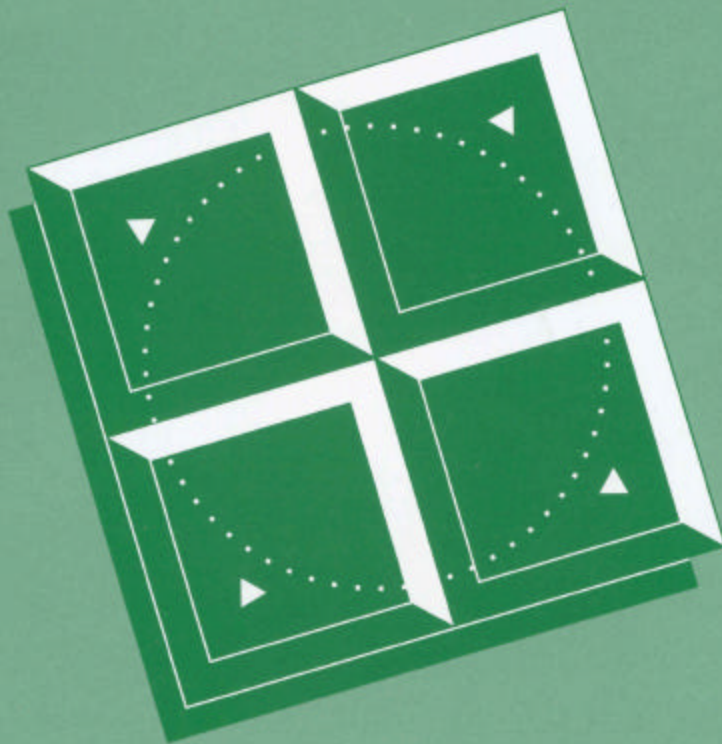


Mémoire de recherche forestière n° 133

L'éclaircie des plantations

par G. Prigent



Québec 

Guy PRÉGENT est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1980. En 1985, le même établissement lui décernait le diplôme de maître ès sciences (écologie et pédologie forestières). De 1982 à 1987, il est assistant de recherche à la Faculté de foresterie et de géodésie de l'Université Laval, puis professionnel de recherche au Centre de recherche en biologie forestière du même établissement. À l'emploi du Ministère à partir de 1987, il est d'abord affecté au Service de la régénération forestière puis, depuis 1992, au Service de l'amélioration des arbres, à titre de chargé de recherches sur la mesure des effets réels dans les plantations.



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

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

Adresser toute demande à :

Publications
Direction de la recherche forestière
Forêt Québec, MRN
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (QUÉBEC)
Canada G1P 3W8

(Courriel : carfa1@mrn.gouv.qc.ca)

L'éclaircie des plantations



L'éclaircie des plantations

par

Guy PRÉGENT, ing.f., M.Sc.
Service de l'amélioration des arbres

Mémoire de recherche forestière n° 133

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles
Forêt Québec
Direction de la recherche forestière
1998

Ce texte est un rapport partiel du projet de recherche numéro 0705-0899-313E : « Élaboration de tables de production et mesure des effets réels dans les plantations aménagées ».

RN98-3093

ISBN 2-550-33778-6

Dépôt légal 1998

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

© 1998 Gouvernement du Québec

Remerciements

L'auteur tient à remercier M. Fabien Caron pour la révision linguistique et l'édition de ce texte, ainsi que les examinateurs anonymes pour leurs commentaires et suggestions.

Résumé

L'éclaircie procure plusieurs avantages : elle favorise la croissance en diamètre des tiges résiduelles (des plus belles tiges par surcroît s'il s'agit d'une éclaircie sélective), elle augmente la production en volume en récupérant le bois qui serait perdu par mortalité en absence d'éclaircie, elle améliore la stabilité et la biodiversité des plantations tout en ayant des impacts économiques importants. À l'exception de ses coûts élevés, les effets négatifs de l'éclaircie sont souvent temporaires et de peu d'importance en comparaison de ses avantages majeurs. Après avoir discuté des types d'éclaircie (systématique et sélective) et de leurs avantages et désavantages, on traite des façons permettant de déterminer à quel moment, à quelle intensité et à quelle fréquence éclaircir. On discute également des problèmes liés aux retards de la première éclaircie. Ce phénomène est particulièrement fréquent au Québec dans le cas des plantations ayant une forte densité de reboisement. Le report de l'éclaircie afin de récolter du plus gros bois a des conséquences extrêmement dommageables pour la plantation : les arbres ont un plus faible diamètre à toutes les coupes subséquentes jusqu'à la coupe finale, on hypothèque la croissance de 80 à 90 % de toute la production en volume et encore plus en valeur monétaire, on compromet la stabilité de la plantation et on diminue les possibilités subséquentes d'éclaircie. Toute perte de croissance qui résulte d'un retard d'éclaircie ne peut être rattrapée par la suite. En dépit de ses coûts et de la faible quantité de bois récolté, la première éclaircie est celle qui a le plus d'impacts sur les caractéristiques futures de la plantation. Si elle s'avère non rentable, il est préférable de recourir à une éclaircie précommerciale en plus bas âge ou de diminuer la densité de reboisement afin d'obtenir les dimensions voulues au moment de cette première éclaircie plutôt que de la reporter. Différents scénarios d'éclaircie sont analysés afin de démontrer la très grande importance des choix de l'aménagiste sur les caractéristiques de la plantation et pour atteindre les objectifs de production.

Mots-clés : éclaircie, croissance, production, plantation, volume, stabilité.

Abstract

On thinning plantations. Thinning offers many advantages : it helps diameter increment of residual stems (which are also the better stems in the case of selection thinning), it helps volume increment through salvaging timber that would be lost to mortality if there was no thinning, it promotes the stability and biodiversity of a plantation while having important economic impacts. Except for its high cost, the negative effects of thinning are often temporary and are of little importance as opposed to its major advantage. After discussing thinning types (systematic and selection) and their advantages and disadvantages, ways to determine the time, intensity and frequency of thinning are discussed. Problems related to delaying the first thinning are also discussed. This phenomenon is particularly common in Québec in the case of plantations with a high reforestation density. Delaying thinning in order to harvest bigger timber has extremely damaging consequences on the plantation : trees are of a smaller diameter at all subsequent thinnings including final cut, increment of 80 to 90 % of the production in volume and even more in monetary value is jeopardized, plantation stability is compromised, and the subsequent possibilities for thinning are diminished. Any growth loss resulting from a delay in thinning can never be recovered later on. Despite its cost and the small quantity of recovered timber, the first thinning is the one that has the biggest impact on the future characteristics of a plantation. If it shows to be non profitable, it is preferable to resort to precommercial thinning at a younger age or to reduce planting density in order to get the required dimensions at the time of this first thinning rather than to delay it. Different thinning scenarios are analyzed in order to show the important consequences of the manager's choices on the characteristics of a plantation and on reaching production goals.

Key words : thinning, growth, yield, plantation, volume, stability.

Table des matières

| | |
|--|-----|
| Remerciements | v |
| Résumé | vii |
| <i>Abstract</i> | vii |
| Tableau | ix |
| Liste des figures | ix |
| Introduction | 1 |
| Chapitre premier | |
| L'évolution des plantations non éclaircies | 3 |
| Chapitre deux | |
| Les effets de l'éclaircie | 7 |
| 2.1 Effets positifs | 7 |
| 2.2 Effets négatifs | 7 |
| Chapitre trois | |
| Les types d'éclaircie | 9 |
| Chapitre quatre | |
| À quel moment éclaircir ? | 11 |
| 4.1 Hauteur dominante | 11 |
| 4.2 Rapport H/D des arbres dominants | 11 |
| 4.3 Coefficient de Hart-Becking | 11 |
| 4.4 Surface terrière | 12 |

Chapitre cinq

| | |
|---|----|
| À quelle intensité et à quelle fréquence éclaircir ? | 15 |
|---|----|

Chapitre six

| | |
|---|----|
| Quels choix faire et quels en sont les impacts ? | 17 |
| 6.1 Effets sur le nombre d'éclaircies nécessaires | 19 |
| 6.2 Effets sur le DHP des tiges en première éclaircie | 19 |
| 6.3 Effets sur le pourcentage de la production totale récolté en première éclaircie | 19 |
| 6.4 Les retards d'éclaircie | 21 |
| 6.5 Effets sur le DHP des tiges à la coupe finale | 21 |
| 6.6 Effets sur le nombre de tiges à la coupe finale | 21 |
| 6.7 Effets sur la production en volume total | 26 |
| Conclusion | 27 |
| Bibliographie | 29 |
| Annexe A Simulation d'éclaircies systématiques pour des plantations d'épinette de Norvège avec un indice de qualité de station de 14 m selon divers scénarios de coupe et densités de reboisement | 33 |
| Annexe B Simulation d'éclaircies systématiques pour des plantations d'épinette de Norvège avec un indice de qualité de station de 10 m selon divers scénarios de coupe et densités de reboisement | 36 |
| Annexe C Simulation d'éclaircies systématiques pour des plantations d'épinette de Norvège avec un indice de qualité de station de 6 m selon divers scénarios de coupe et densités de reboisement | 38 |

Tableau

Nombre de tiges marchandes, volume moyen des tiges marchandes et volume marchand à 50 ans dans les plantations d'épinette blanche selon la densité de reboisement et l'indice de qualité de station

5

Liste des figures

Figure 1 Nombre de tiges mortes par hectare dans les plantations d'épinette blanche de 50 ans selon la densité de reboisement et l'indice de qualité de station (IQS)

4

Figure 2 Volume total mort (m^3/ha) dans les plantations d'épinette blanche de 50 ans selon la densité de reboisement et l'indice de qualité de station (IQS)

4

Figure 3 Âge de la première éclaircie déterminé à partir du coefficient de Hart-Becking ($S = 20\%$) dans les plantations d'épinette de Norvège selon la densité de reboisement et l'indice de qualité de station (IQS)

12

Figure 4 Âge de la première éclaircie déterminé à partir de la surface terrière totale ($G_t = 30 m^2/ha$) pour les plantations d'épinette de Norvège selon la densité de reboisement et l'indice de qualité de station (IQS)

13

Figure 5 Âge de la première éclaircie déterminé à partir de la surface terrière totale ($G_t = 30 m^2/ha$) pour les plantations d'épinette blanche selon la densité de reboisement et l'indice de qualité de station (IQS)

13

Figure 6 Nombre d'éclaircies nécessaires dans les plantations d'épinette de Norvège selon l'indice de qualité de station, la densité de reboisement et divers scénarios d'éclaircie

18

-
- Figure 7** DHP moyen des tiges récoltées en première éclaircie systématique dans les plantations d'épinette de Norvège selon l'indice de qualité de station, la densité de reboisement et divers scénarios d'éclaircie 20
- Figure 8** Pourcentage de la production totale récolté en première éclaircie systématique dans les plantations d'épinette de Norvège selon l'indice de qualité de station, la densité de reboisement et divers scénarios d'éclaircie 22
- Figure 9** DHP des tiges à la coupe finale dans les plantations d'épinette de Norvège selon l'indice de qualité de station, la densité de reboisement et divers scénarios d'éclaircie 23
- Figure 10** Nombre de tiges à la coupe finale dans les plantations d'épinette de Norvège selon l'indice de qualité de station, la densité de reboisement et divers scénarios d'éclaircie 24
- Figure 11** Volume total récolté dans les plantations d'épinette de Norvège selon l'indice de qualité de station, la densité de reboisement et divers scénarios d'éclaircie 25

Introduction

Après avoir travaillé durement à la mise en terre des plants et après leur avoir apporté tous les soins nécessaires en bas âge, plusieurs propriétaires forestiers espèrent que tous les arbres de leur plantation pourront croître jusqu'à la coupe finale. Il s'agit d'un vœu non seulement improbable mais également non souhaitable pour l'évolution de la plupart des plantations. Comme nous le verrons ultérieurement, plusieurs arbres mourront ou devront être coupés lors des éclaircies pour permettre au peuplement résiduel d'atteindre les dimensions recherchées.

Les choix de l'aménagiste forestier concernant l'essence, la densité de reboisement et les différents travaux sylvicoles déterminent en grande partie les caractéristiques futures d'une plantation. Ainsi, il est important de bien prédire les effets de différents scénarios d'éclaircie afin d'opter pour le scénario sylvicole permettant d'atteindre les objectifs de production visés.

L'objectif de ce document est de présenter l'importance des éclaircies dans l'aménagement des plantations et de fournir à l'aménagiste des repères pour déterminer à quel moment, à quelle intensité, à quelle périodicité et de quelle façon intervenir. Nous ne traiterons pas des coupes de dégagement ou des éclaircies précommerciales parfois réalisées en bas âge bien que certains des principes énoncés ici pourraient s'appliquer à elles.

Chapitre premier

L'évolution des plantations non éclaircies

Au cours des premières années après la mise en terre, la compétition est surtout exercée par les espèces naturelles (compétition interspécifique). Ce n'est que quelques années plus tard que les arbres plantés commencent à se concurrencer entre eux (compétition intraspécifique) pour les ressources du milieu : lumière, eau et éléments nutritifs. Cette concurrence survient d'autant plus rapidement que la croissance est forte (essence ou provenance productive, qualité de station supérieure) et que l'espacement entre les arbres est rapproché. Les effets de cette compétition se traduisent par un étagement de la population, par une diminution de la croissance et éventuellement par la mort des tiges en sous-étage.

A partir des tables de BOLGHARI et BERTRAND (1984), il est possible d'estimer ces pertes en nombre de tiges et en volume. Pour une plantation d'épinette blanche à une densité initiale de 2 500 plants par hectare, les pertes à 50 ans sont de 650 tiges par hectare (perte de 26,0 % des tiges) sur une station peu fertile (indice de qualité de station de 6 m à 25 ans) alors qu'elles sont de 1 211 tiges par hectare (perte de 48,4 % des tiges) sur une station très fertile (indice de qualité de station de 12 m à 25 ans) (figure 1). La mortalité est estimée à 11,74 m³/ha (8,4 % de la production totale) pour la station la moins fertile et à 53,69 m³/ha (13,6 % de la production totale) pour la station la plus fertile (figure 2). En conséquence, plus la station est fertile, plus la mortalité causée par la compétition intraspécifique est élevée.

Les pertes varient également selon la densité de reboisement. Ainsi, pour l'épinette blanche sur une station de qualité moyenne (indice de qualité de station de 9 m à 25 ans), les pertes à 50 ans sont de 350 tiges pour une densité initiale de 1 322 tiges par

hectare (perte de 26,5 % des tiges) alors qu'elles sont de 2 395 tiges pour une densité initiale de 4 444 tiges par hectare (perte de 53,9 % des tiges) (figure 1). Les pertes en volume sont alors de 24,8 m³/ha (10,2 % de la production totale) pour la densité la plus faible et de 36,9 m³/ha (13,2 % de la production totale) pour la densité la plus élevée (figure 2). Ainsi, plus la densité de reboisement est élevée, plus la mortalité causée par la compétition intraspécifique est élevée. De plus, la mortalité est d'autant plus précoce que la densité de reboisement est élevée où que la station est fertile.

La compétition accrue aux densités plus élevées se traduit non seulement par une mortalité plus forte, mais également par une croissance plus faible des tiges. Par exemple, pour un indice de qualité de station de 9 m, le volume moyen par tige marchande à 50 ans est de 111,8 dm³ à une densité initiale de 4 444 tiges/ha alors qu'il est de 225,1 dm³ à une densité initiale de 1 322 tiges/ha (v. tableau p. 5). Le DHP moyen est alors de 16,9 cm à la densité la plus élevée et de 23,2 cm à la densité la plus faible (BOLGHARI et BERTRAND 1984).

