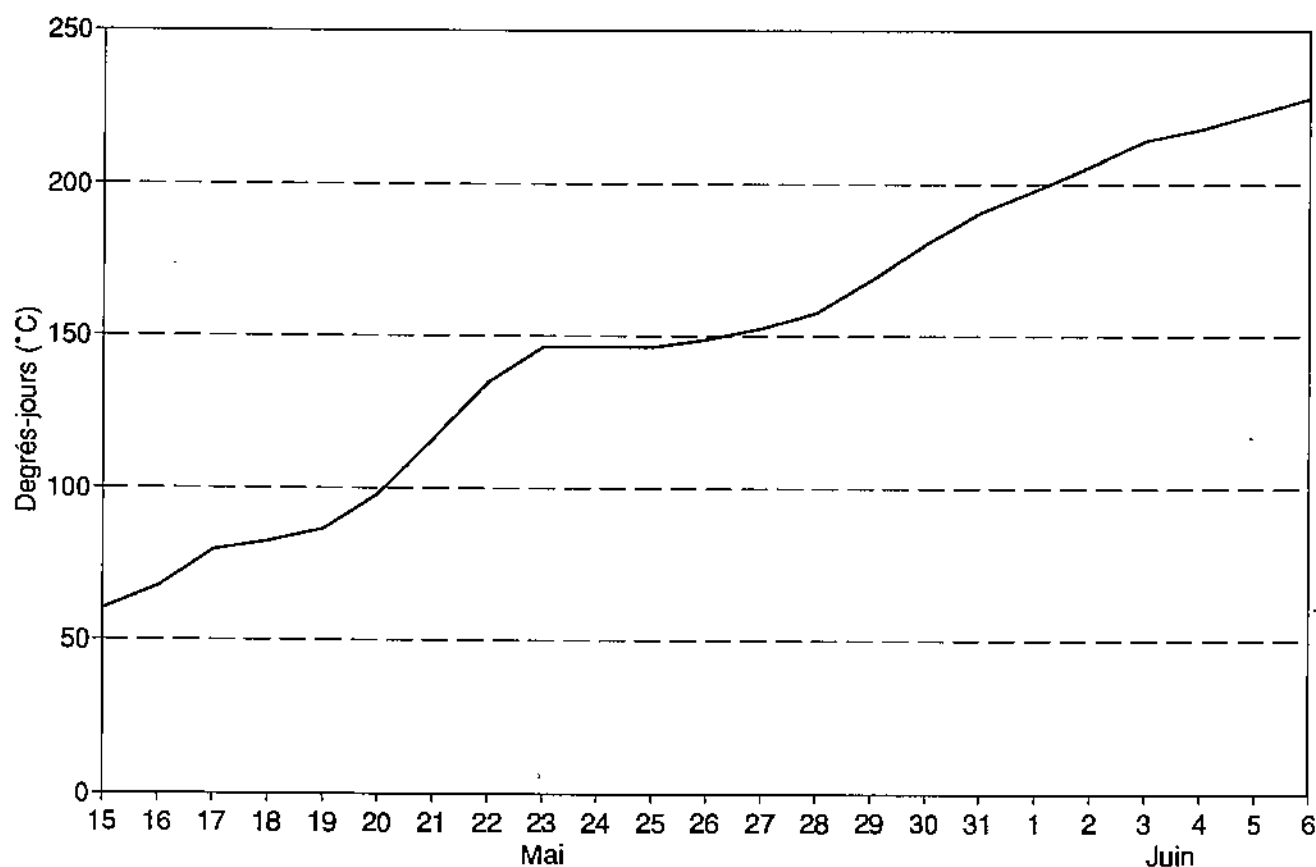


Figure 19. Accumulation des degrés-jours dans le verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais entre le 15 mai et le 6 juin 1992 à partir des données de la station météorologique de Saint-Hilaire.

Le taux de contamination (T_c) est exprimé à partir du rapport entre le nombre de grains de pollen entrant dans le verger (G_e ; lames 4 et 5 orientées sud-est, lames 9 et 10 orientées nord-ouest) et le nombre total de grains présents dans le verger (G_t ; lames 7 et 8 orientées sud-est, lames 4 et 5 orientées nord-ouest), soit :

$$T_c = \frac{G_e}{G_t} \times 100. \quad (6)$$

3.1.4 Évaluation de la production pollinique du verger

La production de pollen par les arbres du verger (P_v) a été évaluée pour chacune de deux directions (d) (nord-ouest et sud-est) en soustrayant le nombre moyen de grains de pollen contaminants entrant dans le verger (P_{e_d}) du nombre de grains de pollen sortant du verger (P_{s_d}):

$$P_v = \sum_d^0 \text{MAX} [(P_{s_d} - P_{e_d}); 0] \quad (7)$$

Pour le sud-est, l'entrée a été établie selon les pièges 4 et 5 tandis que les sorties ont été réalisées selon les pièges 7 et 8. La raison du choix des pièges 7 et 8 au lieu des pièges 9 et 10 est évoquée à la section 3.1.3. Pour le nord-ouest, l'entrée a été établie selon les pièges 9 et 10 et les sorties, selon les pièges 4 et 5. Si le nombre moyen de grains contaminants était supérieur à celui des grains sortant du verger, on enregistrait une valeur de zéro pour ce piège. La production moyenne quotidienne par les arbres du verger a été établie à partir des productions (nord-ouest et sud-est) obtenues pour chacune des quatre lames sur quatre pièges différents (pièges 7 SE, 8 SE, 4 NO, 5 NO).

3.1.5 Dénombrement et identification des pollens

Le dénombrement et l'identification des grains de pollen sur les lames ont été réalisés au Laboratoire de biologie forestière de l'École de sciences forestières de l'Université de Moncton à Edmundston. L'identification des pollens a été réalisée à l'aide des descriptions fournies par BÉLANGER (1963), ADAMS et MORTON (1972, 1974, 1976, 1979), BASSETT (1978) et RICHARD (1967, 1970) ainsi qu'à partir des échantillons de pollen contenus dans la banque de pollens du Laboratoire de biologie forestière de l'École de sciences forestières. Les grains de pollen observés ont été classés selon les catégories suivantes : i) épinette blanche; ii) épinette noire; iii) sapin baumier; iv) pin gris; v) bouleau blanc et vi) toutes les autres espèces.

Avant leur observation sous microscope optique, les lames ont été recouvertes d'une fine couche de colorant d'ALEXANDER (1969) selon la technique décrite par COLAS (1992) afin de faciliter le décompte des grains ainsi que leur identification.

Le dénombrement du pollen était réalisé grâce à un grossissement de 100X. Chaque plage d'observation couvrait une superficie de 2,8 mm² (diamètre de 1,90 mm). Six plages réparties aléatoirement sur la surface de la lame servaient à estimer la densité du pollen présent, exprimée en nombre de grains par millimètre carré par jour (grains/mm².jour).

3.1.6 Évaluation de la production de fleurs mâles et femelles

La production moyenne des arbres et le pourcentage d'individus porteurs de fleurs mâles et femelles ont été établis pour le verger clonal d'épinette blanche situé au Deuxième lac des Marais. Le dénombrement des fleurs mâles et femelles produites par un individu donné a été réalisé sur 100 arbres choisis aléatoirement à l'intérieur de tout le verger.

3.1.7 Évaluation de la période de réceptivité des fleurs femelles

La réceptivité des fleurs femelles et la date de dissémination du pollen par les arbres du verger ont été enregistrés en 1992. Un total de 21 et 16 arbres du verger portant respectivement des fleurs femelles et mâles ont été vérifiés tous les deux jours à partir de la mi-mai jusqu'à la fin de la dissémination du pollen dans le verger. Les dates de réceptivité des fleurs femelles et de dissémination du pollen chez un individu étaient basées sur la fréquence de fleurs observables chez l'individu avec le degré de développement.

3.1.8 Évaluation du rendement et de la qualité des semences

L'évaluation du rendement et de la qualité des graines produites par les greffes du verger a pu se faire par un prélèvement de cinq cônes et plus sur 93 individus sélectionnés au hasard dans le verger.

Les cônes récoltés pour cette étude ont été expédiés au laboratoire de morphophysiologie de l'arbre du Service de l'amélioration des arbres (MFO, maintenant MRN) pour y être traités. Les cônes ont subi une postmaturation de 10 semaines avant l'extraction des semences. Ils ont été séchés à 65 °C durant 8 heures et brassés manuellement pour extraire les semences. Le désailage s'est fait par frottement mécanique des graines entre elles dans un sac de coton. Le nettoyage

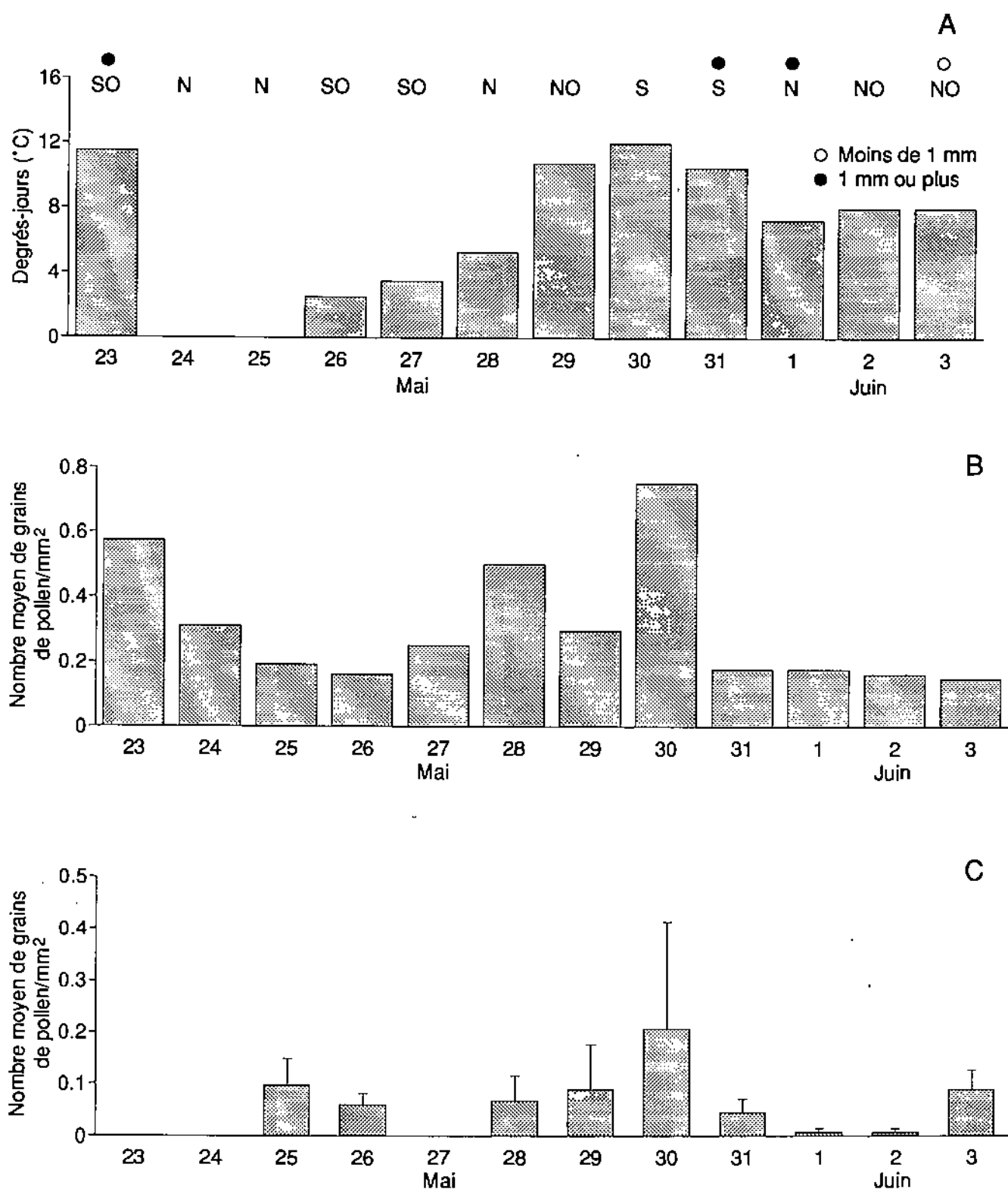


Figure 20. Dynamique du pollen d'épinette blanche dans le verger clonal du Deuxième lac des Marais : a) degrés-jours (5 °C), pluie (○, moins de 1 mm; ●, plus de 1 mm) et vent dominant selon la capture du pollen sur les pièges 7 et 8 pour la période du 23 mai au 3 juin; b) dépôt total des grains de pollen d'épinette blanche provenant du verger et des peuplements environnants; c) production pollinique du verger d'épinette blanche.

final nécessitait une souffeuse à graines dont la vitesse était constante pour tous les lots de semences : cette technique permet de trier aisément les graines vides de celles qui sont pleines. Le rendement en graines a donc été déterminé en dénombrant les graines pleines ainsi que les graines vides contenues dans l'ensemble des cônes prélevés pour un même clone. Ces lots de semences ainsi traités ont été ensuite expédiés au Centre des semences forestières de Berthier (MRN) pour déterminer le taux de germination. La réalisation des tests de germination suivait les règles de l'*International Seed Testing Association* (1985).

3.1.9 Données météorologiques

Une station météorologique comprenant un thermomètre pouvant enregistrer les températures minima et maxima a été installée dans le verger à proximité du piège 7. Les données recueillies à même cette station temporaire ont servi principalement à sélectionner une station météorologique régionale correspondant le mieux au site à l'étude. La station de Saint-Hilarion du Réseau d'avertissement phytosanitaire du Québec a servi à établir les degrés-jours (supérieurs à 5 °C) accumulés qui ont précédé la dissémination du pollen dans la région du verger.

3.2 Résultats

3.2.1 Dynamique à l'intérieur du verger

3.2.1.1 Dissémination du pollen

La dissémination du pollen de l'épinette blanche dans la région du Deuxième lac des Marais a débuté quelques jours avant l'installation des pièges à pollen (le 23 mai). Les quatre jours précédents ont été marqués par des températures chaudes et sèches. La dissémination dans la région du verger a débuté le 22 mai alors que 118 degrés-jours avaient été accumulés (figure 19). La dissémination dans le verger a débuté le 24 mai (figure 20c) alors que 148 degrés-jours avaient été accumulés (figure 19).

3.2.1.2 Période de réceptivité des fleurs femelles

La réceptivité des fleurs femelles dans le verger clonal d'épinette blanche a débuté le 23 mai pour se terminer le 3 juin (figure 21). La réceptivité a commencé rapidement pour atteindre son maximum entre le 27 et 29 mai (figure 21). Plus de 50 % des fleurs femelles étaient réceptives entre le 23 et le 31 mai. Quant à la période de dissémination, elle a débuté plus tard que celle de la réceptivité des fleurs femelles et a culminé le 29 mai pour se terminer le 4 juin (figure 21).

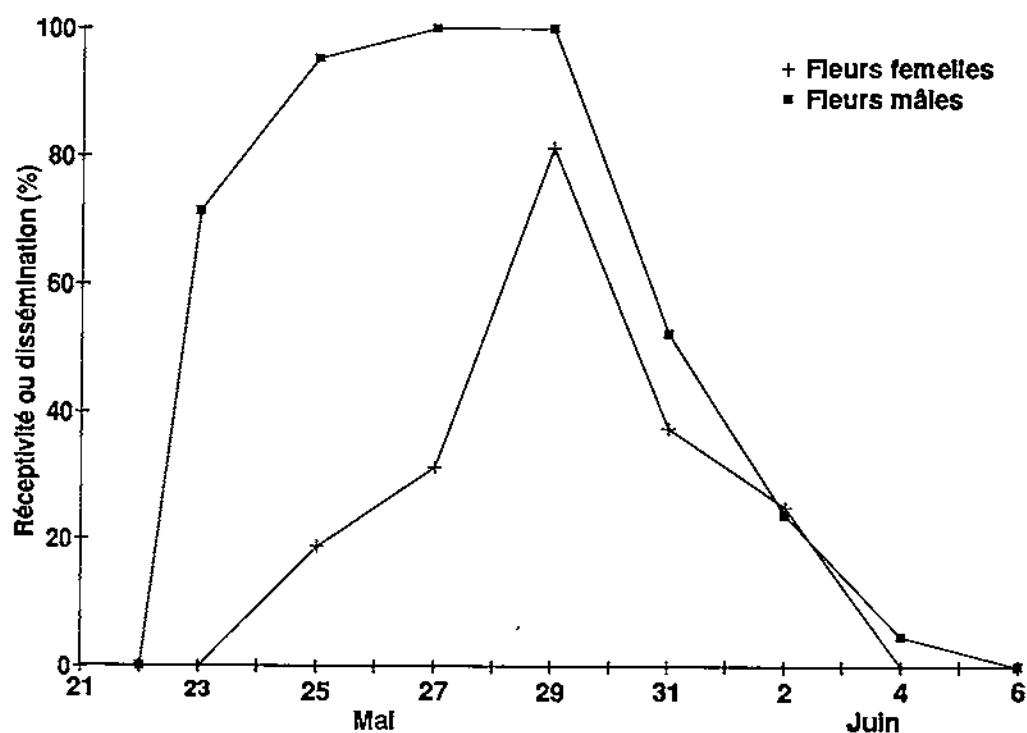


Figure 21. Période de réceptivité des fleurs femelles et de la dissémination des fleurs mâles chez les épinettes blanches du verger clonal du Deuxième lac des Marais en 1992.

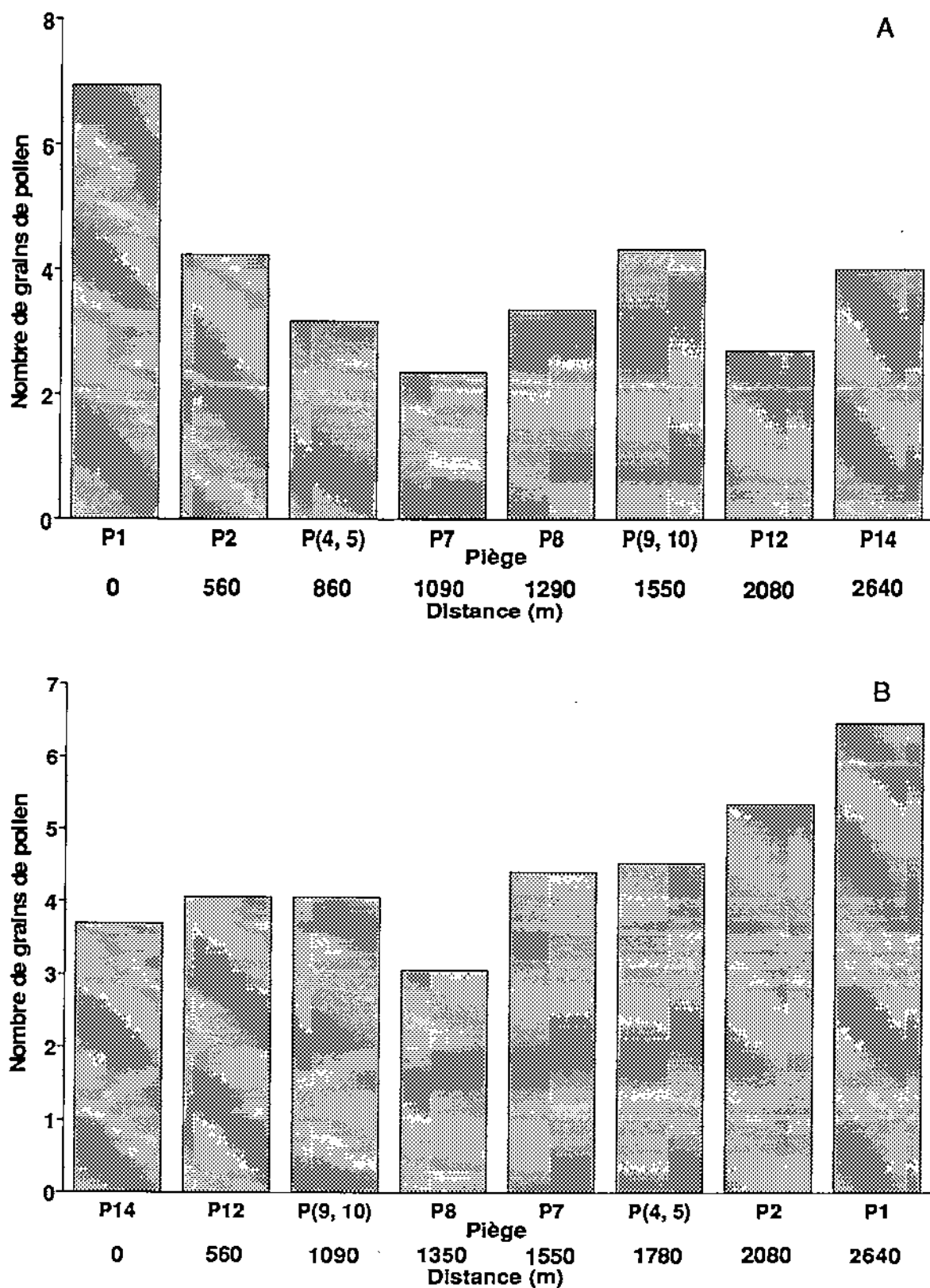


Figure 22. Nombre total de grains de pollen d'épinette blanche déposés sur les pièges 1 à 14 situés le long d'un transect près du Deuxième lac des Marais en 1992, et acheminés par A) les vents du sud-est et B) les vents du nord-ouest. Le peuplement le plus près du piège 1 était à 100 m. Le piège 15 est situé à 340 m au nord-est du piège 14 et le peuplement le plus près, à 500 m au nord-est du piège 15.

3.2.1.3 Taux de contamination

Le taux de contamination durant la période de réceptivité des fleurs femelles du verger a été estimé à 98 %. Durant la période de réceptivité maximale (23 au 31 mai), le taux de contamination était sensiblement le même (93 %). La production de pollen par les arbres du verger s'est élevée à 0,7 grain (à 1 mm²/jour) pour la période de réceptivité. La production de pollen provenant des sources contaminantes sud-est et nord-ouest s'élevait à 3,6 grains (à 1 mm²/jour) pour ces mêmes 12 jours de réceptivité.

3.2.1.4 Direction du pollen contaminant

Durant cette étude, le dépôt du pollen sur les pièges 7 et 8 a indiqué que 35 % du pollen était véhiculé par les vents du sud-ouest, 30 % par les vents du nord-ouest, 23 % par les vents du sud-est et seulement 11 % par les vents du nord-est.

3.2.1.5 Production de fleurs femelles et mâles

Seuls 15 % des arbres portaient des fleurs des deux sexes alors que 16 % des arbres avaient produit seulement des fleurs femelles et 18 %, uniquement des fleurs mâles. Les arbres porteurs de fleurs femelles produisaient en moyenne $4,2 \pm 1,4$ fleurs (moyenne $\pm$ intervalle de confiance à 95 %) alors que les arbres porteurs de fleurs mâles avaient en moyenne $5,3 \pm 2,4$ fleurs. Pour l'ensemble des arbres composant le verger, ces moyennes sont respectivement de $1,3 \pm 0,6$ et de $1,7 \pm 1,0$.

