

Titre :	Essai de modification des facteurs d'ensemencement pour la production d'épinette blanche, épinette noire et pin gris en récipients
Année d'exécution :	2004
Responsables :	Michèle Bettez (CSFB), Fabienne Colas (DRF) et Anne Savary (DPSF)
Collaboration :	Monique Pelletier et Nicole Robert (DRF), Richard Richard (CSFB) et les responsables d'ensemencement dans les pépinières publiques

1- Contexte

Dans les pépinières forestières, les responsables de l'ensemencement en récipients doivent semer plusieurs graines par cavité pour augmenter les probabilités d'obtenir au moins 1 semis par cavité. Cette façon de faire est essentielle pour l'atteinte des objectifs de production. Cependant, cette pratique entraîne certain gaspillage des semences et nécessite une éclaircie des semis. L'ensemencement de plusieurs graines par cavité doit donc être réalisé de façon optimale.

Selon Wenny (1993), plusieurs facteurs influencent le pépiniériste pour déterminer le nombre de graines à semer par cavité. Ces facteurs sont :

- l'espèce et la grosseur des semences ;
- la disponibilité et le coût des semences ;
- le type de semoir et sa précision ;
- les coûts de main d'œuvre de lors l'ensemencement et de l'éclaircie ;
- le taux de germination et sa fiabilité.

Selon cet auteur, le facteur le plus déterminant est le pourcentage de germination en pépinière. Ainsi, lorsque le taux de germination est connu, le pépiniériste peut utiliser les tables de probabilités pour déterminer le nombre de cavités vides auquel il peut s'attendre selon le nombre de graines semées par cavité. Nous avons détaillé, en annexe 1, la méthode de calcul de la probabilité d'obtention de cavités vides.

L'ensemencement de plusieurs semences par cavité comporte des désavantages autant au point de vue cultural qu'économique (Tinus 1979). Ainsi, les semis présents dans une même cavité sont en compétition pour la lumière, l'eau, les nutriments. Cette situation peut affecter la croissance initiale des semis jusqu'à ce que l'éclaircie soit effectuée. De plus, les coûts d'éclaircie sont plus élevés avec la présence de plusieurs semis par cavité et il y a toujours un risque d'endommager le semis restant lorsque les autres sont enlevés (Tinus 1979). Enfin, selon Schwartz (1993) une réduction du nombre de semis par cavité diminue les risques de maladie fongique durant la germination. Ainsi, le pépiniériste doit faire un choix judicieux quant au nombre de graines à semer par cavité.

Au Québec, l'allocation des semences pour la production de plants forestiers se fait actuellement selon deux facteurs d'ensemencement déterminés par la DPSP. Ces facteurs sont 2,5 ou 3,2 semences viables par cavité, et ce quelle que soit l'essence et le pourcentage de germination (PG) du lot. Les facteurs varient seulement en fonction de la qualité génétique des semences : semences améliorées 2,5, semences non améliorées 3,2.

Parmi les principaux objectifs de la DPSP, on retrouve la production croissante de plants forestiers issus de semences de sources améliorées. L'aménagement des sources de semences entraîne une augmentation des coûts de ces semences. Il faut donc les utiliser de façon optimale afin d'augmenter la part de plants produits à partir de semences améliorées sans nécessairement augmenter les récoltes dans les vergers.

Le Centre de semences forestières de Berthier (CSFB) poursuit l'amélioration des méthodes d'extraction des semences. Ce travail a déjà permis une augmentation significative des PG des lots de semences extraits depuis 2001. Ainsi, pour les trois principales essences commerciales (EPN, PIG et EPB), les PG sont maintenant supérieurs à 90 %.

L'amélioration de la qualité génétique des lots de semences et de leur pouvoir germinatif, permet d'envisager une modification des facteurs d'ensemencement pour la production de plants en pépinière.

Une série d'essais sur la mise à jour des facteurs d'ensemencement a été réalisée en 2003 pour les trois principales essences commerciales : EPN, PIG et EPB. De façon préliminaire, il en ressort qu'avec une bonne précision à l'ensemencement, les facteurs pourraient être réduits sans nuire aux taux d'occupation des cavités, et ce quelle que soit l'essence avec des lots ayant un PG égal ou supérieur à 90 % (voir rapport 2003). Afin de poursuivre le projet de mise à jour des facteurs, un essai opérationnel d'ensemencement a été réalisé au printemps 2004 dans quatre pépinières publiques (Berthier, Grandes-Piles, Normandin et Saint-Modeste) sur une partie de productions d'EPN, de PIG et d'EPB de chacune des pépinières. Cet avis technique présente les résultats de l'essai 2004.

2- Objectif

L'objectif principal de l'essai est d'établir, pour les lots au pourcentage de germination supérieur à 90%, un facteur d'ensemencement optimal par essence qui assure un taux d'occupation satisfaisant des cavités par les semis tout en minimisant le nombre de cavités à éclaircir. Nous souhaitons également évaluer les gains économiques (coût des semences vs coût d'éclaircie-repiquage en pépinière) selon l'essence et les facteurs d'ensemencement.

3- Essai réalisé : matériel et méthodes

Nous travaillons toujours avec les trois principales essences produites en pépinière : EPN, PIG et EPB. Parmi les productions des pépinières publiques, nous avons sélectionné des lots correspondant aux objectifs à atteindre. Notre essai s'est déroulé dans quatre des six pépinières publiques : Berthier, Grandes-Piles, Normandin et Saint-Modeste. Trécesson avait déjà réalisé l'ensemencement lors de la planification de notre essai, et l'ensemencement des récipients de Sainte-Luce est fait à Saint-Modeste.

Les facteurs à l'essai sont un peu différents selon les essences.

3.1. Matériel

L'EPN est une essence ayant une bonne germination en pépinière et dont les PG sont très élevés. Tous les lots d'EPN sélectionnés sont des lots améliorés. Trois facteurs sont mis à l'essai pour l'EPN : 1,6 – 1,9 et 2,2. Nous avons réduit le facteur à 1,6 en raison de la bonne germination des lots d'EPN.

L'EPB et le PIG ont des taux de germination légèrement plus faibles que l'EPN. Trois des quatre lots d'EPB sont améliorés, les quatre lots de PIG sélectionnés sont améliorés.

Pour le PIG et les lots d'EPB améliorés, 2 facteurs sont à l'essai : 1,9 et 2,2. Pour le lot non amélioré d'EPB, 3 facteurs sont testés : 1,9 – 2,2 et 2,5.

Dans tous les cas, le facteur d'ensemencement en vigueur pour la culture, 2,5 ou 3,2, sert de témoin.