Le rendement d'une plantation peut être calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Volume (m}^3\text{/ha)} = \frac{\text{Nombre de tiges (/ha)} \times \text{Volume moyen par tige (m}^3\text{/tige)}}{1000}$$

Puisque pour une même qualité de station, ces deux dernières variables sont inversement proportionnelles (tableau), il en résulte qu'à maturité, le rendement d'une plantation est presque indépendant du nombre de tiges mises en terre. RIOU-NIVERT et

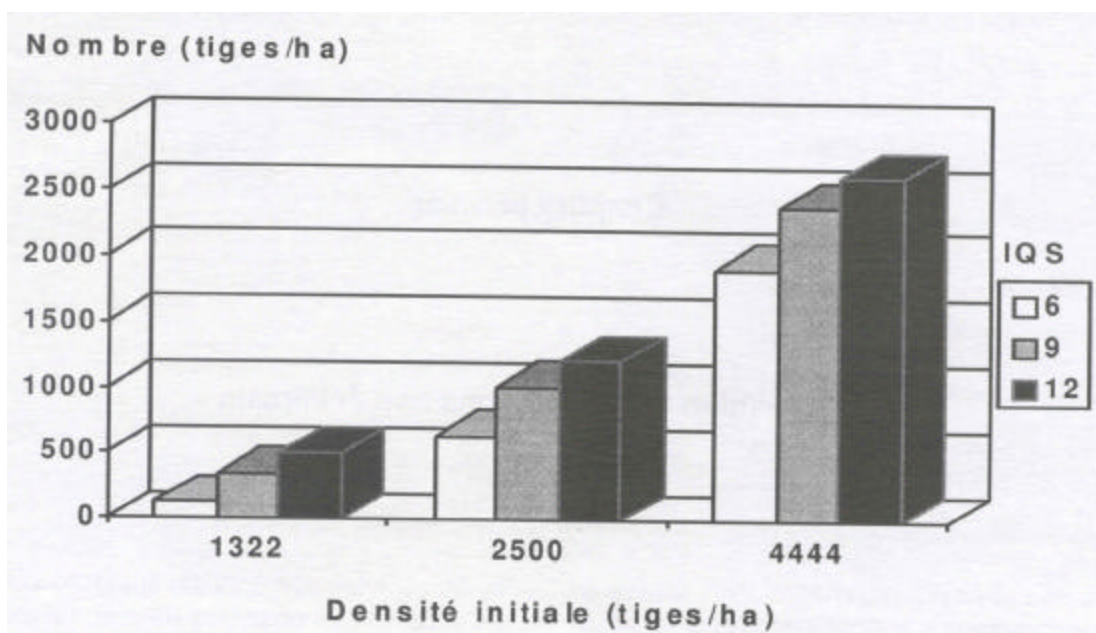


Figure 1. Nombre de tiges mortes par hectare dans les plantations d'épinette blanche de 50 ans selon la densité de reboisement et l'indice de qualité de station (IQS) (Source : BOLGHARI et BERTRAND 1984).

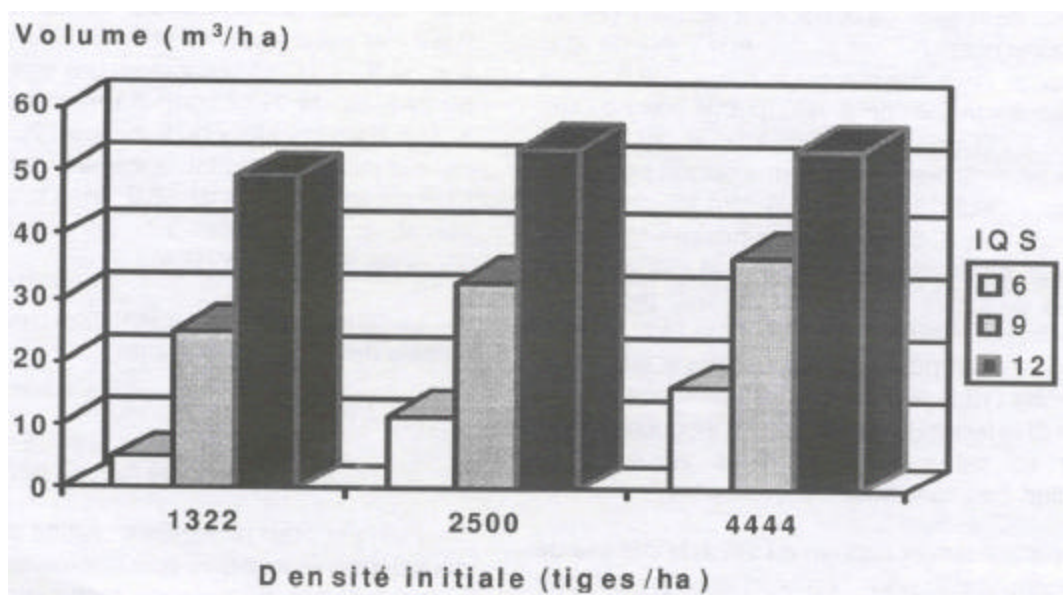


Figure 2. Volume total mort (m^3/ha) dans les plantations d'épinette blanche de 50 ans selon la densité de reboisement et l'indice de qualité de station (IQS) (Source : BOLGHARI et BERTRAND 1984).

Nombre de tiges marchandes, volume moyen des tiges marchandes et volume marchand à 50 ans dans les plantations d'épinette blanche selon la densité de reboisement et l'indice de qualité de station *

| Densité initiale (tiges/ha) | Indice de qualité de station (m à 25 ans) | Nombre de tiges marchandes (/ha) | Volume moyen (dm ³ /tige) | Volume marchand (m ³ /ha) |
|-----------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 322 | 6 | 1 010 | 89,4 | 90,3 |
| | 9 | 840 | 225,1 | 189,1 |
| | 12 | 638 | 455,6 | 290,7 |
| 2 500 | 6 | 1 501 | 68,1 | 102,3 |
| | 9 | 1 376 | 148,0 | 203,7 |
| | 12 | 1 156 | 266,3 | 307,8 |
| 4 444 | 6 | 1 924 | 57,3 | 110,3 |
| | 9 | 1 908 | 111,8 | 213,4 |
| | 12 | 1 739 | 183,6 | 319,3 |

* Source : BOLGHARI et BERTRAND 1984

GEORGEOT (1982) concluent ainsi sur le sujet : « Lorsque la plantation est très jeune, la production en volume est proportionnelle au nombre de tiges ; mais dès que le couvert est fermé, la production tend vers une valeur indépendante de la densité du peuplement ». En fait, la densité de reboisement où, comme nous le verrons ultérieurement, les éclaircies influencent beaucoup plus les dimensions individuelles des tiges que la production par unité de superficie.

Chapitre deux

Les effets de l'éclaircie

2.1 Effets positifs

L'éclaircie permet de récupérer une partie du volume de bois qui serait perdu par mortalité. Comme nous l'avons vu précédemment, les pertes étant plus importantes sur les stations fertiles et pour les densités de reboisement plus élevées, les gains de productivité liés aux éclaircies y seront également plus importants. Néanmoins, ces différences de productivité ne sont généralement pas très grandes et elles sont constituées de bois de faibles dimensions.

Le principal effet de l'éclaircie est d'accroître la croissance en diamètre et en volume des arbres résiduels en diminuant le degré de compétition entre les tiges (AUSSENAC *et al.* 1984, SHEEDY et BERTRAND 1997, ZAHNER et WHITMORE 1960). De plus, dans le cas de l'éclaircie sélective (voir plus loin), cette croissance supplémentaire est réservée aux plus belles tiges de la plantation. Il s'agit donc d'une technique sylvicole particulièrement utile pour obtenir du bois de grosses dimensions.

Les effets phytosanitaires sont généralement positifs. L'éclaircie favorise le développement racinaire des arbres (ZAHNER et WHITMORE 1960) et en conséquence conduit généralement, à long terme, à des plantations plus stables (BURTON 1981), moins sujettes aux dommages causés par le vent, le verglas ou la neige. Les plantations éclaircies peuvent également être moins sujettes aux dommages causés par certains insectes ou maladies (HEDDEN 1983, MITCHELL *et al.* 1983, SHEPHERD 1986, WAKELEY 1970). Néanmoins, dans certaines circonstances discutées ultérieurement, des effets phytosanitaires négatifs peuvent également survenir.

L'éclaircie favorise la régénération d'espèces naturelles sous le couvert (VON ALTHEN et STIELL 1965, ZAHNER et WHITMORE 1960), procurant ainsi de meilleures conditions à la faune et une meilleure diversité biologique (GUITTON et RUCHAUD 1996).

L'éclaircie constitue une source importante d'emplois. De plus, elle peut permettre d'augmenter la rentabilité économique des plantations. Ainsi, les gros bois de plus grande valeur sont obtenus plus rapidement. Le diamètre de ces arbres étant plus gros et la plantation étant plus homogène, les coûts d'exploitation et de transformation peuvent être réduits (LIECHTY *et al.* 1988, LUNDGREN 1981). Les récoltes lors des éclaircies procurent des revenus périodiques et un profit plus rapide sur les investissements (BENNETT 1971, WILLISTON 1967). Enfin, les produits récoltés à partir de la deuxième éclaircie et jusqu'à la coupe finale ont plus de valeur (LIECHTY *et al.* 1988, WILLISTON 1967).

2.2 Effets négatifs

Les effets négatifs de l'éclaircie sont le plus souvent temporaires. Ainsi, le défilement plus accentué de la tige observé au cours des premières années après une éclaircie se corrige généralement avec le temps (ANDRÉ *et al.* 1994, BERRY 1971) de sorte que selon BASTIEN (1986), l'éclaircie n'affecte pas la forme de l'arbre. De même, les effets à maturité sur la densité du bois ou sur la formation de bois de compression seraient négligeables (ANDRÉ *et al.* 1994, READER et KURMES 1996, TASSISSA et BURKHART 1998).

L'éclaircie favorise le développement de plus grosses branches et d'une plus grande proportion de cime vivante, contrepartie des conditions favorisant la croissance. Néanmoins, même à des densités élevées et sans aucune éclaircie, l'élagage naturel est très peu accentué en plantation de sorte qu'il est nécessaire de recourir à l'élagage artificiel pour obtenir du bois sans noeud. L'éclaircie peut même être perçue comme bénéfique à ce point de vue car elle permet de réduire les coûts en concentrant l'élagage artificiel sur un nombre restreint d'arbres (sur les plus belles tiges par surcroît s'il s'agit d'une éclaircie sélective) et de maximiser la croissance en diamètre et par conséquent la production de bois sans noeud, tout en facilitant les travaux de sélection et d'élagage.

Les effets négatifs peuvent résulter de mauvaises pratiques sylvicoles. Ainsi, des dommages causés par le vent, le verglas ou la neige sont parfois observés

au cours des premières années qui suivent une éclaircie (SHEPARD 1975). Ces dommages sont associés principalement aux peuplements instables ou à des stations particulièrement vulnérables (CREMER *et al.* 1982) pour lesquelles l'éclaircie aurait du être réalisée plus hâtivement ou moins intensément. A l'exception de plantations très vulnérables, l'éclaircie permet d'augmenter à long terme la stabilité des plantations (BURTON 1981), et même si certains dommages peuvent parfois survenir à court terme, ceux-ci seraient souvent plus importants si l'éclaircie n'était pas pratiquée. De même, lorsque les travaux sont effectués sans trop de précaution, des blessures peuvent être causées aux tiges résiduelles augmentant ainsi les probabilités de maladies et hypothéquant par le fait même le rendement futur de la plantation. Enfin, il importe de prévenir la maladie du rond chez certaines essences en traitant toutes les souches immédiatement après la coupe des arbres (LAFLAMME 1994).

Chapitre trois

Les types d'éclaircie

On retrouve généralement deux grands types d'éclaircies pour les plantations : l'éclaircie systématique (également appelée éclaircie en ligne) et l'éclaircie sélective. L'éclaircie systématique consiste à enlever une rangée d'arbres toutes les deux, trois, quatre ou cinq lignes ou plus de plantation selon l'intensité d'éclaircie choisie. L'éclaircie sélective vise généralement à enlever les plus petits arbres (éclaircie sélective par le bas) ainsi que ceux de mauvaise qualité (tiges courbées, fourchues, déformées, inclinées, fendues, endommagées, etc.) ou de peu d'avenir.

Les avantages de l'éclaircie systématique par rapport à l'éclaircie sélective sont les suivants (BASTIEN 1986) :

- facilité et rapidité d'exécution
- meilleure possibilité de mécanisation
- coût moindre (martelage long et très coûteux pour la coupe sélective, surtout en jeune âge lorsque le nombre de tiges est élevé [DEMARCO 1992])
- moins de dommages aux tiges résiduelles
- travaux sylvicoles subséquents plus faciles, dont les éclaircies sélectives suivantes ainsi que rentabilité accrue
- elle peut se faire à un âge plus précoce car on n'a pas besoin d'attendre la différenciation des tiges comme dans le cas de la coupe sélective.

Toutefois, l'éclaircie systématique comporte des désavantages importants dont :

- aucune amélioration de la qualité du peuplement résiduel ; certaines tiges sans avenir sont laissées sur pied alors que quelques tiges de la classe dominante sont coupées prématurément
- plus de mortalité (BALDWIN *et al.* 1989)
- elle peut augmenter les risques de dommages causés par le vent, la neige ou le verglas (BASTIEN 1986)
- elle est moins appropriée aux plantations instables ou vulnérables aux agents abiotiques (SHEPARD 1975)
- elle est moins appropriée aux vieilles plantations (FEDUCCIA 1983) ; elle se prête moins à la deuxième éclaircie et encore moins aux subséquentes
- à court terme, l'accroissement ultérieur en volume est légèrement plus faible (BALDWIN *et al.* 1989, DAY et RUDOLPH 1972, LIECHTY *et al.* 1986)
- les dimensions des tiges ainsi que la croissance subséquente sont plus hétérogènes.

Une façon pratique de contourner ces désavantages au cours de la première éclaircie est de combiner les deux types au cours d'une même opération (GRANO 1971) ; par exemple, une éclaircie systématique d'une ligne sur quatre, cinq, six ou plus peut être combinée à une éclaircie sélective parmi les lignes

résiduelles. L'homogénéité de la plantation peut alors servir de repère pour déterminer l'importance de la partie sélective par rapport à la partie systématique. Ainsi, plus la qualité ou les dimensions des tiges sont hétérogènes, plus la portion sélective sera importante et moins il y aura de lignes coupées de façon systématique. Cette approche permet de combiner les avantages des deux types d'éclaircies.

Le type d'éclaircie à privilégier dépend notamment de l'état de la plantation, de la susceptibilité de la station aux vents et au verglas et de la variabilité des tiges. Ainsi, plus la plantation est jeune, stable, bien enracinée, peu sujette aux vents ou au verglas et plus les tiges sont homogènes, plus l'éclaircie pourra être systématique (SHEPARD 1975). Enfin, l'éclaircie sélective est mieux adaptée aux plantations de faibles superficies (meilleure accessibilité de l'ensemble des tiges) ainsi que pour les propriétaires prêts à investir plus de temps dans leur plantation et qui prendront les précautions nécessaires pour éviter les blessures aux tiges résiduelles lors des coupes.

Chapitre quatre

À quel moment éclaircir ?

Quelques paramètres peuvent servir à déterminer à quel moment une éclaircie est nécessaire. Nous traiterons ici des principaux paramètres retrouvés dans la littérature, soit : la hauteur dominante, le rapport H/D des arbres dominants, le coefficient de Hart-Becking et, enfin, la surface terrière.

4.1 Hauteur dominante

Pour l'épinette de Norvège, on recommande une première éclaircie lorsque la hauteur dominante atteint 12 ou 13 m. Au delà de 13 m, l'éclaircie devrait être réalisée avec plus de prudence (BECQUEY 1986, TISSERAND et PARDÉ 1982). Dans les plantations de plus de 20 m de hauteur dominante, les éclaircies devraient être de faible intensité, particulièrement sur les stations les plus fertiles ayant souffert de retards d'éclaircie (SHEEHAN *et al.* 1982). Selon BOLGHARI et BERTRAND (1984), une hauteur dominante de 12 m pour cette essence est obtenue à 43 ans* sur une station peu fertile (IQS = 6 m), à 30 ans sur une station moyennement fertile (IQS = 10 m) et à 22 ans sur une station très fertile (IQS = 14 m). L'effet de la qualité de la station sur l'âge d'intervention est marqué. Toutefois, par ce paramètre, on ne peut tenir compte de l'effet important de la densité de reboisement (ou de l'espacement entre les tiges) car, par définition, la hauteur dominante est indépendante de la densité de reboisement. Il s'agit donc d'une lacune majeure pour ce paramètre.

