



**Institut Québécois d'Aménagement
de la Forêt Feuillue**

**Revue de littérature sur la caractérisation des semenciers de pin
blanc, chêne rouge, bouleau jaune et bouleau à papier**

Rapport produit et rédigé par :

Daniel Bouffard, B. Sc., M. Sc.

Présenté à :

Lise Guay

Denis Bouillon

Produits Forestiers Coulonge

U.G. 071 (Fort-Coulonge)

Juin 2001

Remerciements

Ce projet de revue de littérature sur la caractérisation des semenciers de pin blanc, chêne rouge, bouleau jaune et bouleau à papier a été réalisé grâce au Programme de Mise en Valeur du Milieu Forestier (Volet I) en association avec Les Produits Forestiers Coulonge et l'Unité de gestion de la Coulonge (U.G. 71). Je tiens à remercier en premier lieu Sylvie Souvaginski pour son empressement à nous fournir les articles scientifiques nécessaires à l'élaboration de cette revue de littérature. Je remercie également Éric Forget et Philippe Nolet pour leurs précieux conseils prodigués lors de la rédaction du présent document. Enfin, l'auteur tient à remercier spécialement Pascale Sabbagh pour la révision du texte.

Tables des matières

Liste des tableaux	1
Introduction	3
1. Traits biologiques liés aux semences	5
1.1 Caractérisation des semences	5
1.1.1 Poids, dimensions et autres caractéristiques des fruits ou graines	5
1.1.1.1 Le bouleau jaune	5
1.1.1.2 Le bouleau à papier	8
1.1.1.3 Le chêne rouge	9
1.1.1.4 Le pin blanc	9
1.1.2 Taux de germination, viabilité germinative et longévité des graines	11
1.1.2.1 Le bouleau jaune	11
1.1.2.2 Le bouleau à papier	14
1.1.2.3 Le chêne rouge	16
1.1.2.4 Le pin blanc	16
1.2 Production des semences	18
1.2.1 Âge minimum et optimum pour la reproduction	18
1.2.2 Fréquence des bonnes années semencières	20
1.2.2.1 Le bouleau jaune	20
1.2.2.2 Le bouleau à papier	23
1.2.2.3 Le chêne rouge	24
1.2.2.4 Le pin blanc	24
1.2.3 Quantification de la production semencière	26
1.2.3.1 Le bouleau jaune	26
1.2.3.2 Le bouleau à papier	29
1.2.3.3 Le chêne rouge	30
1.2.3.4 Le pin blanc	31
1.2.4 Prédation de fruits et de graines	33
1.2.5 Le sol et sa banque de graines	35
1.2.6 Comment prévoir une bonne année semencière	37
1.3 Dispersion des semences	39
1.3.1 Le bouleau jaune	39
1.3.2 Le bouleau à papier	42
1.3.3 Le chêne rouge	43

1.3.4 Le pin blanc	44
1.4 Les semenciers et le parterre de coupe	45
2. Comment choisir les arbres semenciers chez les essences feuillues nobles.....	49
2.1 État phytosanitaire	51
2.1.1 Résistance au climat.....	51
2.1.2 Résistance aux maladies et insectes	51
2.1.3 Autres critères de sélection.....	52
2.2 Structure de l'arbre	53
2.2.1 Fût.....	53
2.2.1.1 Verticalité et absence de courbure	53
2.2.1.2 Forme arrondie du fût.....	53
2.2.1.3 Défilement du fût.....	54
2.2.1.4 Fourches	54
2.2.1.5 Sens des fibres	55
2.2.1.6 Écorce.....	55
2.2.2 Cime	56
2.2.2.1 Dominance apicale.....	56
2.2.2.2 Finesse des branches	56
2.2.2.3 Angle d'insertion des branches	57
2.2.2.4 Élagage naturel.....	57
2.2.2.5 Longueur, largeur et densité de la cime	58
2.3 Autres critères de sélection.....	59
2.3.1 Croissance	59
2.3.2 Âge.....	59
2.3.3 Production de semences	60
2.3.4 Compétition	61
2.4 La prépondérance de certains critères de sélection.....	61

Liste des tableaux

Tableau 1a Auto-écologie du bouleau jaune, du bouleau à papier, du chêne rouge et du pin blanc	6
Tableau 1b Auto-écologie du bouleau jaune, du bouleau à papier, du chêne rouge et du pin blanc	6
Tableau 2 Période de floraison, durée du cycle reproducteur, appellation des fruits et longueurs moyennes des cônes, des glands et des graines.....	7
Tableau 3 Nombre moyen de graines, de graines viables et poids moyen par graine observés au Québec par le Centre de Semences Forestières de Berthier (CSFB).....	8
Tableau 4 Taux moyen de germination en laboratoire et durée moyenne de conservation des graines en entreposage au Centre de Semences Forestières de Berthier (CSFB).....	11
Tableau 5 Production semencière, poids moyen par graine et faculté germinative du bouleau à papier lors de trois années successives dans un peuplement de 70 ans localisé dans la partie est de l'État du Maine	15
Tableau 6 Évolution du taux de germination des graines du bouleau à papier au cours de trois années successives dans la forêt expérimentale de Penobscot (près d'Orono) dans le Maine	15
Tableau 7 Âge du début de la reproduction sexuée, âge optimal pour la production de semences et intervalle entre deux bonnes années semencières.....	19
Tableau 8 Pourcentage des bonnes (et très bonnes), des moyennes et des mauvaises années semencières pour quatre espèces du nord-est du Wisconsin entre 1949 et 1974.....	21
Tableau 9 Caractérisation des années semencières pour le bouleau jaune, le bouleau à papier, le chêne rouge et le pin blanc dans le nord-est du Wisconsin entre 1949 et 1974.....	22
Tableau 10 Nombre moyen de graines pleines par cône ou par fruit selon la littérature et nombre moyen de graines pleines extraites par cône ou par fruit au Centre de Semences Forestières de Berthier.....	27
Tableau 11 Volume et nombre moyens de cônes ou de fruits par semencier lors d'une fructification abondante (Centre de Semences forestières de Berthier).....	27
Tableau 12 Nombre moyen de graines viables par semencier lors d'une fructification abondante (Centre de Semences Forestières de Berthier).....	27
Tableau 13 Production totale de graines, nombre de graines viables et efficacité de la production chez le bouleau jaune, entre 1988 et 1994, dans un site situé à l'intérieur de la réserve écologique Tantaré au Québec	28
Tableau 14 Production totale de graines de bouleau à papier par classe de qualité et par année dans la forêt expérimentale de Penobscot (près d'Orono) dans le Maine	29
Tableau 15 Influence de la densité du peuplement sur la production de semences chez le pin blanc	32

Tableau 16 Pourcentage des années semencières où la production est similaire entre l'érable rouge (maturation printanière) et les quatre espèces étudiées (maturation automnale) dans le nord du Wisconsin entre 1949 et 1974.....	38
Tableau 17 Période et mode de dispersion des semences de bouleau jaune, de bouleau à papier, de chêne rouge et de pin blanc	39
Tableau 18 Suivi dans le temps de la dispersion des graines de bouleau à papier dans différents sites expérimentaux situés aux États-Unis	42
Tableau 19 Nombre minimum de semenciers à laisser à l'hectare en fonction de la production moyenne de graines et de la distance de dispersion chez le bouleau jaune, le bouleau à papier, le chêne rouge et le pin blanc	46

Introduction

Les coupes de régénération telles que la coupe progressive d'ensemencement et la coupe de jardinage avec parquets de régénération ont pour objectifs de favoriser l'établissement d'une régénération adéquate chez les espèces désirées. De telles coupes sont utilisées pour régénérer des espèces peu tolérantes ou semi-tolérantes à l'ombre, par exemple le pin blanc (*Pinus strobus* L.), le chêne rouge (*Quercus rubra* L.) et le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton). L'obtention d'une régénération adéquate dépend de plusieurs facteurs, dont la quantité et la qualité des semences.

Pour maximiser le succès de la coupe de régénération, il est essentiel de bien connaître les caractéristiques à favoriser chez les semenciers laissés sur le parterre de coupe afin d'assurer une forte production de graines, de transmettre un potentiel génétique de qualité à la régénération et, possiblement, de préserver les individus présentant une résistance inscrite génétiquement à différents pathogènes.

La transmission d'un meilleur bagage génétique à la prochaine génération, chez les essences à bois noble, par le choix de semenciers de grande qualité a comme but premier d'améliorer la forme des arbres. Conséquemment, l'atteinte de cet objectif entraînera une augmentation de la qualité des bois et par le fait même, un accroissement des revenus (Clausen, 1973 ; Zobel et Talbert, 1983). Dans un second temps, la sélection de semenciers supérieurs procure à la régénération à venir un gain en croissance permettant aux espèces ciblées de se libérer plus rapidement de la végétation compétitrice et ainsi de raccourcir le temps de rotation.

L'emphase mis de nos jours sur l'amélioration génétique des essences à bois noble découle d'un constat unanime sur le piètre état actuel de nos forêts feuillues ou mixtes, particulièrement en ce qui concerne la qualité des bois chez le bouleau jaune, le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.), le chêne rouge ou encore le pin blanc. M. André Rainville de la Direction de la recherche forestière au MRN résume assez bien la situation dans un rapport datant de 1995 : "Depuis 40 à 50 ans, les forêts feuillues ont été appauvries par de nombreuses coupes d'écramage

(Davidson, 1989). Elles sont généralement dégradées et peuvent difficilement répondre aux besoins des utilisateurs de bois feuillus de qualité. La rareté croissante, voir la disparition, de ces bois de qualité au Québec est apparente (Déry, 1989). D'ailleurs actuellement, l'industrie du sciage de bois feuillus et les fabricants de meubles au Québec doivent importer la quasi totalité de leur matière première des Etats-Unis puisque les bois de qualité ne sont plus disponibles ici. Dans un contexte de mondialisation des marchés, il est crucial d'améliorer notre compétitivité. L'approvisionnement de l'industrie québécoise par des sources locales de bois est une façon de réduire ses coûts de production qui lui permettra de mieux concurrencer ses compétiteurs étrangers. L'état actuel de dégradation des forêts feuillues naturelles suscite des interrogations quant à l'effet des traitements sylvicoles sur la qualité du bois qui en résultera ; quoiqu'il en soit, nous sommes bien conscients qu'il faudra une longue période de traitements sylvicoles pour obtenir des arbres de qualité (Davidson, 1989)".

Cette revue de littérature a donc pour but, dans la mesure possible, de rassembler l'information disponible pour le bouleau jaune, le bouleau à papier, le chêne rouge et le pin blanc sur les points suivants : la caractérisation des semences (poids, dimension, taux de germination et longévité) ; la production des semences (âge, fréquence des bonnes années semencières, quantification de la production, prédation, banque de graines et prédiction) ; la dispersion des semences (moyen de dispersion, période et distance parcourue) ; le nombre de semenciers à laisser par hectare sur le parterre de coupe et; les caractéristiques à favoriser dans le processus de sélection des semenciers.

1. Traits biologiques liés aux semences

1.1 Caractérisation des semences

Les données qui caractérisent les semences ou les fruits du bouleau jaune, du bouleau à papier, du chêne rouge et du pin blanc sont abondantes dans la littérature scientifique. Toutefois, le manque d'uniformité entre ces données rend pratiquement impossible la réalisation d'une synthèse à la fois claire et précise. Pour pallier cette situation, nous mettrons donc dans cette section l'accent sur les valeurs observées au Québec par le Centre de Semences Forestières de Berthier (CSFB) et sur quelques résultats provenant de l'Ontario et des États-Unis à des fins comparatives. Avant d'aborder cette section, il est opportun de mentionner que les tableaux 1a et 1b contiennent, à titre informatif, quelques données sur l'auto-écologie du bouleau jaune, du bouleau à papier, du chêne rouge et du pin blanc.

1.1.1 Poids, dimensions et autres caractéristiques des fruits ou graines

1.1.1.1 Le bouleau jaune

Le tableau 2 contient des informations intéressantes sur les quatre essences de bois noble concernées par cette revue de littérature, telles que la période de floraison, la durée du cycle de reproduction, l'appellation des fruits, la longueur moyenne des fruits et la longueur moyenne des graines. En ce qui concerne le bouleau jaune, la longueur moyenne des fruits au Québec varie entre 1.9 et 3.2 cm et la longueur moyenne des graines, ailes non comprises, entre 3 et 4 mm (MRN, 1995). Greene et Johnson (1997) estiment la superficie moyenne d'une graine, ailes comprises, à 0.14 cm².

Tableau 1a **Auto-écologie du bouleau jaune, du bouleau à papier, du chêne rouge et du pin blanc**¹

Espèce	Besoins au niveau du sol		Lit de germination	Tolérance à l'ombre
	Humidité	Quantité de nutriments		
Bouleau jaune	Modérée à élevée	Moyenne à élevée	Humus, sol minéral ou mélange des deux	Peu tolérant
Bouleau à papier	Modérée	Moyenne	Humus, sol minéral ou mélange des deux	Très intolérant
Chêne rouge	Faible à modérée	Moyenne	Sol minéral humide, couche de litière mince	Peu tolérant
Pin blanc	Faible	Faible	Sol minéral humide, mélange humus-sol minéral, horizon organique brûlé, mince couche de mousse <i>Polytrichum</i> sp.	Peu tolérant

1/Données tirées de Leak *et al.* (1987), OMNR (1998) et MRN (1998).

Tableau 1b **Auto-écologie du bouleau jaune, du bouleau à papier, du chêne rouge et du pin blanc**

Espèce	Croissance relative en bas âge	Élagage naturel	Susceptibilité au broutage	Capacité à produire des rejets
Bouleau jaune	Modérée	Moyen	Élevée	Faible
Bouleau à papier	Rapide	Bon	Moyenne	Modérée sur tiges de petit diamètre
Chêne rouge	Modérée	Moyen	Moyenne à élevée	Élevée pour les gourmands
Pin blanc	Lente à modérée	Faible	Faible	Aucune

1/ Données tirées de Leak *et al.* (1987), OMNR (1998) et MRN (1997).

Tableau 2 Période de floraison, durée du cycle reproducteur, appellation des fruits et longueurs moyennes des cônes, des glands et des graines¹

Espèce	Période de floraison			Durée du cycle de reproduction		Appellation des fruits	Longueur moyenne des fruits		Longueur moyenne des graines	
	Début (mois)	Fin (mois)	Référence	Année	Référence		Centimètre	Référence	Millimètre	Référence
Bouleau jaune	Mai	-	(78)	2	(118)	Strobile	1.9-3.2	(78)	3-4	(78)
Bouleau à papier	Mai	-	(78)	2	(118)	Strobile	3-4	(78)	1-2	(78)
Chêne rouge	Avril	Mai	(78)	3	(118)	Gland	3-4	(78)	-	-
Pin blanc	Fin mai	Fin juin	(78)	3	(118)	Cône	12-18	(78)	5-7	(78)

¹/Données tirées de MRN (1995).

En ce qui concerne les données provenant du CSFB pour la longueur des graines de bouleau jaune, elles correspondent à celles rapportées par Erdmann (1990), soit 3.2 à 3.5 mm, ainsi que par Houle et Payette (1990), soit 3.5 à 4.0 mm. Les graines de cette espèce sont qualifiées de légères (Bjorkbom *et al.*, 1965 ; Brinkman, 1974 ; Erdmann, 1990), avec un poids qui oscille autour de 1.2 mg (Tableau 3), valeur similaire à celles observées par Godman et Mattson (1976), Greene et Johnson (1997) et Harlow et Harrar (1969). Le nombre moyen de graines par kilogramme de graines mesurées au CSFB est de 844 500, alors que le nombre moyen de graines viables est de 336 210 (Tableau 3). Enfin, deux publications américaines rapportent un nombre de graines pour chaque kilogramme de graines compris entre 611 600 et 1 995 400 avec une moyenne de 990 000 (USDA Forest Service, 1948 et 1969).

Tableau 3 **Nombre moyen de graines, de graines viables et poids moyen par graine observés au Québec par le Centre de Semences Forestières de Berthier (CSFB)**

Espèce	Par kilogramme de graines		
	Nombre de graines	Nombre de graines viables	Poids moyen/ graine (g)
Bouleau jaune	844 500	336 210	0.0012
Bouleau à papier	1 439 360	460 230	0.0007
Chêne rouge ¹	280	230	3.5714
Pin blanc	57 320	34 010	0.0174

¹/ Les données sur le chêne rouge proviennent de Young et Young (1992) et les données sur les autres espèces de MRN (1995).

1.1.1.2 Le bouleau à papier

Le bouleau à papier produit des graines encore plus légères que le bouleau jaune (Brinkman, 1974 ; OMNR, 1998 ; Safford *et al.*, 1990) puisqu'elles pèsent en moyenne autour de 0.7 mg selon le CSFB (Tableau 3). La valeur rapportée par Brinkman (1974) et Greene et Johnson (1997) est de 0.6 mg. Cependant, Bjorkbom *et al.* (1965) observent un poids moyen qui compris entre 0.29 et 0.37 mg (Tableau 5). La longueur moyenne des fruits varie entre 3 et 4 cm et celle

des graines entre 1 et 2 mm (Morissette *et al.*, 1995 ; Qi et Scarratt, 1998). Greene et Johnson (1997) mentionnent que la superficie d'une graine du bouleau à papier, ailes comprises, est d'environ 0.11 cm². Le nombre moyen de graines par kilogramme de graines mesuré au CSFB est de 1 439 360, alors que le nombre moyen de graines viables est de 460 230 (Tableau 3). Un rapport du USDA Forest Service de 1948 indique une production de semences chez le bouleau à papier variant entre 1 342 000 et 9 064 000 graines par kilogramme avec une moyenne de 3 036 000.