3.2.1.6 Rendement en graines et taux de germination

Le rendement en graines des arbres du verger est particulièrement élevé, de l'ordre de 63,4 graines par cône. De ce nombre, 42,2 graines (66,6 %) étaient vides. Le taux de germination moyen des graines pleines était de $81,9 \pm 31,9$ % (moyenne $\pm$ intervalle de confiance à 95 %).

3.2.2 Dynamique le long du transect

Le dépôt du pollen acheminé par les vents du sud-est a diminué graduellement à partir du premier piège situé près du Premier lac des Marais jusqu'au piège 7 situé dans le verger (figure 22a); cette diminution était alors de 66 % sur une distance de 1 190 m. Une forte augmentation du pollen a ensuite été notée à la sortie du verger (pièges 9 et 10; figure 22a) même

si aucune épinette blanche ne se trouvait à proximité. Le dépôt variait entre 2,8 et 4 grains (à 1 mm²/jour) pour les derniers pièges le long du transect.

Le nombre de grains captés provenant des vents du nord-ouest est demeuré plus ou moins stable entre les pièges 14, 9 et 10 (figure 22b). Une baisse a été notée au centre du verger, suivie par une hausse à la sortie du verger. Toutefois, une forte augmentation a été observée sur les pièges 1 et 2 situés près du Premier lac des Marais (figure 22b). La majeure partie du pollen capté sur les pièges 1 et 2 aurait pour origine une vallée située à l'est du verger ainsi que certains peuplements ayant survécu au feu et localisés près des pièges.

Selon la figure 23, l'origine des pollens exogènes d'épinette blanche serait diverse puisque la plupart des pièges ont capté un nombre plus ou moins équivalent durant cette étude. Toutefois, un peu plus de pollen proviendrait du sud-ouest des pièges 3 et 14. Le piège 14, situé à une plus grande distance de la source contaminante au nord-est du piège 15, a capté moins de pollen d'épinette blanche que le précédent.

3.2.3 Dissémination du pollen de sapin baumier

Tout comme pour l'épinette blanche, le début de la dissémination chez le sapin baumier n'a pas été observé puisque du pollen était déjà capté en forte quantité dès le 23 mai (figure 24), date marquant le début de l'étude. Le dépôt du pollen chez cette espèce est demeuré important durant presque toute l'étude et n'a semblé diminuer que vers la fin de l'étude. La quantité de pollen de sapin baumier captée dans le verger durant l'étude était plus importante que celle du pollen d'épinette blanche (figure 25). En effet, le dépôt du pollen sur les pièges 7 et 8 indique que le sapin y était 3,4 fois plus présent que celui de l'épinette blanche.

La progression du dépôt du pollen provenant des vents du sud-est a peu diminué du piège 1 jusqu'au piège 14 (figure 26a). Les pièges 4 et 5, situés à l'entrée du verger, ont enregistré une légère augmentation. Ce fut également le cas pour les pièges situés à la sortie du verger (pièges 9 et 10).

Le dépôt du pollen provenant du nord-ouest diminuait graduellement à partir du piège 12 jusqu'aux pièges 4 et 5 (figure 26b). Par la suite, une augmentation a été notée sur les pièges entre le Premier et le Deuxième lac des Marais (pièges 1 et 2, figure 26b).

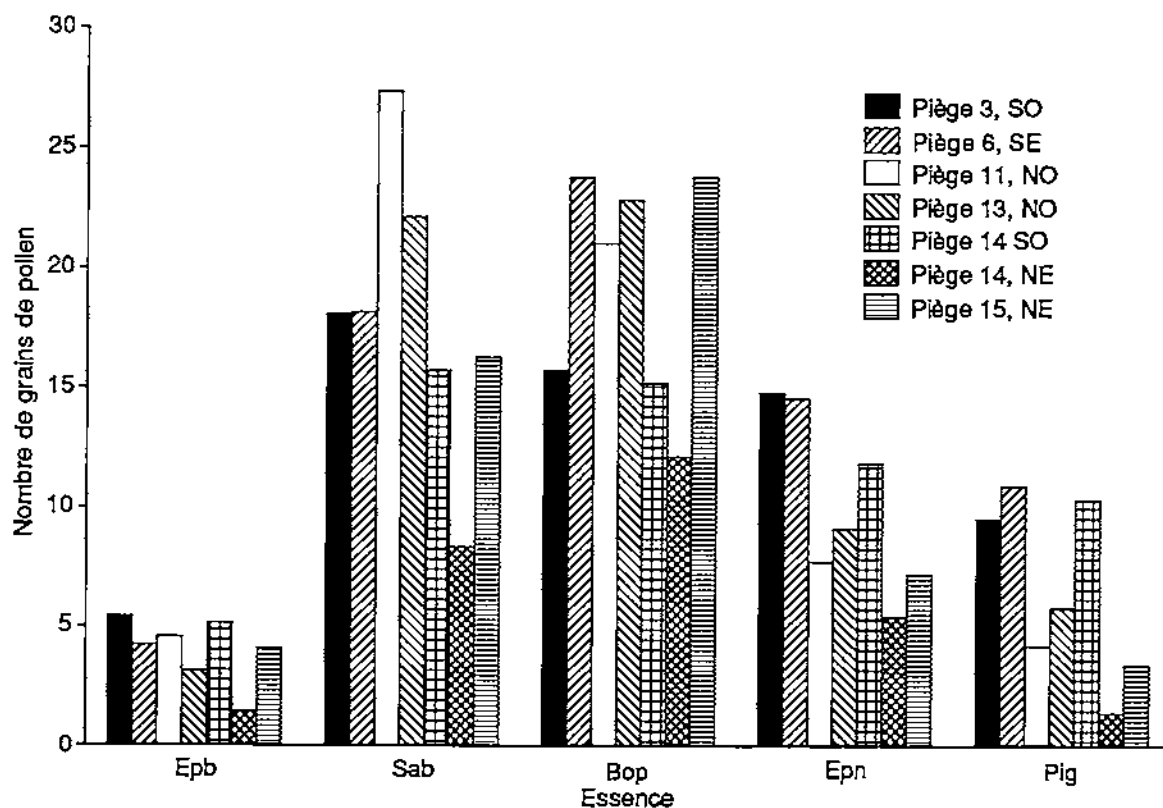


Figure 23. Capture totale des grains de pollen d'épinette blanche, de sapin baumier, de bouleau à papier, d'épinette noire et de pin gris par les pièges situés près du verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais en 1992.

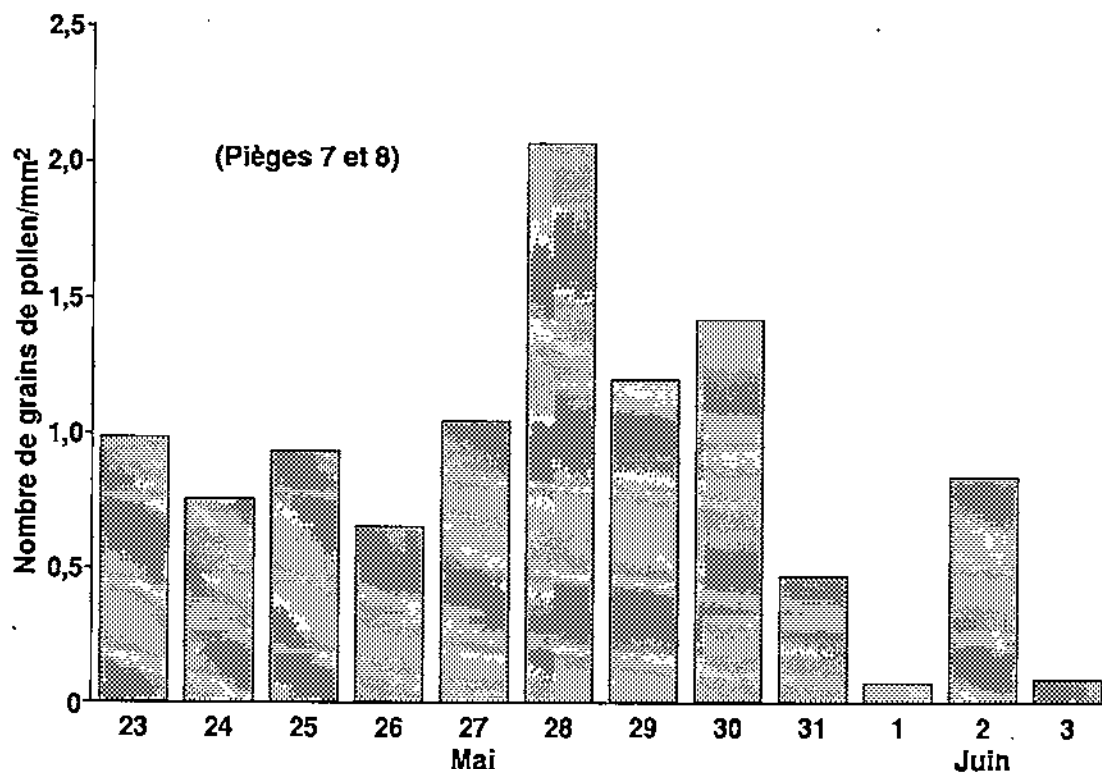


Figure 24. Capture quotidienne du pollen de sapin baumier à partir des pièges 7 et 8 situés dans le verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais en 1992.

3.2.4 Dissémination du pollen de bouleau blanc

Le début de la dissémination du bouleau n'a pas été notée car dès le début de l'étude (le 23 mai), une forte quantité de pollen de bouleau était captée (figure 27). Dès le 25 mai, le dépôt de pollen de bouleau blanc avait fortement diminué. Toutefois, des grains de pollen ont été captés, parfois en très petit nombre, jusqu'à la fin de l'étude, c'est-à-dire jusqu'au 3 juin.

Pour les vents du sud-est, la présence du pollen de bouleau a diminué graduellement du piège 1 jusqu'au piège 8 (figure 28a). Toutefois, tout comme pour l'épinette blanche, une forte quantité de pollen a été captée à la sortie nord-ouest du verger (pièges 9 et 10). Selon les vents du nord-ouest, la quantité de pollen captée diminuait graduellement du piège 14 au piège 1 (figure 28b). Une petite augmentation a été notée aux pièges 1 et 2.

De tous les pollens des espèces étudiées, celui du bouleau blanc était le plus fréquent. Sur les pièges 7 et 8 (figure 25), le pollen de bouleau était 6,9 fois plus abondant que celui de l'épinette blanche. Selon les dépôts, les sources de contaminants étaient diverses

(figures 23 et 25). La région du nord-ouest semblait être la source la plus importante pour le bouleau (figure 23).

3.2.5 Dissémination du pollen de l'épinette noire

La dissémination du pollen de l'épinette noire a débuté le 27 mai (figure 29) et elle était encore importante à la fin de l'étude, le 3 juin. Le dépôt a été important pour cette espèce les 30 et 31 mai ainsi que le 2 juin.

La capture du pollen amené par les vents du sud-est diminuait graduellement à partir des pièges près du Premier lac des Marais jusqu'au piège 8 situé dans le verger. Comme pour toutes les autres espèces, une augmentation importante a été enregistrée à la sortie du verger sur les pièges 9 et 10 (figure 30a). Le dépôt du pollen provenant du nord-ouest diminuait jusqu'au verger (figure 30b). Toutefois, l'ajout du pollen provenant des peuplements au nord du Deuxième lac des Marais occasionnait une légère augmentation dans la capture du pollen sur les pièges 8 à 2 (figure 30b). Une forte augmentation a également été notée sur le piège 1.

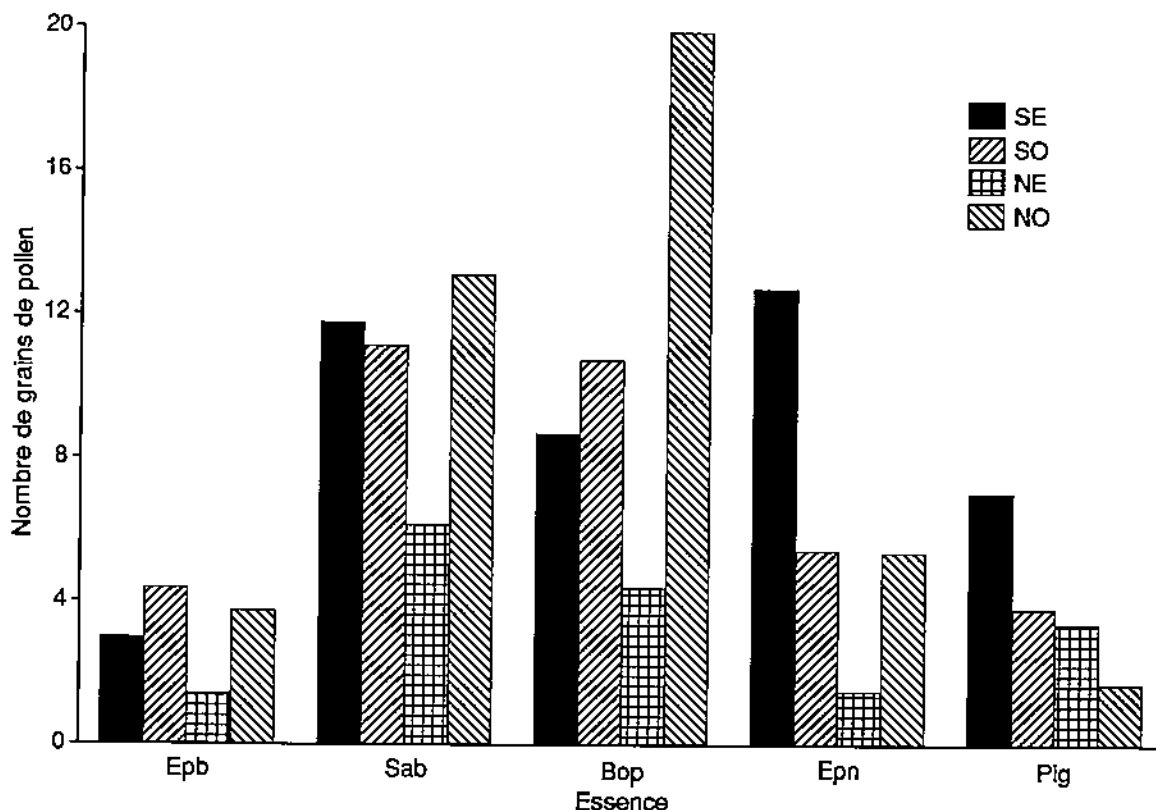


Figure 25. Capture totale de grains d'épinette blanche, de sapin baumier, de bouleau à papier, d'épinette noire et de pin gris par les lames orientées sud-ouest et nord-est sur les pièges 7 et 8 situés dans le verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais en 1992.

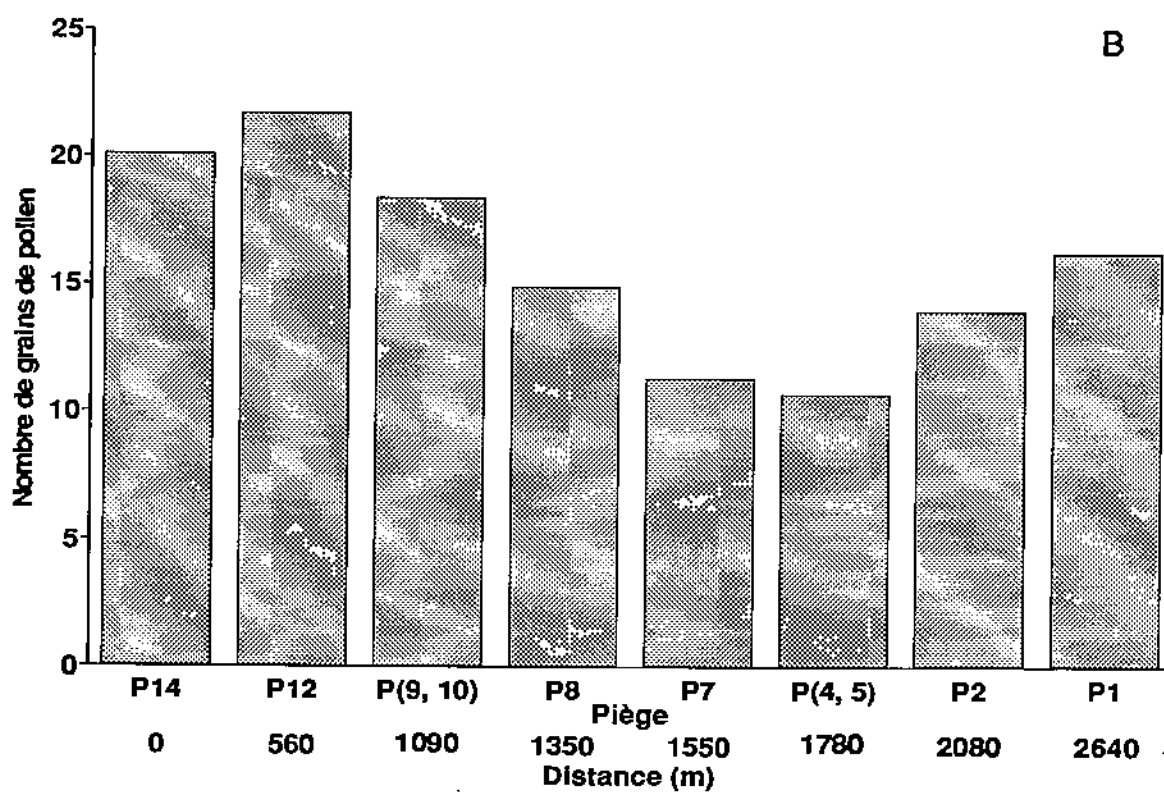
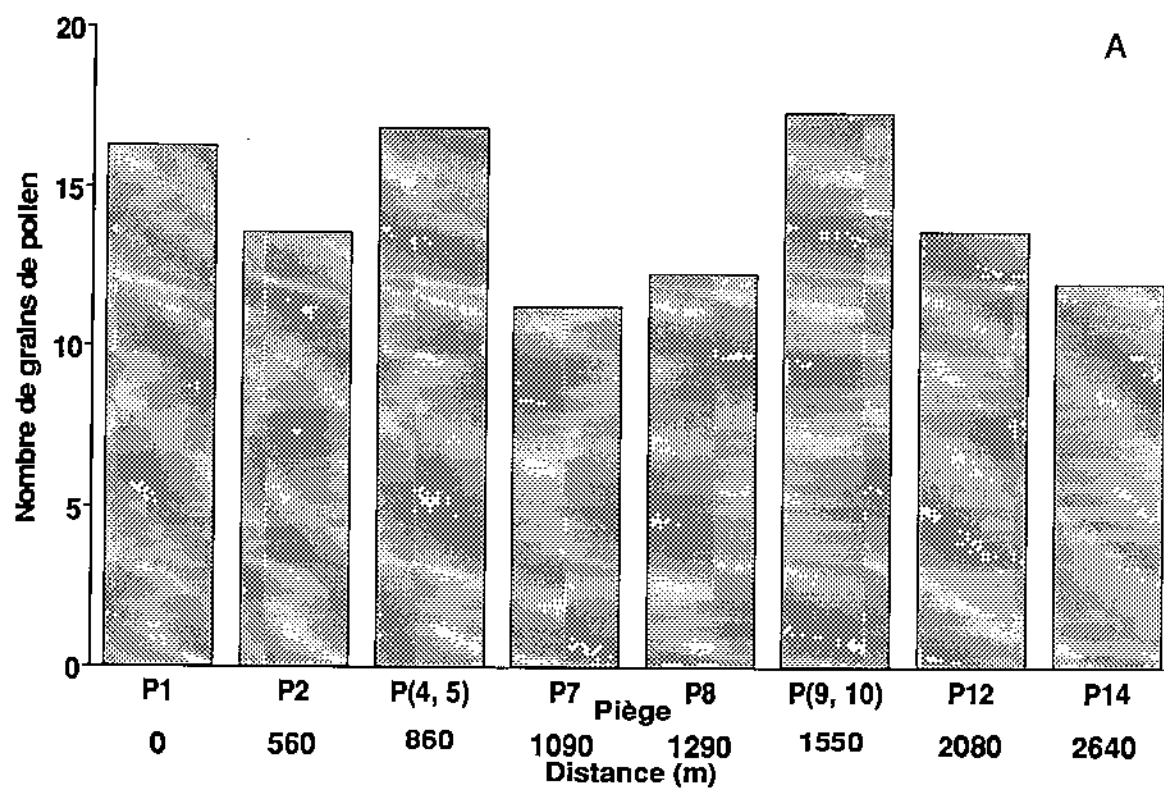


Figure 26. Nombre total de grains de pollen de sapin baumier déposés sur les pièges 1 à 14 situés le long d'un transect près du Deuxième lac des Marais en 1992, et acheminés par A) les vents du sud-est et B) les vents du nord-ouest.

3.2.6 Dissémination du pollen de pin gris

La dissémination du pollen de pin gris a débuté le 29 mai et s'est poursuivie jusqu'à la fin de l'étude, le 3 juin (figure 31). Un fort dépôt a été observé le 30 mai en provenance du sud.

Les dépôts de pollen le long du transect et provenant respectivement du sud-est et du nord-ouest sont représentés aux figures 32a et 32b. Du pollen provenant de diverses directions a été capté. Les quantités de pollen de pin gris enregistrées étaient les plus faibles de toutes les espèces autres que l'épinette blanche (figure 23).

3.3 Discussion

3.3.1 Production de pollen dans la région du verger

La production de fleurs femelles et mâles de l'épinette blanche, de l'épinette noire, du bouleau blanc, du sapin baumier et du pin gris a été importante en 1992 dans le comté de Charlevoix. En effet, presque tous les arbres de ces espèces produisaient abondamment des inflorescences mâles et femelles. On peut en déduire que l'année 1992 a correspondu à une année de forte production de fleurs dans cette région.

Comme il existe un lien étroit entre la production de fleurs mâles et la production de pollen chez les épinettes (CARON et POWELL 1989), on peut affirmer que 1992 a également été une bonne année de production pollinique dans la région de Charlevoix.

3.3.2 Contamination dans le verger du Deuxième lac des Marais

Le taux de contamination pollinique de 98 % dans le verger d'épinette blanche est important. Toutefois, il faut bien analyser la situation avant de conclure qu'un problème de contamination existe réellement. Pour ce faire, il est important d'évaluer la production pollinique du verger, la production des peuplements indigènes et le degré de maturité des arbres du verger.

Un faible nombre d'individus dans ce verger produisaient à la fois des fleurs femelles et mâles en 1992. En effet, 31 % des arbres portaient des fleurs femelles et 33 %, des fleurs mâles. En moyenne, les arbres produisaient respectivement 1,3 et 1,7 fleurs femelles et mâles. Cette production était donc faible. Il en résulte que seulement 0,7 grain (à 1 mm²/jour) d'épinette blanche provenait des arbres du verger durant la période de réceptivité (23 mai-3 juin) des fleurs femelles du verger.