Tableau 1 : Facteurs d'ensemencement testés au cours de l'essai pour chacune des trois principales essences commerciales (EPN, PIG et EPB).

Essence	Nature des sources	Facteurs à l'essai	Facteur témoin
EPN	Améliorées	1,6 – 1,9 – 2,2	2,5
PIG	Améliorées	1,9 – 2,2	2,5
EPB	Améliorées	1,9 – 2,2	2,5
	Non améliorée	1,9 – 2,2 – 2,5	3,2

Le tableau 2 présente l'identification des productions et des lots choisis pour notre essai.

Tableau 2 : Identification des productions utilisées pour la réalisation de l'essai : pépinière de production, lot choisi, objectifs de la production, récipient utilisé et date d'ensemencement.

ESSENCE	PÉPINIÈRE	SOURCE	LOT	CODE SOURCE	OBJECTIF (K / PLT)	S.V/ CAVITÉ	PG	Cavités / récipient	Nombre de récipients	Date d'ensemencement
E P N	St-Modeste	EPN-V1-DOL-2-2	2001-026-2-1	I	233	2.5	95	25	10252	11-mai
	St-Modeste	EPN-V1-RCH-2-1	2003-055-1-1	J	166	2.5	98	25	7304	11-mai
	Normandin	EPN-V1-RCH-2-1	2002-051-1-1	K	111	2.5	92	36	3392	11-mai
	G-Piles	EPN-V1-HAR-1-0	1996-149-1-5	L	477	2.5	96	45	11660	26-mai
P I G	Berthier	PIG-V1-BRI-2-0	1996-117-1-3	E	41	2.5	90	15	1253	30-avr
	St-Modeste	PIG-V1-MUR-2-2	1998-040-1-5	F	30	2.5	93	15	2200	17-mai
	Normandin	PIG-V1-ROS-2-0	2003-058-1-1	G	58	2.5	91	36	1772	11-mai
	G-Piles	PIG-V1-BRI-2-0	1996-117-1-3	H	50	2.5	90	36	1528	28-mai
E P B	Berthier	EPB-V1-AVE-1-0	2002-141-1-2	A	104	2.5	93	25	4576	7-mai
	St-Modeste	EPB-V1-EST-1-0	2003-041-1-2	B	420	2.5	92	25	18480	13-mai
	Normandin	EPB-V1-FAL1-0	2003-015-1-2	C	119	2.5	94	36	3636	10-mai
	G-Piles	EPB-NO-084-1-0	2003-027-1-2	D	200	3.2	93	36	6111	4-mai

3.2. Méthode

Les travaux liés au présent essai s'insèrent dans les activités régulières des pépinières. À même leur production, il a été demandé d'ensemencer 400 récipients pour chacun des facteurs testés. Les suivis d'ensemencement et de germination sont réalisés par les équipes de la DRF, du CSFB et des pépinières à l'aide d'ordinateurs de main équipés de l'application PLT-ODM développée à la DPSP. Les récipients sont mis en culture en 2 blocs de 200 récipients.

3.2.1. Suivi d'ensemencement

Le suivi d'ensemencement (dénombrement du nombre de graines par cavité) est réalisé sur 10 % des récipients soit un total de 40 par facteur testé. La fréquence d'inventaire de l'essai est environ 10 fois supérieure à ce qui est effectué de façon opérationnelle dans les pépinières. Afin de faciliter le dénombrement des graines par cavité, nous avons reproduit le modèle de récipient utilisé à Berthier pour l'ajustement du semoir et le suivi d'ensemencement. Il s'agit d'un récipient du même type que la production en cours, dont la surface est couverte par un tissu clair dont le contour des cavités est reproduit avec un crayon marqueur afin de bien délimiter le comptage. On insère ce récipient dans la chaîne d'ensemencement, et le dénombrement des semences se fait très facilement (photo 1).



Photo 1 : Récipient 15-320 recouvert de polar jaune utilisé pour le dénombrement des semences dans les cavités lors de l'ajustement du semoir

3.2.2. Suivi de germination

Le suivi de germination est aussi effectué sur 10 % des récipients de chacune des répétitions soit sur 2 fois 20 récipients par facteur. Un patron en forme de «W» est suivi dans le bloc de production pour sélectionner les récipients qui seront inventoriés (voir annexe 2).

4- Résultats d'ensemencement et de germination

Les opérations d'ensemencement et de suivi de germination se sont déroulées en très bonne collaboration avec le personnel des pépinières affecté à ces tâches.

On remarque que l'habileté pour l'ajustement des semoirs n'est pas la même dans toutes les pépinières. La personne affectée à cette tâche à Normandin a montré que l'utilisation de ruban correcteur est très efficace pour boucher les trous surnuméraires du semoir. De plus, ce ruban ne nuit pas à l'efficacité du semoir et permet un très bon ajustement (voir photo 2). Cette façon de faire est d'ailleurs recommandée en Colombie-Britannique (Kolotelo *et al.* 2001).



Photo 2 : Rouleau semoir à trois trous pour le récipient 36-200 dont une rangée de trous est bouché à l'aide de ruban correcteur.

Les résultats observés lors de l'ensemencement et de la germination, pour chaque essence étudiée, sont présentés dans les tableaux 3, 4 et 5.

4.1. Épinette noire

Tableau 3 : Résultats observés lors de l'ensemencement et de la germination de 4 lots de semences d'épinette noire selon les différents facteurs d'ensemencement testés. Deux lots ont été ensemencés à Saint-Modeste et aucun à Berthier. Le PG moyen, au CSFB, des lots utilisés est 95 % sauf pour le facteur 2,5 où il est de 92 %. Les résultats présentés sont la moyenne des observations réalisées dans les 3 pépinières.