1.1.1.3 Le chêne rouge

Selon OMNR (1998), la qualité du site influence fortement la dimension moyenne des glands chez le chêne rouge. Les sites de meilleure qualité produisant les glands de plus grande dimension (Houle, 1994). La dimension des fruits du chêne rouge dépend également de leur position sur les branches et de la position hiérarchique des branches. La dimension des glands augmente plus on s'approche de l'extrémité des branches, c'est-à-dire près des feuilles (source de nourriture via la photosynthèse), et diminue lorsque l'ordre hiérarchique des branches s'accroît (Kormanik *et al.*, 1998). Les travaux de Kormanik *et al.* (1998b) démontrent que la hauteur des semis est corrélée à la dimension des glands. Toutefois, une graine de bonne dimension ne donne pas nécessairement un semis de taille respectable (Kormanik *et al.*, 1998 ; Kormanik *et al.*, 1998b).

Selon le CSFB, les glands du chêne rouge pèsent en moyenne 3.57 g et mesurent 3 à 4 cm (Tableaux 2 et 3). Godman et Mattson (1970) signalent un poids similaire avec 3.64 g. On trouve en moyenne 280 fruits par kilogramme, dont 230 sont viables (Young et Young, 1992).

1.1.1.4 Le pin blanc

Graber (1970) observe dans un peuplement de pin blanc, au sud-ouest du Maine, que le poids des graines récoltées au sol après leur chute évolue dans le temps. Il remarque que les graines les plus lourdes tombent à la fin de septembre (63 140 par kg). À partir de ce moment, la moyenne

du poids des graines diminue de 6% par semaine, ce qui résulte en une augmentation du nombre de graines par kilogramme. À la mi-novembre, la moyenne du nombre de graines viables par kilogramme est de 99 000. Toutefois, la majorité des graines étant tombées avant la mi-octobre, la moyenne pour l'ensemble de la saison est voisine de 68 200 graines viables par kilogramme.

Les cônes du pin blanc mesurent en moyenne entre 12 et 18 cm et les graines entre 5 et 7 mm (MRN, 1995). Les graines, ailes comprises, atteignent 2 cm (Vlasiu *et al.*, 2000). D'après Farrar (1996), la longueur des cônes du pin blanc varie plutôt entre 8 et 20 cm. Selon le CSFB, le nombre moyen de graines produit par kilogramme est de 57 300 et le poids unitaire moyen par graine est de 17.4 mg (Tableau 3). Barnett et Baker (1991) rapportent un poids unitaire similaire avec 17 mg, alors que Horton et Brown (1960) observent une production semblable par kilogramme de 58 400 graines. Enfin, une étude de Genys (1990) au Maryland, englobant une centaine de provenances canadienne et américaine de semences de pin blanc, montre une variation du poids unitaire moyen comprise entre 13 et 32 mg.

1.1.2 Taux de germination, viabilité germinative et longévité des graines

Le taux de germination (ou faculté germinative) et la longévité des graines sont deux paramètres difficiles à caractériser à l'aide de la littérature scientifique puisqu'on y retrouve des estimations forts différentes. Cette variation importante observée pour le taux de germination et la longévité des graines pour une même espèce peut s'expliquer entre autres par la variation dans l'espace (inter et intra-peuplement) et dans le temps (inter-annuelle), ainsi que par le procédé utilisé pour mesurer ces paramètres (méthodologie de laboratoire ou dispositif en milieu naturel).

1.1.2.1 Le bouleau jaune

La germination du bouleau jaune nécessite une période de stratification (OMNR, 1998). Cette stratification sert à briser la période de dormance qui empêche les graines de germer prématurément lors de périodes anormalement chaudes durant l'hiver. Le taux moyen de germination des graines du bouleau jaune n'est pas très élevé en milieu naturel, environ 20%, et cela même lors d'une bonne année semencière (Erdmann, 1990). Le CSFB rapporte un taux de germination en laboratoire de 44%, obtenu avec la méthode du germoir (Tableau 4).

Tableau 4 **Taux moyen de germination en laboratoire et durée moyenne de conservation des graines en entreposage au Centre de Semences Forestières de Berthier (CSFB)¹**

Espèce	Taux moyen de germination		Durée de conservation des graines en entreposage	
	%	Méthode	Année	Référence
Bouleau jaune	44	Gerموir	10	(124)
Bouleau à papier	32	Gerموir	10	(124)
Chêne rouge	83	Rayons X, Coupe	0	(124)
Pin blanc	60	Gerموir	5-10	(124)

1/ Données tirées de MRN (1995).

Toujours en laboratoire, une publication du USDA Forest Service (1948) signale un taux de germination de 27% pour le bouleau jaune sur sol sableux. Dans le guide intitulé "A silvicultural guide for the tolerant hardwood forest in Ontario", une faculté germinative variant entre 30 et 60% est mentionnée pour le bouleau jaune, avec des valeurs plus élevées lors d'une bonne année semencière. Selon ce guide, les principales causes responsables du faible taux de germination observé chez les différentes essences de bouleau sont le gel tardif des fructifications et la stérilité des fruits induite par la parthénocarpie. Cette dernière se définit comme étant la formation d'un fruit sans semences viables due à l'absence de pollinisation, de fécondation ou encore à la mort de l'embryon au cours des premiers stades de développement. Erdmann (1990), quant à lui, rapporte des taux de germination de plus de 90 % en laboratoire lors d'une bonne année semencière.

Clausen (1973) n'observe aucune perte de viabilité germinative en laboratoire chez les graines de bouleau jaune après quatre ans d'entreposage. La viabilité germinative est l'aptitude d'une graine à germer et à se développer dans des conditions de milieu normales. Clausen (1975) observe encore un taux de germination de 65% après plus de huit ans d'entreposage des semences. Le CSFB rapporte une durée de dix ans pour la conservation des graines de bouleau jaune (MRN, 1995). De fait, ces dernières ont une capacité à différer leur germination sur plusieurs années, avec toutefois une diminution assez importante de leur viabilité germinative (Houle, 1991 ; Houle, 1992 ; Leak *et al.*, 1987 ; Marquis, 1975 ; Qi et Scarrat, 1998).

La viabilité germinative fluctue fortement d'une année à l'autre. Cette variation est généralement occasionnée par les conditions climatiques présentes lors de la pollinisation, de la fertilisation et du développement des fructifications (Erdmann, 1990 ; Jonsson, 1974). D'autres facteurs tels que la prédation, diverses maladies et la parthénocarpie peuvent aussi expliquer une faible viabilité germinative. En outre, la viabilité germinative des semences de bouleau jaune varie selon la localité, le peuplement et les individus à l'intérieur du peuplement (Erdmann, 1990). Une faible viabilité germinative est généralement associée à mauvaise année semencière (Erdmann, 1990 ; OMNR, 1998). Les graines dotées d'une plus grande viabilité germinative tombent généralement

plus tôt en automne et plus près de l'arbre-mère (OMNR, 1998). Ce dernier point suggère que la viabilité germinative des graines est positivement corrélée à leur poids.

L'étude de Houle et Payette (1990) réalisée à la réserve écologique Tantaré (Québec) et portant sur les années 1988 et 1989, souligne que la viabilité germinative des graines de bouleau jaune disséminées augmente du mois d'août au mois de novembre. À titre d'exemple, la viabilité germinative des graines du bouleau jaune, faible au mois d'août 1988 (3%), augmente au fur et à mesure de la saison pour atteindre un sommet (74.4%) à la fin du mois d'octobre, au moment de la dispersion maximale. L'augmentation de la viabilité germinative au cours de la saison est accompagnée par d'une diminution de la proportion de graines vides (ovules non fertilisés). Selon Houle et Payette (1990), la dissémination des semences vides, occasionnée la plupart du temps par de forts vents (lesquels reflètent probablement des patrons saisonniers), a lieu bien avant la chute des graines pleines ou fécondes. En ce qui concerne la période automnale, la viabilité germinative des graines diffère significativement entre 1988, bonne année semencière (viabilité germinative de 53%), et 1989 qui fut une mauvaise année semencière (viabilité germinative de 20%). Les différences annuelles au niveau de la viabilité germinative observées par Houle et Payette (1990) divergent de celles mesurées par Hughes et Fahey (1988) à la forêt de Hubbard Brook au New Hampshire, ces derniers faisant état de 30% et 34 % de viabilité germinative pour une bonne et une mauvaise année semencière respectivement. Enfin, Houle (1994) rapporte une viabilité germinative chez les graines de bouleau jaune de 36.1% pour l'année 1989 et de 7.3% en 1990 dans une forêt feuillue secondaire près de Trois-Rivières au Québec.

À la réserve écologique Tantaré, Houle et Payette (1990) observent que 30% des graines disséminées durant l'automne 1988 étaient vides (bonne année semencière), comparativement à 71% lors de l'automne 1989 (mauvaise année semencière). Ces auteurs associent la mauvaise production semencière de 1989 à un dysfonctionnement à la fois des organes reproducteurs femelles et des organes reproducteurs mâles, qui conduit à un faible nombre de péricarpes produits et d'ovules fertilisés. Par ailleurs, Houle (1992) rapporte que la viabilité germinative des

graines de bouleau jaune placées sous la litière en milieu forestier chute de 67% à 42% après 8 mois, à 3% après 20 mois et à 0% après 32 mois.

1.1.2.2 Le bouleau à papier

La germination de semences du bouleau à papier nécessite une période de stratification (OMNR, 1998). Comme pour le bouleau jaune, le taux de germination des graines du bouleau à papier varie d'une année à l'autre, d'une localité à l'autre et d'un individu à l'autre (Safford *et al.*, 1990). En général, une bonne année semencière correspond aussi à un meilleur taux de germination (Brinkman, 1974). Il existe des exceptions : Zasada (1981) mentionne l'existence d'individus produisant régulièrement une bonne quantité de semences avec des taux de germination inférieurs à 10%.

La capacité des graines du bouleau à papier à germer en milieu naturel peut s'étendre sur deux ans (délai de germination), avec toutefois une forte diminution de la viabilité germinative (OMNR, 1998). Archibold (1980) rapporte que 50% des graines germent la première année et seulement 16% lors de la seconde année. Selon le CSFB, l'entreposage de semences de bouleau à papier dans de bonnes conditions peut se faire sur une assez longue période avec seulement une légère perte de viabilité germinative (Clausen, 1975 ; Safford, 1981). Selon Bjorkbom *et al.* (1965), le taux de germination semble positivement corrélé au poids des graines mais aussi à l'abondance de la production. Ces auteurs mentionnent également que la vigueur germinative est élevée lors d'une bonne année semencière, ce qui se traduit par une période de germination hâtive et moins étalée dans le temps (Tableau 5).

Tableau 5 Production semencière, poids moyen par graine et faculté germinative du bouleau à papier lors de trois années successives dans un peuplement de 70 ans localisé dans la partie est de l'État du Maine¹

Année	Production semencière (Nombre de graines par hectare)	Poids moyen/graine (mg)	Faculté germinative (%)
1958	3 211 000	0.30	13
1959	1 976 000	0.29	24
1960	41 496 000	0.37	77

1/ Données tirées de Bjorkbom *et al.* (1965).

Le CSFB indique un taux de germination de 32% en germoir pour les graines du bouleau à papier (Tableau 4). Qi et Scarratt (1998) observent que la germination des graines fraîchement collectées est généralement élevée en laboratoire, avec des taux de 65% en septembre, de 70% en novembre, de 56% en mai, et de 42% lors du mois de septembre suivant. Safford *et al.* (1990) observent une tendance similaire, avec un meilleur taux de germination pour les graines qui tombent plus tard en automne et en hiver. Les données provenant de Bjorkbom *et al.* (1965) confirment cette tendance au cours de trois années successives dans un peuplement de 70 ans localisé dans l'est du Maine et où le bouleau à papier domine (Tableau 6).

Tableau 6 Évolution du taux de germination des graines du bouleau à papier au cours de trois années successives dans la forêt expérimentale de Penobscot (près d'Orono) dans le Maine¹

Mois	Années semencières		
	1964	1965	1966
	Taux de germination (%)	Taux de germination (%)	Taux de germination (%)
Août	27	48	43
Septembre	34	55	45
Octobre	40	69	69
Novembre	63	67	72
Décembre jusqu'au printemps	77	65	68
Moyenne	49	65	64

1/ Données tirées de Bjorkbom (1971).

À titre d'exemple, le taux de germination passe de 43% en août à 72% en novembre lors de l'année 1966. Les résultats d'une étude de Bjorkbom (1971) montrent que les graines non viables de bouleau à papier représentent 14 à 47% de la production semencière.

1.1.2.3 Le chêne rouge

La germination de semences du chêne rouge nécessite une période de stratification (OMNR, 1995). La germination des glands s'effectue majoritairement lors du printemps suivant la chute des fruits (Sander, 1990). Elle est optimale lorsque les glands sont en contact ou enfouis dans le sol minéral et recouverts d'une mince couche de litière (Sander, 1990). Une exposition trop prononcée au soleil ou encore une période de sécheresse trop longue en début de saison entraîne une diminution rapide de la viabilité des graines (Karlsson, 2000 ; Qi et Scarrat, 1998). Selon Kormanik *et al.* (1998), les glands plus volumineux ont une faculté germinative, une vigueur germinative et un développement racinaire supérieurs aux glands de plus faibles dimensions récoltés chez un même arbre. Les graines possédant une vigueur germinative élevée germent plus tôt ; les semis issus de ces graines ont le temps de s'établir avant l'arrivée des périodes de sécheresse estivales et l'augmentation des températures (Bjorkbom *et al.*, 1965). Le taux de germination observé en laboratoire au CSFB est de 83%. La longévité des graines en milieu naturel ou en entreposage est de moins d'un an ; il n'y a donc pas de germination différée pour cette espèce (Leak *et al.*, 1987 ; MRN, 1995 ; OMNR, 1998).

1.1.2.4 Le pin blanc

La germination des semences du pin blanc nécessite également une période de stratification (Vlasiu *et al.*, 2000 ; Wendell et Smith, 1990). Une publication du USDA Forest Service (1948) rapporte un taux de germination mesuré en laboratoire très variable pour le pin blanc, compris entre 0 et 96% avec une moyenne de 64%. La présence de graines non viables, fréquemment observée chez les conifères, est due à une mauvaise pollinisation induite par une faible densité du pollen (Elliot, 1979) ou à une accessibilité restreinte aux extrémités des fructifications femelles (Owens et Molders, 1980). Wilson et McQuilkin (1963) mentionnent que les graines lourdes

germent mieux que les graines légères. La longévité des graines ne dépasse généralement pas une année et aucun phénomène de germination différée n'est observé (Leak *et al.*, 1987 ; OMNR, 1998). Graber (1970) rapporte que la viabilité germinative des graines de pin blanc est supérieure lors des années de forte production. À titre d'exemple, 1965 correspond à une bonne année semencière avec une viabilité germinative de 86.7%, comparativement en 1968 où la production est moindre (viabilité germinative de 73.4%). Graber (1970) mentionne également que la période où la dispersion est maximale correspond à la viabilité germinative la plus élevée. Lors de cette étude, la viabilité évolue de la façon suivante au cours de l'année 1965: 20% la première semaine de septembre, un maximum de 93.6% lors de la quatrième semaine de septembre et finalement 10% à la fin de novembre.

1.2 Production des semences

1.2.1 Âge minimum et optimum pour la reproduction

Le ratio âge/hauteur est un paramètre qui caractérise assez bien le début de la production de semences chez un arbre ou chez une espèce. Selon Sedgley et Griffin (1989), un diamètre minimum est requis pour la production de semences. Ainsi, les espèces à croissance rapide, comme le bouleau à papier, atteignent plus rapidement le stade reproductif, en particulier sur les sites de bonne qualité (Greene *et al.*, 1999). La maturité sexuelle dépend aussi du statut social de la tige. Plus précisément, Greene *et al.* (1999) mentionnent que l'initiation de la reproduction dépend moins du diamètre de la cime que de celle de ses voisins immédiats. Selon ces mêmes auteurs, la dimension de la cime, qui reflète la quantité d'hydrate de carbone disponible pour la reproduction, est un meilleur critère que le diamètre pour estimer la capacité reproductive d'un individu.

La majorité des publications s'accordent sur l'âge minimum (âge rentable économiquement pour effectuer une cueillette de fruits ou de cônes) et l'âge optimum pour la production de semences chez le bouleau jaune, le bouleau à papier, le chêne rouge et le pin blanc. Les données concernant ces deux paramètres, ainsi que les références correspondantes, sont rassemblées dans le tableau 7. En milieu naturel, il ne semble pas y avoir, une très grande variabilité pour ces deux paramètres, et ce même entre des régions géographiques différentes (Etats-Unis, Ontario et Québec).

Tableau 7 **Âge du début de la reproduction sexuée, âge optimal pour la production de semences et intervalle entre deux bonnes années semencières**

Espèce	Reproduction sexuée				Intervalle entre deux bonnes années semencières	
	Début		Optimum			
	Âge	Référence	Âge	Référence	Année	Références
Bouleau jaune	40	(29,38,48,81,118)	70	(38)	2 ou 3	(21,30,48,65,82,118)
Bouleau à papier	15	(93,107,118)	40-70	(93)	2	(6,63,81,93,107,111,118)
Chêne rouge	25	(81,118)	50-75	(81,94)	3-5	(63,111,118)
Pin blanc	10-20	(39,82,118)	50-150	(82,113)	3-10	(82,109,110,111,113,118)

1.2.2 Fréquence des bonnes années semencières

1.2.2.1 Le bouleau jaune

L'avènement d'une bonne année semencière chez le bouleau jaune se produit en moyenne à tous les 2 à 3 ans (Tableau 7). Une bonne année semencière se définit comme étant une année où l'on retrouve des cônes ou des fruits sur plus de 50% des arbres (Masse, 1992). Certaines études utilisent un seuil légèrement différent de 50%. À titre d'exemple, un seuil de 60% a été utilisé par Godman et Mattson (1976) dans le nord-est des États-Unis.