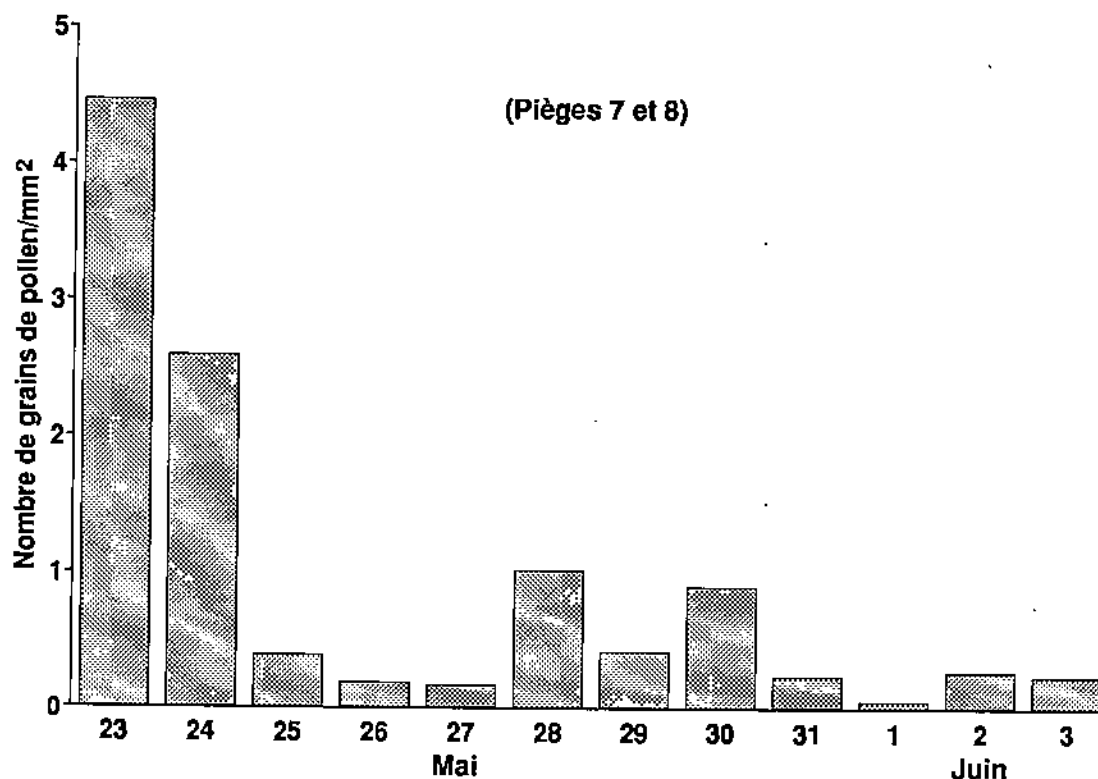


Figure 27. Capture quotidienne du pollen de bouleau blanc à partir des pièges 7 et 8 situés dans le verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais en 1992.

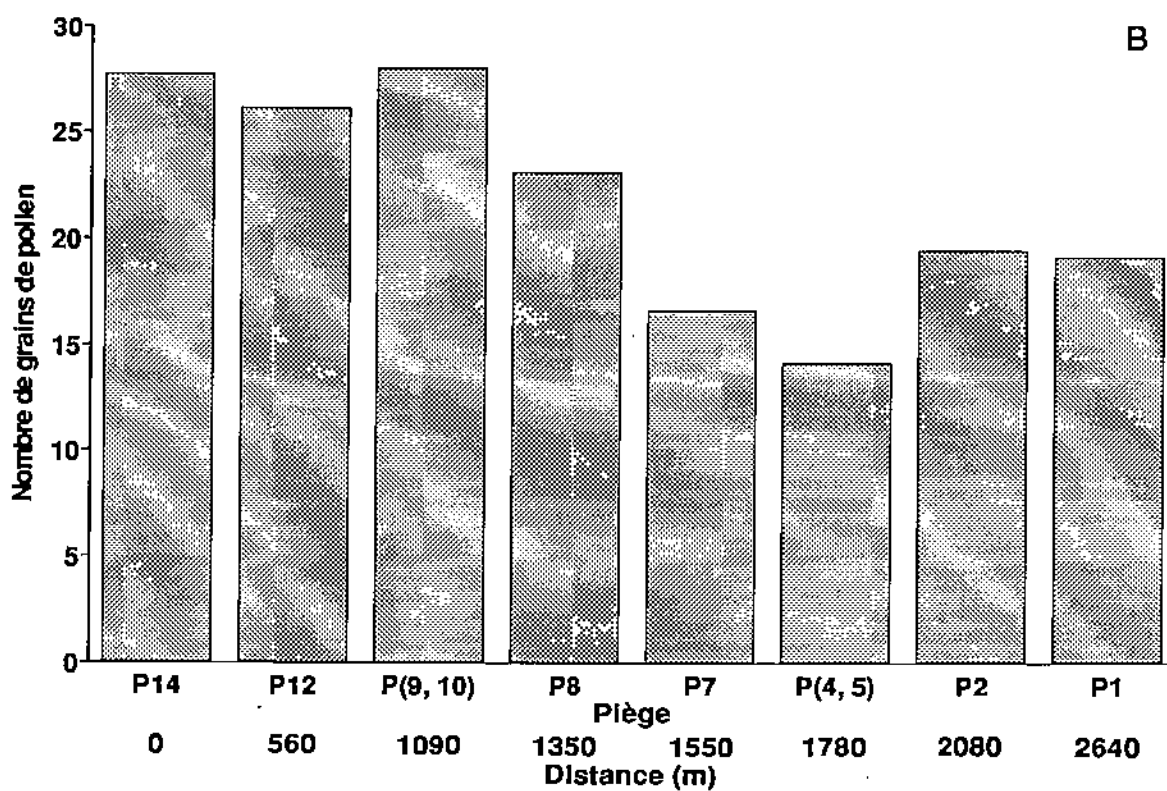
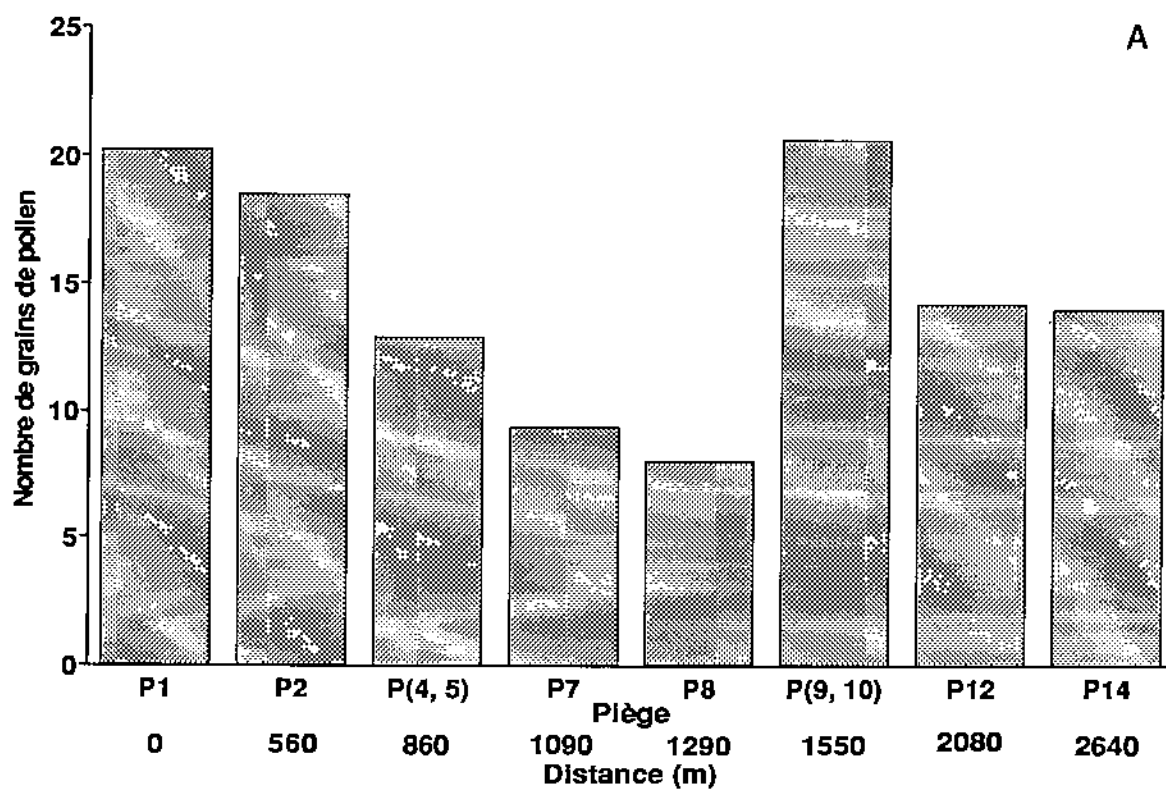


Figure 28. Nombre total de grains de pollen de bouleau blanc déposés sur les pièges 1 à 14 situés le long d'un transect près du Deuxième lac des Marais en 1992, et acheminés par A) les vents du sud-est et B) les vents du nord-ouest.

Le rendement en graines des arbres du verger est de 1,5 à 4 fois supérieur au rendement pour l'ensemble du Québec, évalué entre 10 à 30 graines par cône (GRENIER 1992). Cette valeur laisse supposer que le verger du Deuxième lac des Marais possède un potentiel de production intéressant bien que les deux tiers des graines produites soient vides. Ce dernier résultat indique que la pollinisation des arbres du verger est relativement faible. Par ailleurs, le taux moyen de germination des graines pleines est supérieur à la moyenne québécoise, estimée à 74 % (GRENIER 1992). Toutefois, la valeur relativement élevée de l'intervalle de confiance suggère que la pollinisation n'a pas été uniforme à l'intérieur du verger. Il est raisonnable de croire qu'il y ait eu des sites préférentiels de pollinisation dans le verger, probablement les greffes les plus proches des sources de contamination. Il apparaît donc pertinent à l'avenir d'évaluer le taux de germination tout en tenant compte de la position par rapport aux sources de contamination.

La production de pollen des arbres de la région s'est élevée à 3,6 grains (à 1 mm²/jour) pendant les 12 jours de réceptivité des fleurs femelles dans le verger. Cette production pourrait être considérée

comme importante pour la région car la production de fleurs femelles et mâles était importante en 1992. On peut prévoir une forte réduction dans la production pollinique des arbres indigènes en 1993.

On prévoit que les clones du verger augmenteront substantiellement leur production en fleurs femelles et mâles avec l'âge du verger. Si la production maximale des peuplements régionaux a été atteinte en 1992, il est probable que la proportion entre la production pollinique du verger et la production pollinique des arbres indigènes augmentera avec les années de sorte que la contamination pollinique du verger diminuera en proportion mais pas en valeur absolue.

La contamination pollinique a pour effet de réduire considérablement le gain génétique escompté pour les graines issues des vergers. Le niveau de contamination dans un verger donné varie selon le site, la topographie, la météorologie lors de la dissémination du pollen et les peuplements indigènes environnants ledit verger. C'est pourquoi le taux de contamination est souvent très variable selon chaque verger (SQUILLACE et LONG 1981, GREENWOOD et RUCKER 1985, CARON et LEBLANC 1992, CARON *et al.* 1992).

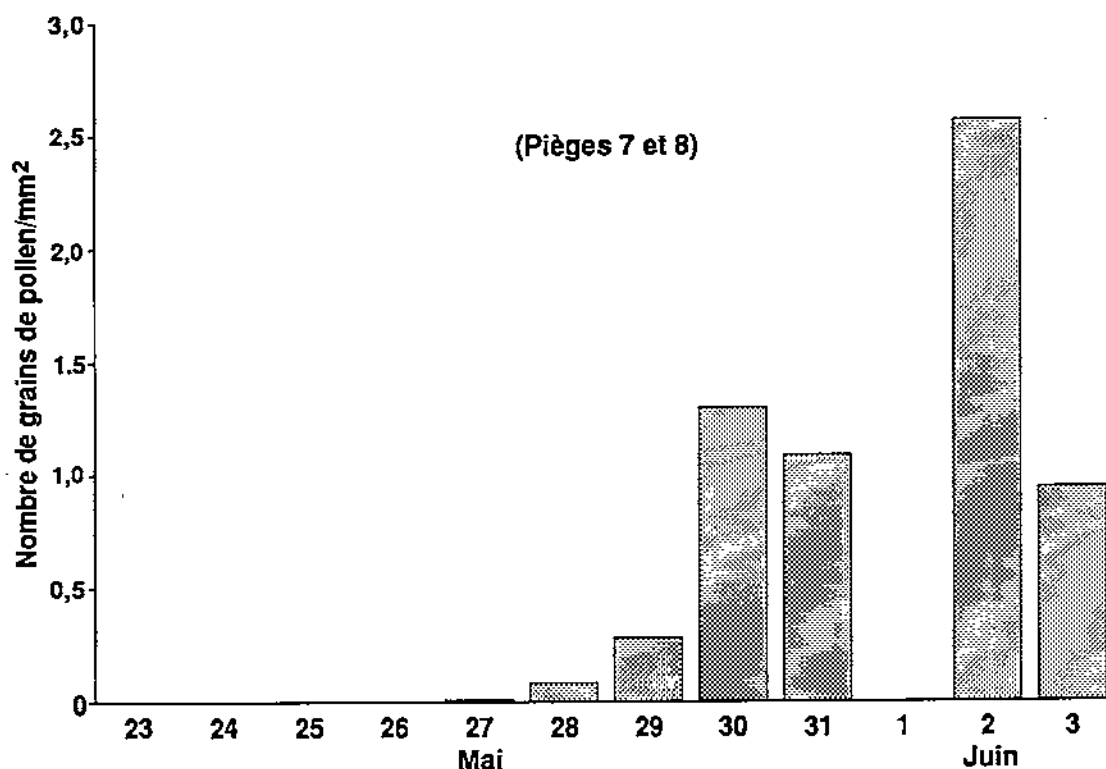


Figure 29. Capture quotidienne de pollen d'épinette noire à partir des pièges 7 et 8 situés dans le verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais en 1992.

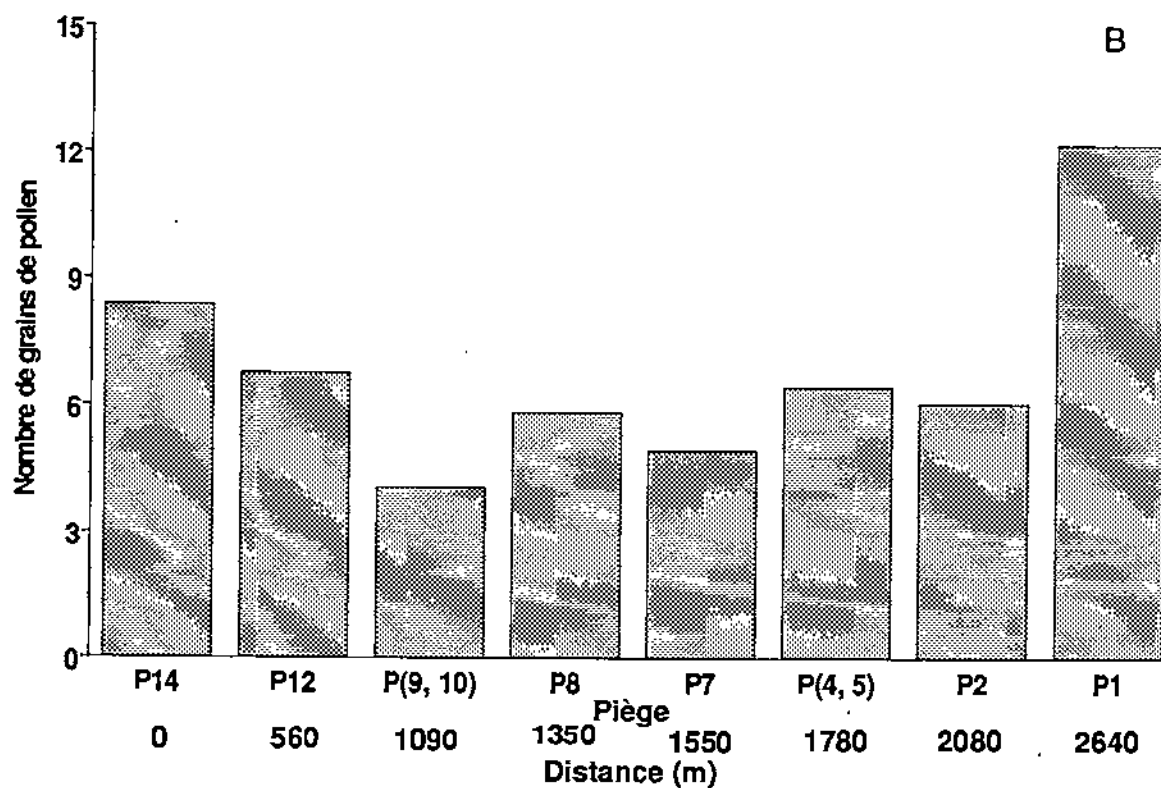
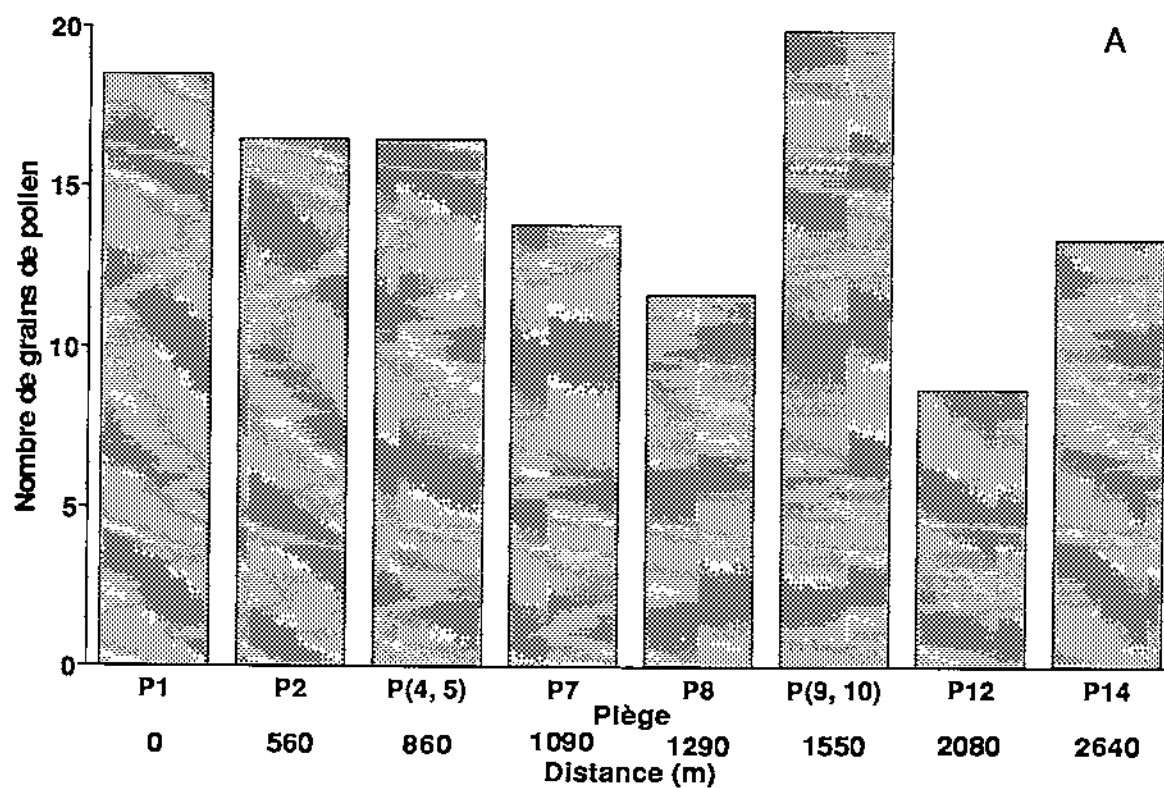


Figure 30. Nombre total de grains de pollen d'épinette noire déposés sur les pièges 1 à 14 situés le long d'un transect près du Deuxième lac des Marais en 1992, et acheminés par A) les vents du sud-est et B) les vents du nord-ouest.

De plus, la variation naturelle de la production annuelle de fleurs femelles et mâles peut occasionner des variations dans le taux de contamination (CARON et LEBLANC 1992). Il est donc primordial d'établir le taux potentiel de contamination sur un site durant un certain nombre d'années. Selon les données recueillies, il sera possible d'évaluer la présence de situations critiques en matière de contamination pollinique. Si le taux de contamination est important, il sera donc justifié de planifier des interventions pouvant réduire son effet sur la qualité des graines issues du verger.

3.3.3 Données météorologiques

Les données météorologiques recueillies du 28 mai au 4 juin sur le site de l'étude correspondaient de plus avec celles de la station de Saint-Hilarion. Néanmoins, certaines différences existent. Durant cette période, 71,8 et 65,5 degrés-jours (5°C) ont été enregistrés respectivement sur le site et à Saint-Hilarion. En effet, les températures sont plus élevées durant le jour sur le site. Toutefois, les observations réalisées entre le 24 et le 28 mai ont indiqué la présence de cinq gelées consécutives dans le verger tandis que la station de Saint-Hilarion n'en avait enregistré qu'à seulement deux occasions. Il semblerait

que les températures sont plus fraîches la nuit dans la région du Deuxième lac des Marais. L'ensoleillement et les conditions créées par le feu de 1991 résultent en une plus forte augmentation des températures journalières sur le site qu'à Saint-Hilarion.

3.3.4 Origine des dépôts de pollen d'épinette blanche le long du transect

Le dépôt de pollen provenant du sud-est a diminué graduellement selon la distance pour atteindre son minimum dans le verger. L'augmentation à la sortie du verger peut être attribuée à la production du verger mais également au pollen provenant de peuplements ayant survécu au feu de 1991 et aux courants d'air remontant la vallée. Certains petits peuplements situés près du Deuxième lac des Marais seraient à l'origine d'une partie du pollen contaminant. Toutefois, il est probable que les vents provenant du sud qui remontent la vallée sont à l'origine de la plupart du pollen capté sur les pièges 9 et 10 jusqu'à 14. Peu de pollen de cette source est capté sur les premiers pièges (près du Premier lac des Marais) à cause de la topographie qui achemine ce pollen vers l'extrémité nord-ouest du verger.