4.2 Rapport H/D des arbres dominants

Selon BECQUEY (1986), l'objectif de l'éclaircie est de garder le rapport H/D des arbres dominants en deçà de 80. Lorsque ce rapport est entre 90 et 100, l'éclaircie devrait être faite avec beaucoup de prudence (éclaircie sélective plutôt que systématique, intensité plus faible). Toutefois, aucune éclaircie ne devrait être pratiquée lorsque ce rapport est supérieur à 100 car la plantation serait alors trop susceptible au chablis.

4.3 Coefficient de Hart-Becking

Ce coefficient est déterminé par le rapport entre l'espacement moyen entre les plants (a) et la hauteur dominante (H_d) :

$$S = (100 * a) / H_d$$

où :

S = Coefficient de Hart-Becking (%)

A = Espacement moyen entre les plants vivants (m)

H_d = Hauteur dominante (m).

Ce paramètre comprend indirectement les deux facteurs qui déterminent le degré de compétition entre les tiges, soit l'indice de qualité de station (par la

* Dans les tables de rendement de BOLGHARI et BERTRAND (1984), l'âge correspond à l'âge total, y compris les années en pépinière.

hauteur dominante) et la densité de reboisement (par l'espacement moyen entre les plants). Selon RIOU-NIVERT (1984), la valeur du coefficient permet d'estimer la densité du peuplement de la façon suivante :

| S (%) | Caractéristiques |
|---------|--|
| > 20 | Pas de problème majeur de densité |
| 15 à 20 | Peuplement assez dense |
| 10 à 15 | Peuplement dense et potentiellement instable |
| < 10 | Peuplement très dense, aucune intervention possible. |

Dans le cas de l'épinette de Norvège, RIOU-NIVERT (1984) recommande d'éclaircir lorsque le coefficient atteint 20 % de manière à le hausser à 25 %. Selon les tables de BOLGHARI et BERTRAND (1984), à une densité initiale de 2 500 plants à l'hectare (espacement initial de 2,0 m), cette valeur est atteinte par l'épinette de Norvège à 39 ans pour un indice de qualité de station de 6 m, à 26 ans pour un indice de 10 m et à 19 ans pour un indice de 14 m (Figure 3). Le coeffi-

cient de Hart-Becking permet également de considérer l'effet de la densité puisque sur une station de qualité moyenne (IQS = 10 m), l'éclaircie est prévue à 34 ans, 26 ans et 21 ans pour des densités initiales de 1 322, 2 500 et 4 444 plants à l'hectare respectivement (espacement initial de 2,75 m, 2,00 m et 1,50 m respectivement) (Figure 3). Le coefficient optimal à privilégier varie selon l'essence et l'âge du peuplement (PARDÉ 1961). Ainsi, RIOU-NIVERT (1984) suggère d'éclaircir les plantations de pins lorsque le coefficient atteint 22 % afin de le hausser à 27 % ; ces valeurs seraient respectivement de 24 et 29 % pour les mélèzes. Enfin, RIOU-NIVERT (1984) recommande de ne pas utiliser ce coefficient pour de vieilles plantations de plus de 25 m de hauteur dominante.

4.4 Surface terrière

La surface terrière est un bon indicateur du degré de compétition entre les tiges de sorte qu'elle est souvent utilisée pour déterminer le moment de l'éclaircie. De plus, il s'agit d'un paramètre relativement facile à utiliser et qu'on peut estimer rapidement à l'aide d'un prisme ou d'un relascope (plus précis) ou encore à la suite d'un inventaire relativement sommaire de la plantation. L'éclaircie est effectuée lorsque la surface terrière totale dépasse une certaine valeur. Celle-ci oscille généralement entre 25 et 35 m²/ha et elle varie

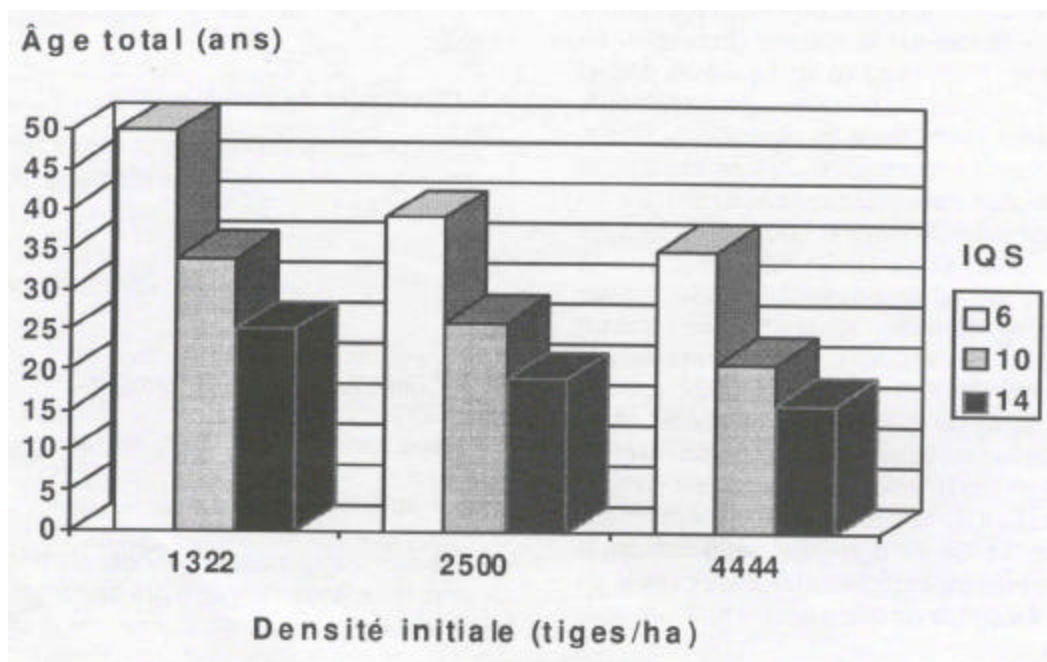


Figure 3. Âge de la première éclaircie déterminé à partir du coefficient de Hart-Becking ($S = 20\%$) dans les plantations d'épinette de Norvège selon la densité de reboisement et l'indice de qualité de station (IQS) (Calculé à partir des tables de BOLGHARI et BERTRAND 1984).

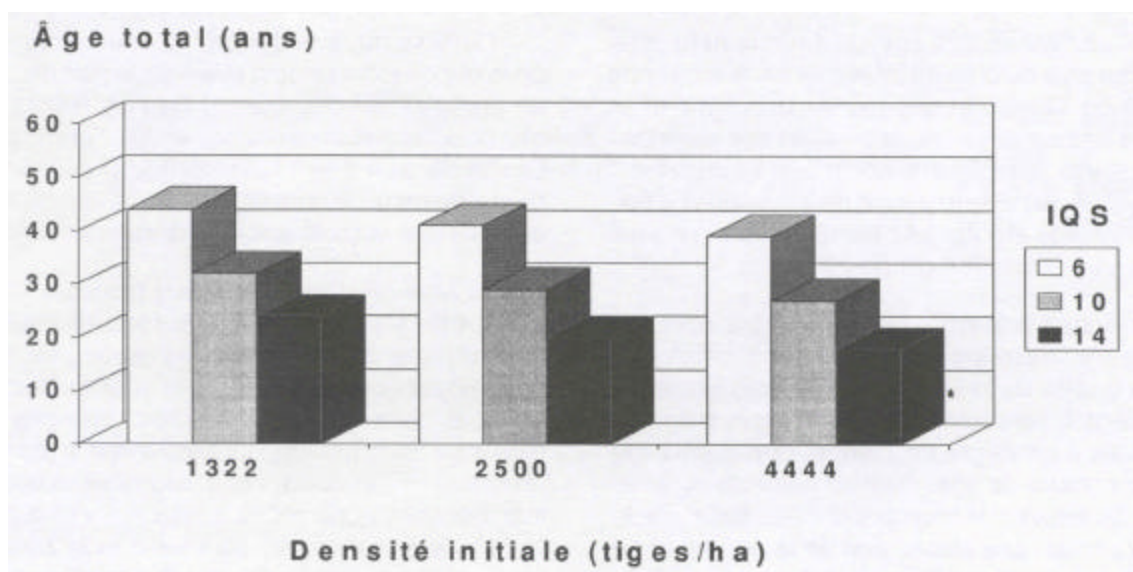


Figure 4. Âge de la première éclaircie déterminé à partir de la surface terrière totale ($G_t = 30 \text{ m}^2/\text{ha}$) dans les plantations d'épinette de Norvège selon la densité de reboisement et l'indice de qualité de station (IQS) (Calculé à partir des tables de BOLGHARI et BERTRAND 1984).

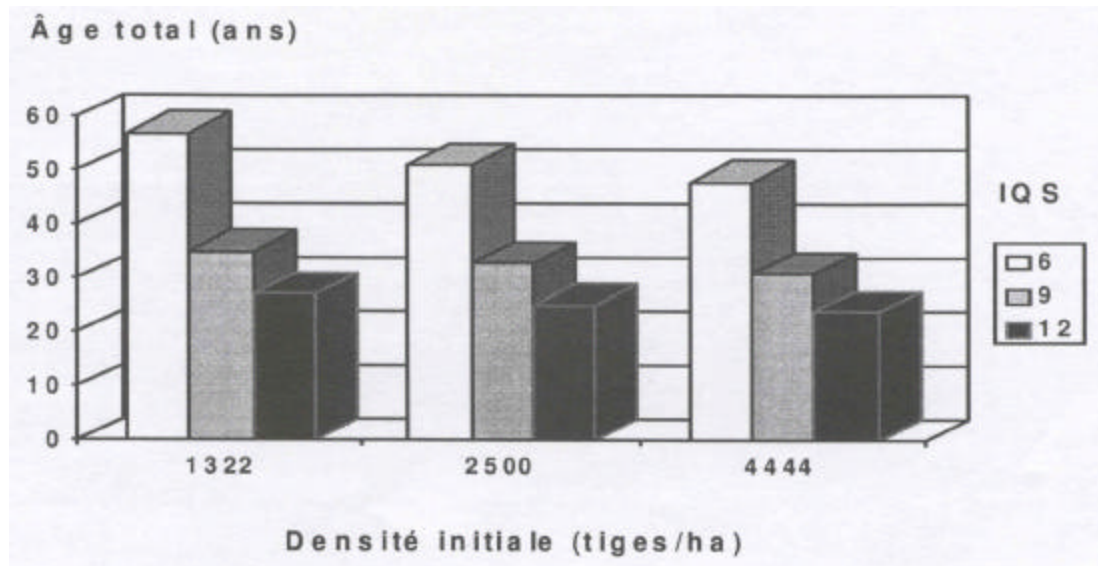


Figure 5. Âge de la première éclaircie déterminé à partir de la surface terrière totale ($G_t = 30 \text{ m}^2/\text{ha}$) dans les plantations d'épinette blanche selon la densité de reboisement et l'indice de qualité de station (IQS). (Calculé à partir des tables de BOLGHARI et BERTRAND 1984 ; l'âge déterminé pour une densité de 1 322 plants par hectare et un IQS de 6 m est une extrapolation).

selon les essences et l'âge du peuplement. Elle s'approche plus de la limite inférieure dans le cas des essences de lumière et des jeunes peuplements et plus de la limite supérieure dans le cas des essences d'ombre et des vieux peuplements. Les figures 4 et 5 illustrent l'âge de l'éclaircie dans les plantations d'épinette de Norvège et d'épinette blanche lorsque le seuil de surface terrière utilisé est de 30 m²/ha.

Les résultats présentés précédemment indiquent que l'âge d'intervention varie notamment selon l'essence, la qualité de la station et la densité initiale de reboisement. **L'éclaircie ne s'effectue pas à un âge donné mais à un degré de compétition donné.** De même, le nombre de tiges ne peut servir de paramètre pour déterminer le moment de l'éclaircie car le nombre optimal varie selon l'âge de la plantation ou encore la grosseur des tiges. D'ailleurs, la surface terrière constitue un paramètre intéressant parce qu'il tient compte du nombre et de la grosseur des tiges.

Plus l'essence, la provenance et la station sont productives de même que plus la densité de reboisement est élevée, plus l'éclaircie devra être hâtive. Le taux de survie et la présence d'espèces naturelles arborescentes influenceront également l'âge d'intervention. Des taux de survie plus élevés que ceux prédits dans les tables de rendement ou la présence de tiges naturelles supplémentaires accroissent le degré de compétition (surface terrière plus élevée) et, par le fait même, diminuent l'âge d'intervention.

Comme nous le verrons ultérieurement, à des densités de reboisement élevées, les arbres récoltés en première éclaircie auront de plus faibles diamètres pour les deux raisons suivantes : premièrement, l'éclaircie doit être réalisée plus précocement et deuxièmement, à densité élevée, la compétition fait en sorte que la croissance en diamètre est réduite.

Le *Manuel d'aménagement forestier* (ANONYME 1998) utilise plutôt la surface terrière marchande comme paramètre et seuls les arbres de plus de 9 cm de DHP sont considérés pour la coupe. Ainsi, on ne tient pas compte de la compétition exercée par les tiges de 9 cm et moins pour déterminer le moment de l'éclaircie. Néanmoins, cette approche procure des résultats qui s'apparentent à ceux obtenus à partir de la surface terrière totale sauf lorsque le nombre de tiges est élevé. Dans ces circonstances, le diamètre des tiges est plus faible et les tiges de plus de 9 cm font de plus en plus partie des classes codominante ou dominante. L'éclaircie peut alors s'apparenter à un écrémage. Ce phénomène ne risque pas de survenir en considérant la surface terrière totale car la coupe débute à partir de l'extrémité gauche de la distribution plutôt qu'à partir de 9 cm. Pour pallier en partie à ce danger, le *Manuel d'aménagement forestier* prévoit une surface terrière marchande minimale avant l'éclaircie de 23,1 m²/ha (soit une surface terrière marchande résiduelle d'au moins 15,0 m²/ha, avec une intensité d'éclaircie de 25 à 35 %).

Chapitre cinq

À quelle intensité et à quelle fréquence éclaircir ?

En plus de pouvoir déterminer le moment de l'éclaircie, le coefficient de Hart-Becking et la surface terrière totale peuvent aussi servir à qualifier son intensité. En ce qui concerne le coefficient de Hart-Becking, les repères après l'éclaircie sont les suivants : 25 % = éclaircie très forte ; 20 % = éclaircie forte ; 18 % = éclaircie modérée (RIOU-NIVERT et GEORGEOT 1982). Pour ce qui est de la surface terrière totale, l'éclaircie est qualifiée de forte lorsque la surface terrière totale résiduelle est inférieure à $75 p^2/a$ ($17,2 \text{ m}^2/\text{ha}$), moyenne lorsque qu'elle se situe entre 75 et $95 p^2/a$ ($17,2$ à $21,8 \text{ m}^2/\text{ha}$) et faible lorsqu'elle dépasse $95 p^2/a$ ($21,8 \text{ m}^2/\text{ha}$) (FEDUCCIA 1983). Néanmoins, dans le cas du pin rouge par exemple, la production en volume total ou en volume de bois de sciage est relativement constante pour des surfaces terrières résiduelles variant entre $90 p^2/a$ ($20,7 \text{ m}^2/\text{ha}$) et $120 p^2/a$ ($27,5 \text{ m}^2/\text{ha}$) (DAY et RUDOLPH 1972, LUNDGREN 1981). L'intensité de l'éclaircie peut aussi être qualifiée selon le pourcentage de surface terrière enlevée.

Indépendamment du type d'éclaircie, la croissance des arbres résiduels est d'autant plus forte que l'intensité de l'éclaircie est forte (BOUCHON 1977, WILEY et ZEIDE 1989). Néanmoins, l'intensité de l'éclaircie variera selon l'essence et l'âge du peuplement (PARDE 1961). Rappelons le danger des éclaircies, ou du moins des éclaircies intenses, pour les plantations instables ainsi que pour les vieilles plantations. RIOU-NIVERT (1986) mentionne d'ailleurs que seule une éclaircie précoce peut être de forte intensité.