Au Québec, une production abondante de semences chez le bouleau jaune semble avoir lieu tous les deux ans (SCF, 1983; Young et Young, 1992). Godman et Mattson (1976) rapportent pour l'État du Wisconsin une bonne année semencière toutes les 2.6 années, avec une attente maximale de 4 ans entre deux bonnes années semencières. Pour l'ensemble des États-Unis, ces auteurs signalent qu'une bonne année semencière se produit en moyenne tous les 1 à 2 ans. Selon Marquis (1975), une production abondante de semences chez le bouleau jaune se manifeste tous les 2 à 3 ans dans le Maine et tous les 3 ans en Ontario, tandis que la périodicité des bonnes années semencières est estimée à 3 par période de dix ans par OMNR (1998).

Une production exceptionnelle de semences (bumper year en anglais) est un phénomène assez rare chez la plupart des espèces mais plus fréquent chez le bouleau jaune. Le guide sylvicole des forêts feuillues à espèces tolérantes du Ministère des Ressources Naturelles de l'Ontario mentionne qu'une telle production se manifeste en moyenne à tous les dix ans. Une étude (très intéressante) de Godman et Mattson (1976), qui s'étale sur une période de 26 ans (1949-1974) à la forêt expérimentale d'Argonne au Wisconsin, révèle que la succession de deux bonnes années semencières consécutives chez le bouleau jaune n'est observée qu'à deux reprises durant cette période (Tableau 8). En revanche, la succession de deux mauvaises années consécutives (lesquelles comprennent aussi les années où il y a absence de production) est observée à trois reprises. Enfin, cette étude révèle que sur une période de 26 ans, une bonne année semencière est observée dans 38% des cas, une année semencière moyenne dans 19% des cas et une mauvaise

année semencière dans 43% des cas (Tableau 9). Erdmann (1990), lui, rapporte que la production de semences chez le bouleau jaune est faible ou même absente trois années sur cinq.

Tableau 8 Pourcentage des bonnes (et très bonnes), des moyennes et des mauvaises années semencières pour quatre espèces du nord-est du Wisconsin entre 1949 et 1974¹

Espèce	Nombre d'années avec observation	Répartition de l'intensité de la production semencière		
		Bonne année ² (%)	Moyenne année ³ (%)	Mauvaise Année ⁴ (%)
Bouleau jaune	26	38	19	43
Bouleau à papier	24	38	16	46
Chêne rouge ⁵	21	38	19	43
Pin blanc ⁵	26	39	15	46

1/ Données tirées de Godman et Mattson (1976).

2/ Bonnes années : 61 à 100% des arbres produisent des semences.

3/ Moyennes années : 36 à 60% des arbres produisent des semences.

4/ Mauvaises années : moins de 36% des arbres produisent des semences.

5/ Cycle de reproduction étalé sur deux années.

Les mauvaises années semencières résultent généralement d'un épisode de gel tardif au printemps, de conditions météorologiques inadéquates lors de la période de fertilisation, de pollinisation ou de maturation des fructifications, et ou du développement de maladies ou d'attaques par certaines espèces d'insectes. Une mauvaise année semencière peut aussi être liée à une proportion moins élevée d'arbres qui se reproduisent, ce qui se traduit par une pluie de pollen plus diffuse et un niveau d'auto-pollinisation plus élevé (Houle, 1999). Ces deux derniers points ont comme conséquences directes d'affecter le niveau de fertilisation et le développement embryonnaire (Houle, 1999). Ce constat s'applique également pour le bouleau à papier, le chêne rouge et le pin blanc.

Tableau 9 Caractérisation des années semencières pour le bouleau jaune, le bouleau à papier, le chêne rouge et le pin blanc dans le nord-est du Wisconsin entre 1949 et 1974¹

Espèce	Période couverte par l'étude																									
	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Bouleau jaune	A ³	S ³	M ³	F ³	B ³	M	B	F	M	M-B	S	S	A	B	M	B	F	A	S	A	F	F	S	A-F	A-F	B
Bouleau à papier	A	S	-	A	B	F	B	-	B	M-B	M	B	A	B	M	M	A	A	F	A	F	B	B	A	A-F	S
Chêne rouge ²	F	F	B	B	-	-	-	-	-	F	F	B	M	M	F	M	F	A	B	S	F	M	F	S	B	S
Pin blanc ²	F	B	F	F	B	F	F	F	B	F-M	S	B	A	F	M	M	F	M	B	F	B	B	M	A	B	S

1/ Données tirées de Godman et Mattson (1976).

2/ Cycle de reproduction étalé sur deux ans.

3/ S=surabondance : 91-100% des arbres ont produit des semences ; B=bonne : 61-90% des arbres ont produit des semences ; M=moyenne : 36-60% des arbres ont produit des semences; F=faible : 16-35% des arbres ont produit des semences; A=quasi absence : 0-15% des arbres ont produit des semences.

Comme la majorité des arbres se reproduisent lors d'une bonne année semencière, il en résulte une pluie de pollen plus abondante et génétiquement plus diversifiée, donc un niveau de pollinisation croisée plus élevé, à l'origine d'un meilleur taux de fertilisation des ovules et d'un nombre plus faible de graines avortées (Houle, 1999).

Les facteurs pré-cités expliquant la venue d'une bonne ou d'une mauvaise année semencière s'appliquent principalement aux espèces à pollinisation majoritairement anémophile (Kelly 1994; Smith *et al.*, 1990). Selon Houle (1999), de hautes températures combinées à de faibles précipitations lors du premier été du cycle reproductif sont corrélées à une bonne année semencière. Toujours selon ce dernier, ces conditions sont indicatrices de sécheresse au moment de l'initiation des bourgeons reproducteurs. Cependant, la production de semences chez le bouleau jaune est aussi négativement corrélée à des températures élevées tôt au printemps ou encore en août lors de l'année de maturation des fruits, ainsi qu'à des faibles précipitations pendant les mois de juillet et d'août au cours de la même période (Houle, 1999). Ces relations sont vraies autant pour la production totale de graines que pour le pourcentage de graines viables.

La distribution des graines de bouleau jaune sur le sol forestier est moins variable dans l'espace lors d'une bonne année semencière puisque la majorité des arbres produisent à ce moment-là des fruits ou des semences (Houle, 1999). En outre, Janzen (1971) signale qu'une production abondante de semences de bouleau jaune a l'avantage de laisser sur le sol un grand nombre de graines qui échappent aux prédateurs et aux maladies. La production totale de graines ou de semences viables varie passablement d'une année à l'autre pour le bouleau jaune, la variabilité inter-annuelle étant plus élevée pour la production de graines viables que pour la production totale (Houle, 1999).

1.2.2.2 Le bouleau à papier

Une bonne année semencière se produit habituellement tous les deux ans pour le bouleau à papier (Tableaux 8 et 9). Au Wisconsin, Godman et Mattson (1976) observent une bonne production de semences en moyenne toutes les 2.7 années, avec une attente maximale de 8 ans entre deux bonnes années semencières (Tableau 9). Pour l'ensemble du territoire américain, les mêmes

auteurs rapportent une bonne année semencière tous les 1 à 2 ans. Selon cette même étude, la succession de deux bonnes années semencières consécutives est observée à deux reprises entre 1949 et 1974, et la succession de deux mauvaises années semencières consécutives à cinq occasions (Tableau 9). De plus, le bouleau à papier a connu une période de cinq années consécutives de mauvaises productions entre 1949 et 1974. Au total, cette essence a produit une récolte abondante de semences dans 38% des cas, une production moyenne dans 16% des cas et une faible production dans 46% des cas de 1949 à 1974 (Godman et Mattson, 1976). En conclusion, il est important de mentionner qu'une surproduction semencière, événement très occasionnel chez le bouleau à papier, peut avoir un impact majeur sur son état de santé. Ce constat est similaire pour le bouleau jaune. Cette surproduction est souvent responsable d'une baisse importante de la croissance et de l'apparition d'une mortalité partielle de la cime.

1.2.2.3 Le chêne rouge

Une bonne année semencière chez le chêne rouge survient généralement tous les 3 à 5 ans (Tableau 8). En outre, OMNR (1998) rapporte pour l'Ontario une période de 2 à 10 ans. En ce qui concerne les Etats-Unis, Clark et Watt (1971) et Sander (1990) signalent, respectivement, une bonne année semencière tous les 4 à 5 ans et tous les 2 à 5 ans. Certaines années, la production de semences est inexistante (OMNR, 1995). Godman et Mattson (1976) signalent pour le Wisconsin une bonne année semencière tous les 2.6 ans, avec une attente maximale de 7 ans. Ces derniers rapportent aussi des valeurs de 2 à 5 ans pour l'ensemble des Etats-Unis et de 2 à 3 ans pour le Canada. Leur étude réalisée au Wisconsin révèle que la succession de deux bonnes années semencières consécutives est observée à trois occasions en 21 ans, et la succession de deux mauvaises années semencières consécutives à deux reprises (Tableau 9). 38% des années correspondent à une bonne production, 19% à une production moyenne et 43% à une mauvaise production (Godman et Mattson, 1976).

1.2.2.4 Le pin blanc

Une production abondante de semences chez le pin blanc se manifeste habituellement tous les 3 à 10 ans (Tableau 8). Plusieurs auteurs mentionnent même une périodicité de 3 à 5 ans (OMNR,

1998; Vlasiu *et al.*, 2000; Wendell et Smith, Wilson et McQuilkin, 1963). Une production surabondante a lieu tous les 10 à 12 ans (OMNR, 1998; Vlasiu *et al.*, 2000). Godman et Mattson (1976) rapportent pour l'état du Wisconsin une production abondante toutes les 2.4 années, avec une attente maximale de 6 ans. Les mêmes auteurs rapportent pour l'ensemble des États-Unis et du Canada une périodicité similaire de 3 à 4 ans. Une production abondante de graines chez le pin blanc lors de deux années consécutives s'est produite à deux reprises en 26 ans dans la forêt expérimentale d'Argonne au Wisconsin, et la succession de deux mauvaises années semencières à trois occasions (Tableau 9). Durant ce même laps de temps, une bonne production semencière a eu lieu dans 39% des cas, une production moyenne dans 15% des cas et une mauvaise production dans 46% des cas (Godman et Mattson, 1976).

Deux facteurs limitatifs importants impliqués lors d'une mauvaise année semencière sont la présence du scolyte des cônes du pin blanc (*Conophthorus coniperda* Schw.) et l'absence de fleurs mâles (Wilson et McQuilkin, 1965; Wright, 1953). Concernant ce dernier point, il semble que la production de fleurs mâles soit très inconstante chez le pin blanc.

1.2.3 Quantification de la production semencière

1.2.3.1 Le bouleau jaune

Greene et Jonhson (1994) signalent que la production de graines chez un arbre est directement proportionnelle à sa surface terrière et inversement proportionnelle au poids des semences qu'il produit, c'est-à-dire que les gros arbres et les espèces avec de petites semences produisent plus de graines. C'est pour ces raisons qu'un bouleau jaune de dimensions respectables représente potentiellement être un producteur de graines prolifique (Hannah, 1972; OMNR, 1998; Smith *et al.*, 1996). Il est à noter que la quantité de semences produite chez cette espèce augmente de beaucoup lorsqu'un individu dépasse 70 ans ou 20 centimètres de diamètre à hauteur de poitrine (OMNR, 1998). La production de graines chez le bouleau jaune, comme pour les trois autres espèces examinées lors de cette revue de littérature, présente une forte variabilité à la fois géographique (locale ou régionale) et temporelle (d'une année à l'autre), ainsi qu'entre les individus d'un même peuplement (Bjorkbom, 1971; Bjorkbom *et al.*, 1965; Erdmann, 1990; OMNR, 1998; Safford *et al.*, 1990).

Selon Rainville (1995), le bouleau jaune produit en moyenne 184 graines par fructification (Tableau 10). Le CSFB mentionne que le volume de fructifications produit par un semencier lors d'une bonne année est de 30 litres, ce qui correspond à approximativement 663 380 graines (MRN, 1995) (Tableau 11). Le nombre moyen de graines viables par semencier est de 264 100, ce qui équivaut à près de 40% de la production totale par semencier (MRN, 1995) (Tableau 12).

Tableau 10 Nombre moyen de graines pleines par cône ou par fruit selon la littérature et nombre moyen de graines pleines extraites par cône ou par fruit au Centre de Semences Forestières de Berthier¹

Espèce	Quantité de graines pleines par cône ou fruit selon la littérature			Quantité moyenne de graines pleines extraites par cône ou fruit au CSFB
	Moyenne (nombre)	Minimum Maximum (nombre)	Référence	(Nombre)
Bouleau jaune	184	120-237	(80)	-
Bouleau à papier	274	181-371	(80)	-
Chêne rouge	1	0-1	(97)	-
Pin blanc	33	26-41	(3,61,99)	23

1/ Données tirées de MRN (1995).

Tableau 11 Volume et nombre moyens de cônes ou de fruits par semencier lors d'une fructification abondante (Centre de Semences forestières de Berthier)¹

Espèce	Volume et nombre moyen de cônes ou de fruits par semencier			
	Fructification abondante			
	Cônes et fruits			Graines
	(Litre)	Référence	(Nombre)	(Nombre)
Bouleau jaune	30	(123)	-	663 380
Bouleau à papier	30	(123)	-	2 029 500
Chêne rouge	125	(123)	18 960	18 960
Pin blanc	27	(61,123)	450	10 250

1/ Données tirées de MRN (1995).

Tableau 12 Nombre moyen de graines viables par semencier lors d'une fructification abondante (Centre de Semences Forestières de Berthier)¹

Espèce	Graines viables produites par semencier (fructification abondante)
	(Nombre)
Bouleau jaune	264 100
Bouleau à papier	648 920
Chêne rouge	16 200
Pin blanc	6 080

1/ Données tirées de MRN (1995).

Houle et Payette (1990) rapportent une pluie de graines chez le bouleau jaune, lors de la saison 1988 dans la réserve écologique Tantaré au Québec, qui totalisait 18 289 graines viables/m². Cette année semencière, qualifiée de bonne, s'est déroulée de la fin août 1988 à la fin juillet 1989. Le nombre de graines viables récoltées au niveau du sol au cours de cette période est passablement supérieur à celui enregistré pour la même espèce par Hughes et Fahey (1988) dans la forêt expérimentale de Hubbard Brook au New Hampshire (Etats-Unis): 9 297 graines viables/m² en 1984-85 (également une bonne année semencière). Cet écart entre les deux sites s'explique principalement par la structure des peuplements, c'est-à-dire une vieille forêt décidue dans laquelle le bouleau jaune est co-dominant avec l'érable à sucre à Tantaré, et un peuplement de seconde venue de 70 ans dans laquelle le bouleau jaune est subordonné à l'érable à sucre et au hêtre à grandes feuilles à Hubbard Brook (Bormann *et al.*, 1970).

Pour le site de Tantaré, Houle (1999) rapporte une production totale de graines de bouleau jaune variant entre 738 et 28 130 graines/m² entre 1988 et 1994 (Tableau 13). Le nombre de graines viables produites au cours de la même période varie entre 73 et 18 252. Le taux d'efficacité de la production, défini par le pourcentage de graines viables sur l'ensemble des graines produites, varie entre 9.9% et 64.9 %. Il ressort assez clairement du tableau 13 que la proportion du nombre de graines viables est plus élevée lors des bonnes années semencières.

Tableau 13 **Production totale de graines, nombre de graines viables et efficacité de la production chez le bouleau jaune, entre 1988 et 1994, dans un site situé à l'intérieur de la réserve écologique Tantaré au Québec¹**

Année	<i>Betula alleghaniensis</i> Britton		
	Production totale (nombre de graines)	Production viable (nombre de graines viables)	Efficacité de la production ² (%)
1988	28 130	18 251	64.9
1989	2 893	661	22.8
1990	4 382	806	18.4
1991	2 800	330	11.8
1992	25 885	8 532	33.0
1993	738	73	9.9
1994	18 796	9 518	50.6

1/ Données tirées de Houle (1999).

2/ L'efficacité est calculée de la façon suivante : production viable divisée par la production totale x 100.

Houle (1994) rapporte une pluie de graines de 1096 graines/m² en 1989, bonne année semencière, et de 76 graines/m² en 1990 (mauvaise année semencière) dans une forêt décidue près de Trois-Rivières au Québec, ce qui concorde assez bien avec la venue d'une bonne année semencière tous les deux ans. Par ailleurs, Hannah (1972) signale une production de graines pour le bouleau jaune variant entre 2.5 et 12.4 millions de semences par hectare lors des bonnes années semencières et pourrait atteindre 89 millions lors d'une année extraordinaire.

1.2.3.2 Le bouleau à papier

Selon Rainville (1995), le nombre moyen de graines produit par fructification chez le bouleau à papier est de 274 (Tableau 10). Le volume de fruits produit par semencier est de 30 litres, ce qui correspond approximativement à 2 029 500 graines (MRN, 1995). Le CSFB rapporte un nombre moyen de graines viables par semencier de 648 920, c'est-à-dire environ 32% de la production totale d'un individu (MRN, 1995).

Le bouleau à papier est encore plus prolifique que le bouleau jaune au niveau de la production de semences (Qi et Scarratt, 1998 ; Smith *et al.*, 1996). Bjorkbom (1971) observe des productions moyennes de 3 458 000 graines par hectare en 1964 et de 15 314 000 graines par hectare en 1966 dans la forêt expérimentale de Penobscot, près d'Orono dans le Maine. La qualité des graines récoltées varie d'une année à l'autre et augmente avec la quantité de semences produites, passant de 59 % en 1964 à 83% en 1966 (Tableau 14).