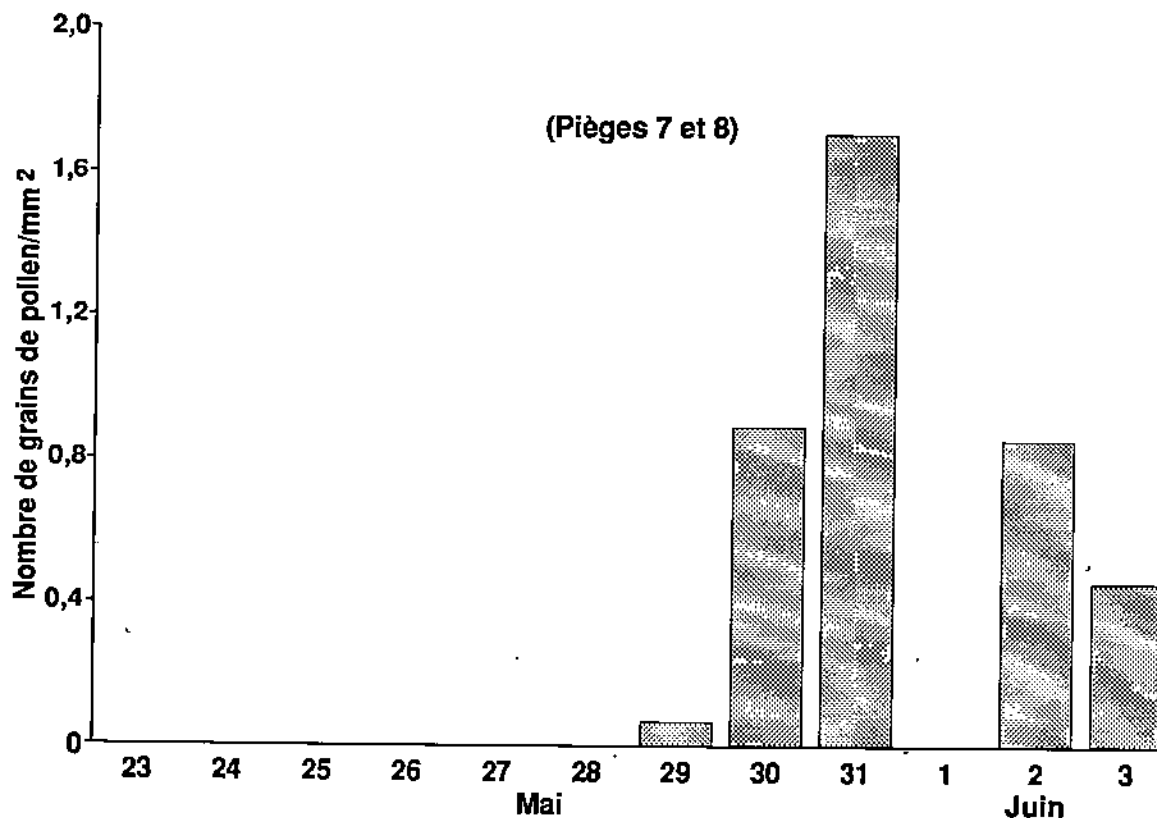


Figure 31. Capture quotidienne de pollen de pin gris à partir des pièges 7 et 8 situés dans le verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais.

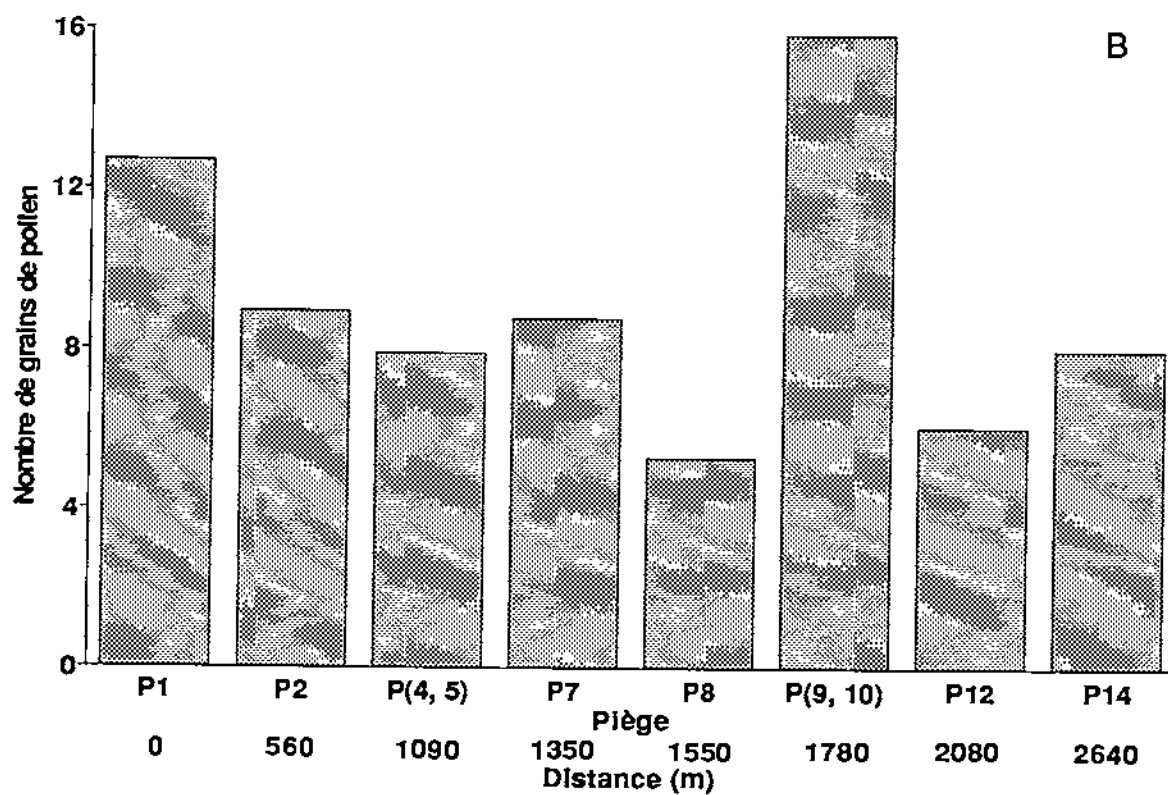
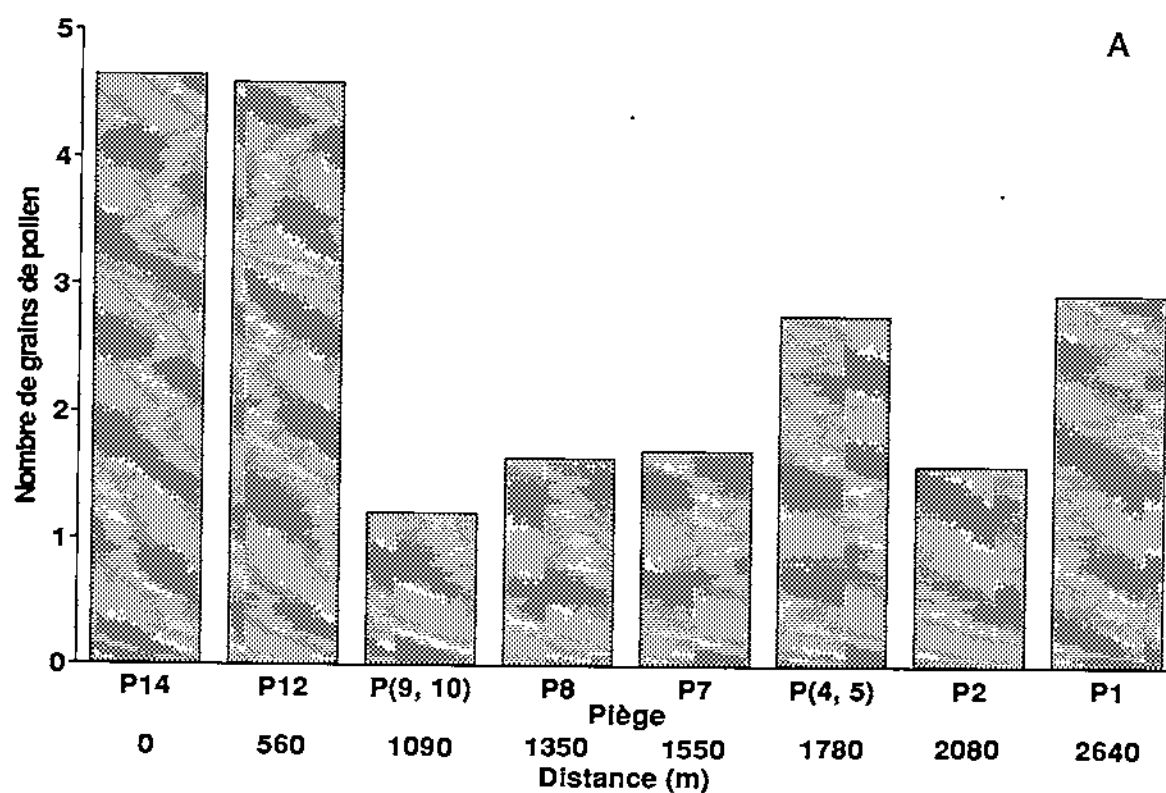


Figure 32. Nombre total de grains de pollen de pin gris déposés sur les pièges 1 à 14 situés le long d'un transect près du Deuxième lac des Marais en 1992, et acheminés par A) les vents du sud-est et B) les vents du nord-ouest.

Le dépôt du pollen provenant du nord-ouest a peu diminué selon la distance (le piège 1 étant le plus loin de la source de contamination) et une augmentation a même été notée sur les pièges les plus distants, c'est-à-dire près du Premier lac des Marais. Il semblerait que plusieurs petits peuplements ayant survécu à l'incendie de 1991 soient des sources assez appréciables de pollen. Les pièges 1 et 2 ont capté davantage de pollen d'épinette blanche provenant du nord-ouest. En effet, ce pollen aurait pour origine la petite vallée au nord-est où se retrouvent des peuplements mixtes d'épinette blanche et d'épinette noire le long d'un ruisseau. Les courants d'air achemineraient donc le pollen de cette vallée sur les pièges près du Premier lac des Marais. De plus, le peuplement situé le long de la falaise près du piège 2 serait également une source de contamination.

3.3.5 Différence quantitative des dépôts selon les espèces

De toutes les espèces étudiées, le pollen de l'épinette blanche a représenté la plus faible densité captée par les pièges dans la région du Deuxième lac des Marais. En effet, les pollens du bouleau blanc et du sapin baumier étaient les plus fréquents. La fréquence du pollen d'épinette noire observé sur les lames était également plus élevée que celle de l'épinette blanche même si seulement une fraction de la période de dissémination a été effectivement observée pour l'épinette noire (du 23 mai au 3 juin). Le pin gris, qui n'est présent que le long des routes d'exploitation et dans les jetées, produisait davantage de pollen que l'épinette blanche, malgré une période de dissémination partiellement inventoriée.

Le verger clonal du Deuxième lac des Marais semble être situé sur un site idéal. D'une part, la contamination pollinique de l'épinette blanche est la plus faible de toutes les espèces indigènes importantes dans cette région. Cette situation de faible contamination pollinique peut être le résultat de l'exploitation forestière dans la vallée ou de l'incendie qui a éliminé plusieurs peuplements d'épinette blanche, même si le verger est situé à l'intérieur de l'aire naturelle de l'espèce. Il pourra donc se développer dans des conditions favorables à la croissance des ramets tout en subissant peu de contamination (quand le verger produira suffisamment de pollen), ce qui se traduira par un gain génétique plus important.

3.3.6 Dépôt des autres espèces selon le transect

Toutes les autres espèces étudiées montrent une dynamique de dépôt semblable à celle de l'épinette blanche le long du transect. Pour les vents du sud-est, le dépôt a diminué graduellement dans le verger. À l'instar de l'épinette blanche, une forte augmentation de la densité du pollen capté a été notée à la sortie du verger. Cette augmentation est attribuable aux courants d'air montant de la vallée. Le pollen acheminé par ces courants se dépose sur les premiers pièges, c'est-à-dire les pièges à la sortie du verger. L'espèce qui confirme le plus cette tendance est le bouleau blanc. Aucun bouleau vivant n'est présent entre les pièges 4 et 5 situés à l'entrée du verger et les pièges 9 et 10 présents à la sortie. On note pourtant une forte augmentation à la sortie du verger.

Le dépôt du pollen provenant des vents nord-ouest a varié mais plusieurs espèces n'ont pas eu de diminution marquée selon la distance. La raison principale de cette faible diminution le long du transect réside dans la présence de plusieurs petits peuplements contaminants ayant survécu à l'incendie de 1991.

3.3.7 Recommandations

La production de pollen du verger et des arbres indigènes de la région du verger a été importante en 1992. Il serait donc judicieux de vérifier la production de ce verger lors d'une faible production pollinique des peuplements contaminants; cette faible production pollinique est prévue en 1993. De plus, une évaluation dynamique du pollen dans la vallée et de la contamination pollinique du verger devrait être faite lorsque la production pollinique du verger aura augmenté. Afin de sélectionner la période idéale pour établir la capacité du verger à diluer le pollen exogène, il serait préférable de suivre d'année en année la production des arbres du verger en fleurs femelles et mâles. Une vérification des bourgeons reproducteurs des arbres du verger tôt le printemps, avant l'éclosion de ces derniers, permettra de déterminer la validité d'une étude de la contamination pollinique dans le verger.

Le territoire incendié devrait être reboisé avec une espèce autre que l'épinette blanche ou, encore, avec des épinettes blanches améliorées génétiquement de qualité comparable aux clones du verger. Dans le premier cas, le taux de contamination du verger ne serait pas augmenté; dans le second, la quantité de graines récoltée serait augmentée sans toutefois que la qualité de ces dernières soit réduite.

Deux pièges à pollen devraient être ajoutés sur le terrain pendant la deuxième année d'étude. Le premier piège devrait être localisé près de l'entrée du verger (pièges 4 et 5) dans la petite vallée au nord-est du verger (figure 15). Le deuxième devrait être placé au nord-ouest du piège 14 afin d'évaluer la contribution pollinique provenant de cette coulée (figure 15).

La durée de l'étude devrait être plus longue afin d'obtenir plus d'informations sur la relâche du pollen d'épinette blanche ainsi que des autres espèces dans la région. Les premiers signes de floraison du cerisier de Pennsylvanie à La Malbaie devraient signifier le début de l'étude au Deuxième lac des Marais.

Une station météorologique devrait être installée dans le verger tôt le printemps afin d'obtenir une meilleure représentation des variations climatiques sur ce site.

Chapitre IV

Étude de la contamination pollinique dans les vergers du canton d'Estcourt

Le verger clonal d'épinette blanche et le verger de semis d'épinette noire du canton d'Estcourt sont parmi les premiers vergers à graines de première génération au Québec à produire des cônes en grande quantité. Le verger clonal produit des cônes mâles depuis quelques années alors que le verger de semis n'est productif de manière significative que depuis l'été 1992. Cette situation prévaudra éventuellement dans tous les vergers du Québec. Pour cette raison, il est pertinent de suivre la progression de la contamination de ces deux vergers.

Une étude de la contamination pollinique a déjà été réalisée en 1991 sur le site des vergers d'Estcourt (CARON *et al.* 1992). Cette étude avait été réalisée alors que l'année semencière était considérée comme faible, que le verger d'épinette noire ne produisait presque aucun cône mâle et que les peuplements contaminants situés autour du verger étaient encore en place. Les auteurs avaient déterminé que la contamination pollinique s'élevait cette année-là à 28 % durant la période de réceptivité des fleurs femelles dans le verger clonal. Tous les cônes du verger d'épinette noire étaient considérés comme contaminés puisque très peu d'individus à l'intérieur de ce verger étaient porteurs de fleurs mâles. Par ailleurs, les vents du nord-ouest et du nord-est avaient été les plus importants dans le transport du pollen contaminant dans les deux vergers. Pour le verger d'épinette noire, plus de 95 % du pollen provenait de ces deux directions durant la période de réceptivité alors que dans le verger d'épinette blanche, plus de 54 % et 31 % du pollen contaminant provenait respectivement du nord-ouest et du sud-ouest.

À la suite de ces résultats, une coupe a été pratiquée au cours de la saison estivale 1991 afin d'éliminer une partie des peuplements identifiés comme contaminants. Il est donc intéressant de reprendre l'étude sur la contamination de ces deux vergers afin d'évaluer l'effet de cette coupe sur la diminution du taux de contamination. Par ailleurs, il est également nécessaire d'évaluer le taux de contamination dans les vergers lors d'une année de forte production de cônes mâles (comme ce fut le cas à l'été 1992); puisque le pollen extérieur arrivant dans le verger devrait être dilué par celui produit par les arbres du verger, son effet négatif est ainsi réduit (CARON *et al.* 1992).

En conséquence, cette étude vise à : i) évaluer la production de cônes mâles et de cônes femelles dans les vergers du canton d'Estcourt; ii) déterminer l'influence de l'environnement sur la dissémination du pollen et la réceptivité des fleurs femelles; iii) évaluer les taux de contamination dans les vergers d'épinette blanche et d'épinette noire; iv) évaluer l'effet de la coupe d'une partie des peuplements contaminants en 1991 sur le taux de contamination; v) évaluer l'effet d'une année de forte production de cônes mâles sur le taux de contamination; vi) établir un lien entre la production totale de pollen et la production de graines viables.

* * *

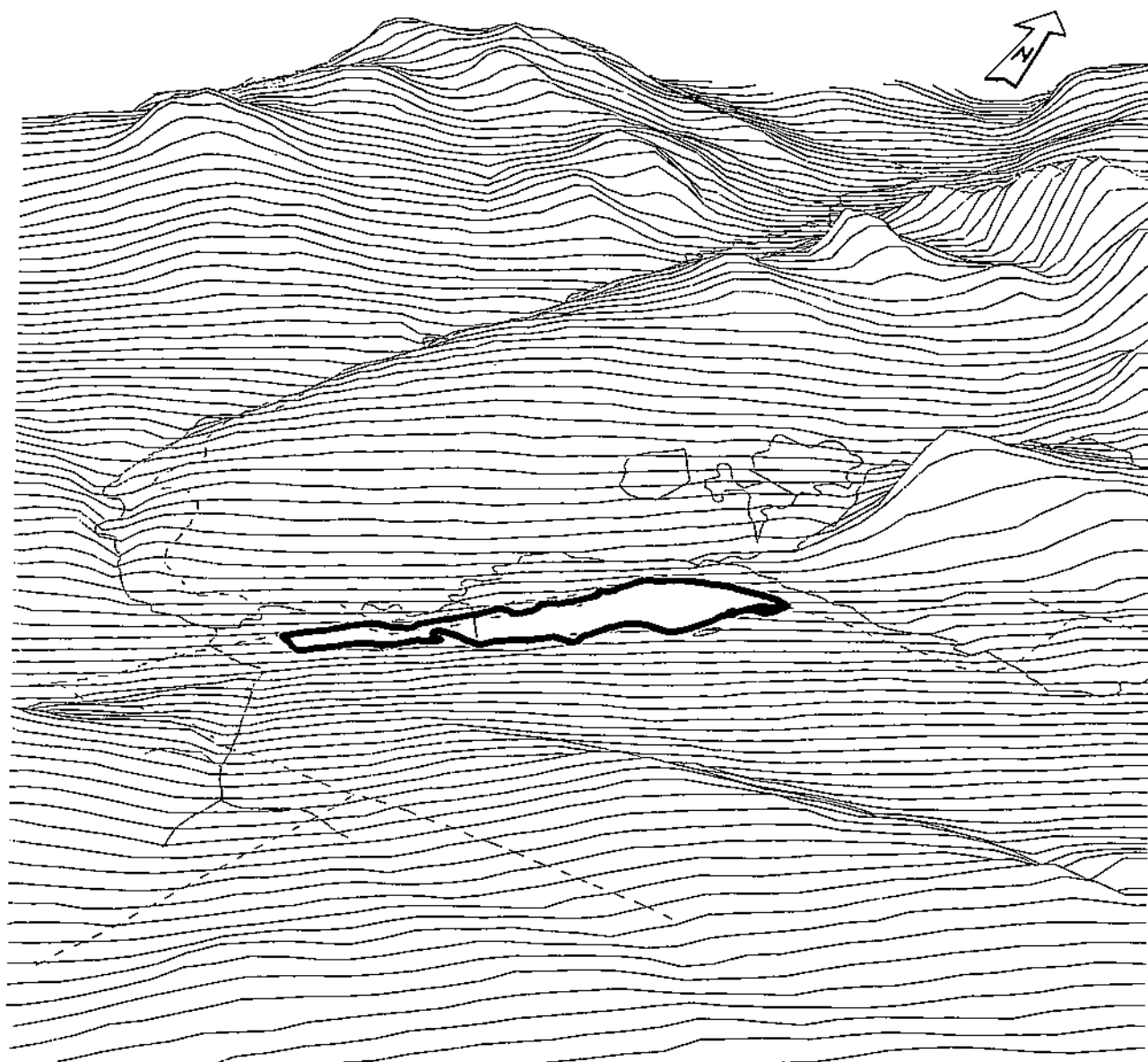


Figure 33. Localisation topographique du verger clonal d'épinette blanche, du verger de semis d'épinette noire et de la coupe de 1991.

4.1 Matériel et méthodes

4.1.1 Description de la coupe de 1991

Une coupe a été réalisée au cours de l'été 1991, c'est-à-dire après la première étude de la contamination pollinique de CARON *et al.* (1992). Cette coupe consistait à éliminer les épinettes noires et les épinettes blanches sur une superficie de 40 ha située du côté nord-ouest du verger clonal d'épinette blanche (figure 33).

4.1.2 Étude de la contamination du verger d'épinette blanche

4.1.2.1 Description du site

Le verger clonal d'épinette blanche du canton d'Estcourt (47° 33' N.; 69° 08' O.; altitude 250 m) a été établi entre 1985 et 1987 dans la région écologique 5a (figures 8 et 33). Il couvre une superficie de 11 ha sur laquelle on retrouve un total de 2 831 ramets représentant 200 clones, dont 186 sont d'origine locale et 14 sont de provenances sélectionnées par Forêts Canada (Centre de foresterie des Laurentides). En tout, on estime que ce verger aura une capacité de production de l'ordre de 10 millions de plants livrables par année (LAMONTAGNE 1992).

4.1.2.2 Répartition et prélèvement des pièges

Au total, huit pièges à pollen à lames fixes ont été installés en bordure du verger (pièges 1 à 8, figure 34). Ces pièges comportaient deux lames de verre dont l'une était dirigée vers l'intérieur du verger pour mesurer le pollen produit par les arbres du verger et la seconde, vers l'extérieur pour évaluer la contamination.

La quantité de pollen entrant dans le verger a été estimée à l'aide des lames de verre dirigées vers l'extérieur des pièges 1 et 2 pour les vents du nord-ouest; des pièges 3 et 4 pour les vents du nord-est, des pièges 5 et 6 pour les vents du sud-est et des pièges 7 et 8 pour les vents du sud-ouest (figure 34). La quantité de pollen sortant du verger a été estimée à l'aide des lames de verre dirigées vers l'intérieur de ces mêmes pièges. Trois pièges à pollen ont été disposés du côté nord-ouest des deux vergers à une distance de 500 m (figure 35). Avant leur installation sur le terrain, les lames avaient été recouvertes d'une fine couche de gelée de pétrole qui permettait au pollen d'y adhérer. Ces lames étaient ainsi préparées chaque matin avant leur mise en place sur le terrain. Elles étaient transportées sur le site de l'étude dans

une boîte à lames avant et après la récolte afin de limiter les pertes et les risques de contamination des échantillons. Elles étaient remplacées quotidiennement entre 9 h et 10 h durant une période qui s'est étendue entre le 14 et le 30 mai 1992. Les lames recueillies étaient expédiées régulièrement au Laboratoire de morphophysiologie végétale du ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN) pour les observations microscopiques.