L'éclaircie sélective est également qualifiée par un des deux rapports suivants : (DHP après l'éclaircie)/(DHP avant l'éclaircie) ou encore (DHP des arbres

récoltés)/(DHP avant l'éclaircie). Ces rapports indiquent le degré de sélectivité de l'éclaircie (BAILEY et WARE 1983). Pour les éclaircies systématiques, ils sont théoriquement de 1.

Tout comme pour l'âge d'intervention de la première éclaircie, la fréquence des éclaircies dépend du rythme de croissance de la plantation. Ainsi, plus la croissance est forte, plus on atteint rapidement un seuil de surface terrière élevé (ou un faible seuil du coefficient de Hart-Becking) ; en conséquence, plus l'essence, la provenance ou la station sont productives, plus les éclaircies seront fréquentes. Idéalement, les éclaircies sont fréquentes et de faible intensité. Cette approche est particulièrement valable pour les propriétaires forestiers qui ne comptabilisent pas les coûts de main-d'oeuvre. Toutefois, dès qu'on analyse l'aspect monétaire, il y a intérêt à réduire le nombre d'éclaircies pour diminuer les coûts ; les éclaircies seront alors moins fréquentes mais plus intenses de façon à réduire la compétition entre les tiges avant le retour de l'éclaircie subséquente. En conséquence, l'intensité et la fréquence des éclaircies sont deux facteurs liés. Enfin, comme l'éclaircie vise principalement à accroître la croissance des arbres résiduels, il faut que cette éclaircie soit réalisée suffisamment longtemps avant la coupe finale pour que cette croissance puisse avoir lieu. En conséquence, moins la croissance est forte, plus il faut allonger la période entre la dernière éclaircie et la coupe finale. A l'inverse également, plus la croissance est forte, plus il est possible de raccourcir la période entre la dernière éclaircie et la coupe finale.

Chapitre six

Quels choix faire et quels en sont les impacts ?

La prédiction des effets des divers types, moments, intensités et fréquences d'éclaircie est extrêmement utile pour assister l'aménagiste à prendre les meilleures décisions. Toutefois, la modélisation des éclaircies effectuée par ZARNOCH *et al.* (1991) ou WOOLLONS et HAYWARD (1985) ne peut être actuellement réalisée parce que les données provenant de plantations éclaircies sont encore trop peu nombreuses. Néanmoins, comme le propose DUPLAT (1993), il est possible de simuler avec une certaine précision le résultat des éclaircies à partir des tables de rendement existantes. On utilise les hypothèses suivantes :

- la croissance en surface terrière entre deux périodes est égale à la croissance prédite par les tables de rendement pour les plantations non éclaircies en y ajoutant la surface terrière des arbres morts au cours de cette période. Ce phénomène d'équivalence de croissance en surface terrière pour les plantations éclaircies et non éclaircies a été observé chez plusieurs essences dont le pin rouge (BALDWIN 1959, COOLEY 1969), le pin blanc (STIELL 1968) l'épinette blanche (BERRY 1974, GILLESPIE et HOCKER 1986), le douglas (AUSSENAC *et al.* 1984) et le *Pinus radiata* (SNOWDON et WARING 1990). La mortalité est considérée nulle à partir de la première éclaircie alors qu'elle n'est pas récupérée avant (BRUCE *et al.* 1977) ;
- la surface terrière des arbres morts est évaluée à partir du volume des arbres morts prédit par les tables de rendement. Nous considérons qu'à un âge donné, le rapport surface terrière/volume total des arbres vivants est égal à celui des arbres morts ;
- afin de faciliter les calculs, on utilise le volume total et toutes les éclaircies sont systématiques (ou aléatoires).

Les prédictions de croissance sont faites pour l'épinette de Norvège car il s'agit de la seule essence dont les tables de rendement permettent d'atteindre 60 ans d'âge total. Les calculs sont réalisés pour trois qualités de station, de la plus fertile à la moins fertile à l'intérieur des tables de rendement en passant par une qualité de station moyenne (14 m, 10 m et 6 m), et pour trois densités initiales de reboisement, soit 1 322 tiges/ha (espacement de 2,75 m), 2 500 tiges/ha (espacement de 2,00 m) et 4 444 tiges/ha (espacement de 1,50 m) ; il s'agit des densités extrêmes qu'on retrouve dans les tables (1 322 et 4 444 tiges/ha) en plus de la densité la plus couramment utilisée pour le reboisement au Québec dans le passé (2 500 tiges/ha). Les divers scénarios présentés sont les suivants :

- A Aucune éclaircie
- B Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint 35 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 25 m²/ha
- C Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint 35 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 20 m²/ha
- D Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint 28 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 20 m²/ha
- E Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint 28 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 16 m²/ha.

Les scénarios D et E résultent en des éclaircies plus hâtives que les scénarios B et C. Les scénarios B et D ont un taux de prélèvement identique de 28,6 % de la surface terrière (ou des tiges). Il en est de même pour les scénarios C et E qui ont un taux de prélèvement de 42,9 % de la surface terrière. Afin de

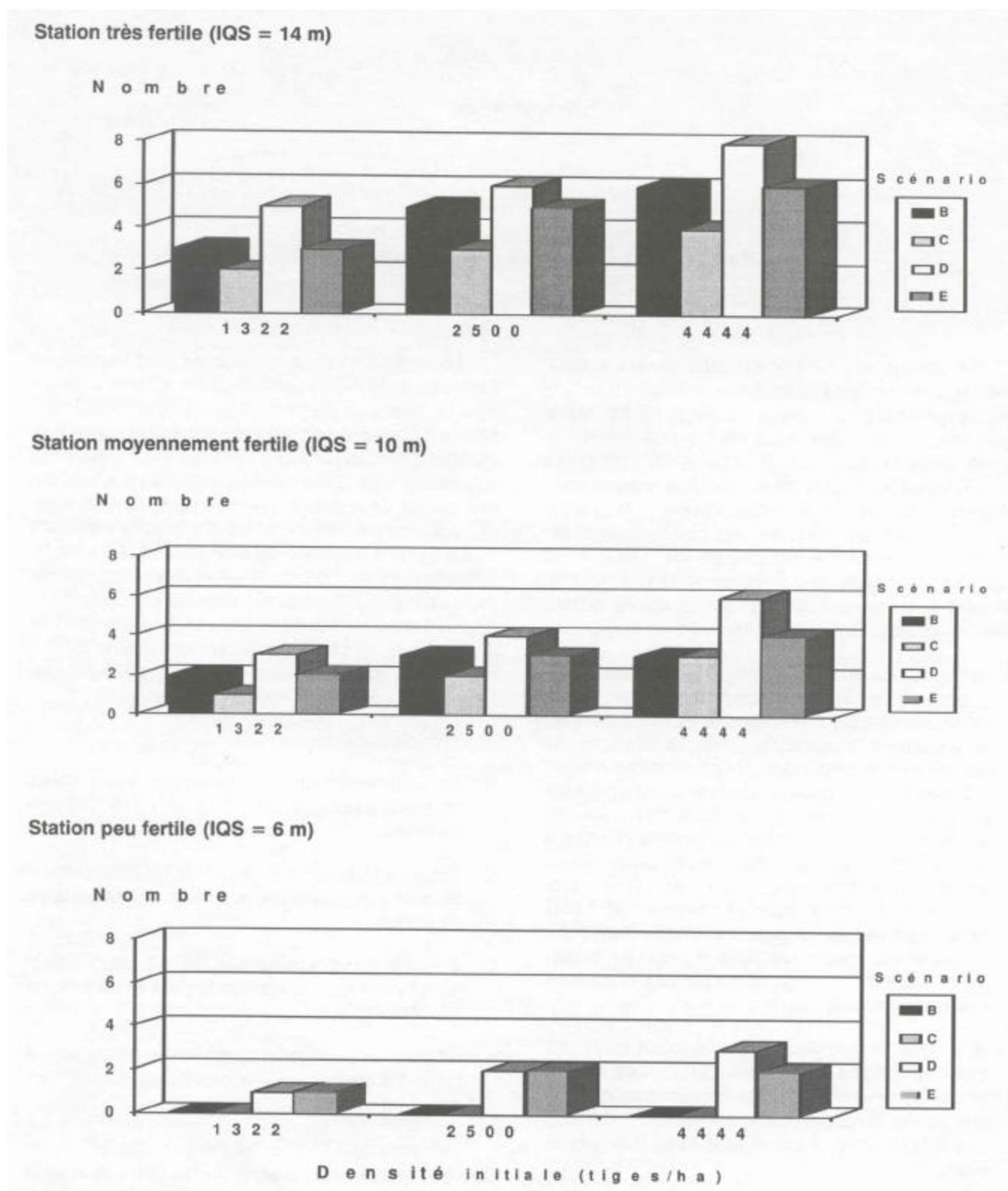


Figure 6. Nombre d'éclaircies nécessaires dans les plantations d'épinette de Norvège selon l'indice de qualité de station, la densité de reboisement et divers scénarios d'éclaircie.

permettre une croissance suffisante entre la dernière éclaircie et la coupe finale, nous acceptons, pour la coupe finale, une surface terrière totale excédant de $5 \text{ m}^2/\text{ha}$ la valeur indiquée pour recourir à l'éclaircie ; ainsi, la surface terrière totale peut atteindre $40 \text{ m}^2/\text{ha}$ pour les scénarios B et C et $33 \text{ m}^2/\text{ha}$ pour les scénarios D et E lors de la coupe finale.

Les résultats obtenus pour les qualités de station de 14 m, 10 m et 6 m sont présentés aux annexes A, B et C respectivement. **Il est important de mentionner que ces scénarios visent à évaluer les effets du choix de l'aménagiste sous diverses conditions et non pas à proposer des solutions optimales, qui d'ailleurs pourraient différer de celles présentées ici.** De plus, la coupe finale a été fixée à 60 ans car les tables de rendement (BOLGHARI et BERTRAND 1984) ne permettaient pas d'aller au-delà de cet âge ; en conséquence, **la coupe finale ne correspond pas nécessairement à l'âge de révolution optimal.** L'utilisation de l'éclaircie sélective au lieu de l'éclaircie systématique aurait eu les effets suivants : un plus grand nombre de tiges prélevées ainsi qu'un diamètre, un volume par tige et un volume par hectare plus faibles pour les premières éclaircies (particulièrement pour la première éclaircie) et à l'opposé, un plus petit nombre de tiges prélevées ainsi qu'un diamètre, un volume par tige et un volume par hectare plus élevés pour les dernières coupes (particulièrement pour la coupe finale). En conséquence, si la première éclaircie simulée n'est pas jugée rentable, elle le serait encore moins si une éclaircie sélective était simulée.

6.1 Effets sur le nombre d'éclaircies nécessaires

Pour une essence donnée, le nombre d'éclaircies nécessaires varie selon la qualité de station, la densité de reboisement et le scénario d'aménagement prévu (Figure 6). Les éclaircies sont plus fréquentes sur les stations les plus fertiles et ayant les densités de reboisement les plus fortes. Sur les stations les moins fertiles, aucune éclaircie n'est nécessaire avec les scénarios B et C alors que sur les stations les plus fertiles, jusqu'à 8 éclaircies sont nécessaires dans le cas du scénario D avec une densité initiale de 4 444 plants/ha. Les scénarios avec un taux de prélèvement plus fort (scénarios C et E) nécessitent un moins grand nombre d'éclaircie ; par contre, ils sont plus risqués et seraient même à déconseiller dans les plantations vulnérables aux agents abiotiques.

La périodicité entre les éclaircies est inversement proportionnelle à la fréquence de celles-ci, de sorte que plus les stations sont fertiles et plus la densité est élevée, plus la périodicité entre les éclaircies est courte. De même, les scénarios avec un plus faible taux de prélèvement (scénarios B et D) ont une périodicité entre les traitements plus courte.

6.2 Effets sur le DHP des tiges en première éclaircie

Les dimensions des tiges varient principalement selon la densité de reboisement. Les densités les plus faibles fournissent les plus forts DHP lors de la première éclaircie (Figure 7). Dans ce cas-ci, la qualité de station influence très peu les dimensions des tiges ; elle influence surtout l'âge et la fréquence des interventions. Les scénarios B et C procurent de plus forts DHP que les scénarios D et E ; toutefois, ce gain, qui fait suite à une éclaircie plus tardive, se répercute par des DHP plus faibles lors des coupes ultérieures.

6.3 Effets sur le pourcentage de la production totale récolté en première éclaircie

Le volume récolté lors de la première éclaircie ne représente qu'un faible pourcentage de la production entière de la plantation. Ce pourcentage varie selon la qualité de station, la densité de reboisement et le scénario d'aménagement (Figure 8). Il est plus faible pour les stations les plus fertiles, les densités de reboisement les plus fortes et les scénarios d'aménagement nécessitant un plus grand nombre d'éclaircies. Ainsi, dans le cas des stations les plus fertiles, la première éclaircie représente moins de 15 % de toute la production de la plantation pour une densité initiale de 1 322 plants/ha et moins de 10 % pour une densité de 2 500 plants/ha. Ces pourcentages seraient encore plus faibles avec des éclaircies sélectives ou en considérant le volume marchand au lieu du volume total.

Ce faible pourcentage de volume que représente la première éclaircie est pourtant obtenu avec 28,6 % des tiges pour les scénarios B et D et avec 42,9 % des tiges pour les scénarios C et E. Rappelons que ces proportions de tiges seraient encore plus élevées avec des éclaircies sélectives. En conséquence, les effets de certains agents perturbateurs sur la production en volume ne sont pas nécessairement proportionnels au pourcentage de tiges endommagées. Par exemple, même s'il y avait 30 ou 40 % de tiges d'épinette de Norvège attaquées par le charançon du pin blanc et que ces dommages étaient répartis

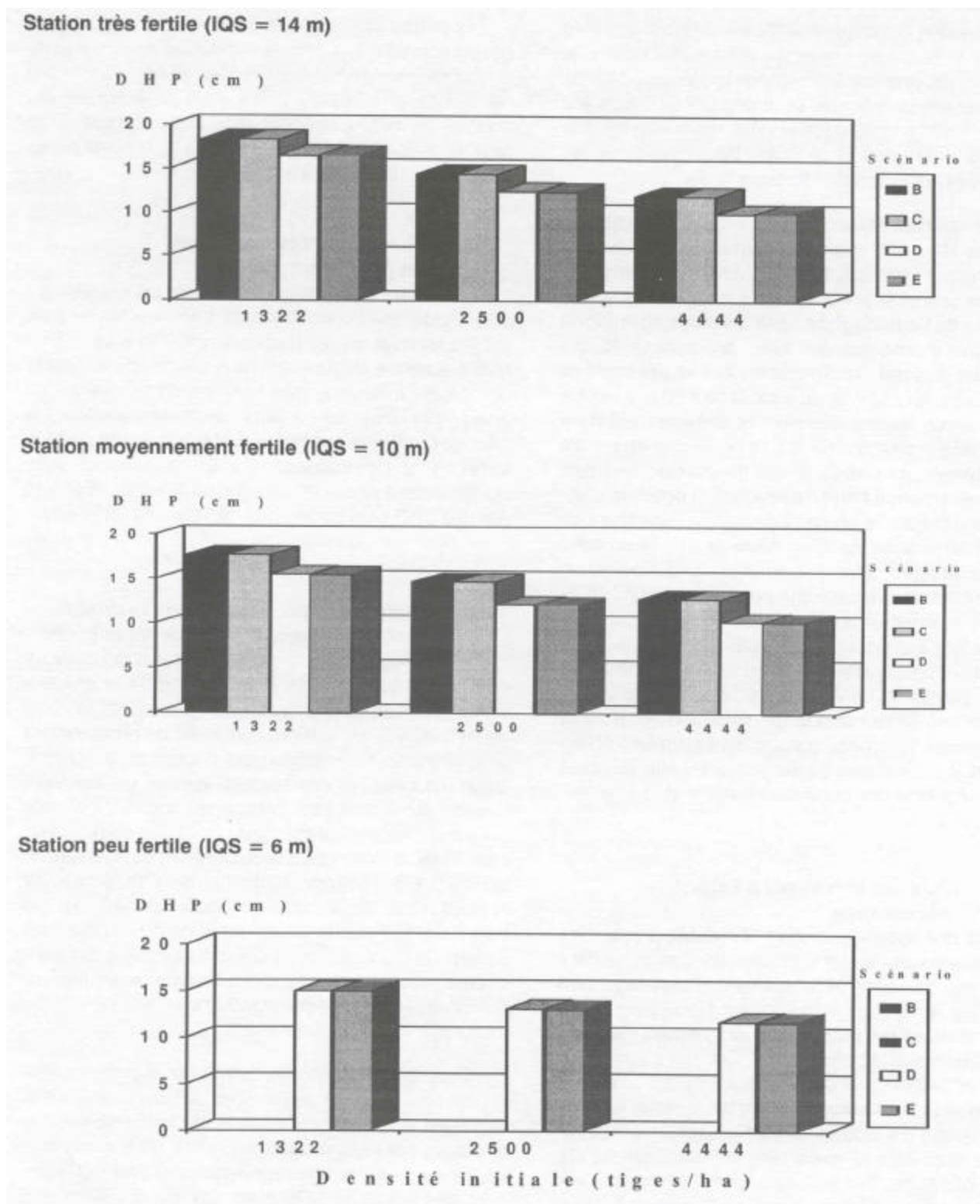


Figure 7. DHP moyen des tiges récoltées en première éclaircie systématique dans les plantations d'épinette de Norvège selon l'indice de qualité de station, la densité de reboisement et divers scénarios d'éclaircie.

de façon relativement uniformes, ces tiges pourraient être récupérées lors d'une première éclaircie sélective et il resterait suffisamment de tiges pour obtenir une excellente production. Puisque le bois de la première éclaircie peut être principalement destiné à la production de pâte, les effets de la déformation des tiges par le charançon ont une importance encore moindre.