Tableau 14 **Production totale de graines de bouleau à papier par classe de qualité et par année dans la forêt expérimentale de Penobscot (près d'Orono) dans le Maine¹**

Année	<i>Betula papyrifera</i> Marsh.			
	Qualité des graines			Nombre de graines par hectare
	Bonne (%)	Décolorée (%)	Vide (%)	
1964	59	15	26	3 458 000
1965	69	13	18	9 633 000
1966	83	12	5	15 314 000

1/ Données tirées de Bjorkbom (1971).

Dans l'est du Maine, un peuplement de 70 ans à forte proportion de bouleau à papier a produit en 1958, 1959 et 1960 respectivement 3 211 000, 1 976 000 et 41 496 000 millions de graines (Bjorkbom *et al.*, 1965). Au New Hampshire (White Mountain), la production d'un peuplement feuillu contenant une quantité appréciable de bouleaux à papier âgés de 70 à 75 ans a été estimée à 64 220 000 graines en 1958 (Bjorkbom *et al.*, 1965). Une publication du US Forest Service mentionne qu'une production de près de 89 000 000 de graines par hectare peut survenir tous les dix ans. Une telle production a été observée en 1955 dans un peuplement pur âgé de 70 ans dans le nord-ouest du Massachusetts.

1.2.3.3 Le chêne rouge

Le chêne rouge produit en moyenne une graine par fructification, avec un volume total produit par semencier de 125 litres (MRN, 1995 ; Schopmeyer, 1974). Selon le CSFB, le nombre moyen de fruits par semencier est de 18 960, quantité identique au nombre de graines, avec un nombre de semences viables avoisinant 16 200, ce qui correspond à un taux de germination de 85% (MRN, 1995). Le chêne rouge, dont les graines sont de fortes dimensions produit donc moins de semences que les essences à graines plus petites telles que le bouleau jaune, le bouleau à papier et le pin blanc (Greene *et al.*, 1999).

Dans un peuplement de chênes rouges, la quantité de glands produite varie énormément entre les individus même lors d'une bonne année semencière (Kormanik *et al.*, 1998 ; Sander, 1990). Certains arbres sont continuellement de bons producteurs comparativement à d'autres qui en sont toujours de mauvais (Sander, 1990). Malheureusement, aucun critère permettant d'identifier les bons semenciers n'est fournis dans la littérature, à l'exception du suivi de la production de semences sur une longue période.

La production de glands chez le chêne rouge s'accroît avec l'augmentation du diamètre à hauteur de poitrine jusqu'à un seuil de 60 centimètres (OMNR, 1998). La dimension de la cime demeure le paramètre qui influence le plus fortement la production de fruits chez cette espèce (Sander, 1990) : la quantité de semences produite augmente avec la dimension de celle-ci. Par conséquent, la production totale de semences dans un peuplement mature est directement reliée à sa densité

(Clark et Watt, 1971). De plus, la production étant positivement influencée par l'ensoleillement, les parties sud et ouest de la cime contiennent des glands en plus grand nombre par unité de surface (OMNR, 1998).

1.2.3.4 Le pin blanc

Selon plusieurs études (Barnett, 1988 ; Lamontagne et April, 1979 ; SCF, 1983), le nombre moyen de graines pleines extraites par cône chez le pin blanc est de 33 (Barnett, 1988 ; Lamontagne et April, 1979 ; SCF, 1983). Le CSFB en observe quant à lui une moyenne de 23. Wright (1970) en comptabilise de 20 à 70 par cône en 1955 dans l'ensemble de son aire de distribution. Wendell et Smith (1990) indiquent une que le nombre de graines par cône varie entre 0 et 73, toujours pour l'ensemble de l'aire de distribution de cette espèce. Enfin, Farrar (1996) rapporte un nombre total de graines par cône variant entre 100 et 160.

Le volume moyen de cônes par semencier lors d'une fructification abondante est de 27 litres, ce qui correspond à 450 cônes et 10 250 graines pleines dont 6 080 (soit 59%) sont viables (Lamontagne et April, 1979 ; Grenier, 1995). Une étude intéressante de Graber (1970) menée en 1965, une bonne année semencière, indique une production moyenne de 751 cônes non endommagés par arbre dominant. Cette étude montre également que 30 cônes sont détruits en moyenne par arbre et restent suspendus. De plus, 14 cônes attaqués par les insectes se retrouvent au sol. Enfin, les écureuils consomment en moyenne 29 cônes par arbre. Ces résultats sont bien évidemment donnés à titre d'exemple puisque l'impact des insectes et des écureuils varie d'une année à l'autre selon l'évolution de leurs populations respectives. Selon Wilson et McQuilkin (1963), les arbres de 50 ans et plus peuvent avoir une production qui excède plus de 400 cônes dans le Maine et dans le New Hampshire.

Selon Buse (1992), un pin blanc peut produire environ 65 000 graines viables (correspondant à un volume d'environ 1.8 hl) lors d'une bonne année semencière. D'après Graber (1970), un peuplement de pins blancs matures peut produire environ 250 000 graines par hectare lors d'une bonne année semencière. Le climat et la qualité du site ont une grande influence sur la production de semences chez le pin blanc (Wright, 1970). Les arbres dominants bien espacés produisent

davantage de semences (Wright, 1970). Une étude de Messer (1956) réalisée en Allemagne montre que les arbres co-dominants ont une production semencière inférieure de 50% à celle des arbres dominants. Une autre étude (Wilson et McQuilkin, 1965) indique qu'un peuplement de 60 ans produit cinq fois moins de semences qu'un peuplement de 90 ans.

Il est possible d'envisager une augmentation de la fructification chez le pin blanc grâce au dégagement des arbres semenciers, lequel procure un meilleur apport en lumière, eau et nutriments, facteurs propices à une production accrue de semences. De fait, une étude de Graber (1970) révèle que la densité des peuplements de pin blanc influence la production de graines viables (Tableau 15). Pour les années 1965 et 1968, un peuplement de densité intermédiaire a produit davantage de graines que des peuplements où la densité était soit moindre ou supérieure. Une étude réalisée en Suède (Karlsson, 2000) chez le pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) arrive à des résultats similaires. L'auteur de cette étude rapporte une production de cônes et de graines environ cinq fois plus élevée chez les semenciers d'un peuplement dégagé depuis quatre à cinq ans comparativement aux témoins. Par ailleurs, suite au dégagement, le nombre de cônes chez le pin sylvestre avait davantage augmenté dans le bas des cimes que sur les deux mètres supérieurs.

Tableau 15 **Influence de la densité du peuplement sur la production de semences chez le pin blanc¹**

Densité du peuplement (m ² /ha)		Graines viables récoltées au niveau du sol par hectare	
		1965 (nombre/ha)	1968 (nombre/ha)
Élevée	41.6	2 815 355	735 220
Moyenne	26.7	4 429 253	1 010 181
Faible	17.8	3 096 293	735 220

1/ Données tirées de Graber (1970) et ajustées par hectare.

1.2.4 Prédation de fruits et de graines

La prédation des semences par les petits mammifères (écureuils, campagnols, etc) et les oiseaux a un effet non négligeable sur le processus de reproduction de certaines essences. L'impact de ces petits prédateurs ne pose généralement pas de problème aux espèces à forte production de semences, comme le bouleau jaune et le bouleau à papier. Toutefois, il peut y avoir exception à cette règle, particulièrement lors des mauvaises années semencières.

Chez le chêne rouge, la prédation des fruits constitue un problème majeur (Clark et Watt (1971), OMNR, 1998; Sander, 1990; Sork, 1984). Des quantités importantes de glands sont consommées par les chevreuils, les écureuils, et les autres petits mammifères ainsi que les oiseaux. À cela s'ajoutent les attaques par diverses larves d'insectes (Clark et Watt, 1971). Au total, la consommation par la faune peut toucher 80% de la production lors d'une très bonne année semencière, 99% de la production lors d'une année moyenne et près de 100 % de la production lors d'une mauvaise année (Marquis *et al.*, 1976; Sander, 1965; Sander *et al.*, 1976; Sork, 1984). Toutefois, Clark et Watt (1971) signalent que, malgré ces pertes importantes en semences, il reste suffisamment de graines viables pour permettre l'établissement de semis dans les peuplements de 50 ans et plus lors des bonnes années semencières.

En revanche, l'établissement de nouveaux semis s'avère très problématique lorsque la production de semences n'atteint pas son optimum. Lors d'une bonne année semencière, 1% seulement des glands sont disponibles pour la régénération et 500 de ceux-ci sont nécessaires pour obtenir un semis âgé d'un an (Sander, 1990). Cette faible disponibilité des glands résulte principalement de la prédation par les écureuils et les insectes. Notons que le phénomène de prédation par les écureuils n'a pas que des inconvénients, puisqu'il est accompagné d'un éloignement des glands de l'arbre-mère et de leur enfouissement dans le sol minéral, assurant ainsi une meilleure chance de germination chez les semences non consommées. Les plus importants prédateurs peuvent donc, à l'occasion, se comporter comme des agents de dispersion très efficaces (Smith *et al.*, 1996).

Les semences du pin blanc subissent également une prédation significative par les petits mammifères et certaines espèces d'oiseaux (Vlasiu *et al.*, 2000). Le problème majeur rencontré chez cette espèce résulte de l'attaque des cônes par le scolyte des cônes du pin blanc. L'impact de cet insecte sur les variations inter-annuelles observées dans la production de semences chez le pin blanc est probablement beaucoup plus important que celui des perturbations d'ordre physiologique (Wright, 1970). On a déjà observé une absence complète de production de semences pendant 14 ans, entre 1948 et 1962, à la forêt expérimentale de Massabesic dans le sud du Maine (Wilson et McQuilkin, 1963).

1.2.5 Le sol et sa banque de graines

La banque de graines du sol joue un rôle important dans la régénération de la forêt et la colonisation d'un site après perturbation (Houle, 1994 ; Hughes et Fahey 1991 ; Leckie *et al.*, 2000 ; Peterson et Pickett, 1995). La composition de la banque de graines varie dans l'espace selon les conditions environnementales et dans le temps selon le régime naturel de perturbation (Leckie *et al.*, 2000). Selon Piroznikov (1983), le nombre de graines provenant de plantes herbacées dans la banque de graines demeure relativement constant au cours du temps, alors que le nombre de graines provenant d'arbustes et d'arbres varie fortement. Les facteurs expliquant cette variabilité incluent la dynamique de la germination, l'intensité de la pluie de graines, les patrons de dispersion et la mortalité des graines (Houle, 1994 ; Marquis, 1975 ; Thompson, 1986).

Les graines de bouleau jaune, et à un degré moindre les graines de bouleau à papier, sont généralement incorporées à la banque de graines là où des arbres en âge de se reproduire existent dans le couvert forestier (Marquis, 1975). Cette intégration à la banque de graines résulte d'une germination qui s'étale sur une période de plusieurs années après la dispersion des semences. Marquis (1975) rapporte qu'un entreposage des graines de bouleau jaune dans la couche d'humus pendant une période de 2 à 5 ans est assez commun aux États-Unis.

Quant au pin blanc et au chêne rouge, leurs semences ont une viabilité trop courte pour s'incorporer à la banque de graines du sol. Froberg et Eriksson (1997) soulignent la grande capacité des graines de forte dimension, telle que celles du chêne rouge, à germer et à s'établir en contact avec la litière, ce qui rend ces espèces moins dépendantes de la présence d'une banque de graines au moment d'une perturbation. Plusieurs espèces tolérantes à l'ombre, dont l'érable à sucre, ont aussi comme stratégie le maintien d'une banque de semis à la place d'une banque de graines.

Les graines de bouleau jaune ou de bouleau à papier qui s'incorporent au sol minéral ne sont pas exposées aux conditions favorables à la germination et sont moins sensibles aux attaques de prédateurs de surface et des pathogènes des horizons organiques ; elles peuvent donc conserver

plus longtemps leur capacité germinative (Cavers, 1983 ; Grandström 1987 ; Granström et Fries, 1985). Les semences enfouies dans le sol semblent former un réservoir différent. Elles ont un renouvellement plus lent de celui des graines de surface et semblent contribuer au recrutement des semis lorsque le sol est perturbé (Hutnik, 1952). À l'opposé, la banque de graines de surface a un renouvellement plus rapide et fournit un approvisionnement plus ou moins continu en semis.

L'abondance des semences de bouleau jaune diminue lorsque la profondeur augmente. D'après Graber et Thompson (1978) et Moore et Wein (1977), les graines de bouleau jaune sont plus abondantes dans la couche organique et moins présentes dans les horizons minéraux. Ces résultats sont corroborés par ceux de Houle et Payette (1990), qui indiquent que plus de 90% des semences de bouleau jaune de la banque de graines sont situées dans les horizons organiques (litière et humus), et ce indépendamment de la période d'échantillonnage. Ceci plaide en faveur d'une origine récente de la majeure partie des graines de bouleau jaune de la banque de graines du sol.

1.2.6 Comment prévoir une bonne année semencière

À ce jour, il n'existe aucune méthode permettant de prévoir de façon relativement exacte la production de graines de bouleau jaune, de bouleau à papier, de chêne rouge ou de pin blanc. Les quelques indicateurs mentionnés dans la littérature sont présentés dans cette section.

Les individus produisant une quantité importante de fruits peuvent être identifiés directement lors des bonnes années semencières. Cependant, en ce qui concerne le pin blanc et le chêne rouge, espèces chez lesquelles les bonnes années semencières sont à la fois rares et irrégulières, l'identification des arbres à fructification abondante s'avère plutôt difficile à mettre en application.

Pour les essences telles que le bouleau jaune et le bouleau à papier, chez lesquelles les bonnes années semencières sont plus rapprochées et plus régulières, l'identification des individus à fructification abondante est plus facilement réalisable. La nécessité d'un suivi rigoureux sur une période de temps assez longue, notamment en ce qui concerne les essences chez lesquelles les bonnes années semencières sont rares, constitue le principal désavantage de cette façon de procéder.

La présence de cônes, de fruits entiers ou encore de résidus sur le sol renseigne indirectement sur la fécondité d'un individu en particulier (Smith *et al.*, 1996). Chez la plupart des espèces forestières, un arbre produisant une quantité abondante de semences ne peut être identifié que quelques mois à l'avance, c'est-à-dire au moment où les fruits ou encore les graines sont déjà formés (Smith *et al.*, 1996). Pour le bouleau jaune et le bouleau à papier, espèces avec un court cycle reproductif (1 an), la caractérisation de la production de semences à venir peut se faire en estimant l'abondance des chatons l'hiver précédent la dispersion (Erdmann, 1990). Pour les essences à cycle reproductif plus long telles que le chêne rouge et le pin blanc (2 ans), ce repérage peut se faire encore plus précocement.

Enfin, l'abondance de la fructification printanière chez l'érable rouge (*Acer rubrum* L.) peut constituer un indicateur valable de la production de semences à venir chez le bouleau jaune et le

bouleau à papier (Godman et Mattson, 1976). Le tableau 16 met en évidence cette relation, qui varie en fonction de l'abondance de la production. Les traits principaux qui ressortent de ce tableau sont les suivants : 1) le pouvoir prédictif est meilleur pour les deux espèces de bouleau que pour le chêne rouge et le pin blanc; 2) pour les deux espèces de bouleau, le pouvoir prédictif est plus fort lorsque la production de semences est faible et ; 3) pour le chêne rouge et le pin blanc, le pouvoir prédictif diminue lorsque la production de semences est faible.

Tableau 16 **Pourcentage des années semencières où la production est similaire entre l'érable rouge (maturation printanière) et les quatre espèces étudiées (maturation automnale) dans le nord du Wisconsin entre 1949 et 1974¹**

Espèce à maturation automnale	Érable rouge (maturation printanière)		
	Bonnes années semencières (10)	Années semencières moyennes (5)	Mauvaises années semencières (6)
	Concordance (%)	Concordance (%)	Concordance (%)
Bouleau jaune	60	80	83
Bouleau à papier	60	75	100
Chêne rouge ²	60	50	38
Pin blanc ²	40	50	44

1/ Données tirées de Godman et Mattson (1976). Étude basée sur les années où toutes les essences ont produit des semences.

2/ Cycle de reproduction étalé sur deux ans.

1.3 Dispersion des semences

1.3.1 Le bouleau jaune

La dispersion des graines de bouleau jaune se fait principalement au moyen du vent, avec une distribution de type contagieuse, c'est-à-dire que les semences se concentrent à certains endroits (Tableau 17). Le transport par les mammifères et les oiseaux n'intervient pas de façon significative dans le processus de dispersion. Selon Houle et Payette (1990), les ouvertures légères du couvert et les anfractuosités ou les obstacles qui libèrent les graines de l'effet du vent sont responsables de la distribution de type contagieuse. Ces auteurs relient ce patron de distribution à la position des semenciers, aux courants d'air sous la canopée et à l'interférence engendrée par la partie supérieure de la canopée lors de la chute des semences.

Tableau 17 Période et mode de dispersion des semences de bouleau jaune, de bouleau à papier, de chêne rouge et de pin blanc

Espèce	Période de dispersion			Mode de dispersion	
	Début	Fin	Référence	Type	Référence
Bouleau jaune	Août-octobre.	Printemps	(21,23,43,48,65,81,108)	Vent	(8,21,43,48,49,101)
Bouleau à papier	Août-octobre.	Printemps	(1,5,6,93,107)	Vent	(8,81,101)
Chêne rouge	Septembre	Novembre	(81)	Gravité, mammifères, oiseaux	(13,81,94,101)
Pin blanc	Septembre	Novembre	(31,109)	Vent	(109)

La période de maturation et de dispersion sont assez étendues chez le bouleau jaune. Une dissémination étalée dans le temps permet aux semences d'atteindre plus efficacement un lit de germination adapté, c'est-à-dire une surface minérale exempt de matière organique (Canham et Marks, 1985 ; Hatcher, 1966 ; Linteau, 1948).