4.1.3 Étude de la contamination du verger d'épinette noire

4.1.3.1 Description du site

Le verger de semis d'épinette noire du canton d'Estcourt a été implanté en 1986, adjacent du côté sud au verger clonal d'épinette blanche (figure 36). Trois tests de familles ont également été établis dans la région, à partir du même matériel génétique, sur des sites typiquement reboisés avec cette espèce. Le verger s'étend sur 59 ha et il est situé à 250 m d'altitude. Il comprend 78 654 arbres représentant 214 familles dont 206 sont d'origine locale et huit, d'une sélection dans un test de provenances situé au nord-est de Montréal. En 1991, les arbres du verger ont connu leur première année de production de cônes femelles à caractère commercial et les cônes mâles n'ont été produits de manière significative qu'en 1992. La capacité de production de ce verger a été estimée à environ 4,9 millions de plants livrables (LAMONTAGNE 1992).

4.1.3.2 Répartition et prélèvement des pièges

La périphérie de ce verger était couverte par six pièges à pollen à lames fixes (pièges 9 à 14; figure 37). Ces pièges comportaient quatre lames de verre donc chacune était orientée en direction nord-ouest, nord-est, sud-est et sud-ouest. Les pièges 9 à 11 étaient situés du côté est du verger alors que les pièges 12 à 14 l'étaient du côté ouest.

La quantité de pollen entrant dans le verger a été estimée à l'aide des lames de verre dirigées vers le nord-est et le sud-est des pièges 9 à 11 et des lames dirigées vers le nord-ouest et le sud-ouest des pièges 12 à 14 (figure 37). La quantité de pollen sortant du verger a été estimée à l'aide des lames de verre dirigées vers le nord-ouest et le sud-ouest des pièges 9 à 11 et des lames dirigées vers le nord-est et le sud-est des pièges 12 à 14 (figure 37). Le nord-est et le sud-est des pièges 9 à 11 et celles dirigées vers le nord-ouest et le sud-ouest des pièges 12 à 14 pour les vents du nord-ouest (figure 37). La préparation des

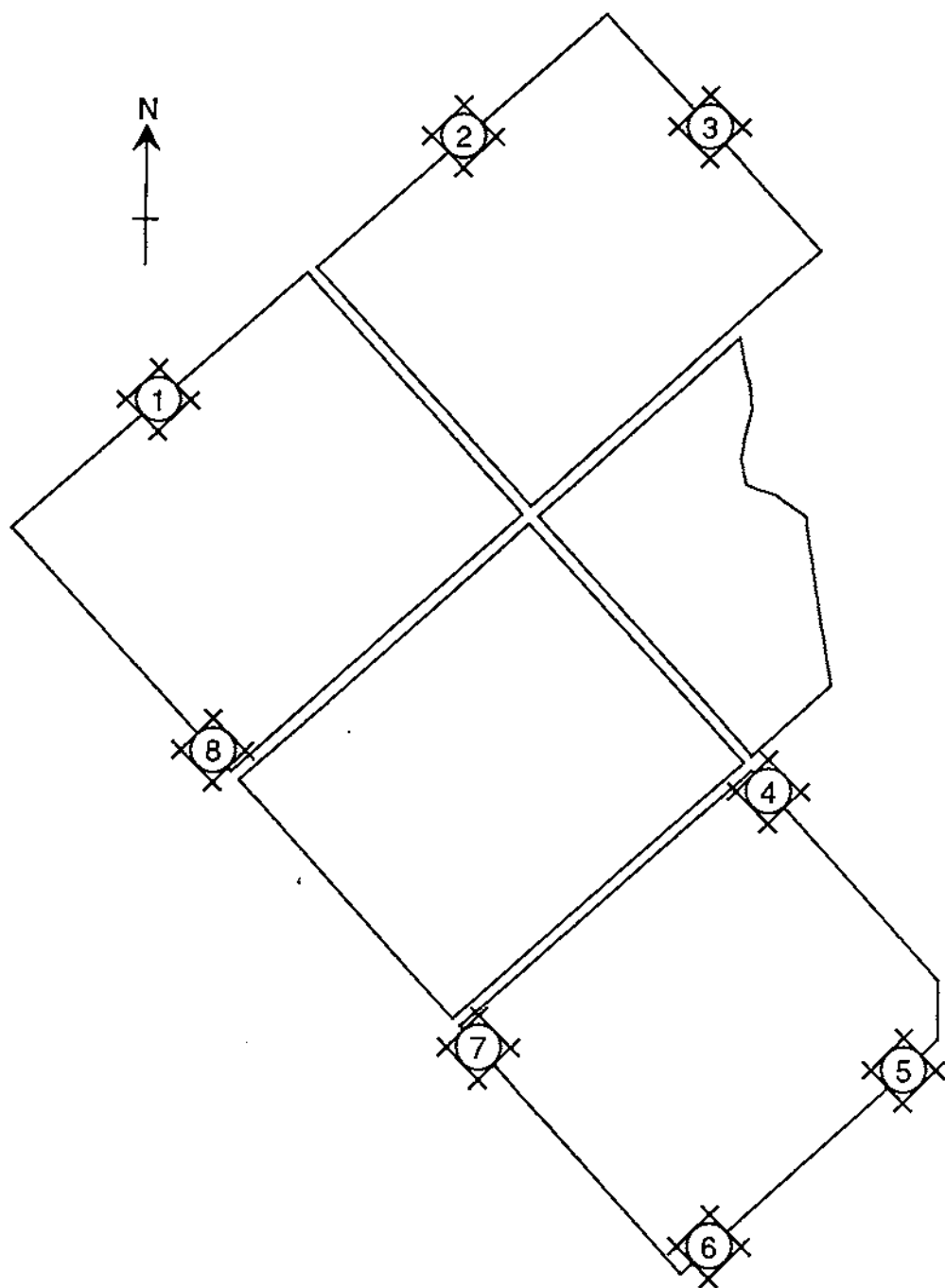


Figure 34. Disposition des pièges à pollen en périphérie du verger clonal d'épinette blanche de 11 ha situé dans le canton d'Estcourt en 1992. Les huit pièges à lames fixes ont été placés sur le périmètre du verger avec des lames captant le pollen entrant et sortant du verger.

lames ainsi que leur installation sur le terrain ont été réalisées au même moment que celles du verger clonal d'épinette blanche situé à proximité. La période de prélèvement des lames s'est étendue entre le 15 mai et le 8 juin 1992. Les lames recueillies étaient expédiées régulièrement au Laboratoire de morpho-physiologie végétale du Ministère des Ressources naturelles pour les observations microscopiques.

4.1.4. Répartition des pièges situés à l'extérieur des vergers

D'autres pièges à pollen ont été disposés à l'extérieur des deux vergers à graines d'Estcourt (pièges 15 à 18, figure 35). Ces pièges, à lame unique orientée en direction opposée aux vergers, ont pour objet d'identifier précisément la localisation des peuplements contaminants. Pour ce faire, ils sont situés à la jonction de la bordure des peuplements encore présents et de la coupe à blanc qui a eu lieu en 1991. Le prélèvement quotidien des lames s'est étendu du 14 mai au 8 juin 1992 au même moment que ceux situés dans les vergers d'Estcourt. Le traitement de ces lames était également réalisé de manière identique à celui des autres pièges.

4.1.5. Évaluation de la production de pollen des vergers

La production de pollen par les arbres du verger (Pv) a été évaluée pour chaque piège et pour chaque direction en soustrayant le nombre moyen de grains de pollen contaminants entrant (Pe_d) du nombre de grains de pollen sortant du verger (Ps_d). La production de pollen a ainsi été déterminée quotidiennement pour chacune des quatre directions (d). Si le nombre de grains contaminants était supérieur à celui des grains sortant du verger, une valeur de zéro était enregistrée pour ce piège. La production moyenne quotidienne par les arbres du verger a été établie à partir des productions (nord-ouest, nord-est, sud-ouest et sud-est) obtenues pour chacun des pièges entourant le verger en question.

$$P_v = \sum_d^4 \text{MAX} [(P_{s_d} - P_{e_d}); 0] \quad (7)$$

4.1.6 Décompte et identification du pollen

Avant leur observation sous microscope optique, les lames étaient recouvertes d'une fine couche de colorant d'ALEXANDER (1969) selon la technique décrite par COLAS (1992), afin de faciliter le décompte des grains ainsi que leur identification.

Le dénombrement du pollen était réalisé sous un grossissement de 100 X. Chaque plage d'observation couvrait une superficie de 2,7 mm² sur la lame. Cinq plages réparties aléatoirement sur la surface de la lame servaient à estimer la densité du pollen présent, exprimée en nombre de grains par millimètre carré par jour (grains/mm².jour).

Le taux de contamination (T_c) est exprimé à partir du rapport du nombre de grains de pollen entrant dans le verger (G_e) sur le nombre de grains totaux présents dans le verger (G_t), soit :

$$T_c = \frac{G_e}{G_t} \times 100. \quad (8)$$

Le dénombrement et l'identification des grains de pollen sur les lames ont été réalisés dans les laboratoires du Service de l'amélioration des arbres (MRN). Tous les échantillons ont été identifiés à un grossissement de 100 X, à l'exception des cas litigieux qui étaient identifiés à l'aide d'un grossissement de 400 X. L'identification des pollens était réalisée à l'aide des descriptions fournies par BÉLANGER (1963), ADAMS et MORTON (1972, 1974, 1976, 1979), BASSETT (1978) et RICHARD (1967, 1970) ainsi qu'à partir des échantillons de pollen contenus dans la banque de pollens du ministère des Ressources naturelles. Les grains de pollen observés étaient classés selon les catégories suivantes : i) épinette blanche; ii) épinette noire ou rouge; iii) sapin baumier et iv) toutes les autres espèces.

4.1.7 Évaluation des périodes de dissémination et de réceptivité des vergers

L'évaluation des périodes de dissémination du pollen et de réceptivité des fleurs femelles produites par les vergers a été réalisée grâce à une observation phénologique sur 25 famille ou clones sélectionnés aléatoirement ayant quatre semis ou ramets, pour un total de 100 semis dans le verger d'épinette noire et 100 ramets dans le verger d'épinette blanche. L'examen des fleurs mâles et femelles, basé sur les critères fournis par BEERS *et al.* (1981), était réalisé tous les deux jours en alternance entre les vergers (c'est-à-dire une journée dans le verger d'épinette noire et la seconde dans le verger d'épinette blanche) durant une période qui s'est étendue du 14 mai au 6 juin 1992.

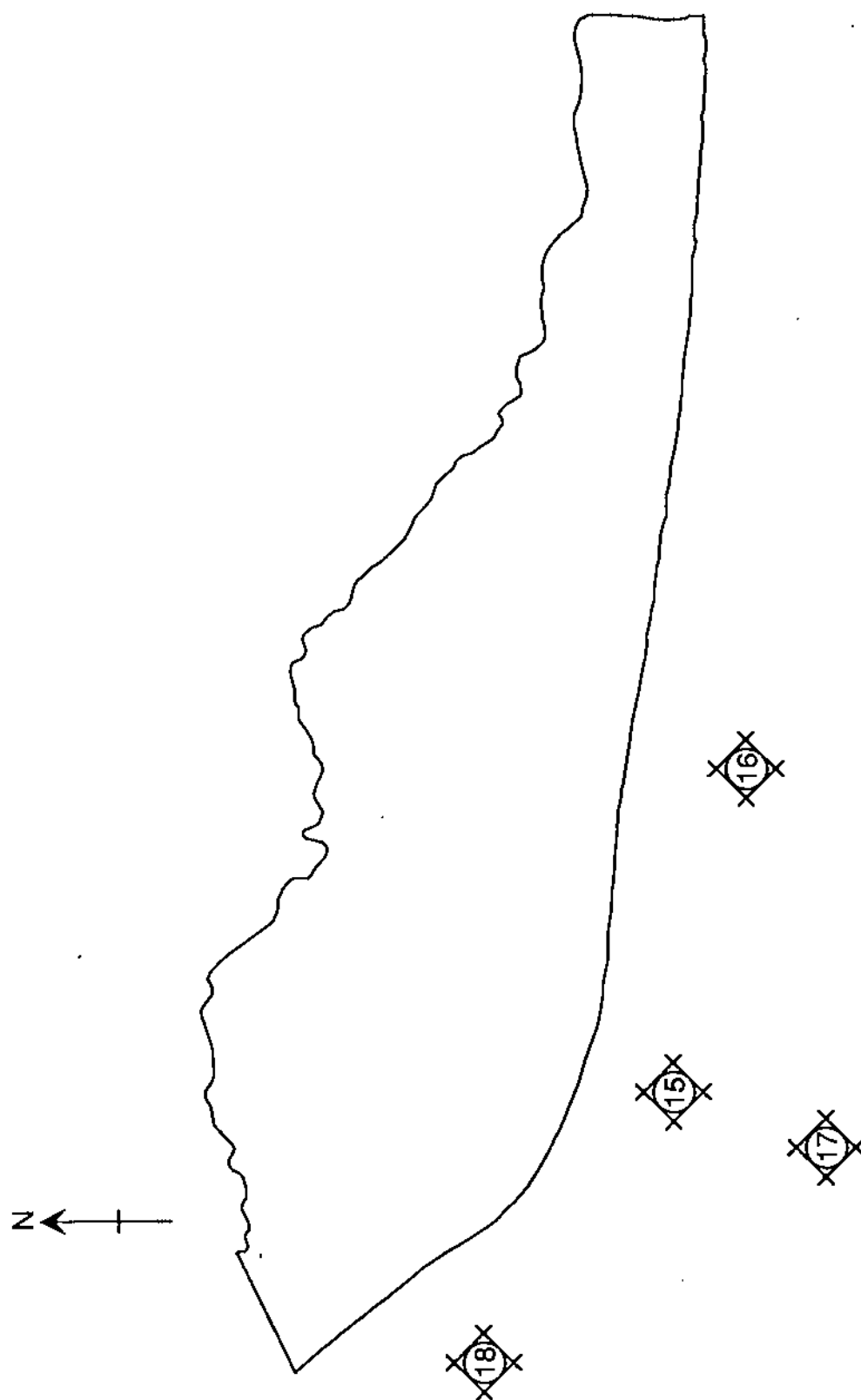


Figure 35. Disposition des pièges à pollen situés en bordure des peuplements contaminants près des vergers à graines d'Estcourt. Les quatre pièges à lames fixes, dont la lame unique était orientée en direction opposée à celle des vergers, ont été placés de manière à identifier les peuplements contaminants.



Figure 36. Vue d'ensemble du verger de semis d'épinette noire du canton d'Estcourt.

4.1.8 Évaluation de la production de fleurs mâles et femelles

La production moyenne des arbres et le pourcentage d'individus porteurs de fleurs mâles ou femelles ont été établis à partir de 100 semis pour le verger d'épinette noire et 100 ramets pour le verger d'épinette blanche, ces derniers étant choisis aléatoirement à l'intérieur de chacun des vergers..

4.1.9 Évaluation du rendement et de la qualité des graines

L'évaluation du rendement et de la qualité des graines produites par les arbres des deux vergers a pu se faire grâce à un prélèvement de cônes réalisé sur 100 individus sélectionnés au hasard dans chacun des deux sites. Toutefois, certains arbres sélectionnés n'ont pas produit de cônes femelles. Ainsi, cette évaluation a porté sur les cônes de 76 ramets provenant du verger d'épinette blanche et sur 60 semis du verger d'épinette noire.

Les cônes récoltés pour cette étude ont été expédiés au Laboratoire de morphophysiologie végétale de l'arbre du Service de l'amélioration des arbres (MRN), pour y être traité. Les cônes d'épinette blanche ont subi une postmaturation d'environ 10 semaines avant l'extraction des semences. Les cônes ont été séchés à 65 °C durant 8 heures et brassés manuellement pour en extraire les semences. Le désailage s'est fait par frottement mécanique des graines entre elles dans un sac de coton. Le nettoyage final nécessitait une souffleuse à graines dont la vitesse était constante pour tous les lots de semences. Cette technique permet de trier aisément les graines vides de celles qui sont pleines. Le rendement en graines a donc été déterminé en dénombrant les graines pleines ainsi que les graines vides contenues dans l'ensemble des cônes prélevés pour un même clone. Ces lots de graines d'épinette blanche ont ensuite été expédiés au Centre des semences forestières de Berthier (MRN) pour déterminer le taux de germination alors que ce dernier a été évalué sur les lots de graines d'épinette noire dans le Laboratoire de morphophysiologie de l'arbre lui-même. Dans les deux cas, la réalisation des tests de germination suivait les règles de l'*International Seed Testing Association* (1985).

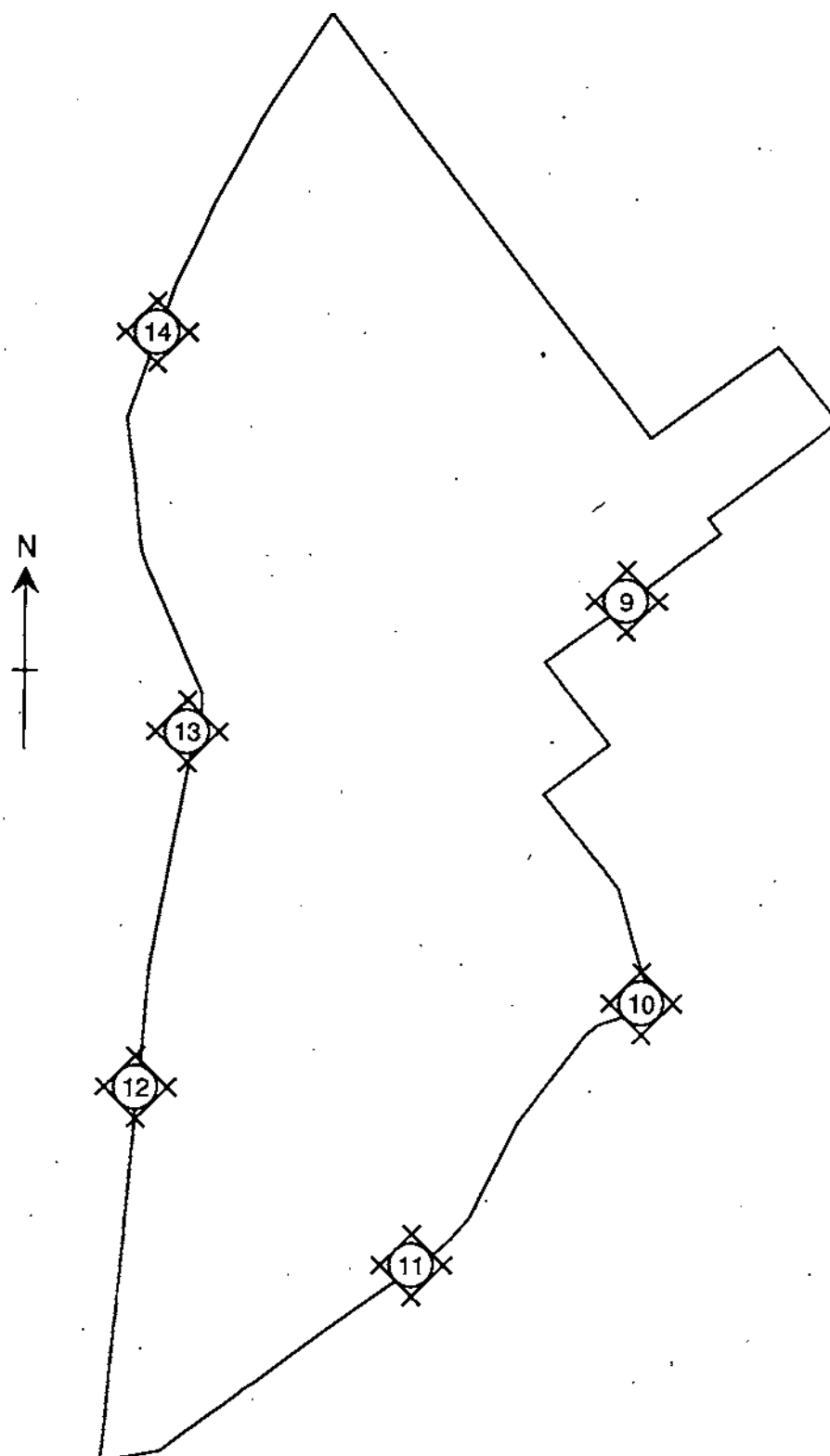


Figure 37. Disposition des pièges à pollen en périphérie du verger de semis d'épinette noire de 59 ha situé dans le canton d'Estcourt en 1992. Les six pièges à lames fixes ont été placés sur le périmètre du verger avec des lames captant le pollen entrant et sortant du verger.

4.1.10 Données météorologiques

Les vergers à graines d'Estcourt possèdent sur le site même de l'étude une station météorologique portative (*Easy logger field recorder*) reliée par un téléphone cellulaire à un système d'enregistrement automatisé. Les températures minimale et maximale ainsi que l'humidité relative de l'atmosphère étaient déterminées tous les 15 minutes grâce à une sonde *HMP 35A (Vaisala Sensor Systems)*. Une valeur moyenne, évaluée quotidiennement, servait à déterminer les degrés-jours. La somme quotidienne de degrés-jours (SDJ) a été évaluée depuis le début de la saison de végétation à partir du moment où la température moyenne quotidienne était effective, c'est-à-dire supérieure à 0 °C, jusqu'au jour *J'* correspondant selon le cas à la date de dissémination du pollen ou à la date de réceptivité des fleurs femelles. Chaque sommation était déterminée à partir des températures quotidiennes minimales ($T_{\min}$) et maximales ($T_{\max}$) de la station météorologique sur le site. Le calcul est le suivant :

$$SDJ = \sum_{j'} \frac{(T_{\max} - T_{\min})}{2} j' - 5 \text{ °C.} \quad (9)$$

4.2 Résultats

4.2.1 Verger d'épinette blanche

4.2.1.1 Production de fleurs femelles et de fleurs mâles dans le verger

La saison de croissance 1992 peut être considérée comme une bonne année semencière puisque l'échantillonnage des clones a montré que 82 % des arbres du verger portaient des fleurs des deux sexes alors que 4 % des arbres avaient produit seulement des fleurs femelles et 7 % uniquement des fleurs mâles. Les arbres porteurs de fleurs femelles produisaient en moyenne 175 ± 44 fleurs (moyenne $\pm$ intervalle de confiance à 95 %) alors que ceux porteurs de fleurs mâles avaient en moyenne 212 ± 76 fleurs. Sur les clones productifs, on retrouve 112 ± 29 cônes par individu, ce qui indique que plus de 36 % des inflorescences femelles ont avorté au cours de l'été.