6.4 Les retards d'éclaircie

Le faible diamètre des arbres au moment où la première éclaircie est nécessaire et ce, particulièrement dans les plantations à densité élevée, incite plusieurs aménagistes à retarder cette première éclaircie afin d'obtenir de plus gros arbres. Il s'agit d'une option très risquée car un retard d'éclaircie entraîne les effets suivants :

- de plus gros arbres récoltés lors de cette première éclaircie (seul effet positif ; effet sur moins de 20 % du volume total pour les stations moyennement fertiles et moins de 10 % pour les stations les plus fertiles) ;
- la plantation est plus sujette au chablis ;
- l'éclaircie doit être plus sélective et de faible intensité ;
- elle hypothèque la croissance des arbres résiduels pour toutes les coupes subséquentes et jusqu'à la coupe finale. Plus de 80 % du volume récolté (volume des éclaircies ultérieures et de la coupe finale) sera plus petit sur les stations moyennement fertiles et plus de 90 % sur les stations les plus fertiles. En valeur monétaire plutôt qu'en volume total, ces pourcentages seraient encore plus élevés ;
- les pertes de croissance liées aux retards d'éclaircie ne peuvent se rattraper.

Si les arbres sont trop petits au moment où cette première éclaircie sera nécessaire, deux options sont possibles : recourir à une éclaircie précommerciale vers l'âge de 8 à 15 ans ou encore diminuer la densité de reboisement. L'intensité de la baisse de la densité de reboisement ou encore l'intensité de l'éclaircie précommerciale doit être déterminée par les dimensions des tiges désirées lors de la première coupe commerciale (REUKEMA 1975). Néanmoins, malgré la faible importance en volume récolté et ses coûts importants, la première éclaircie constitue une

étape majeure pour la réussite de la plantation. À ce sujet, TISSERAND et PARDÉ (1982) mentionnent : « L'incidence économique d'une éclaircie semble à peu près sans rapport avec son prix. Il semblerait même que les meilleurs résultats économiques soient obtenus à la suite des premières éclaircies, les plus coûteuses à court terme ». Ainsi, il est important d'analyser les effets de cette éclaircie jusqu'à la fin de la rotation plutôt que de se limiter à la comparaison des coûts et des revenus uniquement au moment de la coupe (SHEPHERD 1986). **La première éclaircie doit être considérée comme un investissement réalisé principalement en fonction de la croissance des arbres laissés sur pied plutôt que de la grosseur du bois récolté.**

6.5 Effets sur le DHP des tiges à la coupe finale

Les éclaircies favorisent la croissance en diamètre des arbres résiduels. Les gains en diamètre varient principalement selon la qualité de la station et le scénario d'aménagement ; la densité de reboisement influence le DHP à la coupe finale principalement en l'absence d'éclaircie (Figure 9). Le scénario avec une première éclaircie hâtive de forte intensité (scénario E) procure les gains les plus élevés, alors que les gains les plus faibles sont obtenus avec une première éclaircie tardive et un faible taux de prélèvement (scénario B). Les gains sont plus importants sur les stations les plus fertiles alors qu'ils sont presque nuls sur les stations les moins fertiles, d'où l'importance du choix de la station pour justifier et faire fructifier les investissements importants réalisés lors des éclaircies. Rappelons que ces gains seraient encore plus importants avec des éclaircies sélectives.

6.6 Effets sur le nombre de tiges à la coupe finale

Le nombre de tiges récoltées à la coupe finale varie principalement selon la qualité de la station et le scénario d'aménagement (Figure 10). Ainsi, plus la station est fertile, plus le nombre de tiges récoltées à la coupe finale est faible. Sur les stations les plus fertiles, il peut rester moins de 400 tiges/ha lors de la coupe finale (moins de 200 avec certains scénarios) alors qu'il peut y en avoir près de 800 tiges/ha sur les stations les moins fertiles. Ce nombre est également plus faible dans les scénarios avec une première éclaircie hâtive (scénarios D et E). Ces valeurs seraient inférieures en considérant des éclaircies sélectives.

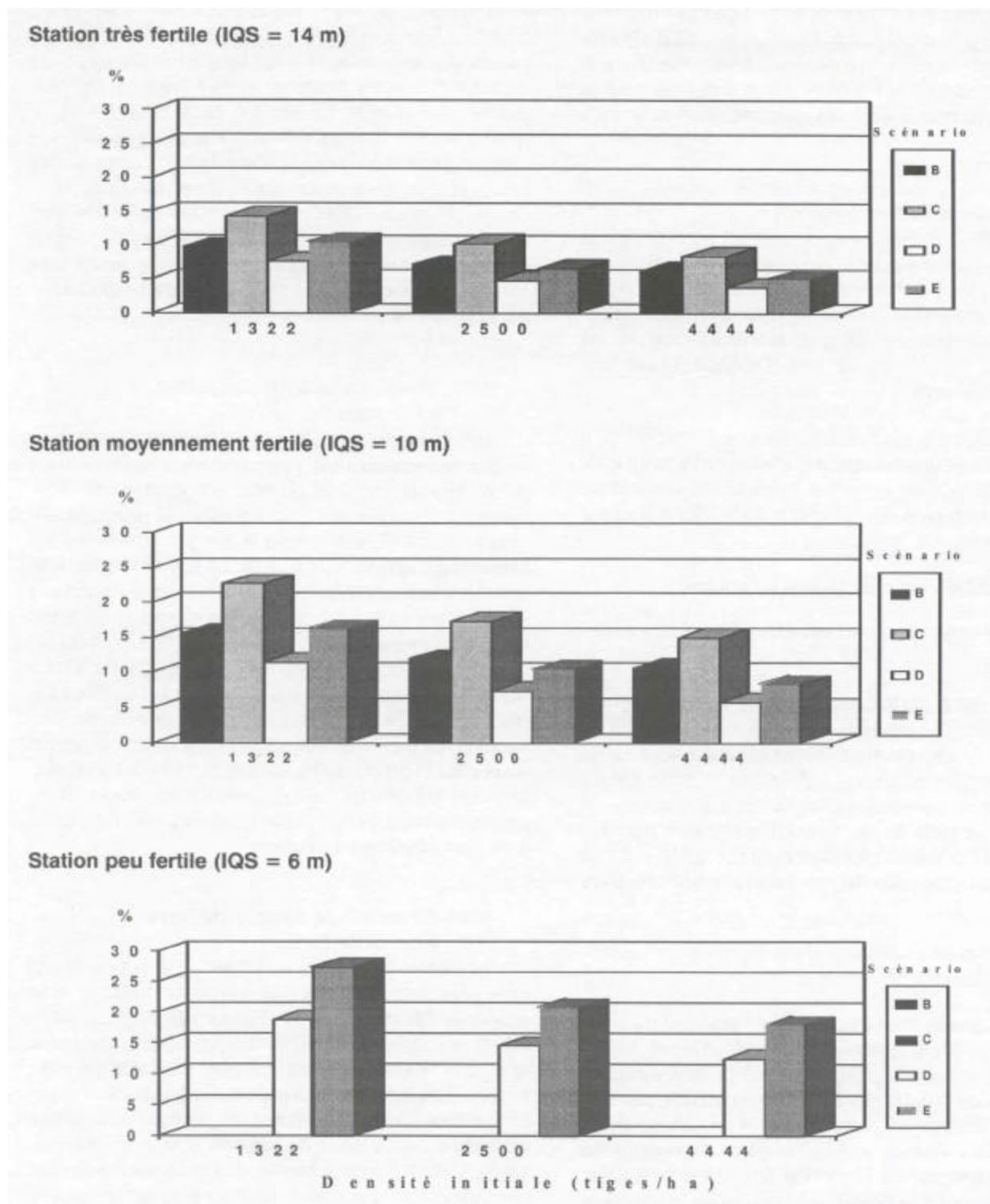


Figure 8. Pourcentage de la production totale récolté en première éclaircie systématique dans les plantations d'épinette de Norvège selon l'indice de qualité de station, la densité de reboisement et divers scénarios d'éclaircie.

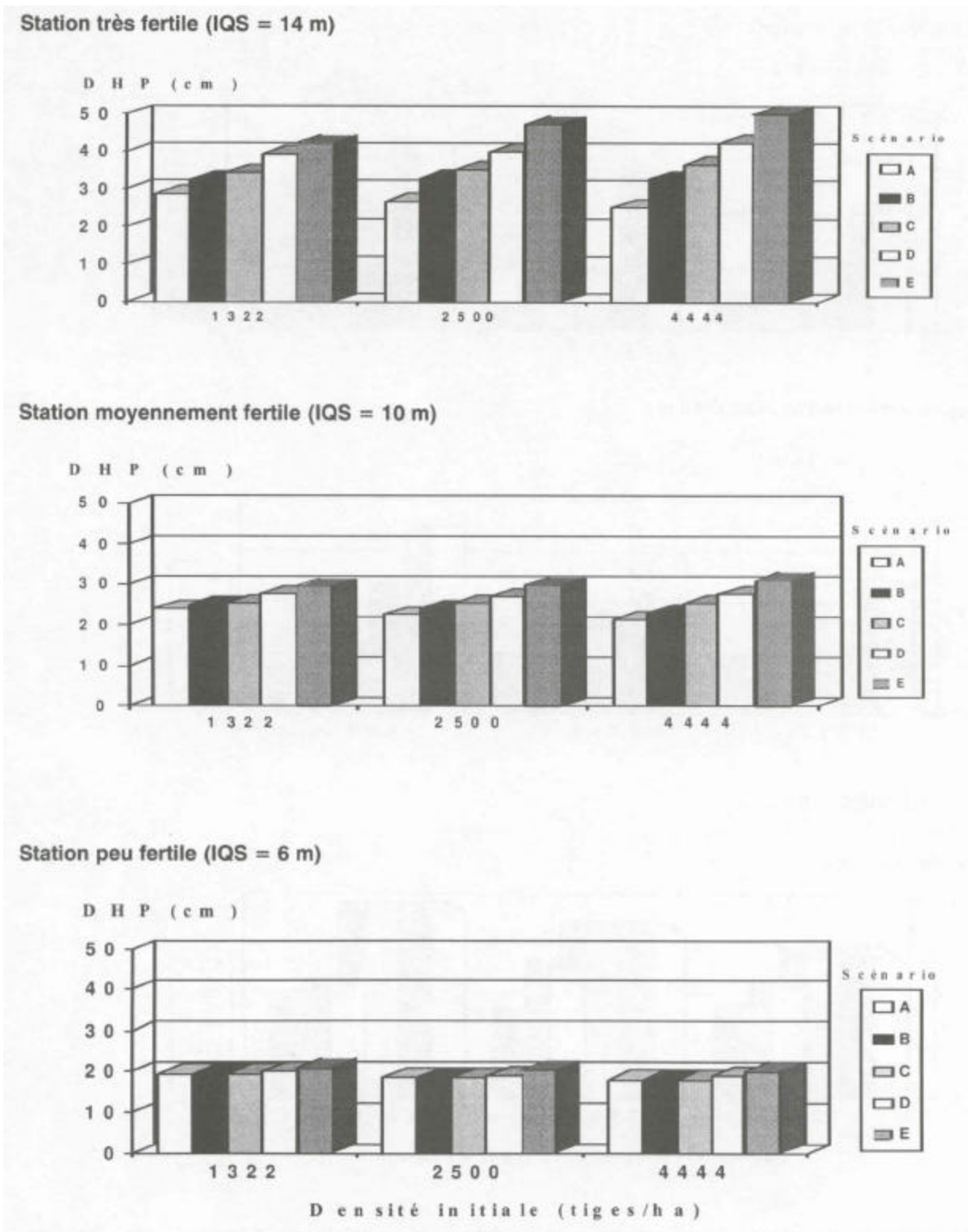


Figure 9. DHP des tiges à la coupe finale dans les plantations d'épinette de Norvège selon l'indice de qualité de station, la densité de reboisement et divers scénarios d'éclaircie.

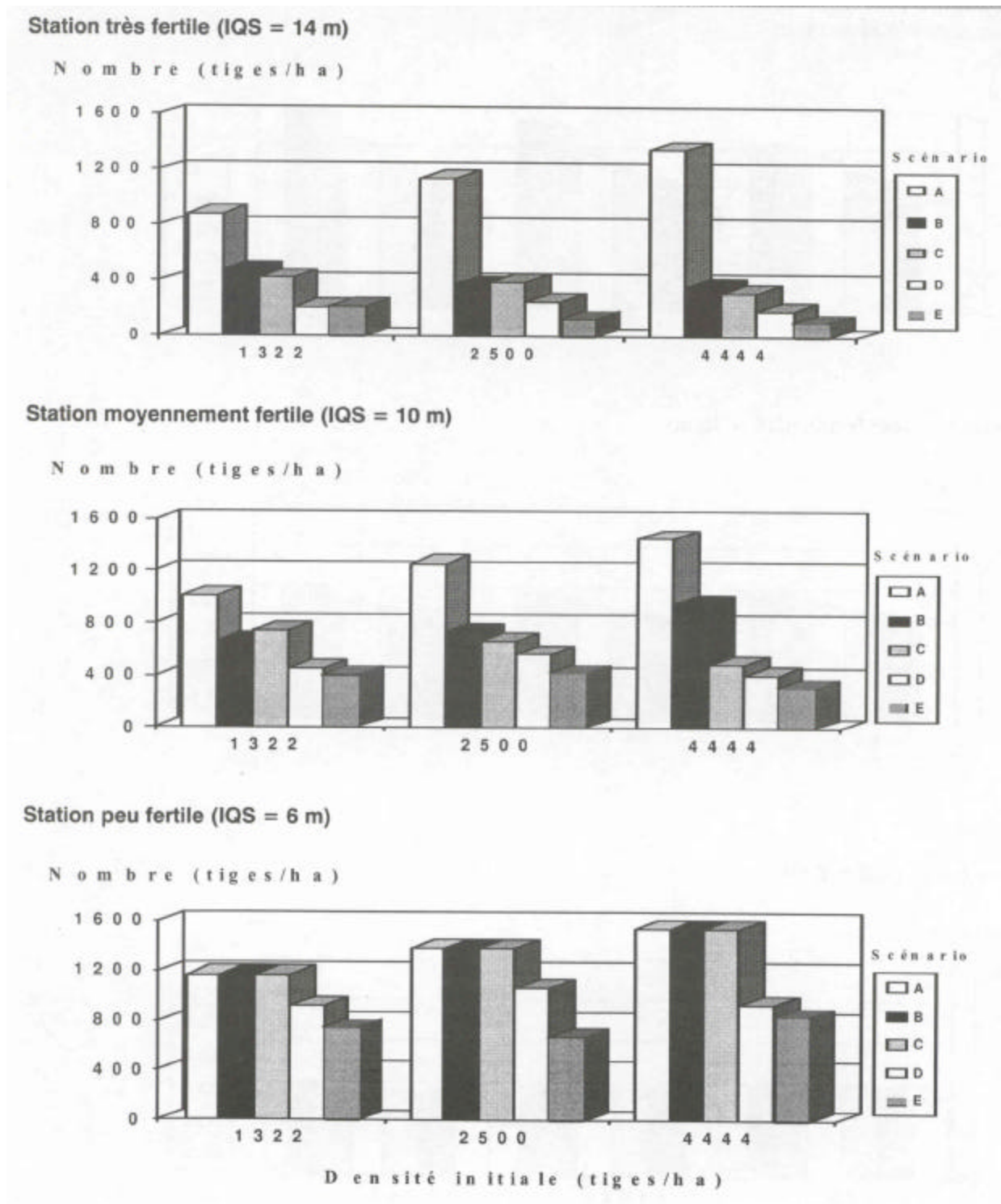


Figure 10. Nombre de tiges à la coupe finale dans les plantations d'épinette de Norvège selon l'indice de qualité de station, la densité de reboisement et divers scénarios d'éclaircie.