Le début de la dispersion des semences viables de bouleau jaune a lieu vers la fin du mois d'août (Tableau 17). Les graines tombées précocement au sol sont non viables (Houle et Payette, 1990). La chute des semences s'amplifie légèrement au mois de septembre et augmente rapidement par la suite jusqu'à atteindre un maximum après la chute des feuilles (de mi-octobre à novembre) (Erdmann, 1990; OMNR, 1998). Par la suite, la dissémination des semences de bouleau jaune se poursuit de façon beaucoup plus épisodique jusqu'au printemps et occasionnellement jusqu'au début de l'été suivant (Houle et Payette, 1990).

Le patron temporel de la dispersion des graines de bouleau jaune, malgré une tendance générale, varie d'un arbre à l'autre, d'un peuplement à l'autre et surtout d'une région géographique à une autre. Il en est de même pour les trois autres essences abordées dans cette revue de littérature. En revanche, le début de la période de dispersion est assez similaire d'une année à l'autre (Houle, 1999). Par ailleurs, la proportion des graines de bouleau jaune disséminées durant la période hivernale fluctue beaucoup d'une année à l'autre et d'un site expérimental à l'autre. Houle et Payette (1990) rapportent que la chute des semences viables durant l'hiver 1988-89 à la réserve écologique Tantaré représentait 24% des graines viables disséminées entre le mois d'août 1988 et le mois de juillet 1989. Houle (1999) observe des proportions similaires au même endroit pour les hivers 1989-90 et 1990-1991 avec respectivement 29% et 26%. Sur un autre site au Québec, 47% de la production annuelle de semences viables de bouleau jaune est disséminée durant l'hiver 1988-1989 (Houle, données non publiées). Benzie (1959) rapporte aussi pour cette essence un niveau de dispersion hivernale de 88% pour un site localisé dans le nord du Minnesota, comparativement à un niveau de 78.5% observé par Hughes et Fahey (1988) à la forêt expérimentale de Hubbard Brook en Nouvelle-Angleterre.

Selon Houle et Payette (1990), l'efficacité des trappes à graines n'est pas le seul facteur pouvant expliquer les écarts entre les différentes études. Les conditions météorologiques, les caractéristiques du site (patrons des vents, l'exposition) et du peuplement (âge des arbres, densité) ainsi que d'éventuelles différences génétiques peuvent jouer un rôle très important dans la détermination de l'évolution de la chute des semences au cours d'une saison (Greene et Johnson, 1997 ; Houle et Payette, 1990).

Dans les peuplements forestiers bien stockés, la distance parcourue par les graines lors de leur chute atteint généralement 2 à 4 fois la hauteur de l'arbre-mère, soit environ 100 mètres (OMNR, 1998). En milieu ouvert ou dans les peuplements forestiers à faible stocking, les graines de bouleau jaune peuvent parcourir une distance plus importante (parfois supérieure à 1 km) grâce au phénomène hivernal de dispersion secondaire qui correspond à un balayage de graines sur une couche neigeuse durcie (Burton *et al.*, 1969; OMNR, 1998). Enfin, Erdmann (1990) signale que la distance parcourue par les graines de bouleau jaune à partir d'une lisière boisée diminue de façon exponentielle. Selon cet auteur, une distance jusqu'à 100 mètres à partir de la bordure d'un peuplement feuillu bien stocké en bouleau jaune peut êtreensemencée correctement.

Le patron de dispersion spatial des semences pour les essences à dissémination anémophile varie selon les saisons (Houle et Payette, 1990). Le contraste est particulièrement fort entre la période hivernale et les mois d'été et d'automne. L'absence de végétation herbacée et de feuilles dans la canopée ainsi que la présence de neige sur le sol pendant la période hivernale, facteurs favorables à la dispersion secondaire, expliquent en partie ces différences (Ford *et al.*, 1983; Hughes et Fahey 1988 ; Matlack, 1989). Selon Houle et Payette (1990), les patrons de dispersion automnale et hivernale de la pluie de graines de bouleau jaune sont négativement corrélés, ce qui suggère que les facteurs contrôlant le patron spatial de la pluie de semences varient au cours de l'année.

Greene et Johnson (1997) signalent que peu de graines tombées à la surface du sol sont déplacées une seconde fois de façon significative en milieu forestier et dans les lisières boisées, ceci étant dû à la réduction de la vitesse des vents par la structure du couvert. La majorité des graines présentes dans les trouées proviennent d'un arbre-mère situé en lisière de trouée. Selon Greene et Johnson (1997), le phénomène de dispersion secondaire sur couvert neigeux ne peut être envisagé chez les essences pour lesquelles la proportion des semences dispersées durant la période hivernale (première dispersion) est inférieure à 10% ou 15% de l'ensemble des graines produites, ce qui correspond aux conifères et à la plupart des angiospermes. Le genre *Betula* atteint ou dépasse assez souvent ce seuil ; la dispersion secondaire joue alors un rôle primordial dans les milieux ouverts en favorisant une dissémination plus étendue, laquelle augmente les chances de mise en contact des graines avec un lit de germination favorable.

1.3.2 Le bouleau à papier

Le processus de dispersion des graines du bouleau à papier est similaire à celui du bouleau jaune (Tableau 17). La chute des semences viables commence vers la fin août et la majorité des graines tombent avant l'arrivée de la neige, c'est-à-dire entre septembre et novembre (Bjorkbom, 1971; Bjorkbom *et al.*, 1965; OMNR, 1998; Zasada, 1985) (Tableau 18). L'abscission foliaire semble se produire de façon discontinue, généralement au cours de quelques périodes, lesquelles sont habituellement de courtes durées et associées à une faible humidité ainsi qu'à de vents forts (Greene et Jonhson 1992; Harris, 1969).

Tableau 18 **Suivi dans le temps de la dispersion des graines de bouleau à papier dans différents sites expérimentaux situés aux États-Unis¹**

Localisation et année	<i>Betula papyrifera</i> Marsh.					
	Période de l'année					Nombre de graines par hectare
	Août (%)	Septembre (%)	Octobre (%)	Novembre (%)	Décembre- printemps (%)	
Maine, 1958 ³	6	13	63	14	4	3 211 000
Maine, 1959 ³	58	25	13	3	1	1 976 000
Maine, 1960 ³	51	13	20	14	2	41 496 000
New Hampshire, 1958 ³	-	7	63	28	2	64 220 000
Maine, 1964 ²	9	22	28	27	14	3 458 000
Maine, 1965 ²	11	12	43	29	5	9 633 000
Maine, 1966 ²	8	12	27	38	15	15 314 000

1/ Données tirées de Bjorkbom (1971) et de Bjorkbom *et al.* (1965)

2/ Peuplement de 70 ans à dominance de bouleau à papier situé dans l'est du Maine.

3/ Peuplement pur de bouleau à papier situé dans les Montagnes Blanches du New Hampshire. Pour le Maine, il s'agit d'un peuplement de 75 ans composé principalement de bouleau à papier et d'érable rouge, et situé en lisière d'une coupe totale. Ce site se situe dans la forêt expérimentale de Penobscot, près d'Onoro.

Comme pour le bouleau jaune, l'évolution dans le temps de la chute des semences de bouleau à papier varie d'une année à l'autre (Tableau 18). La quantité de semences produites par le bouleau

à papier d'une année à l'autre ne semble pas influencer la période de dispersion (Bjorkbom, 1971; Bjorkbom *et al.*, 1965; Safford *et al.*, 1990). En revanche, les arbres en mauvaise santé présentent une chute des semences plus précoce que celle des arbres sains (Safford *et al.*, 1990). La grande capacité de dissémination du bouleau à papier et du bouleau jaune favorise une colonisation agressive de la plupart des micro-sites, particulièrement lors d'une bonne année semencière (Houle, 1992).

La dispersion des semences dans des peuplements feuillus ou mixtes bien stockés se fait principalement à moins de 100 mètres du point de chute. Dans une ouverture issue d'une perturbation naturelle (feu ou chablis) ou anthropique (coupe), la distance parcourue par les graines de bouleau à papier diminue rapidement plus on s'éloigne de la lisière du peuplement non perturbé (Bjorkbom, 1971). Safford *et al.* (1990) rapportent que la quantité de semences de bouleau à papier récoltée au niveau du sol diminue de 40% à la lisière d'un peuplement et de 90% au centre d'une coupe de 100 mètres de côté. Bjorkbom *et al.* (1971) obtiennent des résultats similaires avec 58% en bordure d'une coupe et 10% à une distance de 50 mètres de la lisière. Ces auteurs rapportent également une récolte de semences de bouleau à papier, au niveau du sol, de 3.5 à 7.1 fois plus élevée dans un peuplement que dans une coupe adjacente.

1.3.3 Le chêne rouge

La période de dispersion des semences est plus courte chez le chêne rouge que chez les deux espèces de bouleau (Tableau 17). Elle s'étend de septembre à novembre (OMNR, 1998). Les glands de chêne rouge tombent près de l'arbre-mère (OMNR, 1998). La dispersion se fait donc en premier lieu par gravité. Cependant, les écureuils, les campagnols et d'autres petits mammifères sont à l'origine d'une seconde phase de dispersion en transportant des quantités significatives de graines dans un rayon ne dépassant pas la plupart du temps la hauteur de l'arbre-mère (OMNR, 1998).

1.3.4 Le pin blanc

La chute des semences de pin blanc débute en septembre (Graber, 1970; VlasIU *et al.*, 2000). Elle se poursuit en octobre et novembre (Graber, 1970; VlasIU *et al.*, 2000) et devient négligeable par la suite (Graber, 1970). Le vent est le principal mode de dispersion des graines (Tableau 17). Comme pour le chêne rouge, une seconde dispersion peut avoir lieu par l'intermédiaire des petits mammifères. La distance parcourue par les semences de pin blanc atteint au moins 60 mètres en peuplement pur et dépasse parfois 210 mètres en milieu ouvert (Graber, 1970; Messer, 1956; VlasIU *et al.*, 2000; Wood, 1932). Cependant, la majorité des semences tombent dans un rayon égal à la hauteur de l'arbre-mère (VlasIU *et al.*, 2000).

1.4 Les semenciers et le parterre de coupe

Avec les semenciers, le nombre d'individus à laisser sur le parterre de coupe dépend de la quantité de graines produites par arbre, de la distance de dispersion des semences, de la distance de dispersion du pollen, de la perspective de survie des arbres, du nombre moyen de graines requis pour l'établissement d'une régénération adéquate, des conditions de lits de germination qui prévalent et d'une base d'échange génétique saine. À ce jour, il n'existe pas dans la littérature une étude qui intègre la totalité des paramètres précédemment cités et qui permette de déterminer avec exactitude, selon la coupe de régénération envisagée, le nombre optimal de semenciers à laisser à l'hectare pour le bouleau jaune, le bouleau à papier, le chêne rouge ou le pin blanc.

Cependant, il est possible de fixer un nombre minimum de semenciers à laisser à l'hectare en tenant compte de résultats provenant principalement de travaux menés par le Centre de Semences Forestières de Berthier (MRN, 1995), par le Ministère des Ressources Naturelles de l'Ontario (OMNR, 1998), ainsi que par Greene et Johnson (1998) (tableau 19). La détermination de ce seuil minimal pour les quatre essences étudiées est basé sur les points suivants : 1) une production moyenne de graines par semencier ; 2) une distance minimale de dispersion des semences ; 3) une qualité optimale des lits de germination et ; 4) un niveau d'ensemencement permettant d'avoir une régénération adéquate. Toutefois, les seuils minimaux présentés dans le tableau 19 assument que l'impact de facteurs tels la mortalité des semenciers, une mauvaise qualité des lits de germination, une base d'échange génétique insuffisante et une dispersion inefficace du pollen est négligeable sur les valeurs établies. Ce constat nous amène à conclure que des études supplémentaires sont nécessaires afin de pouvoir intégrer ces paramètres dans la détermination d'un nombre optimal de semenciers à laisser à l'hectare pour le bouleau jaune, le bouleau à papier, le chêne rouge et le pin blanc.

Concernant la dispersion du pollen, Smith *et al.* (1996) mentionnent que le nombre et la distribution des arbres semenciers influencent la pollinisation des fleurs, et donc du nombre de graines viables produites. Une trop grande distance entre les semenciers peut engendrer, chez les espèces monoïques, une auto-fertilisation qui résulte habituellement dans la production d'une

Tableau 19 **Nombre minimum de semenciers à laisser à l'hectare en fonction de la production moyenne de graines et de la distance de dispersion chez le bouleau jaune, le bouleau à papier, le chêne rouge et le pin blanc**

Espèce	Production moyenne de graines par semencier (nombre de graines) ¹	Distance minimale de dispersion (m)	Distance entre deux semenciers (m)	Ensemencement recommandé par hectare (nombre de graines) ⁴	Semenciers requis à l'hectare en fonction de la distance de dispersion	Semenciers requis à l'hectare en fonction de la production de graines	Facteur limitatif
Bouleau jaune	300 114	50 ²	100	257 300	1	1	Distance de dispersion
Bouleau à papier	1 013 938	40 ²	80	777 338	4	1	Distance de dispersion
Chêne rouge	9 759	0-20 ³	0-40	2 500	16 ⁵	1	Distance de dispersion
Pin blanc	5 066	60	120	44 910	1	9	Production de graines

1/ Données tirées MRN (1995).

2/ Données tirées de OMNR (1998). La distance minimale de dispersion varie entre 2 à 4 fois la hauteur des semenciers. La valeur sélectionnée pour la détermination du nombre minimum de semenciers à l'hectare est de 2.

3/ Données tirées de OMNR (1998). La distance minimale de dispersion résulte principalement d'une dissémination secondaire effectuée par les écureuils ou autres petits mammifères.

4/ Ensemencement recommandé par Greene et Johnson (1998) pour obtenir entre 1000 et 2000 plants à l'hectare de 1 à 3 ans après dissémination. Les graines étaient enrobées d'un répulsif.

5/ Le nombre de semenciers requis à l'hectare ne tient pas compte de la distance de dispersion puisque cette essence s'établit correctement par l'intermédiaire de la coupe progressive avec ensemencement (pour une grande superficie).

grande proportion de graines non viables ou encore d'une progéniture avec des caractéristiques génétiques inférieures (Smith *et al.*, 1996).

D'après le tableau 19, la distance de dispersion des semences est le facteur limitatif qui détermine le nombre de semenciers à laisser à l'hectare chez le bouleau jaune et le bouleau à papier. En revanche, la production de semences par arbre constitue le facteur limitatif pour le pin blanc. Chez le chêne rouge, même si la distance de dispersion des glands est faible, elle ne s'avère pas un facteur limitatif dans la détermination du nombre de semenciers à laisser à l'hectare. En effet, cet essence se régénère bien uniquement sous couvert, et ce point conditionne davantage le nombre de semenciers à laisser à l'hectare dans un peuplement pur (coupe progressive d'ensemencement).

Peu importe le type de coupe de régénération envisagé, il doit toujours y avoir concordance entre la réalisation des travaux et une bonne année semencière (Vlasiu *et al.*, 2000). Par ailleurs, les lisières boisées (après coupe) doivent être bien stockées en arbres matures de l'essence désirée.

La littérature sur la coupe avec réserve de semenciers chez le bouleau à papier est relativement peu abondante et le nombre de semenciers à laisser sur le parterre varie considérablement selon les études. En Nouvelle-Angleterre, quelques auteurs suggèrent de laisser de 7 à 12 bouleaux résiduels à l'hectare afin de régénérer les bétulaies blanches coupées à blanc (Perala et Alm, 1990 ; Safford 1983). Selon Marquis *et al.* (1969), le nombre de semenciers à laisser sur le parterre dépendra de la superficie de la coupe et de la saison où s'effectue celle-ci. Selon ces auteurs, dans une ouverture d'une largeur inférieure à 90 m, suffisamment de semences provenant d'arbres adjacents seront disponibles permettant d'éviter la rétention d'arbres semenciers. Par ailleurs, si la coupe est effectuée entre tard à l'automne et tôt au printemps même sur une largeur supérieure à 90 m, aucun semencier ne sera requis (Marquis *et al.*, 1969).

Il existe peu d'études au Québec portant sur la coupe avec réserve de semenciers afin de favoriser une régénération du bouleau à papier. L'étude de Quentin (1994), réalisée dans les peuplements feuillus et mélangés dégradés, mentionne que 6 bouleaux semenciers et un scarifiage du sol permettent d'obtenir une densité de 134 000 plants à l'hectare, 1 an après la coupe. Une étude de

Dendrotik Inc (1995) souligne que 25 semenciers à l'hectare assurent une bonne régénération. D'autres auteurs de la Nouvelle-Angleterre proposent plutôt de laisser de 7 à 12 semenciers.

En ce qui concerne le pin blanc, Vlasiu *et al.* (2000) suggèrent une distribution de 10 à 35 semenciers à l'hectare afin d'assurer un apport adéquat de semences sur les sites de coupe. Cependant, Pinto *et al.* (1998b) suggèrent de laisser 50 individus pour obtenir une meilleure pollinisation et former une base d'échange génétique plus saine.

2. Comment choisir les arbres semenciers chez les essences nobles

Selon Rainville (1997), le processus de sélection est fondamental dans tout programme d'amélioration des arbres forestiers, puisque le gain génétique anticipé ou espéré peut être amoindri ou même réduit à néant suite à un mauvais choix des arbres semenciers. Dans le cadre de travaux sylvicoles tels que la coupe totale avec réserve de semenciers ou la coupe progressive avec ensemencement, la même problématique se pose quant à l'importance du choix des arbres porteurs du bagage génétique de la prochaine génération.