TRAITEMENT			ENSEMENCEMENT			GERMINATION			
FE (s.v./cav ¹)	Nbre lots testés	Sem.tot. ² allouées	Sem. tot. semées	s.v. semées /cavité	Tx occ. par semences ³	Nbre semis/ cavité	PG pépinière ⁴	Tx occ. par semis ⁵	Tx cav à éclaircir ⁶
1,6	4	1,7	1,7	1,6	96,5 %	1,5	91 %	92,7 %	49 %
1,9	4	2,0	2,0	1,9	99,4 %	1,9	93 %	97,5 %	75 %
2,2	4	2,4	2,4	2,2	100 %	2,2	91 %	98,1 %	82 %
2,5	1	2,7	2,8	2,6	100 %	2,5	91 %	99,0 %	89 %

¹ FE (s.v. / cav) : Facteur d'ensemencement (semences viables par cavité)
² Sem. tot. allouées : Semences totales allouées par la DPSP
³ Tx occ. par semences : Taux d'occupation des cavités par au moins 1 semence
⁴ PG pépinière : Taux de germination obtenu en pépinière (calculé avec la formule suivante : semis inventoriés / semences totales semées)
⁵ Tx occ. par les semis : Taux d'occupation des cavités par les semis (par au moins 1 semis)
⁶ Tx cav à éclaircir : taux de cavités à éclaircir (cavités qui possèdent plus d'un semis)

- À l'exception du facteur 1,6, les taux d'occupation par les semences sont supérieurs à 99,4 %.
- Les taux d'occupation par les semis diminuent faiblement avec la réduction des facteurs de 2,5 à 1,9. Ils se situent entre 97,5 et 99 %. De plus, le taux de cavités à éclaircir diminue significativement (de 89 à 75 %) avec la réduction des facteurs de 2,5 à 1, 9.
- Pour le facteur 1,6, le taux d'occupation par les semis atteint seulement 92,7 %. Cependant, le taux de cavités à éclaircir est réduit à 49 %.
- Le PG en pépinière est semblable à celui déterminé au CSFB en conditions contrôlées.
- Pour les facteurs 2,5 et 1,9, le nombre de semences totales semées par cavité est de 2,8 et 2,0, ce qui représente un écart de 29 %. Cela se traduit par une différence de seulement 1 point pour le taux d'occupation des semis, et de 14 points pour le taux de cavités à éclaircir. Si on compare les facteurs 2,5 et 1,6, la différence de semences totales semées est de 39 % (2,8 vs 1,7), de 6 points pour le taux d'occupation des semis et de 40 points pour le taux de cavités à éclaircir.

Les semences d'épinette noire étant très petites et de dimensions hétérogènes, l'ajustement du semoir est assez laborieux. Cependant, le coût de ces ajustements supplémentaires à l'ensemencement sera compensé par une réduction substantielle des coûts d'éclaircie et une réduction du coût de l'utilisation des semences.

Lors de notre essai, nous avons constaté que les taux de germination en pépinière des semences d'épinette noire sont semblables à ceux obtenus au CSFB. Les PG obtenus au CSFB, qui sont d'ailleurs très élevés, nous permettent donc d'estimer de façon assez juste la germination des différents lots d'EPN en pépinière.

Nous croyons qu'un ensemencement précis jumelé à des conditions favorables à la germination rend possible une réduction du facteur d'ensemencement des lots de semences d'épinette noire sans générer des problèmes d'occupation des cavités.

4.2. Pin gris

Tableau 4 : Résultats observés lors de l'ensemencement et de la germination de 4 lots de semences de pin gris selon les différents facteurs d'ensemencement testés. Chaque lot est ensemencé dans une pépinière différente. Le PG moyen, au CSFB, des 4 lots utilisés est de 91 %. Les résultats présentés sont la moyenne des observations réalisées dans les 4 pépinières.

TRAITEMENT			ENSEMENCEMENT			GERMINATION			
FE (s.v./cav ¹)	Nbre lots testés	Sem.tot. ² allouées	Sem. tot. semées	s.v. semées /cavité	Tx occ. par semences ³	Nbre semis/ cavité	PG pépinière ⁴	Tx occ. par semis ⁵	Tx cav à éclaircir ⁶
1,9	4	2,1	2,0	1,8	99,8 %	1,8	90 %	97,4 %	69 %
2,2	4	2,4	2,4	2,2	99,9 %	2,2	90 %	98,4 %	76 %
2,5	4	2,8	2,7	2,5	99,8 %	2,4	90 %	98,8 %	84 %

¹ FE (s.v. / cav) : Facteur d'ensemencement (semences viables par cavité)
² Sem. tot. allouées : Semences totales allouées par la DPSP
³ Tx occ. par semences : Taux d'occupation des cavités par au moins 1 semence
⁴ PG pépinière : Taux de germination obtenu en pépinière (calculé avec la formule suivante : semis inventoriés / semences totales semées)
⁵ Tx occ. par les semis : Taux d'occupation des cavités par les semis (par au moins 1 semis)
⁶ Tx cav à éclaircir : taux de cavités à éclaircir (cavités qui possèdent plus d'un semis)

- Quel que soit le facteur testé, le taux d'occupation par les semences est supérieur à 99,8 %.
- Le taux d'occupation par les semis diminue faiblement avec la réduction des facteurs. Toutefois la valeur minimale observée est de 97 %. De plus, le taux de cavités à éclaircir diminue significativement (de 84 à 69 %) avec la réduction du facteur de 2,5 à 1,9.
- Le taux de germination des semences de pin gris en pépinière est semblable à celui déterminé au CSFB en conditions contrôlées.
- Pour les facteurs 2,5 et 1,9, le nombre de semences totales semées par cavité est de 2,7 et 2,0, ce qui représente un écart de 26 %. Il se traduit par une différence de seulement 1,4 point pour le taux d'occupation des semis, et de 15 points pour le taux de cavités à éclaircir.

Les graines de pin gris sont plutôt grosses, ce qui facilite les opérations d'ensemencement. Ainsi, une réduction du facteur d'ensemencement sera plus facile à réaliser sachant, de plus, qu'il est possible d'obtenir en pépinière les taux de germination du CSFB. Il faut également mentionner que le PG des lots de pin gris récoltés en 2003 a atteint une moyenne de 93 % et que les résultats de germination des prochaines extractions pourraient être encore améliorés.

4.3. Épinette blanche

Tableau 5 : Résultats observés lors de l'ensemencement et de la germination de 4 lots de semences d'épinette blanche selon les différents facteurs d'ensemencement testés. Chaque lot est ensemencé dans une pépinière différente. Le PG moyen, au CSFB, des 4 lots utilisés est de 93 %. Les résultats présentés sont la moyenne des observations réalisées dans les 4 pépinières.