4.2.1.2 Période de réceptivité et de dissémination

La période de réceptivité de l'ensemble des fleurs femelles s'étendait du 20 au 28 mai. Le début de cette période correspondait à 121 degrés-jours selon le modèle obtenu avec les sondes météorologiques (figures 38 et 39). L'observation des lames a indiqué que la dissémination du pollen à l'intérieur du verger (figure 39) ainsi que celle des épinettes blanches des peuplements environnants ont débuté au même moment, soit le 20 mai (figure 42). Ce résultat diffère de celui obtenu par l'observation oculaire des fleurs mâles puisque cette dernière indique que la dissémination dans le verger aurait débuté le 22 mai. La période totale de dissémination des arbres du verger et des peuplements avoisinants a duré 23 jours, soit du 20 mai jusqu'au 11 juin.

4.2.1.3 Rendement en graines et taux de germination

Le rendement en graines des arbres du verger clonal est en moyenne de 47,2 graines par cône. De ce total, une moyenne de 33,5 graines par cône sont pleines, ce qui représente 71,0 % de la totalité des graines produites par le cône. Le taux moyen de germination a été évalué à 73,0 % $\pm$ 18,3 bien que le projet de récolte à l'échelle opérationnelle avait un taux de germination de 87 %.

4.2.1.4 Taux de contamination et origine des peuplements contaminants

Le taux de contamination pollinique durant la période de réceptivité des fleurs femelles s'est élevé à 94,9 % durant la période du 20 au 28 mai (figure 41). La production de pollen par les arbres du verger s'est élevée à 0,13 grain (à 1 mm² par jour) pour la période de réceptivité tandis que celle des arbres des peuplements adjacents était à 2,13 grains (à 1 mm² par jour) pour la période de réceptivité. Durant cette période, le pollen contaminant trouvé dans ce verger était véhiculé à 33 % par les vents du nord-ouest, à 60 % par les vents du sud-ouest et à 4 et 3 % par les vents du sud-est et du nord-est respectivement (figure 42). Durant la période totale de dissémination du pollen, ces proportions étaient respectivement de 32, 56, 6 et 6 % pour les mêmes vents.

4.2.2 Verger d'épinette noire

4.2.2.1 Production de fleurs femelles et de fleurs mâles dans le verger

La figure 43 indique la répartition des fleurs femelles et des fleurs mâles parmi les arbres échantillonnés. On peut observer que plus de 50 % des individus possédaient à la fois des inflorescences mâles et femelles et que le quart d'entre eux étaient stériles en 1992. En outre, plus de 66 % des individus ont produit des cônes femelles. Les arbres porteurs de fleurs femelles ont produit en moyenne $51,7 \pm 13,9$ inflorescences par arbre alors que les arbres porteurs de fleurs mâles avaient en moyenne $29 \pm 10,9$ inflorescences par arbre.

4.2.2.2 Période de réceptivité et de dissémination

Les fleurs femelles de l'épinette noire du verger d'Estcourt ont été réceptives durant la période du 21 mai au 8 juin 1992, ce qui correspond à un étalement de 19 jours. La majorité des familles ont terminé leur période de réceptivité le 2 juin alors que seulement quatre familles sur les 40 étudiées étaient encore réceptives après le 4 juin.

Par ailleurs, la libération du pollen a débuté simultanément entre les arbres du verger et ceux des peuplements avoisinants. Dans les deux cas, cette période coïncidait avec celle de la réceptivité des fleurs femelles, soit le 21 mai, et ce avec une accumulation de 129 degrés-jours (figure 38). On peut supposer que la période de dissémination se soit terminée autour du 11 juin bien que l'approche utilisée dans cette étude permet difficilement d'identifier avec assurance le jour correspondant à cette date. Toutefois, si seulement quatre familles étaient encore réceptives le 4 juin, il est douteux que la période de dissémination dans le verger se soit étirée jusqu'au 11 juin.

Durant la période de réceptivité, les cônes mâles produits dans ce verger ont libéré 3,7 grains par mm^2 (ou 0,19 grains/ mm^2 .jour). La figure 44 présente la répartition du pollen disséminé au cours du temps. On remarque que plus des trois quarts de la production totale de pollen s'est effectuée durant la période de réceptivité.

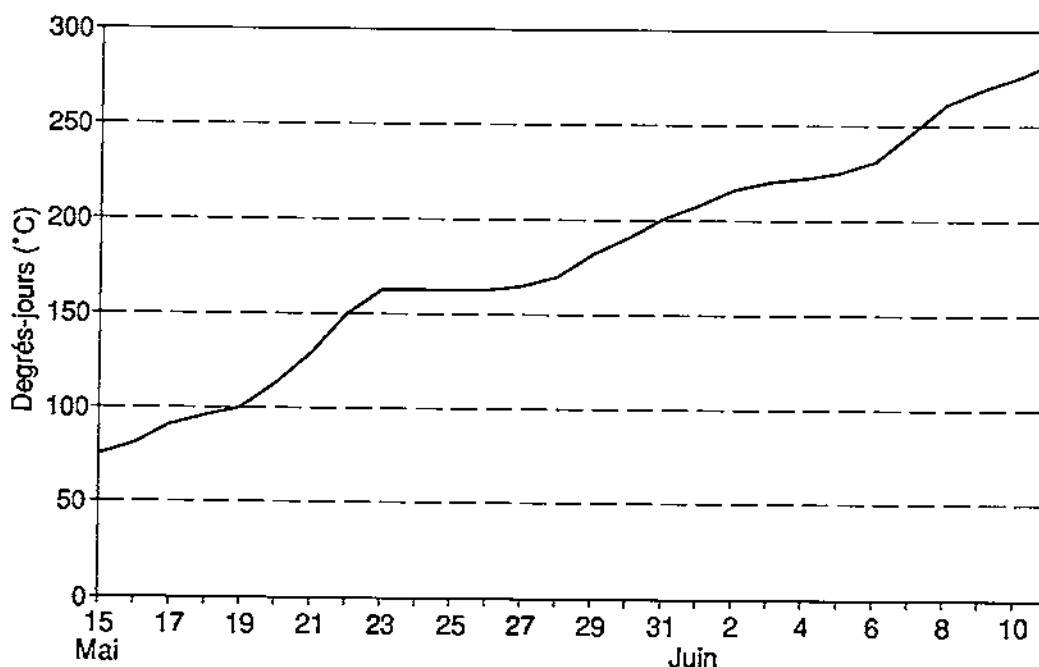


Figure 38. Accumulation des degrés-jours dans le verger clonal d'épinette blanche du canton d'Estcourt entre le 15 mai et le 11 juin 1992 à partir des données de la station météorologique installée sur le site du verger.



Figure 39. Inflorescence femelle d'épinette blanche du canton d'Estcourt durant la période de réceptivité.



Figure 40. Inflorescence mâle d'épinette blanche du canton d'Estcourt durant la période de dissémination du pollen.

4.2.2.3 Rendement en graines et taux de germination

Le rendement en graines des arbres du verger de semis est en moyenne de 23,1 graines par cône. De ce total, une moyenne de 13,1 graines par cône sont pleines, ce qui représente un taux de 56,7 % de la totalité des graines produites par le cône. Ces graines pleines avaient un taux de germination moyen de 93,8 % alors le projet à l'échelle opération avait un taux moyen de germination de 97 %.

4.2.2.4 Taux de contamination et origine des peuplements contaminants

Le taux de contamination dans le verger d'épinette noire durant la période de réceptivité a été de l'ordre de 57 %. Pendant toute la période de mesure (du 15 mai au 11 juin), le pollen contaminant a représenté 55 % de tout le pollen qui a circulé dans le verger, alors que le pollen produit par les arbres du verger représente 45 % du total. Au total, les pièges ont capté 4,9 grains contaminants par mm^2 (soit 0,26 grain/ mm^2 .jour).

Durant la période de réceptivité des fleurs femelles du verger (21 mai au 8 juin), le pollen contaminant était véhiculé à 33 % par les vents du sud-ouest, à 32 % par les vents du nord-ouest et à 24 et 11 % par ceux du nord-est et du sud-est respectivement (figure 45).

4.2.3 Gradient de variation selon la distance des pièges

Les pièges 15 à 18 situés à l'extérieur des vergers indiquent qu'il y a autant de pollen contaminant en bordure qu'à 500 m du verger. En fait, on ne distingue aucune tendance particulière entre les pièges situés en bordure du verger et les pièges situés en bordure des peuplements contournant la coupe à blanc de 1992. Par ailleurs, le dépôt de pollen sur les lames a suivi une dynamique identique (date, nature et quantité) à celle des autres pièges bordant le côté nord-ouest du verger clonal et les côtés ouest et sud-ouest du verger de semis.

* * *

4.3 Discussion

4.3.1 Verger d'épinette blanche

4.3.1.1 Production de fleurs femelles et de fleurs mâles du verger

La saison de croissance 1992 peut facilement être considérée comme une très bonne année semencière dans le verger d'Estcourt puisque près de quatre fois plus d'arbres que l'année précédente ont produit des cônes (CARON *et al.* 1992). Toutefois, la proportion d'individus qui ne portaient que des fleurs d'un même sexe était sensiblement la même qu'en 1991.

Cependant, l'indicateur le plus précis pour estimer de production en graines d'une population demeure encore le nombre de fleurs par individu. Cette valeur s'est avérée près de sept fois plus élevée en 1992 que l'année précédente, autant pour la production de fleurs femelles que de fleurs mâles.

4.3.1.2 Période de réceptivité et de dissémination

Il est étonnant de constater que les dates de dissémination du pollen des arbres du verger sont sensiblement les mêmes en 1991 et en 1992. En effet, la dissémination du pollen a eu lieu entre le 20 et le 26 mai la première année d'étude alors qu'elle s'est produite entre le 20 et le 28 mai lors de la saison de croissance suivante. On observe donc une certaine répétition de la date de dissémination du pollen de l'épinette blanche du verger à graines d'Estcourt, malgré la différence du nombre de degrés-jours correspondant au début de cette période (76 °C en 1991 comparativement à 121 °C en 1992). L'échantillonnage est évidemment trop faible pour tirer une conclusion sur le meilleur estimateur de la période de dissémination. Toutefois, ces premiers résultats vont dans le sens de ceux obtenus par STIPANICIC et MERCIER (1993) qui indiquent que le nombre de jours et, par conséquent, l'accumulation de lumière sont des indicateurs plus précis pour estimer le début de cet événement.

Par ailleurs, le début de la période de dissémination des clones du verger a été synchrone avec celle des peuplements adjacents puisque ces deux groupes ont relâché leur pollen à partir du 20 mai 1992. En 1991, les peuplements voisins avaient disséminé leur pollen deux jours avant ceux du verger. Toutefois, il y a eu en 1992 une différence entre les résultats obtenus par l'observation des lames et l'observation visuelle. En effet, cette dernière indiquait que la dissémination du pollen des peuplements adjacents s'est produite

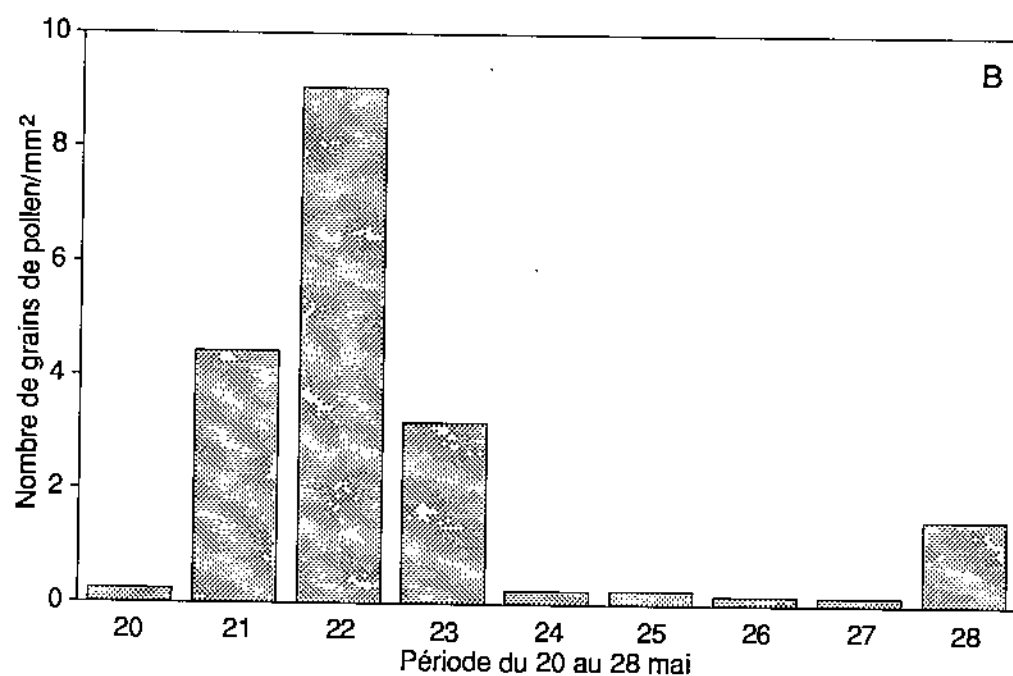
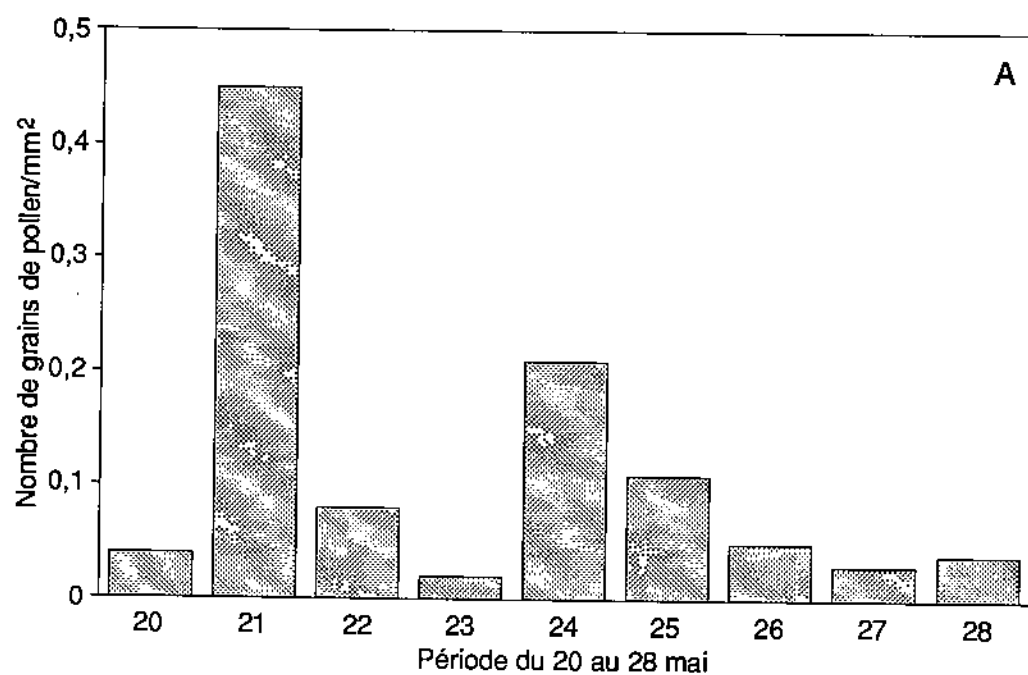


Figure 41. Taux de contamination pollinique durant la période de réceptivité des fleurs femelles d'épinette blanche dans le verger clonal du canton d'Estcourt : A) à l'intérieur du verger et B) en provenance des peuplements avoisinants.

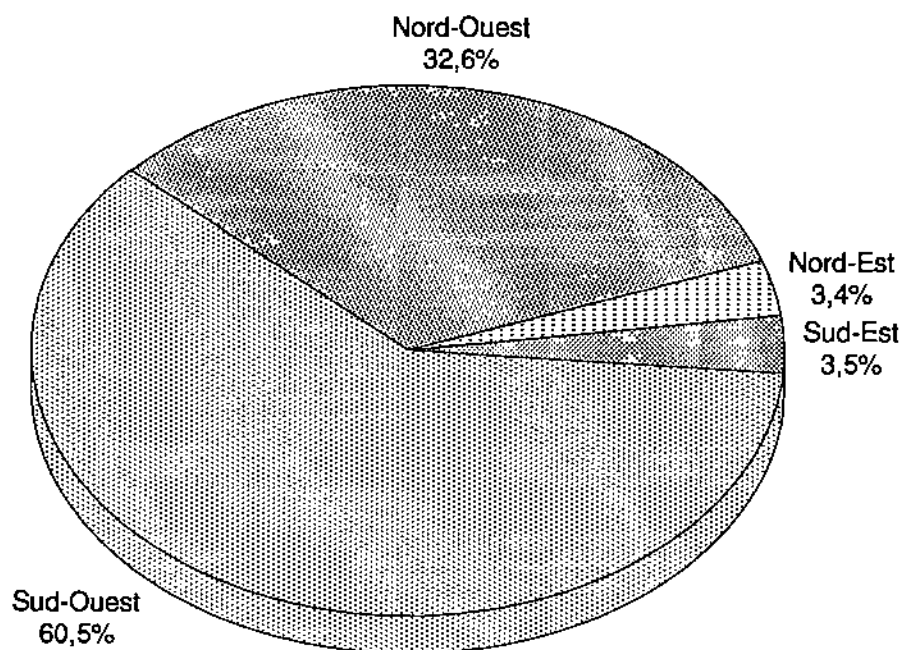


Figure 42. Provenance du pollen contaminant durant la période totale de dissémination dans le verger clonal d'épinette blanche du canton d'Estcourt.

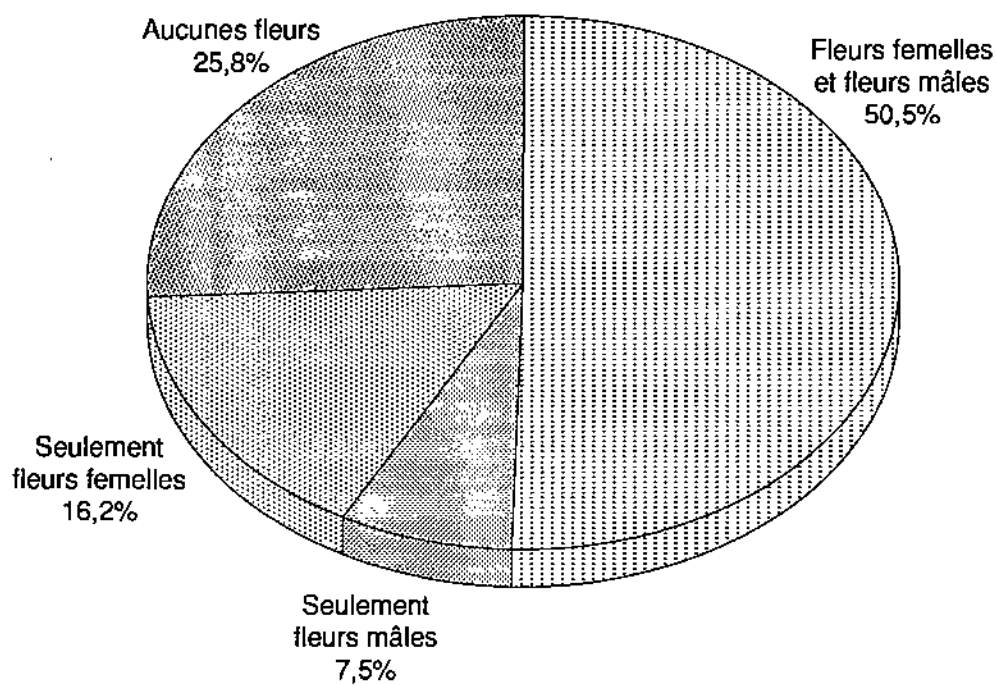


Figure 43. Proportion de fleurs femelles et des fleur mâles parmi les épinettes noires échantillonnées en 1992 dans le verger de semis du canton d'Estcourt.

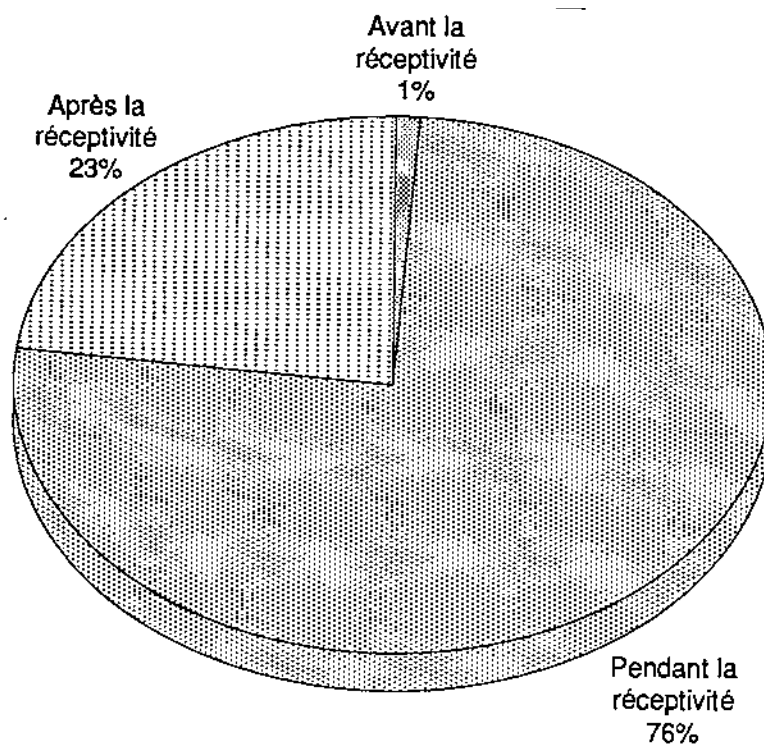


Figure 44. Répartition de la date de dissémination du pollen par rapport à la période de réceptivité des fleurs femelles d'épinette noire dans le verger de semis du canton d'Estcourt.