La sélection des arbres semenciers est un processus par lequel les semences provenant d'individus possédant certains traits particuliers sont favorisées afin d'améliorer le bassin génétique du peuplement futur (Lamontagne, 1978). Le processus de sélection réalisé de façon artificielle est accompli par l'homme dans le but d'améliorer le génotype moyen de la progéniture. L'objectif principal d'une telle démarche est l'amélioration de la croissance et de la forme (dominance apicale, élagage naturel, diamètre des branches, absence de fourche) des arbres futurs. Un gain en qualité des phénotypes est conséquent puisqu'il engendre une augmentation plus importante des revenus comparativement à ceux générés par le seul gain en croissance (Clausen, 1973 ; Rainville, 1998 ; Zobel et Talbert, 1984).

Il est opportun d'introduire à ce moment-ci certaines notions de génétique. Falconer (1968) exprime le gain génétique, aussi appelé parfois réponse à la sélection, par la formule suivante : $G = Sh^2$, où G est le gain génétique, S l'écart de sélection et h^2 l'héritabilité. L'héritabilité exprime la corrélation entre un trait observé chez l'arbre-mère et ce même trait mesuré chez ses descendants (Lamontagne, 1978). L'héritabilité est déterminée à l'aide de variances obtenues dans les calculs statistiques. D'après Rainville (1997), si l'évaluation d'un trait chez les descendants donne un résultat similaire à celui observé chez l'arbre-mère, pour un âge et des conditions de croissance similaires, h^2 vaut 1 ou 100%. Plus le trait se différencie de celui de l'arbre-mère, plus le h^2 se rapproche de zéro. Pour les traits se rapportant aux arbres forestiers, les valeurs de h^2 sont généralement inférieures à 0.5 (Lamontagne, 1978).

Selon Rainville (1997), le gain génétique peut s'obtenir de deux façons. La première consiste à augmenter l'écart de sélection, c'est-à-dire qu'un trait ou un ensemble de traits doit s'éloigner le plus favorablement de la moyenne. Le meilleur moyen pour atteindre ce résultat, qui est aussi le plus facile à mettre en application, est d'exercer une sélection rigoureuse des arbres semenciers en fonction des caractères morphologiques ou phénotypiques qu'on désire transmettre à la future génération. Toutefois, cette méthode ne permet pas d'éliminer l'effet de l'environnement, particulièrement en ce qui concerne les traits pour lesquels le degré d'héritabilité est faible. Cependant, cette façon de procéder demeure la seule qui puisse être appliquée à un coût raisonnable et surtout à grande échelle. La seconde façon d'obtenir un gain génétique consiste à modifier l'héritabilité (Lamontagne, 1978).

Le but que l'on poursuit par la sélection d'arbres semenciers supérieurs consiste donc à réaliser un gain génétique chez certaines espèces ciblées. Cette amélioration est soumise à caution puisqu'elle porte sur des critères de sélection fortement influencés par les conditions économiques actuelles du marché des produits forestiers. Toutefois, le gain génétique résultant ne pourra que contribuer à l'état de santé général de nos forêts feuillues, trop souvent écrémées par le passé.

Les articles scientifiques qui traitent en profondeur et d'une façon bien structurée des critères de sélection à favoriser lors du choix d'arbres semenciers de bois feuillu noble sont assez rares et la plupart du temps assez anciens. Le bouleau jaune est l'essence la mieux documentée parmi les quatre ici étudiées. Nous nous reporterons à plusieurs reprises à l'excellent article de Clausen et Godman (1967), qui intègre l'ensemble de l'information sur le sujet pour cette essence. Pour le bouleau à papier, le chêne rouge et le pin blanc, l'information est plus éparpillée et moins développée, c'est-à-dire qu'elle aborde directement ou indirectement un seul aspect ou critère de sélection à la fois. Très peu d'informations est disponible concernant le degré d'héritabilité associé à chacun des critères de sélection, et ce pour toutes les essences forestières. Bien que certains traits morphologiques soient mieux documentés que d'autres, il existe pour ces critères une grande variabilité qui prête à confusion.

Les principaux traits morphologiques ou phénotypiques que l'on considère et évalue lors de la sélection d'arbres semenciers sont présentés dans cette section. La prédominance de certains de ces traits phénotypiques dans le processus de sélection sera par la suite abordée.

2.1 État phytosanitaire

2.1.1 Résistance au climat

Les arbres semenciers sélectionnés doivent être exempts de gélivure (fente), d'insolation hivernale (fendillement de l'écorce) et de tous autres défauts résultant d'une mauvaise adaptation aux conditions climatiques (Lamontagne, 1978 ; Mackay et Lortie, 1990). Les fentes représentent un bon indicateur de la présence d'un stress interne au niveau du bois ou encore d'un processus de cicatrisation en cours induit par des températures extrêmes. Les billes de bois comportant des fentes ouvertes ou fermées avec bourrelets cicatriciels proéminents sont généralement déclassées car elles génèrent une perte en volume trop importante lors du tranchage (Clausen et Godman, 1967). La coloration du bois et un épaississement de l'écorce au niveau de la blessure constituent deux autres facteurs responsables du déclassement de ces billes.

Il est essentiel que les individus sélectionnés possèdent une résistance marquée aux dommages occasionnés par le vent, le verglas et la neige, témoignant d'une adaptation aux changements climatiques (Lamontagne, 1978 ; Matthews, 1991). Une bonne adaptation aux aléas climatiques diminuera les risques d'apparition de certaines maladies et les attaques de certains insectes.

2.1.2 Résistance aux maladies et insectes

Les arbres semenciers sélectionnés doivent avoir peu ou pas de dommages causés par les maladies telles que les chancre divers, la rouille vésiculeuse du pin blanc (*Cronartium ribicola* Fish) et les colorations du bois, ou encore par les insectes telles que le charançon du pin blanc (*Pissodes strobi* Peck) et la squeletteuse du bouleau (*Bucculatrix canadensisella* Cham). Puisque tous les arbres forestiers sont susceptibles, à divers degrés, aux attaques de maladies et d'insectes, il est important d'opérer une sélection rigoureuse des individus résistants ou sans trace d'attaques

antérieures afin de favoriser la résistance, à condition toutefois que cette résistance soit associée à une bonne forme structurale et à une bonne croissance (Clausen et Godman, 1967 ; Lamontagne, 1978 ; Mackay et Lortie ; 1990 ; Matthews, 1991).

Pour le pin blanc, minimiser l'impact de la rouille vésiculeuse et du charançon par la sélection individuelle s'avère très importante pour deux raisons : premièrement, ces deux agents nuisibles se retrouvent dans la totalité de l'aire de dispersion de cette espèce (Fowler et Heimbürger, 1969 ; Smith *et al.*, 1996) ; deuxièmement, il est difficile d'obtenir un gain génétique par la méthode des tests de descendance car la résistance à ces deux agents pathogènes semble liée à plusieurs gènes (Fowler et Heimbürger, 1969).

2.1.3 Autres critères de sélection

Il faut préférentiellement opter pour la sélection d'arbres exempts de dommages importants causés par les mammifères ou les oiseaux. Selon Lamontagne (1985), dans les peuplements sujets à ce type de dommage, il est primordial de choisir les individus montrant peu ou pas de lésions, ou de sélectionner uniquement les individus dotés d'une excellente capacité de récupération (Rudolf, 1955). Clausen et Godman (1967) vont encore plus loin en mentionnant qu'il faut impérativement éviter les arbres porteurs de lésions occasionnées par des oiseaux. Selon ces auteurs, les oiseaux semblent préférer certains arbres, ce qui tendrait à montrer qu'il existe des différences chimiques majeures entre les individus. Cet aspect reste à approfondir.

2.2 Structure de l'arbre

2.2.1 Fût

2.2.1.1 Verticalité et absence de courbure

Les arbres semenciers sélectionnés doivent avoir un fût droit sans déviation graduelle ou flexuosité apparente (Lamontagne, 1978 ; Mackay et Lortie, 1990). Selon Clausen et Godman (1967), le respect de ce critère de sélection est important pour deux raisons : premièrement, il a une héritabilité assez prononcée ; deuxièmement, le volume de bois de qualité que l'on peut extraire d'une bille lui est fortement corrélé. Selon ces auteurs, les avantages liés à une sélection rigoureuse pour ce trait chez le bouleau jaune sont les suivants : réduction de la présence de bois de compression, manipulation plus aisée des billes, facilitation des opérations de déroulage et de fabrication de contreplaqué (écorçage, tranchage, etc) et, augmentation du rendement au sciage.

2.2.1.2 Forme arrondie du fût

Lors de la sélection d'un arbre semencier, il faut éviter les individus présentant un fût elliptique (contour aplati ou anguleux) ou à contour irrégulier, montrant des arêtes, des cavités ou des rainures sur sa surface (Clausen et Godman, 1967 ; Lamontagne, 1978 ; Mackay et Lortie, 1990). La sélection d'arbres à contour circulaire permet une amélioration de la qualité du bois.

Selon Clausen et Godman (1967), la présence d'un fût elliptique ou aplati sur une seule face est un phénomène assez commun chez le bouleau jaune, qui pourrait être lié à la condition de la cime. Ce phénomène étant associé à la présence de maladies, les arbres présentant cette caractéristique ne devraient pas être sélectionnés.

2.2.1.3 Défilement du fût

Les arbres semenciers sélectionnés doivent avoir un faible défilement (Lamontagne, 1978 ; Mackay et Lortie, 1990). Clausen et Godman (1967) suggèrent d'éviter les bouleaux jaunes ayant un défilement de plus de 5 centimètres pour une bille de 4.80 mètres, qui génèrent une perte importante en volume pour les billes destinées au sciage et au déroulage.

2.2.1.4 Fourches

Les individus fourchus ont tendance à se briser lors de grands vents ou lors des épisodes de verglas. Il peut en résulter une perte importante en volume de bois de qualité. Le bris d'une des fourches entraîne une réduction de la cime et probablement une diminution de la croissance. De plus, la blessure formée constitue une porte d'entrée pour les champignons et les autres organismes indésirables (Clausen et Godman, 1967). Les fourches sont occasionnées par l'effet de différents facteurs climatiques, tels que le gel, le verglas et le vent, au niveau du bourgeon terminal ou encore de la pousse terminale dans son entier. Une absence de fourche peut indiquer une possible résistance aux avaries climatiques et un trait génétique particulier de l'arbre.

Selon Clausen et Godman (1976), la présence d'une fourche constitue un critère majeur de déclassement si elle est située au niveau des deux premières billes de sciage ou de déroulage. La sélection d'arbres fourchus doit d'autant plus être évitée que ce trait a une héritabilité très élevée chez la plupart des essences forestières, et ce même si l'individu est par ailleurs en bonne santé et possède de bonnes caractéristiques de croissance.

Selon Clausen et Godman (1967), un bouleau jaune arborant une des caractéristiques suivantes peut être considéré comme fourchu : 1) la plus petite des deux pousses terminales adjacentes a un diamètre égal ou supérieur à $\frac{1}{3}$ du diamètre de la pousse terminale la plus large ; 2) l'angle entre une branche et le tronc principal est inférieur à 30 degrés; 3) le diamètre du tronc principal au-dessus de la jonction d'une branche est au moins 25% plus petit que le diamètre du tronc au-dessous de cette même jonction.

2.2.1.5 Sens des fibres

Les arbres semenciers sélectionnés doivent de préférence avoir des fibres droites (Clausen et Godman, 1967). Il faut donc éviter les individus présentant des fibres torsadées, sinueuses ou en spirales. L'identification de la présence de telles fibres peut se faire en regardant l'aspect et la texture extérieure du tronc. Cette identification est d'autant plus facile que l'écorce est mince et lisse. La présence de petites bosses ou d'ondulations à la surface de l'écorce est un bon indicateur de ce qu'on appelle en anglais le "wavy grain", un des problèmes majeurs de l'industrie du contreplaqué, particulièrement en ce qui concerne le bouleau jaune (Clausen et Godman, 1967).

2.2.1.6 Écorce

On retrouve dans la littérature quelques mentions de ce qu'une écorce mince est indicatrice d'une bonne croissance et d'une bonne résistance aux insectes (Clausen et Godman, 1967 ; Lamontagne, 1978). Par exemple, Kriebel (1954) a observé chez le pin blanc que la susceptibilité aux attaques du charançon est plus faible si l'écorce est mince. Clausen et Godman (1967) signalent qu'une écorce mince chez le bouleau jaune peut également constituer un bon indicateur de résistance aux insectes. Selon ces auteurs, les distorsions présentes dans l'écorce du bouleau jaune peuvent résulter de la présence de bourgeons adventifs, de noeuds ou encore d'irrégularités qui s'avèrent indésirables, particulièrement dans l'industrie du déroulage.

Toujours selon Clausen et Godman (1967), la vigueur d'un bouleau jaune de 30 centimètres et plus de diamètre à hauteur de poitrine peut être estimée par l'apparence de son écorce. Les arbres vigoureux ont généralement une écorce mince, douce et jaune doré qui se divise en bandes de grande longueur, alors que les individus à croissance lente arborent une écorce épaisse, rugueuse et foncée, qui se brise en minces plaques. De plus, la squeletteuse du bouleau préfère généralement s'établir chez les individus à écorce épaisse, raison supplémentaire pour éviter la sélection de ces arbres. De façon générale, une écorce épaisse augmente la proportion de déchets d'exploitation et doit donc être évitée dans la mesure du possible.

2.2.2 Cime

Plusieurs critères de sélection sont à considérer lorsqu'on examine la cime d'un arbre semencier. Parmi les plus importants, mentionnons: la dominance apicale, la finesse et l'angle d'insertion des branches, l'élagage naturel et la longueur et la largeur de la cime ainsi que sa densité. L'examen de ces traits doit toujours se faire sur des arbres semenciers dominants ou co-dominants (Clausen et Godman, 1967 ; Lamontagne, 1978 ; Mackay et Lortie, 1990 ; Matthews, 1991 ; Smith *et al.*, 1996).

2.2.2.1 Dominance apicale

Chez les semenciers âgés de 20 à 60 ans, la flèche terminale doit être unique et bien déterminée, alors que les arbres plus âgés doivent avoir un fût le plus long possible sans fourche (Lamontagne, 1978 ; Mackay et Lortie, 1990). Pour le bouleau jaune, un fût central de la base jusqu'au sommet est souhaitable mais peu fréquent en raison des habitudes de croissance de l'espèce (Clausen et Godman, 1967). Les bouleaux jaunes à privilégier doivent avoir un fût central jusqu'aux $\frac{3}{4}$ de leur hauteur. Il faut éviter de sélectionner les arbres dont le fût central représente moins de 50% de la hauteur totale ou moins de 10 mètres (Clausen et Godman, 1967).

2.2.2.2 Finesse des branches

Lors de la sélection des arbres semenciers, il est important d'évaluer le diamètre moyen des branches aux de la cime. Les individus dominants ou co-dominants à privilégier sont ceux qui présentent le plus petit diamètre de branche possible (Clausen et Godman, 1967 ; Lamontagne, 1978 ; Mackay et Lortie, 1990 ; Matthews, 1991). En effet, une capacité photosynthétique accrue et donc une plus grande vigueur, sont associées à ce trait.

2.2.2.3 Angle d'insertion des branches

Les branches des arbres semenciers sélectionnés doivent avoir de préférence un angle d'insertion le plus près possible de 90 degrés par rapport au tronc (Clausen et Godman, 1967 ; Lamontagne, 1978 ; Mackay et Lortie, 1990 ; Matthews, 1991). Cette évaluation doit se faire à un niveau correspondant aux de la cime. Ce critère est particulièrement important dans le cas du bouleau jaune et est sous fort contrôle génétique d'après Clausen et Godman (1967). Toujours selon ces auteurs, il semble exister une relation étroite entre l'angle d'insertion des branches et leur diamètre chez le bouleau jaune : une augmentation de l'angle d'insertion va de pair avec une diminution du diamètre moyen des branches. De plus, des relations semblent exister entre l'angle d'insertion et le défilement du fût, l'élagage naturel et la grosseur des noeuds (Clausen et Godman, 1967).

Lamontagne (1987) signale qu'un angle d'insertion trop aigu augmente la proportion de bois de compression dans la tige, laisse de gros noeuds qui nécessitent plusieurs années pour se cicatriser et réduit la qualité des bois de sciage, ainsi que le rendement et la qualité des pâtes produites (Clausen et Godman, 1967). Selon Lamontagne (1987), un faible angle d'insertion maintient un nombre plus élevé de branches sur le tronc et cela, sur une plus grande distance.

Lamontagne (1987), Clausen et Godman (1967) et Isaac (1955) caractérisent les branches qui ont un angle d'insertion aigu de la façon suivante : 1) elles sont longues ; 2) elles ont un diamètre plus gros ; 3) elles s'élagent plus difficilement ; 4) elles sont plus sujettes au bris par la neige et le verglas ; 5) elles concurrencent la tige principale pour la croissance, et 6) elles forment des flèches doubles et des fourches.

2.2.2.4 Élagage naturel

On doit retrouver chez les arbres semenciers sélectionnés un élagage naturel bon à excellent (Clausen et Godman, 1967 ; Mackay et Lortie, 1990 ; Matthews, 1991). Il faut surtout éviter la présence de branches adventives (angle d'insertion plus faible) et de gourmands. Un bon élagage naturel permet de réduire la quantité de bois de compression dans les billes destinées à la

fabrication de bois de pâte et de minimiser l'importance des noeuds dans les grumes de sciage et déroulage (Lamontagne, 1978).

Un bon élagage consiste en quelques branches mortes localisées dans la partie supérieure du fût. Un sujet ne comportant aucune branche morte ou bosse sur le tronc possède un élagage naturel qualifié d'excellent. Ce trait morphologique est toujours souhaitable mais il demeure difficile d'établir s'il est lié à l'hérédité ou au micro-environnement. Pour un arbre qui croît depuis longtemps en milieu ouvert, l'élagage naturel peut être soumis à un fort contrôle génétique. Toutefois, en milieu forestier, il est beaucoup plus difficile d'établir ce lien.