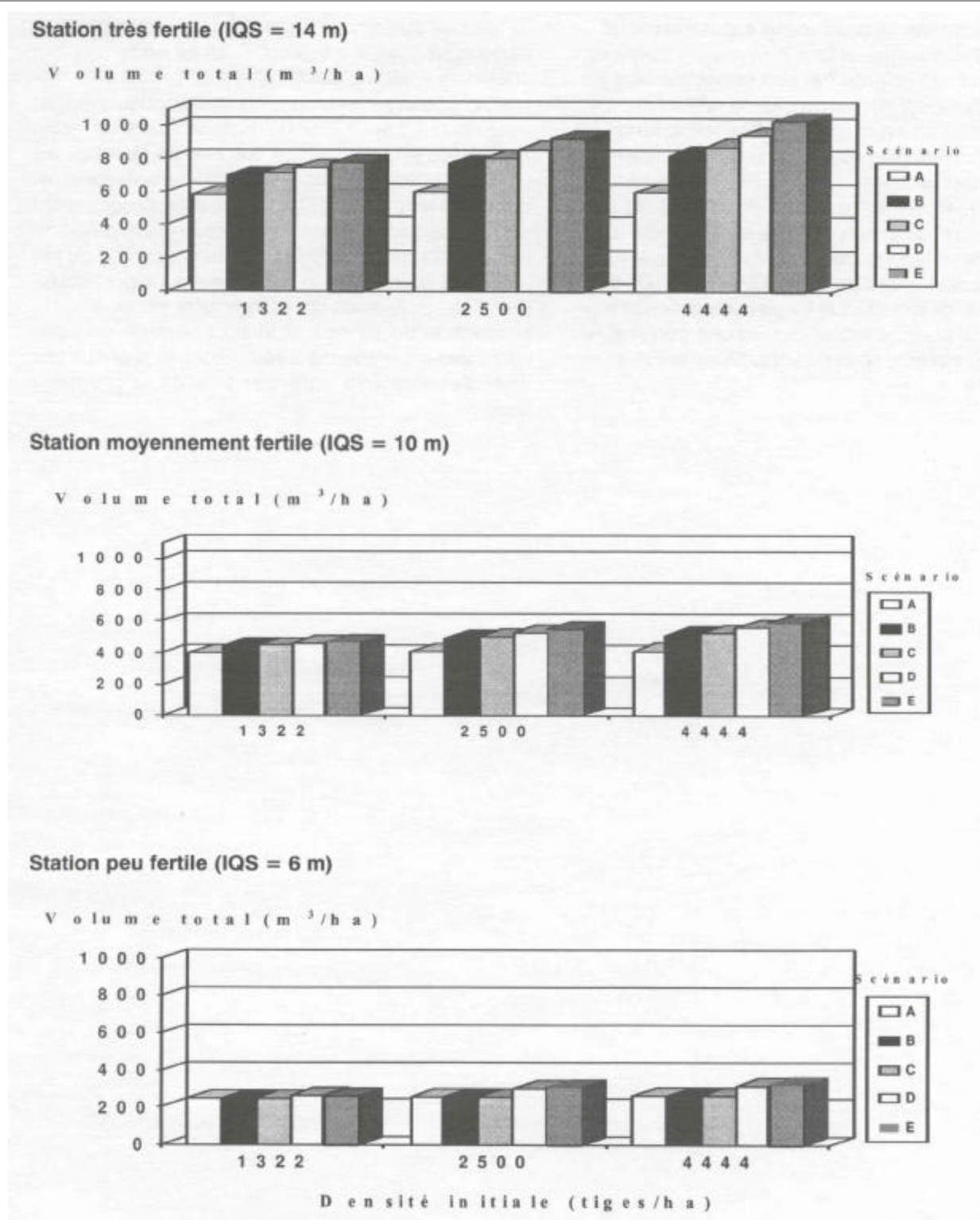


Figure 11. Volume total récolté dans les plantations d'épinette de Norvège selon l'indice de qualité de station, la densité de reboisement et divers scénarios d'éclaircie.

6.7 Effets sur la production en volume total

Pour une essence et une provenance données, la production en volume dépend principalement de la qualité de la station. La densité de reboisement et le scénario d'aménagement influencent aussi la productivité d'une plantation mais ils ont généralement peu d'impact sur les stations les moins fertiles (Figure 11). Toutefois, les gains en volume liés aux densités de reboisement élevées ne sont possibles qu'avec des éclaircies fréquentes et coûteuses. Par surcroît, les différences de volume associées aux densités élevées de reboisement sont composées principalement de bois de faibles dimensions obtenus au cours des premières éclaircies supplémentaires alors nécessaires.

Sur les stations les plus fertiles, on prédit des rendements à 60 ans d'âge total variant entre 581,4 et 1 029 m³/ha selon la densité de reboisement et le scénario d'aménagement. L'accroissement annuel moyen varie entre 9,7 et 17,2 m³/ha (encore plus si on exclut les années en pépinière). L'épinette de Norvège est un des conifères les plus productifs en plantation mais qui a souvent été remplacée dans les programmes de reboisement par des essences moins productives à cause des problèmes liés au charançon du pin blanc. Toutefois, comme on l'a mentionné précédemment, ces problèmes ont des impacts mineurs sur la production en volume si le pourcentage de tiges attaquées est inférieur à 30 ou même 40 % et que ces tiges peuvent être enlevées lors de la première éclaircie.

Conclusion

La nécessité de recourir à l'éclaircie dépend principalement des objectifs de production. Quels types de produits désire-t-on ? Quand veut-on ces produits ? Idéalement, ces objectifs de production doivent être fixés avant la mise en terre des plants afin d'utiliser l'essence, la densité de reboisement et le scénario d'éclaircie appropriés compte tenu de la qualité de la station. Si l'objectif vise la production de bois à pâte, les éclaircies pourraient ne pas être nécessaires alors qu'elles le seront pour obtenir le maximum de produits de grandes dimensions dans un minimum de temps (DAY et RUDOLPH 1972, LITTLE *et al.* 1968). Le besoin d'éclaircir peut dépendre également du prix des différents produits (pâte, gros sciage, etc.) ; des prix élevés pour le bois de sciage et même pour le bois à pâte (augmentation du volume total) augmentent la rentabilité des éclaircies.

Les notions présentées précédemment se sont limitées à trois densités initiales de reboisement, à trois indices de qualité de station et à une seule essence. De plus, nous avons simulé les croissances prédites par les tables de rendement. Toutefois, chaque plantation possède des caractéristiques qui lui sont propres. Par conséquent, il importe de bien inventorier la plantation à aménager et d'adapter les notions présentées précédemment aux caractéristiques réelles de la plantation. Les effets des choix de l'aménagiste sur le développement ultérieur de la plantation pourront alors être prédits avec plus de précision.

L'utilisation de provenances améliorées et de plants de fortes dimensions, de même que la transformation primaire accrue de la matière ligneuse par l'industrie du sciage constituent autant de facteurs qui augmenteront l'importance d'éclaircir les plantations. L'éclaircie doit être perçue comme un investissement plutôt qu'une dépense. À ce sujet, BILLAC *et al.* (1986) concluaient ainsi : « Une culture extensive est un luxe que l'on ne peut plus s'offrir. Elle coûte certes moins cher à l'hectare ; elle coûte beaucoup trop cher par m³ produit ».

Bibliographie

- ANDRÉ, P., V. BUCHET, E. DEFAYS, P. LHOIR, et P. REGINSTER, 1994. *Éclaircie en futaie résineuse*. Université catholique de Louvain, Faculté des sciences agronomiques. Fiche technique n° 3. 37 p.
- ANONYME, 1998. *Manuel d'aménagement forestier*. 3^e édition. Ministère des Forêts du Québec. 267 p.
- AUSSENAC, G., A. GRANIER et R. NAUD, 1984. *Éclaircie systématique dans un jeune peuplement de Douglas. Modifications microclimatiques et influences sur la croissance*. Revue forestière française 36(4) : 279-288.
- BAILEY, R.L. et K.D. WARE, 1983. *Compatible basal-area growth and yield model for thinned and unthinned stands*. Can. J. For. Res. 13 : 563-571.
- BALDWIN, H.I., 1959. *Thinning red pine planted at different spacings*. New Hampshire Forestry and Recreation Commission, Fox Forest Notes No. 71. 2 p.
- BALDWIN, V.C. Jr., D.P. FEDUCCIA et J.D. HAYWOOD, 1989. *Postthinning growth and yield of row-thinned and selectively thinned loblolly and slash pine plantations*. Can. J. For. Res. 19 : 247-256.
- BASTIEN, Y., 1986. *Plaidoyer pour les éclaircies en ligne dans les plantations d'épicéas denses*. Forêt-Entreprise 37 : 18-23.
- BECQUEY, J., 1986. *Hauteur et facteur d'élancement : un équilibre à respecter*. Forêt-Entreprise 34 : 14-21 .
- BENNETT, F.A., 1971 . *The role of thinning and some other problems in management of slash pine plantations*. U.S.D.A. Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. Research Paper SE-86. 14 p.

- BERRY, A.B., 1971. *Stem form and growth of plantation red pine 30 years after heavy thinning*. Canadian Forestry Service, Department of Fisheries and Forestry. Information Report PS-X-24. 13 p.
- BERRY, A.B., 1974. *Crown thinning a 30-year-old white spruce plantation at Petawawa – 10-year results*. Canadian Forestry Service, Petawawa Forest Experiment Station. Information Report PS-X-49. 16 p.
- BILLAC, J.-M., P. DUSSAIN, M. GUIZIOU, J.-P. MAUGE, B. PATRICOT et P. DE SÈZE, 1986. *La culture moderne du pin maritime dans les landes de Gascogne*. Forêt-Entreprise 37. 28 p.
- BOLGHARI, H.A. et V. BERTRAND, 1984. *Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche (Terres et Forêts). Mémoire n° 79. 392 p.
- BOUCHON, J., 1977. *Réflexions sur les premiers résultats d'un dispositif d'éclaircies de pins sylvestres en forêt de Lamotte-Beuvron*. Annales des Sciences Forestières 34(4) : 323-329.
- BRUCE, D., D.J. DE MARS et D.L. REUKEMA, 1977. *Douglas-fir managed yield simulator – DFIT User's guide*. U.S.D.A. Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. General Technical Report PNW-57. 26 p.
- BURTON, J.D., 1981. *Thinning and pruning influence glaze damage in a loblolly pine plantation*. U.S.D.A. Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Research Note SO-264. 4 p.
- COOLEY, J.H., 1969. *Initial thinning in red pine plantations*. U.S.D.A. Forest Service, North Central Forest Experiment Station. Research Paper NC-35. 6 p.
- CREMER, K.W., C.J. BOROUGH, F.H. MCKINNELL et P.R. CARTER, 1982. *Effects of stocking and thinning on wind damage in plantations*. New Zealand Journal of Forestry Science 12(2) : 244-268.
- DAY, M.W. et V.J. RUDOLPH, 1972. *Thinning plantation red pine*. Michigan State University, Agricultural Experiment Station, East Lansing. Research Report 151. 12 p.
- DEMARCO, P., 1992. *Étude du non marquage de la première éclaircie résineuse*. Bulletin technique de l'ONF n° 24 : 43-52.
- DUPLAT, R., 1993. *Les modèles de croissance simples ne sont pas nuls mais ils ne répondent pas à tout*. Dans : C.-H. Ung (éd.). *Les modèles de croissance forestière et leurs utilisations*. Colloque international, 18 et 19 novembre 1993, Québec. Ressources naturelles du Canada et ministère des Forêts du Québec : 1-12.
- FEDUCCIA, D.P., 1983. *Thinning pine plantations*. Forest Farmer 13(10) : 10-11.
- GILLESPIE, A.R. et H.M. HOCKER Jr., 1986. *Thinning response of immature white pine*. Northern Journal of Applied Forestry 3 : 148-150.
- GRANO, C.X., 1971. *Growth of planted loblolly pine after row and selective thinning*. U.S.D.A. Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Research Note SO-123. 3 p.
- GUITTON, J.-L. et F. RUCHAUD, 1996. *Conséquences écologiques de l'éclaircie des peuplements résineux*. Afocel-Armef, Informations-Forêt n° 1, fiche n° 523. 6 p.
- HEDDEN, R.L., 1983. *Evaluation of loblolly pine thinning regimes for reduction of losses from southern pine beetle attack*. Dans : E.P. Jones, Jr. (éd.). *Proceedings of the Second Biennial Southern Silvicultural Research Conference*, November 4-5 1982, Atlanta, GA. U.S.D.A. Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. General Technical Report SE-24 : 371-375.
- LAFLAMME, G., 1994. *La maladie du rond causée par Heterobasidion annosum*. Service canadien des forêts, Feuillet d'information CFL 27. 12 p.
- LIECHTY, H.O., G.D. MROZ et D.D. REED, 1986. *The growth and yield responses of a high site quality red pine plantation to seven thinning treatments and two thinning intervals*. Can. J. For. Res. 16 : 513-520.
- LIECHTY, H.O., D.D. REED et G.D. MROZ, 1988. *An interim economic comparison of thinning treatments in a high site quality red pine plantation*. North. J. Appl. For. 5 : 211-215.