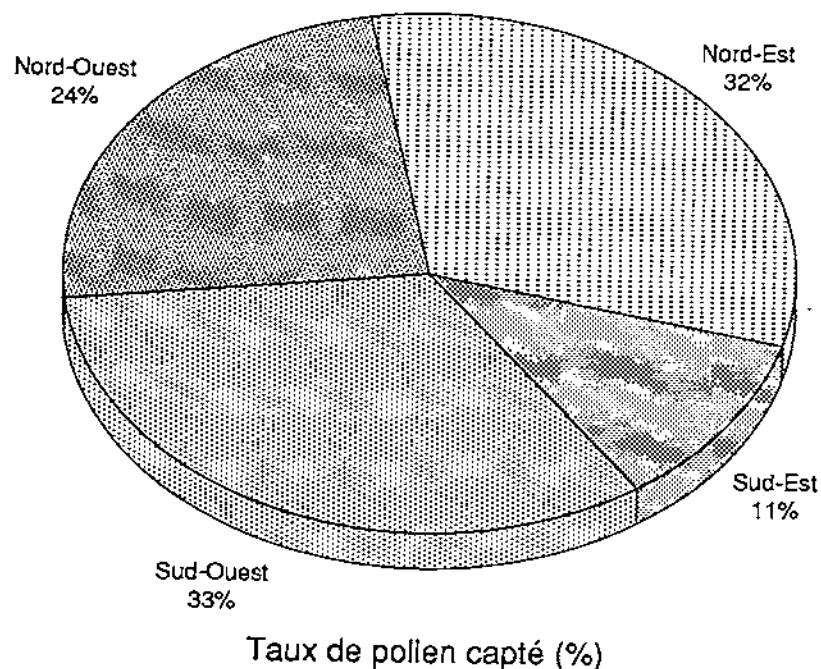


Figure 45. Répartition des sources de pollen contaminant présent dans le verger de semis d'épinette noire du canton d'Estcourt au cours de la période de réceptivité des fleurs femelles.

deux jours plus tard que ce qu'indiquait l'observation des lames. La précision des résultats obtenus par les pièges demeure néanmoins supérieure à celle d'une observation visuelle qui n'est d'ailleurs réalisée, aux deux jours, que sur un échantillonnage d'individus alors que les pièges reflètent l'ensemble des arbres du verger.

La période de dissémination des deux groupes d'arbres s'est étalée davantage en 1992 (23 jours) que l'année précédente (15 jours). Ce phénomène peut s'expliquer en partie par la difficulté rencontrée pour identifier la fin de la période de dissémination. On considère en effet que l'étalement de la dissémination s'est probablement terminé le 11 juin. Or, il est difficile de savoir si cette dernière date correspond effectivement à la fin de la dissémination puisqu'elle correspond également à la date de la dernière prise de mesures. La dissémination du pollen pourrait effectivement s'être étalée sur une période beaucoup plus longue. Il est probable toutefois que la présence de pollen sur les lames lors des derniers jours d'observation correspond à un « bruit de fond », c'est-à-dire à du pollen déjà disséminé qui demeure en suspension dans l'air. Il est donc clair que si les pièges permettent de déterminer avec précision les dates de dissémination de pollen du verger et des peuplements avoisinants, ils sont peu efficaces pour identifier les dates qui correspondent à la fin de la dissémination.

4.3.1.3 Taux de contamination et origine des peuplements contaminants

Le rendement en graines des arbres du verger clonal est légèrement supérieur à la moyenne pour tout le Québec, évaluée entre 10 et 30 graines par cône (GRENIER 1992). En fait, si l'on compare le rendement du verger d'Estcourt à celui du Deuxième lac des Marais (voir chapitre III), on constate que ce dernier a un rendement total en graines 1,5 fois supérieur à celui des cônes du verger d'Estcourt. Néanmoins, ces derniers ont un rendement en graines pleines par cône 1,5 fois supérieur à ceux du Deuxième lac des Marais. Le taux élevé de graines pleines par cône dans le verger d'Estcourt indique bien que les fleurs femelles sont adéquatement pollinisées, soit par du pollen endogène, soit par du pollen exogène au verger. D'ailleurs, le taux moyen de germination de l'ensemble des arbres du verger est semblable à la moyenne québécoise, estimée à 74 % (GRENIER 1992). De plus, l'intervalle de confiance relativement faible indique que la pollinisation a été homogène sur l'ensemble du site.

Les peuplements indigènes d'épinette blanche ont produit (toutes directions confondues) 2,13 grains (à 1 mm²/jour). Même si cette valeur est nettement supérieure à celle obtenue en 1991, il n'en demeure pas moins qu'elle est encore très faible comparativement aux résultats de CARON et SERRY (1988) et de CARON (1989) qui avaient enregistré de 3 à 40 grains au total. Toutefois, il faut signaler que ces études ne distinguaient pas le pollen de l'épinette blanche et celle du sapin baumier, ce qui peut avoir entraîné une surestimation du pollen d'épinette blanche. De plus, le type de piège utilisé alors différait de celui employé dans notre étude. En fait, l'étude de CARON *et al.* (1992) a démontré que le piège tubulaire utilisé par CARON et SERRY (1988) et CARON (1989) captait en moyenne près de 2,5 fois plus de pollen que le piège à lames fixes. Malgré cette faible densité de pollen par unité de surface, la contamination du verger en 1992 s'est avérée très élevée (94,9 %). La production de pollen du verger n'a pas réussi à diluer le pollen contaminant. Cette forte contamination par les peuplements avoisinants confirme que le verger est encore jeune. En fait, une année de bonne production favorise davantage les arbres matures, déjà bien établis, que les jeunes arbres comme ceux du verger. Par contre, la faible production de pollen contaminant laisse sous-entendre que la coupe d'une partie du peuplement d'épinette blanche situé au nord-ouest, en plus d'avoir modifié la dynamique du pollen (le pollen dominant ne vient plus du nord-ouest comme en 1991, mais plutôt du sud-ouest; tableau 4), a permis de réduire la contamination totale influençant le verger. En effet, les peuplements avoisinants n'ont pu disséminer que 2,13 grains polluants par mm² malgré l'abondance du pollen produit en 1992. Une coupe semblable serait certainement très efficace pour contrer la contamination provenant des peuplements situés du côté sud-ouest du verger. De plus, il est fortement recommandé de récolter les cônes produits par les arbres situés du côté est du verger (tableau 4).

Les faibles valeurs de pollen capté en direction sud-est sont très semblables à celles obtenus en 1991 (tableau 4). Une observation semblable peut se faire avec les valeurs moyennes des peuplements situés au nord-ouest. En fait, la principale surprise vient de la direction sud-ouest, qui passe de 26 à 60 % de la provenance de pollen contaminant (tableau 4).

À l'inverse, lorsque l'on observe l'origine du pollen contaminant durant toute la période de l'étude, on remarque que les proportions entre les directions demeurent sensiblement les mêmes que celles observées lors de la période de réceptivité (tableau 4). L'ordre d'importance des origines du pollen contaminant a changé entre 1991 et 1992 mais dans les deux

cas, les directions nord-ouest et sud-ouest représentent au moins 74 % des peuplements contaminants.

Contrairement à l'étude réalisée en 1991, on ne peut rien affirmer sur l'influence des précipitations sur la dispersion du pollen puisque la station météorologique située sur le site de l'étude ne permettait pas d'obtenir des résultats fiables.

4.3.2 Verger d'épinette noire

4.3.2.1 Production de fleurs femelles et de fleurs mâles du verger

L'année 1992 peut être considérée comme une très bonne année de production pour le verger d'épinette noire puisque 66,2 % des individus ont produit des fleurs femelles. De plus, la présence de fleurs mâles sur près de 58 % des arbres sélectionnés indique que la majorité des individus du verger ont atteint leur maturité sexuelle. Cette forte augmentation pourrait être attribuée au climat chaud et sec observé au cours du printemps 1991.

4.3.2.2 Période de réceptivité et de dissémination

Les périodes de réceptivité et de dissémination des épinettes noires du verger d'Estcourt sont relativement proches de celles observées avec les épinettes blanches situées dans le verger voisin. Cette observation peut s'expliquer en partie par la forte et rapide accumulation des degrés-jours au cours du printemps, favorisant le rapprochement dans le temps de ces deux phénomènes. Par contre, la période de réceptivité a été davantage étalée en 1992 (19 jours) comparativement aux résultats obtenus en 1991 (11 jours). On peut cependant remarquer que les trois quarts de la production de pollen libéré par les arbres du verger se sont effectués durant la période de réceptivité des fleurs femelles. En outre, il n'y a eu aucun

décalage entre le début de la période de dissémination du pollen et celle de la réceptivité des fleurs femelles dans le verger d'épinette noire. Il apparaît donc que l'étalement de l'anthèse ne devrait pas créer d'obstacle à la fécondation entre les individus présents dans le verger.

L'approche utilisée dans cette étude permet difficilement d'identifier avec assurance le jour correspondant à la fin de la période de dissémination. Le principal problème provient de la sédimentation au sol du pollen qui peut être remis en circulation dans l'atmosphère à la suite de conditions météorologiques particulières (COUR 1974, TAMPIERI *et al.* 1977, CARON et LEBLANC 1992). Cette remise en circulation du pollen déjà libéré crée un artefact qui empêche de déterminer avec précision la date correspondant à la fin de la dissémination du pollen.

La dissémination du pollen correspondait en 1991 à 151 degrés-jours alors qu'en 1992, cette valeur était de 128 degrés-jours. Même si l'échantillonnage demeure encore très faible, il apparaît que le nombre de degrés-jours correspondant au début de la dissémination du pollen au verger d'épinette noire du canton d'Estcourt est de l'ordre de $139,5 \pm 11,5$.

4.3.2.3 Taux de contamination et origine des peuplements contaminants

Certaines épinettes rouges ont été identifiées à proximité du verger d'épinette noire. Le pollen de cette espèce doit être considéré dans l'étude de la contamination pollinique d'un verger d'épinette noire puisqu'il existe des possibilités d'hybridation entre ces deux espèces (MORGENSTERN et FARRAR 1964; GORDON 1976). C'est pour cette raison qu'il a fallu regrouper ces deux espèces dans une même classe puisqu'il est pratiquement impossible de distinguer morphologiquement ces deux types de pollen.

Tableau 4. Comparaison de la répartition du pollen capté par les pièges en 1991 et en 1992 dans le verger clonal d'épinette blanche du canton d'Estcourt selon les quatre orientations des lames de verre ainsi que les périodes d'étude¹

Période	1991				1992			
	NO	SO	SE	NE	NO	SO	SE	NE
De réceptivité	48 %	26 %	0 %	26 %	33 %	60 %	4 %	3 %
Totale	54 %	31 %	0 %	15 %	32 %	56 %	6 %	6 %

¹ NO : nord-ouest; SO : sud-ouest; SE : sud-est et NE : nord-est.

Le rendement en graines du verger d'épinette noire est conforme à la moyenne québécoise (GRENIER 1992). De plus, le taux de graines pleines par cône ainsi que le taux de germination supérieur à la moyenne québécoise indique bien que la pollinisation des fleurs femelles du verger s'opère adéquatement et qu'elles doivent être pollinisées par un nombre suffisant de grains de pollen présents dans l'air.

Contrairement à 1991 où la contamination pollinique provenait essentiellement des peuplements situés au nord-est et nord-ouest du verger, les contaminants provenaient en 1992 des peuplements en direction du sud-ouest et du nord-ouest, c'est-à-dire des mêmes directions observées dans le verger clonal d'épinette blanche d'Estcourt. Tout comme dans le cas de ce dernier verger, il apparaît que la coupe réalisée en 1991 a permis de réduire considérablement l'intrusion de pollen exogène en provenance du nord-ouest. Ainsi, l'élimination du peuplement situé du côté sud-ouest du verger réduirait substantiellement le problème de contamination. De plus, une récolte des cônes produits par les arbres situés à l'est du verger réduirait encore davantage les risques de contamination et augmenterait la qualité des graines produites. De plus, il serait souhaitable de procéder éventuellement à un étêtage des individus situés du côté est du verger et de favoriser la croissance en hauteur des arbres situés du côté ouest afin d'établir un coupe-pollen efficace.

Malgré le fait que le verger d'épinette noire entre à peine dans sa phase de maturité sexuelle mâle, la proportion de pollen circulant dans le verger atteint presque la moitié de tout le pollen présent dans le verger. Ce résultat est particulièrement intéressant si l'on considère que la production de pollen a été près de 15 fois plus faible en 1992 que l'année précédente. C'est donc dire que la production de pollen par les arbres de ce verger devrait rapidement diluer l'apport de pollen exogène et ainsi réduire les probabilités de contamination pollinique. Toutefois, seules des études ultérieures pourront confirmer avec certitude ce point.

Malgré la pertinence des informations recueillies, la dynamique du pollen dans ce verger (ainsi que celui du verger clonal d'épinette blanche) est appelée à varier avec la maturité sexuelle des arbres. Il est donc encore tôt pour prévoir des mesures précises à suivre pour limiter la contamination. Une coupe dans les peuplements situés au nord-est du verger pourrait encore réduire significativement le taux de contamination dans ce verger. De plus, une éventuelle pollinisation de masse (avec du pollen provenant d'arbres sélectionnés) permettrait de réduire encore davantage le taux de contamination, en plus d'améliorer significativement le taux de semences pleines par cône. Une dernière étude de la contamination sera alors nécessaire afin de mesurer l'impact de ce traitement sur la dispersion du pollen.

* * *

4.3.3 Recommandations

1. Poursuivre périodiquement l'inventaire des fleurs mâles et femelles dans les deux vergers.
2. Réduire la contamination pollinique en éliminant la principale source de pollen exogène qui se trouve être le peuplement situé du côté sud-ouest des vergers.
3. Récolter les cônes produits par les arbres situés du côté est des vergers.
4. Favoriser la croissance en hauteur des arbres situés du côté ouest et procéder éventuellement à un étêtage des arbres du côté est afin d'établir un coupe-pollen efficace.
5. Répéter l'expérience dans les deux vergers après la coupe des peuplements contaminants et lorsque la production de pollen des vergers aura augmenté substantiellement afin de vérifier l'efficacité du traitement.

Conclusion générale

Verger clonal de pin blanc du canton de Huddersfield

Le verger clonal de pin blanc du canton de Huddersfield est représentatif du problème de la production juvénile de cônes qu'on retrouve dans la plupart des vergers à graines. À l'heure actuelle, le verger ne produit que quelques fleurs femelles et aucune fleur mâle. Cette caractéristique facilite l'étude de la dynamique du pollen dans le verger puisqu'elle ne prend en compte que le pollen produit par les peuplements entourant celui-ci. L'apport de pollen exogène demeure donc un élément bénéfique à la production de graines dans un verger en phase d'établissement (juvénile) puisqu'il représente le seul apport pouvant féconder les fleurs femelles. Éventuellement, lorsque le verger sera autosuffisant en pollen, il deviendra nécessaire de réévaluer adéquatement l'impact des peuplements avoisinants susceptibles de le contaminer durant i) une bonne année semencière, ii) une mauvaise année semencière et iii) au moment de la production de fleurs mâles dans le verger.

Les principales sources de contamination ont été identifiées en direction nord-ouest et sud-ouest. En fait, il est possible que la direction préférentielle soit l'ouest et que les grains de pollen se seraient déposés sur les lames orientées en direction nord-ouest et sud-ouest. Toutefois, l'examen du relief entourant le verger montre qu'il existe une vallée orientée dans ces deux directions et pointant vers le verger : cette observation tend à confirmer l'hypothèse des deux directions plutôt que de la seule direction ouest. Quoi qu'il en soit, il sera important de réorienter la direction des pièges afin de déterminer avec précision la direction des principaux peuplements contaminants.

La production de pollen a été particulièrement élevée dans cette région en 1992. L'installation de quatre pièges seulement s'est avérée suffisante pour déterminer la direction, la quantité et la nature du pollen contaminant. Ceci demeure vrai tant et aussi longtemps que le verger demeure au stade juvénile. Par contre, il ressort de manière très nette que l'utilisation de la direction du vent pour connaître l'origine des peuplements contaminants est loin d'être un indicateur sûr pour identifier les sources de contamination.

L'étalement de la floraison a été relativement court dans ce verger alors que la période de réceptivité du pin blanc n'a duré que 3,5 jours. Par ailleurs, les fleurs femelles des greffes présentes dans le verger sont devenues réceptives quelques jours avant celles des arbres des peuplements avoisinants. Parallèlement à l'étude de la contamination pollinique, il reste nécessaire de connaître les variations annuelles de production de pollen de pin blanc puisque cette information ne semble pas disponible.

Verger clonal d'épinette blanche du Deuxième lac des Marais

L'incendie forestier de 1991 sur le territoire entourant le Deuxième lac des Marais a éliminé la quasi-totalité des peuplements pouvant contaminer le verger clonal. Cette caractéristique est unique dans les annales de l'étude de la dynamique de la contamination pollinique d'un verger à graines. En outre, cette caractéristique permet de mieux comprendre la dynamique du transport du pollen anémogame sur des distances relativement importantes (c'est-à-dire plus de deux kilomètres).

La forte production pollinique par les arbres des peuplements indigènes en 1992 a provoqué une contamination pollinique de l'ordre de 93 % dans le verger du Deuxième lac des Marais, malgré la présence d'une zone tampon importante. Du pollen provenant de peuplements ayant survécu au feu ainsi que celui transporté par les courants d'air le long de la vallée sont les principales sources de contamination. Il faut toutefois faire attention à l'interprétation de la valeur du taux de contamination. En effet, peu de greffes du verger portaient des fleurs mâles et femelles. À l'instar du verger de pin blanc du canton de Huddersfield, la contamination pollinique est donc ici bénéfique à l'ensemble du verger à ce stade-ci de son développement puisque l'apport de pollen exogène représente la source quasi unique de pollen pouvant féconder les fleurs femelles. Par ailleurs, les clones de ce verger augmenteront substantiellement leur production de fleurs au fil des ans de sorte qu'il est probable que les greffes du verger puissent devenir autosuffisantes en terme de fécondité. Il est donc probable que la proportion de pollen produit par le verger par rapport au pollen produit par les peuplements avoisinants augmentera avec les années de sorte que la contamination pollinique dans le verger devrait diminuer graduellement. Si le taux de contamination demeure élevé au cours des années, il sera donc justifié de planifier des interventions pouvant réduire son effet sur la qualité des graines produites par le verger. En outre, le territoire incendié devrait être reboisé avec une espèce autre que l'épinette blanche (ex. : l'épinette noire) ou encore avec des épinettes blanches génétiquement améliorées.

Tout comme dans l'étude du verger précédent, le suivi du pollen dans le verger du Deuxième lac des Marais devrait se poursuivre durant une année de faible production pollinique afin de comparer les taux de contamination dans les deux cas. Cette seconde étude du verger du Deuxième lac des Marais devrait disposer des mêmes pièges que dans cette expérience-ci. De plus, elle devrait comporter au moins deux nouveaux pièges dont l'un serait localisé près de l'entrée du verger dans la petite vallée située au nord-est et le second piège devrait être placé au nord-ouest du piège 14 afin d'évaluer la contribution pollinique provenant de cette autre vallée. De plus, la durée de l'étude devrait être plus longue afin d'obtenir davantage d'information sur le relâchement du pollen d'épinette blanche ainsi que des autres espèces de la région. Enfin, une station météorologique devrait être installée dans le verger tôt le printemps afin d'obtenir une faible représentation des variations climatologiques sur le site.

Verger clonal d'épinette blanche du canton d'Estcourt

L'étude des déplacements polliniques dans le verger clonal d'Estcourt est complexe puisqu'elle doit tenir compte des entrées et des sorties continues de pollen. Dès le départ, il apparaît souhaitable d'entreprendre de telles études alors que les vergers sont encore au stade juvénile, comme ce fut le cas avec le verger clonal du canton d'Huddersfield.

On peut facilement qualifier la saison de croissance 1992 de très bonne année semencière dans ce verger. Cette forte production de fleurs, autant mâles que femelles, indique bien que la majorité des greffes ont atteint leur maturité sexuelle. Toutefois, le taux de contamination pollinique de ce verger a été particulièrement élevé en 1992, de l'ordre de 95 %. Même si cette valeur paraît surprenante, la quantité totale de pollen circulant dans le verger demeure relativement faible par rapport à des résultats obtenus dans d'autres études. Toutefois, le pollen produit par les greffes du verger n'a pas réussi à diluer le pollen exogène. Malgré le fait qu'il ait atteint sa maturité sexuelle, le verger clonal d'épinette blanche ne semble pas produire suffisamment de pollen pour contrer la présence du pollen contaminant. À ce stade, il apparaît qu'une année de forte production semencière favorise davantage les arbres des peuplements adjacents au verger. Par ailleurs, la contamination pollinique provient essentiellement des peuplements situés du côté sud-ouest. Il demeure encore possible de contrer l'effet négatif de ces peuplements en procédant à leur coupe en 1993. En effet, la contamination observée en 1992, qui provenait des peuplements situés du côté nord-ouest, a pu être réduite très significativement par ce type d'intervention. De plus, on devrait prioriser la récolte de cônes provenant d'arbres situés du côté est du verger. En complément, une pollinisation de masse pourrait être envisagée dans un avenir assez rapproché pour aider à réduire davantage le taux de contamination ainsi qu'à augmenter le taux de semences pleines par cône.

La date de dissémination a été quasi identique en 1991 et en 1992, indépendamment du nombre de degrés-jours accumulés. De plus, la date de dissémination des greffes présentes dans le verger a été très synchrone avec la période de réceptivité des fleurs femelles. Par contre, l'observation visuelle des cônes mâles ne s'est pas révélée suffisamment précise pour identifier la date exacte de dissémination du pollen des peuplements adjacents au verger. L'analyse des lames de verre semble offrir une meilleure précision. Toutefois, cette dernière technique est beaucoup moins précise en ce qui a trait à l'identification de la fin

de la période de dissémination puisque le pollen déjà déposé au sol peut être remis en suspension dans l'air et ainsi créer un artefact lors de l'interprétation des résultats.

Verger de semis d'épinette noire du canton d'Estcourt

Bien qu'il soit encore tôt pour affirmer que la plupart des semis de ce verger ont atteint leur maturité sexuelle, l'année de production 1992 s'est avérée une bonne année semencière. L'écart qui a séparé la période de réceptivité des épinettes noires de celle des épinettes blanches du verger voisin a été relativement réduit en 1992 par rapport à l'année précédente. La période de réceptivité ainsi que celle de la dissémination du pollen ont été plus étalées en 1992 qu'en 1991.

Par ailleurs, la difficulté de différencier, au microscope optique, les grains de pollen d'épinette rouge des grains d'épinette noire a obligé de classer ces deux essences dans un même groupe au moment d'observer les lames de verre. Ce mélange des deux espèces présente peu de danger dans l'interprétation des résultats puisqu'elles peuvent s'hybrider relativement bien à l'état naturel.

La contamination pollinique du verger de semis provient des mêmes peuplements que pour le verger clonal d'épinette blanche situé à proximité (peuplements orientés du côté sud-ouest). Malgré le fait que le verger d'épinette noire entre à peine dans sa phase de maturité sexuelle, la proportion de pollen circulant dans le verger atteint presque la moitié de tout le pollen présent. C'est donc dire que la production de pollen par les arbres du verger devrait rapidement diluer l'apport de pollen exogène et ainsi réduire les probabilités de contamination. Toutefois, malgré la pertinence des informations recueillies, la dynamique du pollen dans ce verger (ainsi que celle du verger clonal d'épinette blanche) est appelée à varier avec la maturité sexuelle des arbres. Il est donc encore trop tôt pour prévoir des mesures précises à suivre pour limiter la contamination. Une coupe dans les peuplements situés au sud-ouest du verger réduirait significativement le taux de contamination. Comme dans le verger clonal, on devrait prioriser la récolte sur des arbres situés du côté est du verger. Une dernière étude de la contamination pollinique sera alors nécessaire afin de mesurer l'impact de ce traitement sur la dispersion du pollen.