2.2.2.5 Longueur, largeur et densité de la cime

Les arbres semenciers sélectionnés doivent posséder une cime dense et régulière, de préférence symétrique (Clausen et Godman, 1967 ; Lamontagne, 1978 ; Mackay et Lortie, 1990 ; Matthews, 1991). Une cime large et bien exposée est souhaitable pour le pin blanc et le chêne rouge, puisque ce trait est fortement corrélé à la quantité de fruits produits. La largeur de la cime revêt moins d'importance pour le bouleau à papier et le bouleau jaune, qui produisent de grandes quantités de semences. Cependant, une cime dense est généralement associée à une plus forte croissance chez le bouleau jaune (Clausen et Godman, 1967).

L'évaluation de la cime se fait par comparaison avec les arbres voisins de dimensions semblables dans un rayon égalant deux fois la hauteur de l'arbre évalué. Cette façon de procéder a pour but de minimiser l'impact du micro-environnement sur le processus de sélection (Clausen et Godman, 1967 ; Mackay et Lortie, 1990).

Clausen et Godman (1967) estiment que pour le bouleau jaune, la longueur de la partie vivante de la cime doit être comprise entre 35% et 40% de la longueur totale de l'arbre. La longueur de la cime est estimée à partir de l'endroit où débute la masse foliaire, et non du point d'insertion des branches sur le tronc (et cela sans tenir compte des branches adventives). La largeur de la cime constitue aussi un facteur à considérer puisque si celle-ci est étroite, pour une croissance similaire, elle occupe alors moins d'espace sur le terrain et permet ainsi d'avoir un plus grand

nombre d'individus par unité de superficie. L'étroitesse de la cime est généralement associée à un allongement de cette dernière. Un juste milieu doit donc être favorisé et selon Clausen et Godman (1967), le ratio représentant la largeur de la cime sur le diamètre à hauteur de poitrine constitue un bon moyen d'y parvenir. Ce ratio doit s'approcher de 25 :1, mais tend à être plus élevé chez les jeunes arbres et diminue lorsque les arbres vieillissent (18 à 20 :1).

2.3 Autres critères de sélection

2.3.1 Croissance

Dans le processus de sélection d'un arbre semencier, la croissance constitue généralement un facteur moins important à considérer que l'état sanitaire ou encore que la qualité des individus évalués. Cependant, un semencier choisi doit tout de même présenter une croissance moyenne ou encore supérieure à la moyenne (Smith *et al.*, 1996). En limite nordique de distribution d'une espèce, le facteur croissance peut devenir prioritaire (Lamontagne, 1978). De toute façon, le facteur croissance est souvent pris en considération de façon indirecte lors de la sélection opérée sur les autres critères (densité de la cime, texture de l'écorce, dominance apicale, état phytosanitaire, etc).

2.3.2 Âge

L'âge des arbres semenciers sélectionnés doit se rapprocher de l'âge optimum pour la production de semences (Tableau 7). Toutefois, Mackay et Lortie (1990) suggèrent de favoriser les individus dont l'âge est légèrement inférieur à cet optimum, particulièrement pour les essences à fructification abondante telles que le bouleau jaune et le bouleau à papier, afin de permettre une évaluation plus juste du phénotype à sélectionner. En effet, le choix d'individus plus vieux que l'âge optimum de reproduction implique possiblement la sélection de phénotypes fortement influencés par le micro-environnement, camouflant ainsi le caractère héréditaire des traits morphologiques désirés (Mackay et Lortie, 1990). L'âge est un critère rarement évalué dans les inventaires forestiers et donc difficile à utiliser. À âge égal, il est préférable de sélectionner les arbres possédant le plus fort diamètre, reflétant la meilleure croissance.

2.3.3 Production de semences

Bien que la quantité de semences produites soit moins importante dans le processus de sélection des arbres semenciers que la qualité et la croissance, cette caractéristique ne doit pas pour autant être ignorée (Greene et Johnson, 1998), d'autant plus que la floraison et la production de graines présentent un fort degré d'héritabilité (Matthews, 1991). Une mise en garde doit être apportée en ce qui concerne le bouleau jaune et le bouleau à papier, pour lesquels il est préférable d'éviter les arbres présentant une production surabondante de semences, phénomène qui conduit souvent à une diminution de la croissance et à une mortalité de cime chez ces espèces (Greene et Johnson, 1991).

Chez le pin blanc et le chêne rouge, les individus produisant beaucoup de cônes peuvent être identifiés lors des bonnes années semencières. Toutefois, cette façon de procéder est difficile à mettre en application compte tenu de l'irrégularité des bonnes années semencières chez ces deux espèces. Par ailleurs, pour les essences telles que le bouleau jaune et le bouleau à papier, chez lesquelles les bonnes années semencières sont plus rapprochées et plus régulières, l'identification des individus à fructification abondante est plus facilement réalisable.

La présence de cônes, de fruits entiers ou encore de résidus au sol permet une estimation de la fécondité d'un individu (Smith *et al.*, 1996). Chez la plupart des espèces forestières, un arbre produisant une quantité importante de semences ne peut être identifié que quelques mois à l'avance, quand les fruits et les graines sont formés (Smith *et al.*, 1996). Pour le bouleau jaune et le bouleau à papier, espèces à court cycle reproductif, la quantification de la production de semences à venir peut se faire en estimant l'abondance des chatons l'hiver précédent la dispersion (Erdmann, 1990). Pour les essences à cycle reproductif plus long telles que le chêne rouge et le pin blanc, ce repérage peut se faire encore plus précocement. Enfin, l'abondance de la fructification printanière chez l'érable rouge peut constituer un indicateur de la production de semences à venir chez le bouleau jaune et le bouleau à papier (Godman et Mattson, 1976).

2.3.4 Compétition

Il arrive que des individus d'une essence s'établissent avec succès dans des peuplements dominés par une autre essence, par exemple le bouleau jaune dans une érablière pure (Clausen et Godman, 1967). De tels individus peuvent être sélectionnés à condition qu'ils ne présentent pas de défauts majeurs. Selon Clausen et Godman (1967), cette bonne aptitude à la compétition pourrait être sous contrôle génétique.

2.4 La prépondérance de certains critères de sélection

Dans un programme d'amélioration génétique des arbres, la première étape consiste à identifier sur le terrain les meilleurs individus disponibles. Cette sélection basée sur le phénotype ne garantit pas la supériorité génétique des individus sélectionnés. L'étape suivante consiste à vérifier cette supériorité génétique en effectuant des tests de descendance, c'est-à-dire à tester la capacité des individus sélectionnés à transmettre leurs caractéristiques phénotypiques. C'est au cours de cette étape que l'on essaie d'identifier les traits phénotypiques soumis à un fort contrôle génétique. En milieu naturel, lors des opérations sylvicoles ou des inventaires forestiers, la sélection des arbres semenciers se fait uniquement à partir de l'expression du phénotype (sélection individuelle d'après Lamontagne et Corriveau, 1978), laquelle reflète à la fois le génotype, le micro-environnement et l'interaction de ces deux facteurs.

Certaines études ont permis de mieux appréhender le degré d'héritabilité de plusieurs traits phénotypiques. Cependant, cette meilleure connaissance du contrôle génétique sur certains traits n'élimine en rien le biais engendré par l'influence du micro-environnement dans le processus de sélection des arbres-mères. D'autres études sont nécessaires afin d'élargir nos connaissances relatives à l'héritabilité de l'ensemble des traits physiques qui interviennent dans le processus de sélection des arbres semenciers, et ceci pour les quatre espèces ici considérées.

Pour le moment, la sélection des traits dont l'héritabilité est connue comme forte doit primer dans le processus de sélection. Lamontagne (1985) signale qu'il a été démontré pour plusieurs espèces que la hauteur, les caractéristiques du bois (densité, longueur des trachéides, etc), l'épaisseur de

l'écorce, la résistance aux maladies et la rectitude du fût ont une forte héritabilité, alors que le diamètre et le volume de la tige sont plus fortement influencés par les méthodes culturales, donc moins héréditaires.

Il est donc possible de minimiser les biais dans le processus de sélection en respectant les connaissances déjà acquises sur ce point et en favorisant les arbres plus jeunes, dont le phénotype reflète moins l'influence du micro-environnement (aléas climatiques, compétition, etc).

Une hiérarchisation entre les différents critères de sélection doit être établis pour assurer l'obtention d'un gain génétique significatif. On doit tenir compte en premier lieu des critères de sélection liés à l'état phytosanitaire, car ils ont un fort degré d'héritabilité et sont responsables d'un déclassement sévère des grumes destinées au sciage et au déroulage. Viennent ensuite les critères rattachés à la forme et à la qualité, à héritabilité assez forte et à l'origine d'une valeur ajoutée importante. Les critères de croissance ont une importance moindre en raison de leur faible héritabilité et de leur dépendance vis-à-vis l'environnement. L'étude de Clausen et Godman (1967) résume assez bien le processus à suivre et les facteurs à considérer lors de la sélection d'arbres semenciers de bouleau jaune. La démarche proposée par ces auteurs, qui est en grande partie applicable aux autres essences considérées dans cette revue de littérature (bouleau à papier, chêne rouge et pin blanc), peut se résumer comme suit :

A) Choisir les semenciers parmi les arbres dominants ou co-dominants exempts de maladies et d'attaques par les insectes et si possible à fructification abondante;

B) Moduler la sélection ainsi effectuée en considérant les caractéristiques du fût et de la cime :

- choisir un fût droit et rond, à faible défilement, possédant un bon élagage naturel et un grain droit. L'arbre ne doit pas avoir de fourche ou de défauts tels que les gélivures, les insulations, les distorsions de l'écorce ou encore les blessures occasionnées par les mammifères ou les oiseaux (notamment les pics) ;

- choisir une cime avec une bonne dominance apicale. Les branches doivent avoir un angle d'insertion aussi élevé que possible et un diamètre aussi petit que possible.

C) Comparer les individus supérieurs pré-sélectionnés en fonction de la qualité avec leurs voisins immédiats, compris dans un rayon correspondant à 2 fois la hauteur des arbres choisis. La vérification de la supériorité d'un candidat par rapport à ses voisins soumis aux mêmes conditions micro-environnementales permet de valider le choix. Lorsque des arbres témoins possèdent des caractéristiques physiques similaires à celles du candidat sélectionné, il importe alors de comparer la croissance en diamètre et en hauteur entre ces individus. À caractéristiques similaires, le candidat doit être sélectionné si sa croissance en diamètre et en hauteur est supérieure de 5% par rapport aux témoins (Lamontagne, 1978). Les traits de croissance suivants doivent être examinés :

- l'arbre sélectionné doit avoir le même âge, ou être plus jeune, que les individus auxquels on le compare ;
- la longueur de la cime vivante doit être de 40% ou moins de la longueur totale de l'arbre chez les jeunes sujets, et entre 25% et 35% chez les individus plus âgés (ces données s'appliquent particulièrement au bouleau jaune) ;
- le ratio entre le diamètre de la cime et le diamètre du fût ne doit pas excéder 22 :1 chez les arbres de 20 cm et moins et doit être compris entre 18 :1 et 20 :1 chez les arbres de diamètre supérieur à 20 cm (ces données s'appliquent particulièrement au bouleau jaune) ;
- seuls des arbres possédant une cime de densité moyenne à dense doivent être sélectionnés ;
- un arbre sélectionné doit avoir une croissance supérieure ou égale à la moyenne (au moins 5 cm de croissance en diamètre sur dix ans pour le bouleau jaune).

D) Accorder une attention spéciale aux arbres bien établis dans un peuplement quasi-pur d'une autre espèce.

En milieu naturel, il est difficile de trouver des arbres semenciers satisfaisant à l'ensemble de ces critères. En général, seuls quelques-uns de ces critères sont vérifiés. Il faut alors faire preuve de bon sens et privilégier les arbres dont les caractères morphologiques ou phénotypiques dominants ont une forte héritabilité et un impact économique important (rectitude du fut, absence de fourche, insertion des branches, bon élagage naturel, absence de maladie). Par ailleurs, la sélection pour plusieurs traits phénotypiques ne fournit pas toujours les résultats escomptés en termes de gain génétique, si bien qu'il est préférable d'opérer une sélection sur un petit nombre de traits ayant une forte importance économique (Lamontagne, 1978). En effet, plusieurs traits favorables sont reconnus pour être corrélés négativement au point de vue génétique (Lamontagne, 1978).

Bibliographie

1. Ahlgren, C.E., 1957. Phenological observations of nineteen native tree species. *Ecol.* 38(4) : 622-628.
2. Archibold, O.W., 1980. Seed input into a post-fire forest site in northern Saskatchewan. *Can. J. Bot.* 57 : 54-58.
3. Barnett, J.P., 1988. Eastern white pine cone and seed maturity in the Southern Appalachians. USDA Forest Service, Alexandria Forestry Center, Pineville North. *J. appl. For.* 5 : 172-173.
4. Benzie, J.W., 1959. Sugar maple and yellow birch seed dispersal from a fully stocked stand of mature northern hardwoods in the upper peninsula of Michigan. United States Forest Service, Technical Note, LS-561.
5. Bjorkbom, J.C., 1971. Production and germination of paper birch seed and its dispersal into a forest opening. US Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA. Research Paper NE-209, Upper Darby, P.A., 14 p.
6. Bjorkbom, J.C., D.A. Marquis et F.E. Cunningham, 1965. The variability of paper birch seed production, dispersal, and germination. US Forest Service, Northeastern Forest Experiment, Upper Darby, PA. Research Paper NE-41, 8 p.
7. Bormann, F.H., T.G. Siccama, G.E. Likens et R.H. Whittaker, 1970. The Hubbard Brook ecosystem study : composition and dynamics of the tree stratum. *Ecological Monographs*, 40 : 373-388.
8. Brinkman, K.A., 1974. *Betula L. Birch. Dans* Seeds of woody plants in the United States. C.S. Schopmeyer, tech. coord. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 450. Washington, DC. p. 252-257.
9. Burton, D.H., H.W. Anderson et L.F. Riley, 1969. Natural regeneration of yellow birch in Canada. *Dans* Proceedings, Birch Symposium. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA. p. 55-73.
10. Buse, L.J., 1992. Critical silvics of white pine as related to vegetation management. *Dans* Technical Note TN-14, Ministry of Natural Resources, Northwestern Ontario Forest Technology Development Unit, Thunder Bay, Ontario. p. 1-8.
11. Canham, C.D. et P.L. Marks, 1985. The response of woody plants to disturbance : patterns of establishment and growth. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics* Eds S.T.A. Pickett and P.S. White, Academic Press, NewYork. p. 197-216.
12. Cavers, P.B., 1983. Seed demography. *Can. J. Bot.* 61 : 3578-3590.
13. Clark, B.F. et R.F. Watt., 1971. Silvicultural methods for regenerating oaks. *Dans* Proceedings of Oak Symposium at Morgantown, WV. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeast Forest Experiment Station, Upper Darby, PA. p. 37-43.
14. Clausen, K.E., 1975. Long-term storage of yellow birch and paper birch seed. USDA Forest Service, Research Note NC-183. North Central Forest Experiment Station, St-Paul, MN. 3 p.