- LITTLE, S., J.J. MOHR et P.V. MOOK, 1968. *Ten-year effects from row thinnings in loblolly pine plantations of eastern Maryland*. U.S.D.A. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Research Note NE-77. 8 p.
- LUNDGREN, A.L., 1981. *The effect of initial number of trees per acre and thinning densities on timber yields from red pine plantations in the Lake States*. U.S.D.A. Forest Service, North Central Forest Experiment Station. Research Paper NC-193. 25 p.
- MITCHELL, R.G., R.H. WARING et G.B. PITMAN, 1983. *Thinning lodgepole pine increases tree vigor and resistance to mountain pine beetle*. Forest Sci. 29(1) : 204-211.
- PARDÉ, J., 1961. *Comment préciser l'intensité d'une éclaircie ?* Revue Forestière Française n° 8-9 : 551-557.
- READER, T.G. et E.A. KURMES, 1996. *The influence of thinning to different stocking levels on compression wood development in ponderosa pine*. Forest Products Journal 46(11-12) : 92-100.
- REUKEMA, D.L., 1975. *Guidelines for precommercial thinning of Douglas-fir*. U.S.D.A. Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. General Technical Report PNW-30. 10 p.
- RIOU-NIVERT, P. et J.-M. GEORGEOT, 1982. *Densité de plantation et sylviculture du Douglas en forêt domaniale d'Amance : les plus grands espacements ont donné les meilleurs résultats*. Forêt-Entreprise 82(8) : 14-25.
- RIOU-NIVERT, P., 1984. *Le facteur d'espacement : un guide pour les premières éclaircies dans les peuplements résineux*. Forêt-Entreprise 20 : 18-25.
- RIOU-NIVERT, P., 1986. *Bilan et perspectives du « Programme résineux » de l'IDF*. Forêt-Entreprise 37 : 24-43.
- SHEEDY, G. et V. BERTRAND, 1997. *Résultats de 10 ans concernant les éclaircies en ligne réalisées dans les plantations de la forêt de Drummondville*. Ministère des Ressources naturelles. Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 77. 20 p.
- SHEEHAN, P.G., P.B. LAVERY et B.M. WALSH, 1982. *Thinning and salvage strategies in plantations prone to storm damage – Case study of radiata pine plantations in the Ovens valley, Victoria*. New Zealand J. of Forestry Science 12(2) : 269-280.
- SHEPARD, R.K. Jr., 1975. *Ice storm damage to loblolly pine in northern Louisiana*. J. Forestry 73 : 420-423.
- SHEPHERD, K.R., 1986. *Plantation sylviculture*. Martinus Nijhoff, Dordrecht, Pays-Bas. 322 p.
- SNOWDON, P. et H.D. WARING, 1990. *Growth responses by Pinus radiata to combinations of superphosphate, urea and thinning type*. Forest Ecology and Management 30 : 313-325.
- STIELL, W.M., 1968. *Thinning technique improves quality of white pine stands*. Canadian Forest Industries, March : 54-56.
- TASSISSA, G. et H.E. BURKHART, 1998. *Modeling thinning effects on ring specific gravity of loblolly pine (Pinus taeda L.)*. Forest Sci. 44(2) : 212-223.
- TISSERAND, A. et J. PARDÉ, 1982. *Le dispositif expérimental des Heez d'Hargnies (Ardennes). Contribution à la définition d'une sylviculture pour les plantations d'épicéa commun dans le nord-est de la France*. Revue Forestière Française 34(6) : 353-380.
- VON ALTHEN, F.W. et W.M. STIELL, 1965. *Twenty-three years of management in the Rockland red pine plantation*. Department of Forestry, Publication No. 1123. 20 p.
- WAKELEY, P.C., 1970. *Single commercial thinnings in slash and loblolly pines*. J. Forestry 68 : 223.
- WILEY, S. et B. ZEIDE, 1989. *Thirty-year development of loblolly pine stands at various densities*. Dans : J.H. Miller (comp.). Proceedings of the Fifth Biennial Southern Silvicultural Research Conference, November 1-3 1988, Memphis, Tennessee. U.S.D.A. Forest Service, Southern Forest Experiment Station. General Technical Report SO-74 : 199-204.
- WILLISTON, H.L., 1967. *Thinning desirable in loblolly pine plantations in west Tennessee*. U.S.D.A. Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Research Note SO-61. 7 p.

WOOLLONS, R.C. et W.J. HAYWARD, 1985. *Revision of a growth and yield model for radiata pine in New Zealand*. Forest Ecology and Management 11 : 191-202.

ZAHNER, R. et F.W. WHITMORE, 1960. *Early growth of radically thinned loblolly pine*. J. Forestry 58 : 628-634.

ZARNOCH, S.J., D.P. FEDUCCIA, V.C. BALDWIN, Jr. et T.R. DELL, 1991. *Growth and yield predictions for thinned and unthinned slash pine plantations on cutover sites in the west Gulf Region*. U.S.D.A. Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Research Paper SO-264. 32 p.

Annexe A. Simulation d'éclaircies systématiques pour des plantations d'épinette de Norvège avec un indice de qualité de station de 14 m selon divers scénarios de coupe et densités de reboisement *

| Densité initiale (plants/ha) | Scénario | Coupe | Âge total (ans) | Sur pied | | | | | | | Récolté | | |
|------------------------------------|----------|-------|-----------------------|-------------|----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|-------------|----------------------------|--|
| | | | | Avant | | | | Après | | | NT (/ha) | VT (m ³ /ha) | VT/arbre (dm ³ / arbre) |
| | | | | NT (/ha) | GT (m ² /ha) | DHP (cm) | VT (m ³ /ha) | NT (/ha) | GT (m ² /ha) | VT (m ³ /ha) | | | |
| 1322 | A | F | 60 | 885 | 57,0 | 28,6 | 581,4 | 0 | 0 | 0 | 885 | 581,4 | 657 |
| | B | E1 | 27 | 1322 | 35,0 | 18,3 | 236,8 | 945 | 25,0 | 169,2 | 377 | 67,6 | 179 |
| | | E2 | 34 | 945 | 35,3 | 21,8 | 279,5 | 669 | 25,0 | 197,8 | 276 | 81,7 | 296 |
| | | E3 | 42 | 669 | 35,1 | 25,9 | 325,8 | 476 | 25,0 | 231,8 | 193 | 94,0 | 487 |
| | | F | 60 | 476 | 39,4 | 32,5 | 452,1 | 0 | 0 | 0 | 476 | 452,1 | 950 |
| | C | E1 | 27 | 1322 | 35,0 | 18,3 | 236,8 | 756 | 20,0 | 135,4 | 566 | 101,4 | 179 |
| | | E2 | 38 | 756 | 35,7 | 24,5 | 314,7 | 424 | 20,0 | 176,5 | 332 | 138,2 | 416 |
| | | F | 60 | 424 | 39,2 | 34,3 | 473,3 | 0 | 0 | 0 | 424 | 473,3 | 1116 |
| | D | E1 | 23 | 1322 | 29,2 | 16,5 | 179,8 | 906 | 20,0 | 123,2 | 416 | 56,6 | 136 |
| | | E2 | 29 | 906 | 28,8 | 20,1 | 211,8 | 628 | 20,0 | 146,8 | 278 | 65,0 | 234 |
| | | E3 | 35 | 628 | 28,7 | 24,1 | 249,2 | 438 | 20,0 | 173,9 | 190 | 75,3 | 396 |
| | | E4 | 42 | 438 | 28,8 | 28,9 | 296,0 | 305 | 20,0 | 205,9 | 133 | 90,1 | 677 |
| | | E5 | 51 | 305 | 28,7 | 34,6 | 349,4 | 212 | 20,0 | 243,2 | 93 | 106,2 | 1142 |
| | | F | 60 | 212 | 25,7 | 39,3 | 353,0 | 0 | 0 | 0 | 212 | 353,0 | 1665 |
| | E | E1 | 23 | 1322 | 29,2 | 16,5 | 179,8 | 725 | 16,0 | 98,6 | 597 | 81,2 | 136 |
| | | E2 | 32 | 725 | 29,3 | 22,7 | 240,8 | 396 | 16,0 | 131,5 | 329 | 109,3 | 332 |
| | | E3 | 42 | 396 | 29,0 | 30,5 | 313,5 | 219 | 16,0 | 173,2 | 177 | 140,3 | 793 |
| | | F | 60 | 219 | 30,4 | 42,1 | 445,8 | 0 | 0 | 0 | 219 | 445,8 | 2036 |

Annexe A (suite). Simulation d'éclaircies systématiques pour des plantations d'épinette de Norvège avec un indice de qualité de station de 14 m selon divers scénarios de coupe et densités de reboisement *

| Densité initiale (plants/ ha) | Scénario | Coupe | Âge total (ans) | Sur pied | | | | | | | Récolté | | |
|--|----------|-------|-----------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|--|
| | | | | Avant | | | | Après | | | NT (/ha) | VT (m ³ / ha) | VT/ arbre (dm ³ / arbre) |
| | | | | NT (/ha) | GT (m ² / ha) | DHP (cm) | VT (m ³ / ha) | NT (/ha) | GT (m ² / ha) | VT (m ³ / ha) | | | |
| 2500 | A | F | 60 | 1139 | 62,9 | 26,5 | 596,1 | 0 | 0 | 0 | 1139 | 596,1 | 523 |
| | B | E1 | 23 | 2155 | 35,0 | 14,4 | 190,9 | 1539 | 25,0 | 136,3 | 616 | 54,6 | 89 |
| | | E2 | 29 | 1539 | 36,5 | 17,4 | 235,6 | 1054 | 25,0 | 161,3 | 485 | 74,3 | 153 |
| | | E3 | 35 | 1054 | 35,3 | 20,7 | 266,6 | 746 | 25,0 | 188,7 | 308 | 77,9 | 253 |
| | | E4 | 42 | 746 | 35,3 | 24,5 | 311,2 | 529 | 25,0 | 220,5 | 217 | 90,7 | 418 |
| | | E5 | 51 | 529 | 35,2 | 29,1 | 364,1 | 376 | 25,0 | 258,6 | 153 | 105,5 | 690 |
| | | F | 60 | 376 | 31,7 | 32,8 | 366,9 | 0 | 0 | 0 | 376 | 366,9 | 976 |
| | C | E1 | 23 | 2155 | 35,0 | 14,4 | 190,9 | 1231 | 20,0 | 109,1 | 924 | 81,8 | 89 |
| | | E2 | 31 | 1231 | 35,1 | 19,1 | 246,4 | 701 | 20,0 | 140,4 | 530 | 106,0 | 200 |
| | | E3 | 41 | 701 | 35,7 | 25,5 | 326,6 | 393 | 20,0 | 183,1 | 308 | 143,5 | 466 |
| | | F | 60 | 393 | 38,2 | 35,2 | 472,6 | 0 | 0 | 0 | 393 | 472,6 | 1203 |
| | D | E1 | 19 | 2348 | 28,5 | 12,4 | 137,1 | 1646 | 20,0 | 96,1 | 702 | 41,0 | 58 |
| | | E2 | 23 | 1646 | 28,1 | 14,8 | 157,1 | 1170 | 20,0 | 111,7 | 476 | 45,4 | 95 |
| | | E3 | 28 | 1170 | 29,7 | 18,0 | 197,6 | 789 | 20,0 | 133,2 | 381 | 64,4 | 169 |
| | | E4 | 33 | 789 | 28,9 | 21,6 | 226,9 | 546 | 20,0 | 157,1 | 243 | 69,8 | 287 |
| | | E5 | 39 | 546 | 29,4 | 26,2 | 275,8 | 371 | 20,0 | 187,5 | 175 | 88,3 | 505 |
| | | E6 | 46 | 371 | 29,1 | 31,6 | 325,2 | 255 | 20,0 | 223,4 | 116 | 101,8 | 878 |
| | | F | 60 | 255 | 31,9 | 39,9 | 444,5 | 0 | 0 | 0 | 255 | 444,5 | 1743 |
| | E | E1 | 19 | 2348 | 28,5 | 12,4 | 137,1 | 1317 | 16,0 | 76,9 | 1031 | 60,2 | 58 |
| | | E2 | 25 | 1317 | 28,1 | 16,5 | 173,0 | 750 | 16,0 | 98,6 | 567 | 74,4 | 131 |
| | | E3 | 32 | 750 | 28,9 | 22,1 | 231,7 | 415 | 16,0 | 128,3 | 335 | 103,4 | 309 |
| | | E4 | 40 | 415 | 28,6 | 29,6 | 300,6 | 233 | 16,0 | 168,4 | 182 | 132,2 | 726 |
| | | E5 | 51 | 233 | 28,9 | 39,8 | 401,7 | 129 | 16,0 | 222,2 | 104 | 179,5 | 1726 |
| | | F | 60 | 129 | 22,7 | 47,3 | 372,1 | 0 | 0 | 0 | 129 | 372,1 | 2884 |

Annexe A (fin). Simulation d'éclaircies systématiques pour des plantations d'épinette de Norvège avec un indice de qualité de station de 14 m selon divers scénarios de coupe et densités de reboisement *

| Densité initiale (plants/ha) | Scénario | Coupe | Age total (ans) | Sur pied | | | | | | | Récolté | | |
|------------------------------|----------|-------|-----------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|-------------------------|----------|-------------------------|-------------------------------------|
| | | | | Avant | | | | Après | | | NT (/ha) | VT (m ³ /ha) | VT/ arbre (dm ³ / arbre) |
| | | | | NT (/ha) | GT (m ² /ha) | DHP (cm) | VT (m ³ /ha) | NT (/ha) | GT (m ² /ha) | VT (m ³ /ha) | | | |
| 4444 | A | F | 60 | 1351 | 66,8 | 25,1 | 601,4 | 0 | 0 | 0 | 1351 | 601,4 | 445 |
| | B | E1 | 21 | 3158 | 35,7 | 12,0 | 166,6 | 2209 | 25,0 | 116,5 | 949 | 50,1 | 53 |
| | | E2 | 26 | 2209 | 36,5 | 14,5 | 200,4 | 1513 | 25,0 | 137,3 | 696 | 63,1 | 91 |
| | | E3 | 31 | 1513 | 35,5 | 17,3 | 228,0 | 1066 | 25,0 | 160,6 | 447 | 67,4 | 151 |
| | | E4 | 37 | 1066 | 36,1 | 20,8 | 273,8 | 738 | 25,0 | 189,6 | 328 | 84,2 | 257 |
| | | E5 | 44 | 738 | 35,8 | 24,9 | 320,3 | 515 | 25,0 | 223,5 | 223 | 96,8 | 434 |
| | | E6 | 53 | 515 | 35,5 | 29,6 | 373,1 | 363 | 25,0 | 263,0 | 152 | 110,1 | 724 |
| | C | F | 60 | 363 | 30,5 | 32,7 | 352,0 | 0 | 0 | 0 | 363 | 352 | 970 |
| | | E1 | 21 | 3158 | 35,7 | 12,0 | 166,6 | 1767 | 20,0 | 93,2 | 1391 | 73,4 | 53 |
| | | E2 | 28 | 1767 | 35,8 | 16,1 | 215,6 | 987 | 20,0 | 120,4 | 780 | 95,2 | 122 |
| | | E3 | 36 | 987 | 35,5 | 21,4 | 276,4 | 556 | 20,0 | 155,6 | 431 | 120,8 | 280 |
| | | E4 | 46 | 556 | 35,2 | 28,4 | 355,9 | 316 | 20,0 | 202,1 | 240 | 153,8 | 641 |
| | D | F | 60 | 316 | 33,3 | 36,6 | 427,5 | 0 | 0 | 0 | 316 | 427,5 | 1353 |
| | | E1 | 17 | 3684 | 28,9 | 10,0 | 115,5 | 2549 | 20,0 | 79,9 | 1135 | 35,6 | 31 |
| | | E2 | 21 | 2549 | 29,8 | 12,2 | 140,9 | 1711 | 20,0 | 94,6 | 838 | 46,3 | 55 |
| | | E3 | 25 | 1711 | 29,3 | 14,8 | 163,8 | 1169 | 20,0 | 111,9 | 542 | 51,9 | 96 |
| | | E4 | 29 | 1169 | 28,6 | 17,7 | 187,5 | 816 | 20,0 | 130,9 | 353 | 56,6 | 160 |
| | | E5 | 34 | 816 | 29,8 | 21,6 | 234,0 | 547 | 20,0 | 156,9 | 269 | 77,1 | 287 |
| | | E6 | 39 | 547 | 28,7 | 25,8 | 265,4 | 381 | 20,0 | 185,1 | 166 | 80,3 | 484 |
| | | E7 | 45 | 381 | 28,8 | 31,0 | 316,1 | 264 | 20,0 | 219,2 | 117 | 96,9 | 828 |
| | | E8 | 52 | 264 | 28,1 | 36,8 | 362,6 | 188 | 20,0 | 257,8 | 76 | 104,8 | 1379 |
| | E | F | 60 | 188 | 26,4 | 42,3 | 388,9 | 0 | 0 | 0 | 188 | 388,9 | 2069 |
| | | E1 | 17 | 3684 | 28,9 | 10,0 | 115,5 | 2039 | 16,0 | 63,9 | 1645 | 51,6 | 31 |
| | | E2 | 22 | 2039 | 28,2 | 13,3 | 143,6 | 1158 | 16,0 | 81,6 | 881 | 62,0 | 70 |
| | | E3 | 28 | 1158 | 29,4 | 18,0 | 195,6 | 629 | 16,0 | 106,3 | 529 | 89,3 | 169 |
| | | E4 | 35 | 629 | 29,8 | 24,5 | 262,7 | 338 | 16,0 | 141,3 | 291 | 121,4 | 417 |
| | | E5 | 43 | 338 | 28,9 | 33,0 | 336,4 | 187 | 16,0 | 186 | 151 | 150,4 | 996 |
| E6 | | 54 | 187 | 28,8 | 44,3 | 443,4 | 104 | 16,0 | 246,5 | 83 | 196,9 | 2372 | |
| F | 60 | 104 | 20,6 | 50,2 | 357,6 | 0 | 0 | 0 | 104 | 357,6 | 3438 | | |

* Calculé à partir des tables de BOLGHARI et BERTRAND 1984

Scénario : A = Aucune éclaircie ; B = Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint ou dépasse 35 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 25 m²/ha ; C = Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint ou dépasse 35 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 20 m²/ha ; D = Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint ou dépasse 28 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 20 m²/ha ; E = Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint ou dépasse 28 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 16 m²/ha.