TRAITEMENT			ENSEMENCEMENT			GERMINATION			
FE (s.v./cav ¹)	Nbre lots testés	Sem.tot. ² allouées	Sem. tot. semées	s.v. semées /cavité	Tx occ. par semences ³	Nbre semis/ cavité	PG pépinière ⁴	Tx occ. par semis ⁵	Tx cav à éclaircir ⁶
1,9	4	2,0	2,0	1,86	99,6 %	1,7	87 %	96,3 %	68 %
2,2	4	2,4	2,3	2,14	99,5 %	2,0	86 %	97,3 %	76 %
2,5	4	2,7	2,7	2,51	99,9 %	2,3	86 %	97,4 %	84 %
3,2	1	3,4	3,0	2,79	100 %	2,5	83 %	98,8 %	89 %

¹ FE (s.v. / cav) : Facteur d'ensemencement (semences viables par cavité)
² Sem. tot. allouées : Semences totales allouées par la DPSP
³ Tx occ. par semences : Taux d'occupation des cavités par au moins 1 semence
⁴ PG pépinière : Taux de germination obtenu en pépinière (calculé avec la formule suivante : semis inventoriés / semences totales semées)
⁵ Tx occ. par les semis : Taux d'occupation des cavités par les semis (par au moins 1 semis)
⁶ Tx cav à éclaircir : taux de cavités à éclaircir (cavités qui possèdent plus d'un semis)

- Le taux d'occupation par les semences d'épinette blanche est supérieur à 99,5 % quel que soit le facteur testé.
- Le taux d'occupation par les semis diminue faiblement avec la réduction des facteurs. Toutefois la valeur minimale observée est de 96 %. De plus, le taux de cavité à éclaircir diminue significativement avec la réduction des facteurs (de 89 à 68 %).
- Le taux de germination des semences en pépinière est inférieur à celui déterminé au CSFB en conditions contrôlées et optimales. Cependant cet écart permet tout de même l'atteinte d'un taux d'occupation par les semis supérieur ou égal à 96,3 %.
- Pour les facteurs 2,5 et 1,9, le nombre de semences totales semées par cavité est de 2,7 et 2,0, ce qui représente un écart de 26 %. Il se traduit par une différence de 1 point de pourcentage pour le taux d'occupation des semis, et de 16 points pour le taux de cavités à éclaircir. Si on compare les facteurs 3,2 et 1,9, la différence de semences totales semées est de 33 %, de 3 points pour le taux d'occupation des semis et de 21 points pour le taux de cavités à éclaircir.
- Le facteur 3,2, utilisé pour les semences non améliorées, n'a été testé que sur un seul lot. Le pépiniériste a utilisé un rouleau semoir à 3 trous limitant ainsi le nombre de semences totales délivrées. L'ensemencement a donné 3,0 semences totales par cavité au lieu des 3,4 allouées. Par rapport au facteur 2,5, ceci représente une différence de 10 % de semences totales. Elle se traduit par une différence de 1,4 point de pourcentage pour le taux d'occupation par les semis et de 5 points pour le taux de cavités à éclaircir.

Les dimensions des graines d'épinette blanche permettent un bon ajustement des semoirs, donc on pourrait envisager une certaine réduction du facteur d'ensemencement sans nuire à la précision de l'ensemencement. Cependant, la germination des graines d'épinette blanche est très sensible aux conditions environnementales, il serait donc hasardeux de réduire significativement le facteur d'ensemencement pour cette essence sans nuire au taux d'occupation par les semis.

5- Analyse économique

L'aspect économique de la réduction des facteurs d'ensemencement a été analysé en évaluant pour la DPSP d'une part, l'économie de semences et sa valeur monétaire, et, d'autre part, l'impact économique d'une réduction des facteurs sur le gain génétique moyen des productions de plants lorsque l'on utilise des semences de source hautement améliorée.

Du coté des producteurs, nous avons estimé les économies potentielles à réaliser, principalement en raison de la diminution de l'opération d'éclaircie-repiquage. Rappelons que ces évaluations sont valides en autant que le pourcentage de germination des semences soit supérieur ou égal à 90%, ce qui correspond au portrait des lots de semences expédiées en 2004, pour nos trois principales essences.

5.1. Économies pour la DPSP

L'abaissement des facteurs pourrait apporter pour la DPSP d'importantes économies en frais de production de semences que nous pouvons facilement évaluer.

La réduction du facteur d'ensemencement de 2,5 à 1,9 semences viables par cavité, pour toutes les productions en récipients des trois principales essences (EPB, EPN, PIG), générerait une économie estimée à 218,1 k\$ annuellement (tableau 6 et annexe 3 pour la version plus détaillée). En réduisant le facteur de 2,5 à 2,2, l'économie totale s'élèverait à 109,1 k\$. Ces calculs sont basés sur les coûts de remplacement variables des semences (réduction de récolte, d'activités d'aménagement de sources, etc.).

Par essence, l'économie la plus substantielle serait réalisée en épinette noire, soit 95 k\$ avec l'utilisation du facteur 1,9 et 47,7 k\$ avec le facteur 2,2. Cette économie est due à l'important volume de production de cette essence qui représente, à elle seule, plus de 50% de la quantité produite parmi les trois principales essences commerciales.

Tableau 6 : Bilan économique pour la DPSP de plants selon deux hypothèses de réduction du facteur d'ensemencement pour l'épinette noire, le pin gris et l'épinette blanche.

			Economie pour la DPSP ⁽¹⁾		Economie pour les producteurs ⁽²⁾	
Essence	Objectif (kplants réc.)	Hypothèse de modification des facteurs	k\$	\$/kplants-obj.	k\$	\$/kplants-obj.
EPN	58 313	réduction de 2.5 à 2.2	47,7	0,8	47,4	0,8
		réduction de 2.5 à 1.9	95,4	1,6	94,8	1,6
PIG	26 930	réduction de 2.5 à 2.2	41,9	1,6	25,1	0,9
		réduction de 2.5 à 1.9	83,8	3,1	47,0	1,7
EPB	22 348	réduction de 2.5 à 2.2	19,5	0,9	26,1	1,2
		réduction de 2.5 à 1.9	39,0	1,7	5,7	0,3
Total	107 591	réduction de 2.5 à 2.2	109,1	1,0	98,6	0,9
		réduction de 2.5 à 1.9	218,1	2,0	147,6	1,4

1 Economie de production de semences. Les montants indiqués sont évalués en coûts de remplacement variables (i.e. les coûts de récolte, d'aménagement de source, d'extraction et de coordination régionale, plus les bénéfices marginaux de ces opérations).

2 Economie d'éclaircie moins les pertes engeandrées par les cavités vides supérieures à 3%; coûts d'éclaircie basés sur les coûts d'opérations en pépinière publique.

Toute réduction du facteur d'ensemencement, quelle que soit son ampleur, aura des retombées importantes sur la proportion et la qualité des plants issus de sources améliorées produits en pépinière. En effet, **en réduisant le facteur d'ensemencement, le même nombre de semences permettra de produire un nombre de plants plus élevé** dans les meilleures classes des vergers où les gains génétiques sont maximum, procurant un gain génétique moyen plus élevé pour l'ensemble des productions. La hausse du gain moyen des plants se traduira par une augmentation significative des retombées économiques pour l'État québécois.