-
15. Clausen, K.E., 1973. Genetics of yellow birch. USDA Forest Service, Research Paper WO-18. Washington, DC. 28 p.
 16. Clausen, K.E. et R.M. Godman, 1967. Selecting superior yellow birch trees. USDA Forest Service, Washington, DC. Research Paper WO-18. 10 p.
 17. Davidson, J.G., 1989. Lettre de commentaires relatifs au mémoire préparé par l'AFMQ : "Les forêts feuillues de qualité au Québec : une intervention urgente s'impose !". Ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la recherche et du développement (Forêts), 3 p.
 18. Dendrotik Inc., 1995. Méthodes alternatives d'aménagement des bétulaies blanches. Essais, expérimentations et transfert technologique en foresterie. Service canadien des forêts. Projet no 9000. 57 p.
 19. Déry, G., 1989. Les forêts feuillues de qualité au Québec : une intervention urgente s'impose ! Mémoire de l'Association des manufacturiers de meubles du Québec, 30 p.
 20. Elliot, D.L., 1979. The current regenerative capacity of the northern Canadian trees, Keewatin, N.W.T., Canada : some preliminary observations. Arct. Alp. Res. 11 : 243-251.
 21. Erdmann, G.G., 1990. *Betula alleghaniensis* Britton. Dans *Silvics of North America*. Vol 2. Hardwoods. USDA Forest Service, Washington, DC.
 22. Falconer, D.S., 1960. Introduction to quantitative genetics. The Rionald Press, New York, 365 p.
 23. Fernald, M.L., 1950. Gray's Manual of Botany. 8th edition, American Book Co., New York. 1 632 p.
 24. Ford, R.H., T.L. Sharik et P.P. Feret, 1983. Seed dispersal of the endangered virginia round-leaf birch (*Betula uber*). Forest Ecology and Management, 6 : 115-128.
 25. Fowler, D.P. et C.C. Heimburger, 1969. Genetic improvement of red pine and eastern white pine. Forestry Chronicle, 45 : 414-420.
 26. Froberg, H. et O. Ericksson, 1997. Local colonization and extinction of field layer plants in a deciduous forest and their dependence upon life history features. J. Veg. Sci. 8 : 395-400.
 27. Gevorkiantz, S.R. et R. Zon, 1930. Second-growth white pine : its growth, yield, and commercial possibilities. Wisconsin. Agriculture Experiment Station, Bulletin 98. 40 p.
 28. Gilbert, A.M., 1965. Yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton). Dans *Silvics of forest trees of the United States*. H.A. Fowells, comp. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 271. Washington, DC. p. 104-109.
 29. Gilbert, A.M., 1960. Silvical characteristics of yellow birch (*Betula alleghaniensis*). USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Station Paper 134, 19 p.
 30. Godman, R.M. et A. Mattson, 1976. Seed crops and regeneration problems of 19 species in northeastern Wisconsin. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Minnesota. Research Paper NC-123, 5 p.
-

-
31. Graber, R.E., 1970. Natural seed-fall in white pine (*Pinus strobus* L.) stands of varying density. USDA Forest Service, Research Paper NE-119, 6 p.
 32. Graber, R.E. et D.F. Thompson, 1978. Seeds in the organic layers and soil of beech-birch-maple stands. United States Forest Service, Research Paper, NE-401.
 33. Granström, A., 1987. Seed viability of fourteen species during five years of storage in a forest soil. *Journal of Ecology*, 75 : 321-331.
 34. Granström, A. et C. Fries, 1985. Depletion of viable seeds of *Betula pubescens* and *Betula verrucosa* sown onto some north Swedish forest soils. *Can. J. For. Res.* 15 : 1176-1180.
 35. Greene, D.F. et E.A. Johnson, 1998. Seed mass and early survivorship of tree species in upland clearings and shelterwoods. *Can. J. For. Res.* 28 : 1307-1316.
 36. Greene, D.F. et E.A. Johnson, 1997. Fruit abscission in *Acer saccharinum* with reference to seed dispersal. *Can. J. Bot.* 70 : 2277-2283.
 37. Greene, D.F., J.C. Zasada, L. Sirois, D. Kneeshaw, H. Morin, I. Charron et M.-J. Simard, 1999. A review of the regeneration dynamics of North American boreal forest tree species. *Can. J. For. Res.* 29 : 824-839.
 38. Hannah, P.R., 1972. Yellow birch root occupancy related to stump and breast height diameters. Vermont Agricultural Experiment Station, Bulletin 669. University of Vermont, Burlington. 9 p.
 39. Harlow, W.M., E.S. Harrar et F.M. White, 1979. Textbook of dendrology, 6th edition. McGraw-Hill, New York. 510 p.
 40. Harris, A.S., 1969. Ripening and dispersal of a bumper western hemlock-sitka spruce seed crop in Southeast Alaska. U.S. Forest Service. Research Paper PNW-105.
 41. Hatcher, R.J., 1966. Yellow birch regeneration on scarified seedbeds under small canopy openings. *Forestry Chronicle*, 42 : 350-358.
 42. Horton, K.W. et W.G.E. Brown, 1960. Ecology of white and red pine in the Great Lakes-St. Lawrence forest region. Canadian Department of Northern Affairs and National Resources, Forestry Branch. Technical Note 88. 22 p.
 43. Houle, G., 1999. Mast seeding in *Abies balsamea*, *Acer saccharum* and *Betula alleghaniensis* in an old growth, cold temperate forest of north-eastern North America. *Journal of Ecology*, 87 : 413-422.
 44. Houle, G., 1994. Spatiotemporal patterns in the components of regeneration of four sympatric tree species – *Acer rubrum*, *A. saccharum*, *Betula alleghaniensis* and *Fagus grandifolia*. *Journal of Ecology*, 82 : 39-53.
 45. Houle, G., 1992. The reproductive ecology of *Abies balsamea*, *Acer saccharum* and *Betula alleghaniensis* in the Tantaré Ecological Reserve, Québec. *Journal of Ecology*, 80 : 611-623.
 46. Houle, G., 1992. Spatial relationship between seed and seedling abundance and mortality in a deciduous forest of north-eastern North America. *Journal of Ecology*, 80 : 99-108.
-

-
47. Houle, G., 1991. Regenerative traits of tree species in a deciduous forest of northeastern North America. *Holarctic ecology*, 14 : 142-151.
 48. Houle, G. et S. Payette, 1990. Seed dynamics of *Betula alleghaniensis* in a deciduous forest of northeastern North America. *Journal of Ecology*, 78 : 677-690.
 49. Hughes, J.W. et T.J. Fahey, 1991. Colonization dynamics of herbs and shrubs in a disturbed northern hardwood forest. *J. Ecol.* 79 : 605-616.
 50. Hughes, J.W. et T.J. Fahey, 1988. Seed dispersal and colonization in a disturbed northern hardwood forest. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 115 : 89-99.
 51. Hutnik, R.J., 1952. Reproduction on windfalls in a northern hardwood stand. *Journal of Forestry*, 50 : 693-694.
 52. Isaac, L.A., 1955. Tentative guides for the selection of plus trees and superior stands in Douglas fir. USDA Forest Service, Pacific Northwest Forestry and Range Experiment Station, Research Paper 122.
 53. Jonsson, A.A., 1974. Study on the temperature response of pollen mother cells in Norway spruce. *Stud. For. Suec.* 116 : 1-32.
 54. Karlsson, C., 2000. Seed production of *Pinus sylvestris* after release cutting. *Can. J. For. Res.* 30 : 982-989.
 55. Kelly, D., 1994. The evolutionary ecology of mast seeding. *Trends in Ecology and Evolution*, 9 : 465-492.
 56. Kormanik, P.P., S.S. Sung, T.L. Kormanik, S.E. Schlarbaum et S.J. Zarnoch, 1998. Effect of acorn size on development of northern red oak 1-0 seedling. *Can. J. For. Res.* 28 : 1805-1813.
 57. Kormanik, P.P., S.S. Sung, T.L. Kormanik, S.J. Zarnoch et S. Schlarbaum, 1998b. Heritability of first order lateral roots in five *Quercus* species : effect on 1-0 seedling quality evaluation. *Dans Proceedings of the Second Meeting Genetics of Quercus : Diversity and Adaptation in Oak Species*. The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania. p. 193-200.
 58. Kriebel, H.B., 1954. Bark thickness as a factor in resistance to white pine weevil injury. *Journal of Forestry* 52 (11) : 842-845.
 59. Lamontagne, Y., 1985. Guide relatif à la sélection d'arbres-plus. Ministère de l'Énergie et des ressources, Service des pépinières et du reboisement, Québec. 30 p.
 60. Lamontagne, Y., 1978. Guide relatif à la sélection d'arbres-plus. Ministère de l'Énergie et des ressources, Service des pépinières et du reboisement, Ministère, Québec. 21 p.
 61. Lamontagne, Y. et R. April, 1979. Petit manuel des semences forestières résineuses au Québec. Ministère des Terres et Forêts, Direction générale des forêts, Direction de l'aménagement des forêts, Service des pépinières et du reboisement. Québec. 39 p.
 62. Lamontagne, Y. et A.G. Corriveau, 1978. Glossaire des termes techniques utilisés en amélioration des arbres forestiers. Ministère Terres et Forêts, Québec.
-

-
63. Leak, W.B., D.S. Soloman et P.S. DeBald, 1987. Silvicultural guide for northern hardwood types in the Northeast (revised). USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Research Paper NE-603.
64. Leckie, S., M. Vellend, G. Bell, M.J. Waterway et M.J. Lechowicz, 2000. The seed bank in an old-growth, temperate deciduous forest. *Can. J. Bot.* 78 : 181-192.
65. Linteau, A., 1948. Factors affecting germination and early survival of yellow birch (*Betula lutea* Michx.) in Quebec. *Forestry Chronicle*, 24 : 27-86.
66. Lyon, N.F., 1951. Seed dispersal test. Ontario Department of Lands and Forest, Project. Report 1950-1951. p. 75-76.
67. Mackay, J. et P. Lortie, 1990. Guide pratique pour la sélection d'arbres-plus de feuillus nobles. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la recherche et du développement, Service de l'amélioration des arbres. Guide de recherche forestière n° 7. 12 p.
68. Major, J. et W.T. Pyott, 1966. Buried, viable seeds in two California bunchgrass sites and their bearing on the definition of a flora. *Vegetatio*, 13 : 253-282.
69. Marquis, A., 1975. Seed storage and germination under northern hardwood forest. *Can. J. For. Res.* 5 : 478-484.
70. Marquis, D.A., 1963. The seeding habits of paper and yellow birch, a literature review. Office report on file at USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Durham, N.H. 33 p.
71. Marquis, D. A., P.L. Eckert, et B.A. Roach., 1976. Acorn weevils, rodents, and deer all contribute to oak regeneration difficulties in Pennsylvania. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment, Broomall, PA. Research Paper NE-356. 5 p.
72. Marquis, D.A., D.S. Solomon et J.C. Bjorkbom, 1969. A silvicultural guide for paper birch in the northeast. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Research Paper NE-130. 46 p.
73. Masse, L., 1992. Manuel – L'approvisionnement en semences forestières. Ministère des Forêts, Service de la production de plants. Charlesbourg, Québec. 193 p.
74. Matlack, G.R., 1989. Secondary dispersal of seed across snow in *Betula lenta*, a gap-colonizing tree species. *Journal of Ecology*, 77 : 853-869.
75. Matthews, J.D., 1991. Silvicultural systems. Clarendon Press, Oxford. 284 p.
76. Messer, H., 1956. Untersuchungen ubber das fruchten der weymauthskiefer (*Pinus strobus* L.) und der Gruenen Douglaisie (*Pseudotsuga taxifolia* var. *viridis*). *Ztschr. Forstgenet.* 5 (2) : 33-40.
77. Moore, J.M. et R.W. Wein, 1977. Viable seed populations by soil depth and potential site recolonization after disturbance. *Can. J. Bot.* 55 : 2408-2412.
78. Morissette, T., L. Masse et J. Grenier, 1995. La récolte de semences forestières (2^{ème} édition). Guide. Québec, Les Publications du Québec. 124 p.
79. MRN, 1998. Manuel d'aménagement forestier. Documents d'annexes. 3^{ème} édition. Québec.
-

-
80. MRN, 1995. Petit manuel des semences forestières au Québec. Division des semences forestières, Direction de l'assistance technique, Québec. 72 p.
81. OMNR, 1998. A silvicultural guide for the tolerant hardwood forest in Ontario. Ont. Ministry Natural Resources. Queen's Printer for Ontario, Toronto. 500 p.
82. OMNR, 1998. A silvicultural guide for the Great Lakes-St. Lawrence conifer forest in Ontario. Ontario Ministry of Natural Resources. Queen's Printer for Ontario, Toronto. 424 p.
83. Owens, J.N. et M. Molders, 1980. Sexual reproduction of Sitka spruce (*Picea sitchensis*). Can. J. Bot. 58 : 886-901.
84. Perala, D.A. et A.A. Alm, 1990. Reproductive ecology of birch : a review. For. Ecol. Manage. 32 : 1-38.
85. Pickett, S.T.A. et M.J. McDonnell, 1989. Seed bank dynamics in temperate deciduous forests. Dans Ecology of soil seed banks. Edited by M.A. Leck, V.T. Parker et R.L. Simpson, Academic Press, San Diego, California. p. 123-147.
86. Piroznikov, E., 1983. Seed bank in the soil of stabilized ecosystem of a deciduous forest Tilio-Carpinetum in the Bialowieza National park. Ekol. Ol. 311 : 145-172.
87. Quentin, B., 1994. Expérimentation de divers traitements sous couvert pour favoriser la régénération d'essences désirées en peuplements feuillus et mélangés, dégradés à base d'érables et de bouleaux jaunes. Essais, expérimentations et transfert technologique en foresterie. Service canadien des forêts. Projet no 1019. 39 p.
88. Qi, M. et J.S. Scarratt, 1998. Effect of harvesting method on seed bank dynamics in a boreal mixedwood forest in northwestern Ontario. Can. J. Bot. 76 : 872-883.
89. Rainville, A., 1998. Amélioration génétique des feuillus à bois noble. Ministère des forêts, Service de l'amélioration des arbres, Gouvernement du Québec, Projet 0891 131S, 24 p.
90. Rudolf, P.O., 1956. Guide for selecting superior forest trees and stands in the Lake States. USDA Forest Service., Lake States Forest Experiment Station, Sta. Research Paper N 40.
91. Safford, L.O., 1983. Silvicultural guide for paper birch in the northeast (rev.ed.). USDA Forest Service, Northeastern Forest Experimental Station, Research Paper NE-535. 29 p.
92. Safford, L.O., 1981. Unpublished report. Northeastern Forest Experiment Station, Durham, NH.
93. Safford, L.O., J.C. Bjorkbom et J.C. Zasada, 1990. *Betula papyrifera* Marsh. Dans Silvics of North America, Vol 2, Hardwoods. USDA Forest Service, Washington, DC. P 158-171.
94. Sander, I.L., 1990. *Quercus rubra* L. Dans Silvics of North America, Vol 2, Hardwoods. USDA Forest Service, Washington, DC.
95. Sander, I.L., 1979. Regenerating oaks with the shelterwood system. Dans Proceedings, Regenerating Oaks in Upland Hardwood Forests. John S. Wright Forestry Conference, Purdue University, West Lafayette, IN. p. 54-60.
-

-
96. Sander, I.L., 1965. Northern red oak (*Quercus rubra* L.). Dans *Silvics of forest trees of the United States*. H. A. Fowells, comp. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 271. Washington, DC, p. 588-592
 97. Schopmeyer, C.S., 1974. Seeds of woody plants in the United States. USDA Forest Service, Agriculture. Handbook 450, Washington, DC. 883 p.
 98. Sedgley, M. et A.R. Griffin, 1989. Sexual reproduction of tree crops. Academic Press, New York.
 99. Service Canadien des Forêts, 1983. La reproduction des conifères. Guide pour l'évaluation des récoltes de cônes. Rapport technique de foresterie, n° 31. Environnement Canada. 38 p.
 100. Smith, C.C., J.L. Hamrick et C.L. Kramer, 1990. The advantage of mast years for wind pollination. *American Naturalist*, 136 : 154-166.
 101. Smith, D.M., B.C. Larson, J.K. Matthew et P.M.S. Ashton, 1996. The practice of silviculture. Applied forest ecology. 9th ed., John Wiley and Sons, New York. 537 p.
 102. Sork, V.L., 1984. Examination of seed dispersal and survival in red oak, *Quercus rubra* (Fagaceae), using metal-tagged acorns. *Ecology*, 65 (3) : 1020-1022.
 103. Sork, V.L. et J. Bramble, 1993. Prediction of acorn crops in three species of North American oaks : *Quercus alba*, *Q. rubra* and *Q. velutina*. *Annales Des Sciences Forestières*, 50 : 128-136.
 104. Sork, V.L., J. Bramble et O. Sexton, 1993. Ecology of mast-fruiting in three species of North American oaks, *Ecology*, 74 : 528-541.
 105. Thompson, K., 1986. Small-scale heterogeneity in the seed bank of an acidic grassland. *J. Ecol.* 74 : 733-738.
 106. USDA Forest Service, 1969. Data filed 1969. Eastern Tree Seed Laboratory, Macon, Ga.
 107. USDA Forest Service, 1948. Woody-plant seed manual. U.S. Department of Agriculture, Miscellaneous Publication 654. 416 p.
 108. Van Dersal, W.R., 1938. Native woody plants of the United States : their erosion control and wildlife values. U.S. Department of Agriculture, Miscellaneous Publication 303. 362 p.
 109. Vlasiu, P.D., P. Nolet. et F. Doyon, 2000. Le pin blanc : Revue de littérature. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue, 101 pp.
 110. Wendell, G.W. et H.C. Smith, 1990. *Pinus strobus* L. Dans *Silvics of North America*, Vol 2, Hardwoods. USDA Forest Service, Washington, DC.
 111. Williams, R.D. et S.H. Hanks, 1976. Hardwoods nursery man's guide. USDA. Forest Service, Agriculture. Handbook 473. 78 p.
 112. Wilson, R.W. et W.F. McQuilkin, 1965. Dans *Silvics of forest trees of the United States*. H.A. Fowells, comp. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 271. Washington, DC. p. 329-337.
-

-
113. Wilson, R.W. et W.F. McQuilkin, 1963. Silvical characteristics of eastern white pine (*Pinus strobus*, L.). USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA. Research Paper NE-13.
 114. Wood, O.M., 1932. An example of white pine reproduction on burned lands in Northeastern Pennsylvania. *Journal of Forestry*, 30 : 838-845.
 115. Wright, J. W., 1970. Genetics of eastern white pine. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Broomall, PA. Research Paper NE-13. 29 p.
 116. Wright, J.W., 1953. Notes on flowering and fruiting of northeastern trees. U.S. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Station Paper 60. 38 pp.
 117. Wright, J.W. et W.J. Gabriel, 1957. Effects of continuous bagging of white pine cones. U.S. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Station Paper 99. 6 p.
 118. Young, J.A. et C.G. Young, 1992. Seeds of woody plants in North America. Dioscorides press, Portland, Oregon. 407 p.
 119. Zasada, J.C., 1985. Production, dispersal, and germination of white spruce and paper birch and first-year seedling establishment after the Rosie Creek fire. *Dans* Early results of the Rosie Creek fire project, 1984. G.P. Juday and C.T. Dyrness, eds. Miscellaneous Publication 85-2. Agriculture and Forestry Experiment Station, University of Alaska, Fairbanks. p. 34-37.
 120. Zasada, J.C., 1981. Unpublished report. USDA Forest Service, Institute for Northern Forestry, Fairbanks, AK.
 121. Zobel, B. et J. Talbert, 1984. Applied forest tree improvement. John Wiley & Sons, Inc., N.Y. 505 p.

Notes

122. CSFB, (1994). Notes fournies en mai 1994 concernant les résultats d'extraction en 1993 chez le bouleau.
123. Grenier, J., 1995. Sondage téléphonique réalisé en mars 1995 auprès des responsables de récolte de cônes et de fruits en région et traitant du nombre de litres par semencier.

Autres

124. Brault, N., 1995. Conversation en avril 1995 entre M. Brault et M. Grenier concernant la durée d'entreposage des graines de certaines essences résineuses.