Liste des ouvrages cités

- ABID, A., 1991. *Contribution à l'étude de la pollinisation de l'olivier (Olea europaea L.) et du clémentinier (Citrus reticulata Blanco). Utilisation des données polliniques comme indice prévisionnel des récoltes à l'échelle locale et régionale.* Thèse de doctorat, Université de Montpellier II. 146 p.
- ADAMS, G.W., 1992. *Pollen monitoring studies in J.D. Irving Ltd. seed orchards and orchard management implications.* Dans : Di-Giovanni, F. et D. Joyce, 1992. Challenges in pollen dispersal and pollen contamination. Proceedings of Challenges of Pollen Dispersal Workshop. Canadian Climate Centre, Environnement Canada, Egbert, Ontario, CCA-92-008 : 21-26.
- ADAMS, R.J. et J.K. MORTON, 1972. *An atlas of pollen of the trees and shrubs of Eastern Canada and the adjacent United States. Part I.* University of Waterloo, Biology Service, No. 8. 52 p.
- ADAMS, R.J. et J.K. MORTON, 1974. *An atlas of pollen of the trees and shrubs of Eastern Canada and the adjacent United States. Part II.* University of Waterloo, Biology Service, No. 8. 53 p.
- ADAMS, R.J. et J.K. MORTON, 1976. *An atlas of pollen of the trees and shrubs of Eastern Canada and the adjacent United States. Part III.* University of Waterloo, Biology Service, No. 8. 37 p.
- ADAMS, R.J. et J.K. MORTON, 1979. *An atlas of pollen of the trees and shrubs of Eastern Canada and the adjacent United States. Part IV.* University of Waterloo, Biology Service, No. 8. 27 p.
- ALEXANDER, M.P., 1969. *Differential staining of aborted and non aborted pollen.* Stain Technology 44(3) : 117-122.

- ANDERSSON, E., 1965. *Flowering and seed setting in conifers. A short review. Cone and seed studies in Norway spruce [Picea abies (L.) Karst.]*. Stud. For. Suec., 23 : 5-214.
- ANONYME, 1982a. *Canadian climate normals. Vol. 2. Temperature 1951-1980*. Environment Canada, Atmospheric Environment Service. 306 p.
- ANONYME, 1982b. *Canadian climate normals. Vol. 3. Precipitation 1951-1980*. Environment Canada, Atmospheric Environment Service. 602 p.
- ASKEW, G.R., 1992. *Potential genetic improvement due to supplemental mass pollination management in conifer seed orchard*. For. Ecol. and Manag. 47 : 135-147.
- BAILEY, J., 1992. *Pollen deposition velocities*. Dans : Di-Giovanni, F. et D. Joyce, 1992. Challenges in pollen dispersal and pollen contamination. Proceedings of Challenges of Pollen Dispersal Workshop. Canadian Climate Centre, Environment Canada, Egbert, Ontario. CCA-92-008 : 43-46.
- BARADAT, P., 1970. *A general method for computation of final genetic gains in the case of several generations of selection with a risk of pollution by foreign pollen*. Meeting on Sexual Reproduction of Forest Trees. Varparanta, Finland. 1 p.
- BARADAT, P., A. MARPEAU et C. BERNARD-DAGAN, 1984. *Les terpènes du pin maritime aspects biologiques. VI. Estimation du taux moyen d'auto-fécondation et mise en évidence d'écarts à la panmixie dans un verger à graines de semis*. Ann. Sci. For., 41 : 107-134.
- BASSETT, I.J., 1978. *An atlas of airborne pollen grains and common fungus and spores of Canada*. Dept. of Agriculture, Research Branch, Ottawa. 321 p.
- BÉLANGER, P., 1963. *Le pollen de quelques essences forestières*. Thèse de maîtrise, Université Laval. 88 p.
- BEERS, W.L., J. BIVENS et J.E. MOCHA, 1981. *Pollen collection*. Dans : E.C. Franklin, éd. Pollen management handbook. USDA Forest Service, Agric. Handb. 587 : 30-32.
- BLACKLEY, C.H., 1873. *Experimental researches on the cause and nature of Crataegus aestivus*. Bulliere, Tindall, London, 43 p.
- BRIDGEWATER, F.E. et D.L. BRAMLET, 1982. *Supplemental mass pollination to increase seed yields in loblolly pine seed orchards*. South J. Appl. For. 6 : 100-104.
- BRIDGEWATER, F.E. et I.F. TREW, 1981. *Supplemental mass pollination*. Dans : E.C. Franklin, éd. Pollen management handbook. USDA For. Serv., Agric. Handbook No. 587 : 52-57.
- BUCHERT, G.P., 1992. *Genetic measurement of contamination in seed orchards state of the art*. Dans : F. Di-Giovanni et D. Joyce. Challenges in pollen dispersal and pollen contamination. Proceedings of Challenges of Pollen Dispersal Workshop. Canadian Climate Centre, Environment Canada, Egbert, Ontario. CCA-92-008 : 51-57.
- CAMPAGNA, M., 1993. Communication personnelle.
- CARON, G.-É., 1989. *Pollen monitoring in three spruce seed orchards and from a nature eastern larch stand in 1989*. École de sciences forestières, Université de Moncton, Edmundston. 42 p.
- CARON, G.-É., 1991. *Pros and cons of the vane and fixed pollen systems*. Dans : Comptes rendus du 3^e atelier des aménagistes de vergers à graines des Maritimes, 16 au 18 octobre 1990. Charlottetown, Forestry Canada-Maritimes : 11-12.
- CARON, G.-É., 1992. *Distribution temporelle et spatiale des cônes femelles dans la cime de jeunes épinettes noires*. Comptes rendus du Colloque sur les semences forestières. Ministère des Forêts, Direction de la recherche, Sainte-Foy, les 12 et 13 février : 113-121.
- CARON, G.-É. et R. LEBLANC, 1992. *Pollen contamination in a small black spruce seedling seed orchard during three consecutive years*. For. Ecol. and Manag. 53 : 245-261.
- CARON, G.-É. et POWELL, G.R., 1989. *Patterns of seed-cone and pollen-cone production in young Picea mariana trees*. Can. J. For. Res. 19 : 359-364.
- CARON, G.-É., A. RAINVILLE, S. MERCIER et M. RIOUX, 1992. *Évaluation dynamique de la contamination pollinique dans un verger clonal d'épinette blanche et un verger de semis d'épinette noire dans le canton d'Estcourt*. Dans : Comptes rendus du Colloque sur les semences forestières. Ministère des Forêts, Direction de la recherche, Sainte-Foy, les 12 et 13 février : 27-42.

- CARON, G.-É. et G.J. SERRY, 1988. *Évaluation dynamique du pollen de trois vergers d'épinettes et d'un peuplement naturel de mélèzes*. École de sciences forestières, Université de Moncton, Edmundston. 35 p.
- CARRIER, D., 1981. *Étude pédologique de la région de Charlevoix*. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction générale de la recherche agricole : 39-43.
- CASTAING, J.-P. et P. VERGERON, 1976. *Étude expérimentale de la contamination pollinique du verger à graines de pin maritime de Sore (Landes)*. Ann. Sci. For. 33(3) : 161-175.
- COLAS, F., 1992. *Influence de la teneur en eau dans la détermination et le maintien de la viabilité du pollen d'arbres forestiers*. Ministère des Forêts, Direction de la recherche. Rapport interne n° 345. 64 p.
- COUR, P., 1974. *Nouvelles techniques de détection des flux et des retombées polliniques. Étude de la sédimentation des pollens et spores à la surface du sol*. Pollen et Spores 16(1) : 104-141.
- COUR, P., 1992. Communication personnelle.
- COUR, P. et P. VILLEMUR, 1985. *Fluctuations et émissions polliniques atmosphériques et prévisions des récoltes de fruits*. Comptes rendus du 5^e Colloque sur les recherches fruitières. Bordeaux, les 13 et 14 novembre : 5-19.
- DANELL, Ö., 1991. *Overview of past, current and future Swedish forest tree breeding*. Biological systems in tree breeding. IUFRO joint working group meeting in Finland and Sweden, September 10-19. 12 p.
- DENISON, N.P., et E.C. FRANKLIN, 1975. *Pollen management*. Dans : Faulkner, R., éd., Seed orchards. U.K. For. Comm. Bull. No. 54 : 92-100.
- DI-GIOVANNI, F., 1992. *Pollen dispersal at the Island Lake tree improvement area*. Dans : Di-Giovanni, F. et D. Joyce. Challenge in pollen dispersal workshop. Canadian Climate Centre, Environment Canada, Egbert, Ontario, CCA-92-008 : 13-20.
- DI-GIOVANNI, F., 1993. Communication personnelle.
- DOWDING, P., 1987. *Wind pollination mechanisms and aerobiology*. Internat. Rev. Cyt. 107 : 421-437.
- EL-KASSABY, Y.A., D.G.W. EDWARDS et D.W. TAYLOR, 1990. *Effect of water-spray cooling treatment in a Douglas-fir seed orchard on seed germination*. New Forest 4 : 137-146.
- ERICKSON, V.J. et W.T. ADAMS, 1989. *Mating success in a coastal Douglas-fir seed orchard as affected by distance and floral phenology*. Can. J. For. Res. 19 : 1248-1255.
- FAEGRI, K. et L. VAN DER PIJL, 1966. *The principles of pollination ecology*. Pergamon Press, New York. 248 p.
- FASHLER, A.M.K. et W.J.B. DEVITT, 1980. *A practical solution to Douglas-fir seed orchard pollen contamination*. For. Chron. 56 : 237-240.
- FRANKEL, O.H. et E. GALUN, 1977. *Pollination mechanisms, reproduction and plant breeding. Monographs on theoretical and applied genetics*. Springer-Verlag, Berlin. 351 p.
- FRANKLIN, E.C., 1981. *Pollen management handbook*. Agric. Handb. 587. Washington, D.C., U.S.D.A. 98 p.
- FRIEDMAN, S.T. et W.F. ADAMS, 1981. *Genetic efficiency in loblolly pine seed orchards*. Dans : Proc. 16th South. Forest Tree Improvement Conf., Virginia Polytechn. Inst. & State Univ., May 27-28 : 213-224.
- FRITSCHEN, L., 1970. *Dispersion of air tracers into and within a forested area*. ECOMPR and D Techn. Report 68-G8-3. U.S. Army Electronic Command, Atmospheric Sciences Lab., Fort Huachuca, Arizona. 36 p.
- GANSEL, C.R., 1973. *Should slash pine seed orchards be moved south for early flowering ?* Dans : Proc. 12th South. Forest Tree Improvement Conf., Baton-Rouge, LA, June 12-13 : 310-316.
- GEARY, T.F., 1970. *Direction and distance of pine pollen dispersal and seed orchard location on the Cooperbelt of Zambia*. Rhod. J. Agric. Res. 8 : 123-130.
- GORDON, A.G., 1976. *The taxonomy and genetics of Picea rubens and its relationship to Picea mariana*. Can. J. Bot. 54(9) : 781-813.

- GREENWOOD, M.S. et T. RUCKER, 1985. *Estimating pollen contamination in loblolly pine seed orchards by pollen trapping*. Comptes rendus de la 18^e conférence sur l'amélioration des arbres du Sud, 21-23 mai. Long Beach, Miss. : 179-186.
- GRENIER, J., 1992. *Petit manuel des semences forestières au Québec*. Ministère des Forêts, Direction de l'assistance technique, Service de la production de plants. 59 p.
- GRIFFIN, A.R., 1980. *Isolation of a radiata pine seed orchard from external pollen*. Aust. For. Res. 10 : 83-94.
- HADDERS, G., 1992. *Pollination in seed orchards of Scots pine*. Fören. Skogsträdsfor. Inst. Skogsförbät. Arbok 1971 : 111-139.
- HARJU, A. et O. MUONA, 1989. *Background pollination in Pinus sylvestris L. seed orchards*. Scand. J. For. Res. 4(4) : 513-520.
- HASKELL, G., 1943. *Spatial isolation of seed crops*. Nature 152 : 591-592.
- HO, R.H., 1992. *Quantifying the effect of the viability of contaminant pollen*. Dans : Di-Giovanni, F. et D. Joyce. Challenges in pollen dispersal and pollen contamination. Proceedings of Challenges of Pollen Dispersal Workshop. Canadian Climate Centre, Environment Canada, Egbert, Ontario, CCA-92-008 : 47-50.
- HYDE, H.A., 1950. *Studies in atmospheric pollen. IV. Pollen deposition in Great Britain 1943; the influence of situation and weather*. New Phyt. Oxford 49 : 398-406.
- HYDE, H.A., 1952. *Studies in atmospheric pollen. V. A daily census of pollen at Cardiff for the six years 1943-1948*. New Phyt. Oxford 51 : 281-293.
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION, 1985. *Règles internationales pour les essais de semences*. Seed Sci. and Technol. 13 (Suppl. 2) : 1-236.
- JOHNSON, O., 1988. *After-effects on progenies from orchard clones moved to non-native environments*. Dans : J. Worrall, J. Loo-Dinkins et D.P. Lester, éd. Proc. 10th North American For. Bio. Workshop. Vancouver, C.-B. : 1-11.
- KOSKI, V., 1980. *Minimum requirements for seed orchards of Scots pine in Finland*. Silvae Fenn. 14 : 130-149.
- KOSKI, V., 1987. *Long geographic transfers, a possible way of eliminating pollen contamination in advanced-generation seed orchard of Pinus sylvestris*. For. Ecol. and Manag. 19 : 267-271.
- LAMONTAGNE, Y., 1992. *Vergers à graines de première génération et tests de descendance implantés au Québec pour les espèces résineuses. Bilan des réalisations*. Gouvernement du Québec, Ministère des Forêts, Direction de la recherche. Mémoire de recherche forestière n° 106. 39 p.
- LANNER, R.M., 1966. *Needed : A new approach to the study of pollen dispersion*. Silvae Genet. 15 : 50-52.
- LEJOLY-GABRIEL, M., 1978. *Recherches écologiques sur la pluie pollinique en Belgique*. Acta Geographica Lovaniensia 13 : 1-279.
- LINSKEN, H.F., 1964. *Pollen physiology and fertilization*. Proceeding of Symposium held at the University of Nijmegen, The Netherlands, August 1963. 257 p.
- LJUNGKVIST, S., B. BRINGFELT et U. FREDERIKSON, 1977. *Correlation between the pollen content of the Stockholm air and meteorological data*. Grana 16 : 145-146.
- LOWE, W. et N.C. WHEELER, 1990. *Pollen contamination in seed orchards*. Dans : Proceedings of Pollen Management Workshop. Southern Research Exchange Group Meetings. Macon, Georgia.
- MCDONALD, J.E., 1962. *Mechanism of raindrop washout of airborne pollen and spores*. Pollen et Spores 4(2) : 364.
- MCLEWEE, R.K., 1970. *Radioactive tracer techniques for pine pollen flight studies; an analysis of short-range pollen behaviors*. Ph.D. Thesis, N.C. State University. 97 p.
- MERCIER, S., 1991. *Maturation et indices de maturité des semences d'épinette blanche*. Ministère des Forêts, Direction de la recherche. Mémoire de recherche forestière n° 103. 61 p.
- MERCIER, S., 1992. *L'avortement des semences : causes potentielles*. Comptes rendus du colloque sur les semences forestières. Ministère des Forêts, Direction de la recherche, les 12 et 13 février : 67-78.

- MERCIER, S., T. MORISSETTE et D. BLANCHETTE, 1991. *Évaluation des cônes de pin gris en vue de la récolte de semences de qualité*. Ministère des Forêts, Direction de la recherche. Mémoire de recherche forestière n° 101. 42 p.
- MERCIER, S. et A. STIPANICIC, 1990. *Réceptivité des cônes femelles, maturation et techniques de forçage des cônes mâles de quelques essences résineuses en relation avec la pollinisation dirigée*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la recherche et du développement. Rapport interne n° 324. 36 p.
- MORGENSTERN, E.K. et J.L. FARRAR, 1964. *Introgressive hybridization in red spruce and black spruce*. Faculty of Forestry, University of Toronto, Technical Report No. 4.
- MULLENDERS, W., B. PLASMANNE et M. DIRICKX, 1978. *La pluie pollinique à Louvain-la-Neuve en 1977*. Travaux du laboratoire de palynologie et de phytosociologie, Université de Louvain. 14 p.
- OWENS, J.N. et M.D. BLAKE, 1986. *Production de semences forestières*. Gouvernement du Canada, Service canadien des forêts, Institut forestier national de Petawawa. Rapport d'information PI-X-53F. 216 p.
- PARK, Y.S., J.D. SIMPSON, D.P. FOWLER et E.K. MORGENSTERN, 1989. *A selection index with desire gains to rogue jack pine seedling seed orchards*. Can. For. Serv., Information Report M-X-176. 19 p.
- PHILIPPE, G., 1993. *Production de graines améliorées dans les pays nordiques*. Compte rendu de mission de G. Philippe en Finlande, Suède, Norvège du 16 au 26 septembre 1990. CEMAGREF de Nogent-sur-Vernisson, Division graines et plants forestiers. 16 p.
- PRAT, D. et T. CAQUELARD, 1994. *Mating system in a French clonal seed orchard of Douglas-fir [Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco]*. Can. J. For. Res. (sous presse).
- RAINVILLE, A., 1990. *Guide d'établissement et d'aménagement des vergers à graines au Québec*. Ministère des Forêts, Direction de la recherche, Service de l'amélioration des arbres. Guide de recherche forestière n° 6. P.v. (document à distribution restreinte)
- RAINVILLE, A., 1992. *Évaluation des paramètres génétiques et indice de sélection utilisé pour l'éclaircie d'un verger à graines de pin gris âgé de 10 ans*. Mémoire de maîtrise, Université Laval. 43 p.
- RICHARD, P., 1967. *Quelques études polliniques dans la forêt Montmorency*. Thèse de maîtrise, Université Laval. 171 p.
- RICHARD, P., 1970. *Atlas pollinique des arbres et de quelques arbustes indigènes du Québec*. Nat. Can. 97(1) : 1-34; (2) : 97-161; (3) : 241-306.
- RICHARD, P., 1985. *Contribution aéropalynologique à l'étude de l'action des facteurs climatiques sur la floraison de l'orme (Ulmus campestris) et de l'if (Taxus baccata)*. Pollen et Spores 27(1) : 53-94.
- ROMBAKIS, S., 1947. *Ueber die verbreitung von pflanzensamen und sporen durch turbulente Luftströmungen*. Z. Meteorol. 1 : 359-363.
- ROSS, S.D., 1988. *Effects of temperature, drought and gibberellin A₁₇ and timing of treatment, on flowering in potted Picea engelmannii and Picea glauca grafts*. Can. J. For. Res. 18 : 163-171.
- SARVAS, R., 1970. *Establishment and registration of seed orchards*. Folia For. Fenn. 89 : 512-517.
- SILEN, R.R., 1962. *Pollen dispersal considerations for Douglas-fir*. J. For. 60(11) : 790-795.
- SILEN, R. et G. KEANE, 1969. *Cooling a Douglas-fir seed orchard to avoid pollen contamination*. USDA For. Serv., Pacific Northwest Research Station. Res. Note PNW-101.
- SIMPSON, J.D. et R.F. SMITH, 1988. *A manual for forest tree seed orchard management in the Maritimes*. Gouvernement du Canada, Canadian Forestry Service-Maritimes, Information Report M-X-167. 114 p.
- SMITH, D.B. et W.T. ADAMS, 1983. *Measuring of pollen contamination in clonal seed orchards with the aid of genetic markers*. Dans : Proceedings of 17th Southern Forest Tree Improvement Program : 64-73.

- SMITH, R. et G. POWELL, 1992. *De nouveaux types de vergers à graines ont-ils leur place dans les Maritimes ?* Gouvernement du Canada et Gouvernement du Nouveau-Brunswick. Entente de coopération sur le développement forestier. Recherche et développement. Note technique n° 4. 4 p.
- SQUILLACE, M. et G. LONG, 1981. *Production of pollen from non-orchard sources*. Dans : E.C. Franklin (éd.). *Pollen Management Handbook*, USDA, For. Handb. No. 587 : 15-19.
- STAND, L., 1957. *Pollen dispersal*. *Silvae Genet.* 6 : 129-136.
- STEWART, S.C., 1992. *Assessing the relationship between pollen capture by seed cones and isozyme measurements of contamination*. Dans : Di-Giovanni, F. et D. Joyce. *Challenges in pollen dispersal and pollen contamination*. Proceedings of challenges of pollen dispersal workshop. Canadian Climate Centre, Environment Canada, Egbert, Ontario, CCA-92-008 : 59-63.
- STIPANICIC, A. et S. MERCIER, 1993. *Étude phénologique de l'anthèse de quelques espèces forestières en relation avec les degrés-jours et le photopériodisme*. Ministère des Forêts, Direction de la recherche. Note de recherche forestière n° 49. 12 p.
- SWEET, G.B., R.L. DICKSON, B.D. DONALDSON et H. LITCHWARK, 1992. *Controlled pollinisation without isolation. A new approach to the management of radiata pine seed orchards*. *Silvae Genet.* 41(2) : 95-99.
- TALBERT, J.T., R.J. WEIR et R.D. ARNOLD, 1985. *Cost and benefits of a mature first-generation loblolly pine tree improvement program*. *J. For.* 83(3) : 162-165.
- TAMPIERI, F., P. MANDRIALI et G.L. PUPPI, 1977. *Median range transport of airborne pollen*. *Agric. Meteorol.* 18 : 9-20.
- WANG, C.W., T.O. PERRY et A.G. JOHNSON, 1960. *Pollen dispersion of slash pine with special reference to seed orchard management*. *Silvae Genet.* 9 : 78-86.
- WAREING, P.F., 1958. *Reproductive development in Pinus sylvestris*. Dans : Thimann, K.V., éd. *The physiology of forest trees*. Ronald Press, New York : 643-654.
- WERNER, M. 1975. *Location, establishment and management of seed orchards*. Dans : R. Faulkner, éd. *Seed orchards*. U.K. For. Comm. Bull. No. 54 : 49-57.
- WHEELER, N.C. et K.S. JECH, 1992. *The use of electrophoretic markers in seed orchard research*. *New Forests* 6 : 311-328.
- ZANDONELLA, P., 1984. *Les vecteurs de pollen. Transport du pollen par les agents physiques ; anémogamie et hydrogamie*. Dans : Pesson, P. et J. Louvreaux. *Pollinisation et productions végétales*. Édition INRA, Paris. 663 p.

Le secteur Forêts du ministère des Ressources naturelles est responsable de l'administration et de la gestion des forêts publiques dans l'intérêt général du Québec. Pour bien remplir cette mission, il doit notamment se préoccuper de la qualité du matériel de reboisement. La contamination des vergers de première génération par du pollen provenant des peuplements avoisnants peut réduire considérablement la valeur génétique des graines produites. Pour réduire l'effet néfaste de ce phénomène, le Ministère, en collaboration avec l'Université de Moncton, a mis au point un système pour évaluer le taux de contamination de quatre vergers types ainsi que pour identifier les sources de contamination.