Par exemple, pour l'épinette blanche utiliser le facteur 1,9 ferait passer le gain génétique moyen des plants produits de 5,5 à 7,5 %. On évalue que chaque point de pourcentage de gain génétique rapporte à

l'État québécois 40 \$ par hectare en bénéfices économiques actualisés (Luc Masse, communication personnelle 2004). On peut estimer des retombées économiques de 0,7 millions \$ additionnels, en réduisant le facteur à 1,9 dès 2005 en épinette blanche. En réduisant le facteur à 2,2 semences viables par cavité, le gain génétique moyen s'élèverait à 6,3 %, avec des retombées économiques additionnelles de 0,3 millions \$.

5.2. Bilan pour les producteurs

Pour les producteurs, l'abaissement du facteur d'ensemencement à 2,2 et 1,9 diminue le taux de cavités et le nombre total de semis à éclaircir et ce, pour les 3 essences à l'essai. Une diminution du nombre de cavités et de semis à éclaircir devrait se traduire par une baisse des coûts de l'opération d'éclaircie-repiquage.

Il faut souligner qu'un essai d'ensemencement a été réalisé par les responsables de la production et de l'ensemencement de résineux en récipients à la Pépinière de Berthier avec un lot de semences de pin rouge dont le PG est de 98 %. Cette production a été allouée avec le facteur de 2,5 soit 2,6 semences totales. L'équivalent d'un tunnel a été ensemencé avec 2 semences totales par cavité qui correspond à **une réduction de 23 % en semences**. Pour les 2 traitements, les taux d'occupation par les semis étaient semblables et supérieurs à 97 %. Lors **de l'éclaircie, une réduction du temps d'opération de 18 %** a été observée dans le tunnel ensemencé à 2 semences totales par cavité par rapport au reste de la production avec le facteur prévu de 2,5 semences viables.

Cet essai montre que pour des lots dont le PG est élevé, il est possible d'abaisser le nombre de semences par cavité sans augmenter le taux de cavités vides. La réduction du facteur d'ensemencement permet un gain de temps significatif pour l'opération d'éclaircie-repiquage, qui se traduit par des économies substantielles pour la pépinière et par une économie importante de semences.

6- Discussion

L'objectif principal fixé lors de la réalisation de cet essai, était d'établir « un facteur d'ensemencement optimal par essence qui assure un taux d'occupation des cavités maximum et qui limite le plus possible le nombre de cavités à éclaircir. » À la lumière des résultats obtenus, et compte tenu des conséquences importantes que va avoir une modification des facteurs d'ensemencement en pépinière, nous ne pouvons conclure de façon satisfaisante face à cet objectif. Rappelons que nous avons travaillé avec 4 lots de graines différents dans 4 pépinières distinctes et ce, pour chacune des essences. Les résultats obtenus ne sont pas assez clairs pour permettre de tirer des conclusions hors de tout doute. Cependant, grâce aux tendances qui se dégagent des résultats, nous avons une idée assez claire de ce qui doit être fait pour les prochaines étapes dans ce domaine.

La réalisation de cet essai nous a permis de comparer l'opération d'ensemencement dans quatre pépinières publiques et de confirmer que **l'opération d'ensemencement est cruciale pour la suite de la culture des plants**. Les pépinières visitées possèdent une chaîne d'empotage et d'ensemencement qui est plutôt semblable. Cependant, nous avons constaté que l'organisation du travail varie d'une pépinière à l'autre. L'ajustement du semoir, qui permet l'utilisation adéquate des semences allouées, n'est pas réalisé avec le même souci dans toutes les pépinières. Certes, des suivis à fréquence élevée à l'ensemencement exigent du personnel mais ils permettent un ajustement rapide du semoir afin d'obtenir une bonne répartition des semences dans les cavités, évitant ainsi que des cavités reçoivent un nombre trop important de graines et d'autres un nombre insuffisant. Grâce à l'utilisation de la méthode de dénombrement en place à Berthier (récipient recouvert de tissu clair), le suivi d'ensemencement peut être réalisé très rapidement avec une excellente fiabilité. Le contraste des semences sur le tissu jaune est tel que le décompte des semences par cavité se fait d'un seul coup d'œil. L'implantation de cette méthode dans toutes les pépinières publiques va permettre, à moindre coût, d'augmenter la fréquence des suivis d'ensemencement et ainsi d'avoir une excellente précision de l'ajustement des semoirs.

Lors de l'éclaircie, un grand nombre de graines germées dans une cavité augmente la durée de l'opération et entraîne des altérations sur le semis conservé. Ces altérations pourront conduire au

déclassement du futur plant. De même, le regarnissage de semis pour combler des cavités vides entraîne souvent la production de plants qui seront éliminés lors du classement des plants.

L'analyse économique confirme que les cavités vides obtenues en début de production peuvent entraîner des manques à gagner importants pour les producteurs, et que ces coûts peuvent rapidement dépasser les économies d'éclaircie-repiquage si le nombre de cavités vides n'est pas minimisé par une très haute précision à l'ensemencement. La DPSP a donc tout intérêt à effectuer une très grande sensibilisation auprès des producteurs sur l'importance de cette opération avant de procéder à toute diminution du facteur d'ensemencement en deçà de 2,5.

Le deuxième objectif de notre essai était de déterminer la qualité de l'ensemencement dans les pépinières publiques. Les semoirs utilisés dans les pépinières publiques permettent aisément de distribuer les semences avec une excellente précision. La présence de personnel qualifié et en nombre suffisant lors de l'ensemencement permettra d'améliorer encore l'opération d'ensemencement. Une baisse éventuelle des facteurs d'ensemencement devra aller de paire avec un ensemencement de haute précision.

Dans la première partie de ce document, nous avons évoqué le calcul des probabilités d'obtenir des cavités vides. Ce calcul est utilisé par les pépiniéristes qui ont à déterminer le facteur d'ensemencement pour leurs cultures. L'annexe 1 de cet avis donne la méthode de calcul de cette probabilité qui tient compte du pourcentage de germination du lot et du nombre de graines semées par cavité. Dans le tableau suivant, nous avons choisi, pour chacune des essences de notre essai, une culture avec laquelle nous avons calculé la probabilité d'obtention de cavités vides. Nous comparerons cette valeur aux résultats de germination observés en pépinière pour chacun des lots.

Tableau 7 : Cas de trois cultures dans trois pépinières différentes : EPN à Normandin, PIG à Saint-Modeste et EPB à Berthier.