Coupe : E1 = 1^{re} éclaircie ; E2 = 2^e éclaircie, etc. ; F = coupe finale.

NT = Nombre de tiges ; GT = Surface terrière totale ; VT = Volume total.

Annexe B. Simulation d'éclaircies systématiques pour des plantations d'épinette de Norvège avec un indice de qualité de station de 10 m selon divers scénarios de coupe et densités de reboisement *

| Densité initiale (plants/ ha) | Scénario | Coupe | Age total (ans) | Sur pied | | | | | | | Récolté | | | | |
|--|----------|-------|-----------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|--|------|-----|
| | | | | Avant | | | | Après | | | NT (/ha) | VT (m ³ / ha) | VT/ arbre (dm ³ / arbre) | | |
| | | | | NT (/ha) | GT (m ² / ha) | DHP (cm) | VT (m ³ / ha) | NT (/ha) | GT (m ² / ha) | VT (m ³ / ha) | | | | | |
| 1322 | A | F | 60 | 1010 | 46,0 | 24,1 | 399,0 | 0 | 0 | 0 | 1010 | 399,0 | 395 | | |
| | | B | E1 | 37 | 1322 | 35,5 | 17,8 | 233,7 | 931 | 25,0 | 164,6 | 391 | 69,1 | 177 | |
| | | | E2 | 48 | 931 | 35,0 | 21,9 | 278,3 | 664 | 25,0 | 198,5 | 267 | 79,8 | 299 | |
| | C | F | 60 | 664 | 33,0 | 25,2 | 298,6 | 0 | 0 | 0 | 664 | 298,6 | 450 | | |
| | | E1 | 37 | 1322 | 35,5 | 17,8 | 233,7 | 745 | 20,0 | 131,7 | 577 | 102,0 | 177 | | |
| | D | F | 60 | 745 | 38,0 | 25,5 | 347,6 | 0 | 0 | 0 | 745 | 347,6 | 467 | | |
| | | E1 | 31 | 1322 | 29,1 | 15,5 | 169,1 | 910 | 20,0 | 116,3 | 412 | 52,8 | 128 | | |
| | | E2 | 39 | 910 | 28,2 | 19,9 | 205,5 | 645 | 20,0 | 145,6 | 265 | 59,9 | 226 | | |
| | | E3 | 48 | 645 | 28,2 | 23,6 | 240,2 | 457 | 20,0 | 170,1 | 188 | 70,1 | 373 | | |
| | E | F | 60 | 457 | 28,0 | 27,9 | 278,5 | 0 | 0 | 0 | 457 | 278,5 | 609 | | |
| | | E1 | 31 | 1322 | 29,1 | 15,5 | 169,1 | 728 | 16,0 | 93,1 | 594 | 76,0 | 128 | | |
| | | E2 | 44 | 728 | 28,6 | 22,4 | 232,2 | 407 | 16,0 | 129,8 | 321 | 102,4 | 319 | | |
| | 2500 | A | F | 60 | 407 | 27,8 | 29,5 | 291,3 | 0 | 0 | 0 | 407 | 291,3 | 716 | |
| | | | B | E1 | 33 | 2080 | 35,6 | 14,8 | 198,2 | 1463 | 25,0 | 139,4 | 617 | 58,8 | 95 |
| | | | | E2 | 40 | 1463 | 35,3 | 17,5 | 229,0 | 1036 | 25,0 | 162,1 | 427 | 66,9 | 157 |
| E3 | | 49 | | 1036 | 35,5 | 20,9 | 270,5 | 731 | 20,0 | 190,7 | 305 | 79,8 | 262 | | |
| F | | 60 | | 731 | 33,2 | 24,0 | 287,2 | 0 | 0 | 0 | 731 | 287,2 | 393 | | |
| C | | E1 | 33 | 2080 | 35,6 | 14,8 | 198,2 | 1170 | 20,0 | 111,5 | 910 | 86,7 | 95 | | |
| | | E2 | 44 | 1170 | 35,4 | 19,6 | 254,4 | 662 | 20,0 | 143,9 | 508 | 110,5 | 218 | | |
| | | F | 60 | 662 | 33,6 | 25,4 | 306,2 | 0 | 0 | 0 | 662 | 306,2 | 463 | | |
| D | | E1 | 27 | 2384 | 28,1 | 12,2 | 133,3 | 1696 | 20,0 | 94,8 | 688 | 38,5 | 56 | | |
| | | E2 | 32 | 1696 | 28,5 | 14,6 | 157,4 | 1190 | 20,0 | 110,5 | 506 | 46,9 | 93 | | |
| | | E3 | 38 | 1190 | 29,2 | 17,7 | 191,4 | 816 | 20,0 | 131,2 | 374 | 60,2 | 161 | | |
| | | E4 | 45 | 816 | 29,0 | 21,3 | 224,8 | 563 | 20,0 | 155,1 | 253 | 69,7 | 275 | | |
| | | F | 60 | 563 | 32,4 | 27,1 | 313,6 | 0 | 0 | 0 | 563 | 313,6 | 557 | | |
| E | | E1 | 27 | 2384 | 28,1 | 12,2 | 133,3 | 1357 | 16,0 | 75,9 | 1027 | 57,4 | 56 | | |
| | | E2 | 35 | 1357 | 29,2 | 16,6 | 180,7 | 743 | 16,0 | 98,9 | 614 | 81,8 | 133 | | |
| | E3 | 44 | 743 | 28,2 | 22,0 | 225,2 | 421 | 16,0 | 127,6 | 322 | 97,6 | 303 | | | |
| | F | 60 | 421 | 29,6 | 29,9 | 314,1 | 0 | 0 | 0 | 421 | 314,1 | 746 | | | |

Annexe B (fin). Simulation d'éclaircies systématiques pour des plantations d'épinette de Norvège avec un indice de qualité de station de 10 m selon divers scénarios de coupe et densités de reboisement *

| Densité initiale (plants / ha) | Scénario | Coupe | Âge total (ans) | Sur pied | | | | | | | Récolté | | |
|--------------------------------|----------|-------|-----------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|-------------------------|----------|-------------------------|-------------------------------------|
| | | | | Avant | | | | Après | | | NT (/ha) | VT (m ³ /ha) | VT/ arbre (dm ³ / arbre) |
| | | | | NT (/ha) | GT (m ² /ha) | DHP (cm) | VT (m ³ /ha) | NT (/ha) | GT (m ² /ha) | VT (m ³ /ha) | | | |
| 4444 | A | F | 60 | 1453 | 52,9 | 21,5 | 414,5 | 0 | 0 | 0 | 1453 | 414,5 | 285 |
| | B | E1 | 31 | 2742 | 36,0 | 12,9 | 179,0 | 1904 | 25,0 | 124,3 | 838 | 54,7 | 65 |
| | | E2 | 37 | 1904 | 35,4 | 15,4 | 205,0 | 1344 | 25,0 | 144,7 | 560 | 60,3 | 108 |
| | | E3 | 44 | 1344 | 35,2 | 18,3 | 237,8 | 955 | 20,0 | 168,9 | 389 | 68,9 | 177 |
| | | F | 60 | 955 | 39,9 | 23,1 | 333,2 | 0 | 0 | 0 | 955 | 333,2 | 349 |
| | C | E1 | 31 | 2742 | 36,0 | 12,9 | 179,0 | 1523 | 20,0 | 99,4 | 1219 | 79,6 | 65 |
| | | E2 | 40 | 1523 | 35,1 | 17,1 | 223,1 | 869 | 20,0 | 127,3 | 654 | 95,8 | 146 |
| | | E3 | 53 | 869 | 35,4 | 22,8 | 292,1 | 491 | 20,0 | 165,1 | 378 | 127,0 | 336 |
| | | F | 60 | 491 | 25,1 | 25,5 | 229,6 | 0 | 0 | 0 | 491 | 229,6 | 468 |
| | D | E1 | 25 | 3342 | 28,1 | 10,3 | 115,3 | 2382 | 20,0 | 82,2 | 960 | 33,1 | 34 |
| | | E2 | 29 | 2382 | 28,0 | 12,2 | 132,3 | 1701 | 20,0 | 94,5 | 681 | 37,8 | 56 |
| | | E3 | 34 | 1701 | 29,2 | 14,8 | 163,3 | 1165 | 20,0 | 111,9 | 536 | 51,4 | 96 |
| | | E4 | 39 | 1165 | 28,2 | 17,5 | 183,0 | 827 | 20,0 | 130,0 | 338 | 53,0 | 157 |
| | | E5 | 45 | 827 | 28,3 | 20,9 | 215,6 | 584 | 20,0 | 152,2 | 243 | 63,4 | 261 |
| | | E6 | 53 | 584 | 28,6 | 24,9 | 255,9 | 409 | 20,0 | 179,3 | 175 | 76,6 | 438 |
| | E | F | 60 | 409 | 25,1 | 27,9 | 249,6 | 0 | 0 | 0 | 409 | 249,6 | 610 |
| | | E1 | 25 | 3342 | 28,1 | 10,3 | 115,3 | 1906 | 16,0 | 65,7 | 1436 | 49,6 | 35 |
| | | E2 | 32 | 1906 | 29,6 | 14,1 | 158,6 | 1029 | 16,0 | 85,6 | 877 | 73,0 | 83 |
| | | E3 | 40 | 1029 | 29,2 | 19,0 | 204,0 | 564 | 16,0 | 111,7 | 465 | 92,3 | 198 |
| | | E4 | 50 | 564 | 28,5 | 25,4 | 259,8 | 316 | 16,0 | 145,7 | 248 | 114,1 | 460 |
| F | 60 | 316 | 23,9 | 31,1 | 263,1 | 0 | 0 | 0 | 316 | 263,1 | 833 | | |

* Calculé à partir des tables de BOLGHARI et BERTRAND 1984.

Scénarios : A = Aucune éclaircie ; B = Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint ou dépasse 35 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 25 m²/ha ; C = Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint ou dépasse 35 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 20 m²/ha ; D = Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint ou dépasse 28 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 20 m²/ha ; E = Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint ou dépasse 28 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 16 m²/ha.

Coupes : E1 = 1^{re} éclaircie ; E2 = 2^e éclaircie, etc. ; F = coupe finale.

NT = Nombre de tiges ; GT = Surface terrière totale ; VT = Volume total.

Annexe C. Simulation d'éclaircies systématiques pour des plantations d'épinette de Norvège avec un indice de qualité de station de 6 m selon divers scénarios de coupe et densités de reboisement *

| Densité initiale (plants/ ha) | Scénario | Coupe | Âge total (ans) | Sur pied | | | | | | | Récolté | | |
|--|-----------|-----------|-----------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|--|
| | | | | Avant | | | | Après | | | NT (/ha) | VT (m ³ / ha) | VT/ arbre (dm ³ / arbre) |
| | | | | NT (/ha) | GT (m ² / ha) | DHP (cm) | VT (m ³ / ha) | NT (/ha) | GT (m ² / ha) | VT (m ³ / ha) | | | |
| 1322 | A, B et C | F | 60 | 1168 | 34,9 | 19,5 | 250,1 | 0 | 0 | 0 | 1168 | 250,1 | 214 |
| | | D | E1 | 42 | 1322 | 28,6 | 14,9 | 161,4 | 923 | 20,0 | 112,7 | 399 | 48,7 |
| | | F | 60 | 923 | 29,0 | 20,0 | 212,3 | 0 | 0 | 0 | 923 | 212,3 | 230 |
| | E | E1 | 42 | 1322 | 28,6 | 14,9 | 161,4 | 739 | 16,0 | 90,2 | 583 | 71,2 | 122 |
| | | F | 60 | 739 | 25,0 | 20,8 | 189,6 | 0 | 0 | 0 | 739 | 189,6 | 257 |
| | 2500 | A, B et C | F | 60 | 1378 | 37,4 | 18,6 | 256,6 | 0 | 0 | 0 | 1378 | 256,6 |
| D | | | E1 | 39 | 2160 | 28,8 | 13,0 | 143,7 | 1503 | 20,0 | 100,0 | 657 | 43,7 |
| | | E2 | 46 | 1503 | 28,1 | 15,4 | 162,7 | 1071 | 20,0 | 116,0 | 432 | 46,7 | 108 |
| | | F | 60 | 1071 | 30,4 | 19,0 | 212,4 | 0 | 0 | 0 | 1071 | 212,4 | 198 |
| E | | E1 | 39 | 2160 | 28,8 | 13,0 | 143,7 | 1202 | 16,0 | 80,0 | 958 | 63,7 | 66 |
| | | E2 | 51 | 1202 | 28,7 | 17,4 | 185,3 | 671 | 16,0 | 103,4 | 531 | 81,9 | 154 |
| | F | 60 | 671 | 21,8 | 20,3 | 161,7 | 0 | 0 | 0 | 671 | 161,7 | 241 | |
| 4444 | A, B et C | F | 60 | 1538 | 39,1 | 18,0 | 260,1 | 0 | 0 | 0 | 1538 | 260,1 | 169 |
| | | D | E1 | 37 | 2661 | 28,6 | 11,7 | 130,5 | 1860 | 20,0 | 91,2 | 801 | 39,3 |
| | | E2 | 43 | 1860 | 28,0 | 13,9 | 148,2 | 1327 | 20,0 | 105,7 | 533 | 42,5 | 80 |
| | | E3 | 51 | 1327 | 28,4 | 16,5 | 174,8 | 934 | 20,0 | 123,0 | 393 | 51,8 | 132 |
| | | F | 60 | 934 | 26,2 | 18,9 | 182,2 | 0 | 0 | 0 | 934 | 182,2 | 195 |
| | E | E1 | 37 | 2661 | 28,6 | 11,7 | 130,5 | 1488 | 16,0 | 73,0 | 1173 | 57,5 | 49 |
| E2 | | 47 | 1488 | 28,6 | 15,6 | 167,5 | 833 | 16,0 | 93,7 | 655 | 73,8 | 113 | |
| F | | 60 | 833 | 26,1 | 20,0 | 191,0 | 0 | 0 | 0 | 833 | 191,0 | 229 | |

* Calculé à partir des tables de BOLGHARI et BERTRAND 1984.

Scénarios : A = Aucune éclaircie ; B = Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint ou dépasse 35 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 25 m²/ha ; C = Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint ou dépasse 35 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 20 m²/ha ; D = Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint ou dépasse 28 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 20 m²/ha ; E = Éclaircie lorsque la surface terrière totale atteint ou dépasse 28 m²/ha avec une surface terrière résiduelle de 16 m²/ha.

Coupes : E1 = 1^{re} éclaircie ; E2 = 2^e éclaircie, etc. ; F = coupe finale.

NT = Nombre de tiges ; GT = Surface terrière totale ; VT = Volume total.

La transformation primaire de la matière ligneuse étant de plus en plus effectuée par l'industrie du sciage elle-même, le recours aux éclaircies deviendra nécessaire afin de maximiser la production de gros bois en provenance des plantations. Les travaux de recherche menés au Service de l'amélioration des arbres de la Direction de la recherche forestière visent à définir le moment, l'intensité et la périodicité des éclaircies selon l'essence, la qualité de la station, la densité de reboisement et la région écologique afin d'atteindre les objectifs de production de matière ligneuse. L'importance des résultats de ces travaux s'accroîtra puisque la majorité des plantations du Québec ont été établies au cours des années 80 et qu'elles nécessiteront une première éclaircie commerciale au cours des prochaines années.



Gouvernement du Québec
**Ministère des Ressources
naturelles**

ISBN 2-550-33778-6
F.D.C. 243(047.3)(714)
L.C. SD 396.5

RN98-3093