TRAITEMENT						GERMINATION					ÉCLAIRCIE
Essence	FE (s.v./cav ¹)	Sem tot allouées ²	PG	Nb cavités (k) ³	Probabilité cav vides	Cav vides(%)	TO/1sem (%) ⁴	TO/2sem (%) ⁴	TO/3sem (%) ⁴	TO/4sem (%) ⁴	Nb semis à éliminer (k)
EPN	1,9	2,07	92	122	0,54 %	4,2	24,0	60,4	10,1	1,3	103
PIG	1,9	2,04	93	33	0,44 %	1,3	18,5	68,5	11,3	0,3	30
EPB	1,9	2,04	93	114	0,44 %	1,3	18,1	78,3	2,2	0,2	95

¹ FE (s.v. / cav) : Facteur d'ensemencement (semences viables par cavité)
² Sem. tot. allouées : Semences totales allouées par la DPSP
³ Nbre cavités (k) : nombre de cavités ensencées exprimé en millier
⁴ TO/x sem : taux d'occupation des cavités par x semis. Le chiffre présenté donne le nombre de semis par cavité.

Le calcul de probabilité de cavités vides a pour prémisse un **ensemencement très précis**. En regardant les résultats obtenus dans le cadre des trois cultures présentées, on constate que :

- a) il y a une différence entre le pourcentage de cavités vides et celui observé;
- b) on remarque un pourcentage non négligeable de cavités ayant 1, 3 et 4 semis alors que le nombre de semences allouées est de 2. Par exemple, pour le lot d'EPN présenté dans le tableau 7, nous retrouvons 24 % de cavités ayant un seul semis. Ce nombre élevé de cavités ayant un seul semis augmente le risque d'avoir des cavités vides. De ce fait, le nombre de cavités vides observé est très supérieur à la valeur théorique calculée.

Grâce à un ensemencement très précis, le nombre de graines délivrées par cavité serait très proche de la valeur demandée, ce qui limiterait l'occurrence de cavités à 1, 3 et 4 semences et donc limiterait l'obtention de cavités vides. Ainsi, le calcul de probabilité donnerait une très bonne idée du nombre de cavités vides à anticiper.

Nous avons également évalué le gaspillage de semences lié à un ensemencement peu précis. Dans les exemples du tableau 7, le vrai gaspillage correspond aux cavités où on retrouve plus de 2 semis puisque le nombre de semences totales allouées est de 2. En effet, on retrouve beaucoup de cavités avec 3 semis (au-delà de 10 % pour les exemples d'EPN et de PIG), donc pour chaque cavité on détruit 2 semis au lieu d'un seul. Dans le cas de la production d'EPN présentée dans notre exemple, cela correspond à une perte de 30 k semis soit 25 % de l'objectif. Une bien meilleure précision lors de l'ensemencement limiterait le nombre de cavités avec plus de 2 semences et le gaspillage de graines qu'il génère. Ce gaspillage est d'autant plus regrettable lorsque l'on travaille avec des lots de semences dont le PG est supérieur à 95 %, ce qui traduit l'excellent pouvoir germinatif des semences. En limitant l'allocation de semences inutiles, on pourra réaliser une meilleure gestion des récoltes et maximiser l'utilisation des lots présentant des gains génétiques potentiels élevés.

7- Recommandations

Les recommandations que nous proposons ne devraient pas affecter les possibilités pour un producteur d'atteindre des taux d'occupation supérieur à 95 % à la fin de la période de germination et permettrait d'éviter le gaspillage de semences.

AUX RESPONSABLES DES ENSEMENCEMENTS EN PÉPINIÈRE, NOUS RECOMMANDONS DE

- Insérer dans l'application PLT-ODM le calcul de la probabilité de cavités vides selon le PG du lot de graines à semer et selon le nombre de graines à déposer par cavité ;
- Utiliser des récipients étalon (récipients recouvert de tissu clair), semblables à ceux utilisés pour l'essai, afin d'effectuer les inventaires lors de l'ensemencement ;
- Augmenter la fréquence des dénombrements et ajuster régulièrement le semoir pour l'obtention du nombre voulu de semences totales par cavité.

AUX RESPONSABLES DE LA DPSP, NOUS RECOMMANDONS DE :

- Supprimer le facteur 3,2 pour les semences non améliorées et affecter le facteur d'ensemencement 2,5 pour tout type de semences ;
- Réaliser des essais opérationnels dans plusieurs pépinières avec des lots de semences dont le PG est supérieur à 90 %:

Pour **l'épinette noire et le pin gris**, ensemercer l'équivalent d'un tunnel avec un facteur d'ensemencement à 2,5 et le reste de la production à 2,0 s.v. / cavité.

Pour **l'épinette blanche**, ensemercer l'équivalent d'un tunnel avec un facteur d'ensemencement à 2,2 et le reste de la production à 2,5 s.v. / cavité.

Ces essais opérationnels permettront de comparer les taux d'occupation des cavités par les semis et les temps d'éclaircie selon les facteurs d'ensemencement.

- Réaliser un essai opérationnel d'ensemencement à 2 semences par cavité avec des semences provenant de sources hautement améliorées (2^{ième} génération et plus) et ayant un PG supérieur à 90 % et ce pour toute essence, afin de maximiser le nombre de plants produits avec ces sources.

8- Références

Kolotelo, D., E. van Steenis, M. Peterson, R. Bennett, D. Trotter et J. Dennis, 2001. *Seed Handling Guidebook*. British Columbia, Ministry of Forests, Tree Improvement Branch. 106 p.

Masse, L. 2004. *Bénéfices économiques de l'amélioration génétique des plants de reboisement*. Communication personnelle. 1 p.

Schwartz, M. 1993. *Germination math : Calculating the number of seeds necessary per cavity for a given number of live seedlings*. Tree Planters' Notes 44 (1) : 19-20.

Tinus, R.W. et S.E. McDonald, 1979. *How to grow tree seedlings in containers in greenhouses*. USDA, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. General technical report RM-60, 256 p.

Wenny, D. L., 1993. *Calculating filled and empty cells based on number of seeds sown per cell: a microcomputer application*. Tree Planters' Notes 44(2): 49-52.

Sainte-Foy, le 31 janvier 2005

Michèle Bettez, agr.
CSFB

Fabienne Colas, biologiste, DESS
DRF

Anne Savary, ing.f.
DPSF

Annexe 1 : Calcul du nombre optimal de graines à semer par cavité

La probabilité qu'une graine germe est dite «binomiale». Il y a donc seulement deux alternatives qui peuvent se produire : la semence germe ou ne germe pas.

L'expression binomiale va comme suit :

X = probabilité qu'une semence germe. Cette valeur est donnée par le taux de germination du lot

Y = probabilité qu'une semence ne germe pas. Elle correspond au taux d'échec de la germination, soit 1- X.

Par exemple, pour un lot dont le PG est de 95 % : X = 0,95 et Y = 0,05.

Lorsque 2 semences sontensemencées :

$$(X + Y)^2 = X^2 + 2 XY + Y^2$$

X^2 = probabilité que les 2 semences germent

$2XY$ = probabilité qu'une semence germe et que l'autre ne germe pas

Y^2 = probabilité que les 2 semences ne germent pas.

Lorsque 3 semences sontensemencées :

$$(X + Y)^3 = X^3 + 3 X^2Y + 3XY^2 + Y^3$$

X^3 = probabilité que les 3 semences germent

$3 X^2Y$ = probabilité que 2 semences germent et qu'une semence ne germe pas

$3XY^2$ = probabilité qu'une semence germe et que les 2 autres ne germent pas

Y^3 = probabilité que les 3 semences ne germent pas.

Lorsque 4 semences sontensemencées :

$$(X + Y)^4 = X^4 + 4 X^3Y + 6X^2Y^2 + 4XY^3 + Y^4$$

X^4 = probabilité que les 4 semences germent

$4X^3Y$ = probabilité que 3 semences germent et qu' 1 semence ne germe pas

$6X^2Y^2$ = probabilité que 2 semences germent et que 2 ne germent pas

$4XY^3$ = probabilité qu'une semence germe et que 3 ne germent pas

Y^4 = probabilité que les 4 semences ne germent pas.

La probabilité d'avoir des cavités vides est calculée en élevant le taux d'échec de germination (Y), exprimé en décimal, à la puissance du nombre de graines déposées par cavité. **En fonction de la tolérance à la proportion de cavités vides, on décidera du nombre de graines à déposer par cavité.**

Probabilité de cavité vides pour n semences / cavité = (Y)ⁿ. où Y est exprimé en décimal.

Exemple 1 de calcul :

PG du lot de semences = 95 % (95 % des semences germent et 5 % ne germent pas)

Taux d'échec (exprimé en décimal) = 0,05

Ensemencement : 1 semence / cavité : Probabilité de cavités vides = (0,05)¹ soit 5 %.

Ensemencement : 2 semences / cavité: Probabilité de cavités vides = (0,05)²= 0,0025 soit 0,25 %.

Une autre façon de présenter cet exemple est que, pour 100 cavitésensemencées, les 100 premières semences produiront 95 semis; si on ajoute 100 semences additionnelles dans les mêmes cavités, ces dernières ne produiront que 4 ou 5 semis de plus puisque la probabilité de cavités vides avec 2 semences est réduite à 0,25 %. Ainsi, selon le calcul de probabilité, 99 cavités devront contenir au moins un semis.

Exemple 2 de calcul :

PG du lot de semences = 78 % (78 % des semences germent et 22 % ne germent pas)

Taux d'échec (exprimé en décimal) = .0,22

Ensemencement : 1 semence / cavité : Probabilité de cavités vides = (0,22)¹ soit 22 %.

Ensemencement : 2 semences / cavité : Probabilité de cavités vides = (0,22)²= 0,0484 soit 4,84 %.

Ensemencement : 2,5 semences / cavité : probabilité de cavités vides = (0,22)^{2,5}= 0,0227 soit 2,3 %.

Ensemencement : 3 semences / cavité : Probabilité de cavités vides = (0,22)³= 0,010648 soit 1 %.

Une autre façon de présenter cet exemple est que, pour 100 cavitésensemencées, les 100 premières semences produiront 78 semis; si on ajoute 100 semences additionnelles dans les mêmes cavités, ces dernières ne produiront que 17 semis supplémentaires et 100 autres semences additionnelles produiront 4 semis supplémentaires.

Source : Schwartz, M. 1993. *Germination math : Calculating the number of seeds necessary per cavity for a given number of live seedlings*. Tree Planters' Notes 44 (1) : 19-20.

Annexe 2

Plan du dispositif d’EPN installé à Normandin et schéma d’inventaire pour la germination

DISPOSITIF FACTEUR D'ENSEMENCEMENT EPN Normandin

SECTEUR : R 10

8 RÉCIPIENTS	4 RÉCIPIENTS	8 RÉCIPIENTS
X rangéesEPN K2.5		30 rangéesEPN K2.5
25 rangéesEPN K 2,2 REP I		25 rangéesEPN K 2,2 REP II
30 rangéesEPN K2.5		30 rangéesEPN K2.5
25 rangéesEPN K 1,9 REP I		25 rangéesEPN K 1,6 REP II
30 rangéesEPN K2.5		30 rangéesEPN K2.5
25 rangéesEPN K 1,6 REP I		25 rangéesEPN K 1,9 REP II
30 rangéesEPN K2.5		X rangéesEPN K2.5

1 rangée de réceptients = 8 réceptients
25 rangées x 8 réceptients =200 réceptients X 2 répétitions = 400 réceptients
Michèle Bettez, 4 MAI 2004

Plan d’inventaire de germination

						1	
				2			
		3					
	4						
			5				
					6		
						7	
				8			
		9					
	10						
			11				
					12		
						13	
				14			
		15					
	16						
			17				
					18		
						19	
				20			

1 rangée = 8 réceptients
Chaque réceptient identifié en gras sera échantillonné.

Annexe 3 : Simulation des économies possibles selon les facteurs d’ensemencement pour l’EPN, le PIG et l’EPB selon le type de récipient à produire

Essence	Type de récipient simulé	Facteur d'ensemencement (sv/cavité)	Réduction du facteur d'ensemencement par rapport à 2,5 (%)	Taux d'occupation par les semis (%)	Taux de cavités à éclaircir (%)	Coût de remplacement variable des semences (\$/kplants-obj.) ¹		Economie de semences (\$/kplants-obj.) ²		Prix payé au producteur (\$/kplants) ³	Perte potentielle de revenus pour le producteur (cavités vides excédant le taux d'occupation de 97%) (\$/kplants) ⁴	Opérations d'éclaircie-repiquage			Bilan des économies totales					Facteur		
												Réduction du % de cavités à éclaircir (%)	Coûts de l'écl.-rep. (\$/kplants-obj.) ⁶	Economie estimée (\$/kplants-obj.)	Objectif 2004 (kplants)	DPSP (économie de semences) ⁷		Producteurs (économie-perte) ⁸				
																Valeur totale p/r à l'objectif (K\$)	Valeur en \$/kplants-obj.	Valeur totale par rapport à l'objectif (k\$)	Valeur en \$/kplants-obj.			
EPN	25-350A	2.5	0	99.0	89	8.01	2.82	0	0	372.1	0.0	0	12.96	0	6 231	0		0		2.5		
		2.2	12	98.1	82	7.05	2.48	0.96	0.34	372.1	0.0	8	11.94	1.02		5.1	0.82	6.35	1.02	2.2		
		1.9	24	97.5	75	6.09	2.14	1.92	0.68	372.1	0.0	16	10.92	2.04		10.2	1.64	12.70	2.04	1.9		
		1.6	36	92.7	49	5.13	1.80	2.88	1.01	372.1	16.0	45	7.14	5.82		15.3	2.45	- 63.40	- 10.18	1.6		
		45-110	2.5	0	99.0	89	8.01	2.82	0.00	0	120.9	0.0	0	11.53	0	27 261	0		0		2.5	
		2.2	12	98.1	82	7.05	2.48	0.96	0.34	120.9	0.0	8	10.62	0.91		22.3	0.82	24.72	0.91	2.2		
		1.9	24	97.5	75	6.09	2.14	1.92	0.68	120.9	0.0	16	9.72	1.81		44.6	1.64	49.44	1.81	1.9		
		1.6	36	92.7	49	5.13	1.80	2.88	1.01	120.9	5.2	45	6.35	5.18		66.9	2.45	- 0.45	- 0.02	1.6		
		67-50	2.5	0	99.0	89	8.01	2.82	0	0	90.26	0.0	0	8.37	0	24 821			0		2.5	
		2.2	12	98.1	82	7.05	2.48	0.96	0.34	90.26	0.0	8	7.71	0.66		20.3	0.82	16.34	0.66	2.2		
		1.9	24	97.5	75	6.09	2.14	1.92	0.68	90.26	0.0	16	7.05	1.32		40.6	1.64	32.68	1.32	1.9		
		1.6	36	92.7	49	5.13	1.80	2.88	1.01	90.26	3.9	45	4.61	3.76		60.9	2.45	- 2.96	- 0.12	1.6		
PIG		45-110	2.5	0	98.8	84	13.68	9.44	0	0	120.9	0.0	0	11.53	0	11 967					2.5	
		2.2	12	98.4	76	12.04	8.31	1.64	1.13	120.9	0.0	10	10.43	1.10		18.6	1.56	13.14	1.10	2.2		
		1.9	24	97.4	69	10.40	7.17	3.28	2.27	120.9	0.0	18	9.47	2.06		37.2	3.11	24.64	2.06	1.9		
	67-50	2.5	0	98.8	84	13.68	9.44	0	0	89.63	0.0	0	8.37	0	14 963					2.5		
		2.2	12	98.4	76	12.04	8.31	1.64	1.13	89.63	0.0	10	7.57	0.80		23.3	1.56	11.93	0.80	2.2		
		1.9	24	97.4	69	10.40	7.17	3.28	2.27	89.63	0.0	18	6.88	1.49		46.5	3.11	22.36	1.49	1.9		
EPB	25-350A	2.5	0	97.4	84	8.95	2.20	0	0	377.21	0.0	0	12.96	0	12 264	0				2.5		
	(incluant 25-310 et le S45-340)	2.2	12	97.3	76	7.88	1.94	1.07	0.264	377.21	0.0	10	11.73	1.23		10.7	0.87	15.14	1.23	2.2		
		1.9	24	96.3	68	6.81	1.67	2.15	0.528	377.21	2.6	19	10.49	2.47		21.4	1.74	- 2.11	- 0.17	1.9		
	36-200	2.5	0	97.4	84	8.95	2.20	0	0	228.42	0.0	0	11.19	0	4 502	0				2.5		
	(incluant 25-200)	2.2	12	97.3	76	7.88	1.94	1.07	0.264	228.42	0.0	10	10.12	1.07		3.9	0.87	4.80	1.07	2.2		
		1.9	24	96.3	68	6.81	1.67	2.15	0.528	228.42	1.6	19	9.06	2.13		7.9	1.74	2.40	0.53	1.9		
	45-110	2.5	0	97.4	84	8.95	2.20	0	0	140.85	0.0	0	11.53	0	5 582	-				2.5		
		2.2	12	97.3	76	7.88	1.94	1.07	0.264	140.85	0.0	10	10.43	1.10		4.9	0.87	6.13	1.10	2.2		
		1.9	24	96.3	68	6.81	1.67	2.15	0.528	140.85	1.0	19	9.33	2.20		9.7	1.74	5.45	0.98	1.9		
											Bilan pour la DPSP et pour les producteurs	EPN	réduction de 2.5 à 2.2		58 313	47.7		0.8		47.4		0.8
réduction de 2.5 à 1.9													95.4			1.6		94.8		1.6		
PIG												réduction de 2.5 à 2.2		26 930	41.9		1.6		25.1		0.9	
												réduction de 2.5 à 1.9			83.8		3.1		47.0		1.7	
EPB												réduction de 2.5 à 2.2		22 348	19.5		0.9		26.1		1.2	
												réduction de 2.5 à 1.9			39.0		1.7		5.7		0.3	
TOTAL												réduction de 2.5 à 2.2		107 591	109.1		1.0		98.5		0.9	
												réduction de 2.5 à 1.9			218.1		2.0		147.6		1.4	

¹ Le coût de remplacement comprend: les coûts de récolte de cônes, de coordination régionale, d'aménagement des sources, du traitement des cônes et les bénéfices marginaux de ces opérations. Le coût/kplants est obtenu ainsi: coût/ksv X facteur d'ensemencement X facteur de sécurité.

² Suite au taux d'occupation obtenu.

³ Selon les prix payés à l'OPPFQ en 2004.

⁴ % de cavités vides supplémentaires multiplié par le prix/kplants livrés (calculé lorsque le taux d'occupation est inférieur à 97%).

⁵ % de cavités vides à éclaircir à un facteur à 2,5 moins le % à éclaircir selon le facteur à l'essai (valide en autant que le coûts varient proportionnellement à la réduction du nombre d'alvéoles à éclaircir).

¹ Le coût de remplacement comprend: les coûts de récolte de cônes, de coordination régionale, d'aménagement des sources, du traitement des cônes et les bénéfices marginaux de ces opérations. Le coût/kplants est obtenu ainsi: coût/ksv X facteur d'ensemencement X facteur de sécurité.

² Suite au taux d'occupation obtenu.

³ Selon les prix payés à l'OPPFQ en 2004.

⁴ % de cavités vides supplémentaires multiplié par le prix/kplants livrés (calculé lorsque le taux d'occupation est inférieur à 97%).

⁵ % de cavités vides à éclaircir à un facteur à 2,5 moins le % à éclaircir selon le facteur à l'essai (valide en autant que le coûts varient proportionnellement à la réduction du nombre d'alvéoles à éclaircir).