

RAPPORT

Optimisation de la classification des tiges sur pied par type écologique

Considération sur les méthodes d'inventaire
et leur précision

Présenté à :

Gérard Crête et fils inc.
et
MRNQ – Volet I – 41-19-09
et
MEQ - PART

Préparé par :



Centre collégial de transfert de technologie en foresterie

Donald Blouin, ing.f., M.Sc.

Anick Patry, ing.f.

Benoit Ménard, ing.f., M.Sc.

Guy Lessard, ing.f., M.Sc.

Avril 2001

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX.....	II
REMERCIEMENTS.....	1
RÉSUMÉ.....	2
1. INTRODUCTION.....	3
2. OBJECTIFS.....	3
3. MÉTHODOLOGIE.....	4
3.1 Territoire à l'étude.....	4
3.2 Description du peuplement.....	4
3.3 Description des méthodes utilisées.....	6
3.4 Compilation des données.....	6
4. RÉSULTATS ET COMPARAISON DES MÉTHODES D'INVENTAIRE.....	7
4.1 Estimation des surfaces terrières, des densités (nombre de tiges/ha) et des volumes.....	7
4.2 Précision des méthodes d'inventaire.....	8
4.3 Comparaison avec les résultats d'inventaire d'intervention.....	13
5. DISCUSSION.....	13
6. CONCLUSION.....	14
7. RÉFÉRENCES.....	15

ANNEXE 1 - COMPILATIONS STATISTIQUES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 -	Portrait du peuplement de l'aire d'intervention 1074-012	5
Tableau 2 -	Comparaison du nombre de tiges à l'hectare, de la surface terrière et des volumes par essence obtenus à la suite de la réalisation de parcelles en virée continue, de parcelles au prisme et de parcelles à rayon fixe (les moyennes significativement différentes sont marquées en gris).....	7
Tableau 3 -	Précision de la surface terrière évaluée selon trois méthodes d'inventaire pour les principales essences	9
Tableau 4 -	Précision de la densité évaluée selon trois méthodes d'inventaire pour les principales essences	10
Tableau 5 -	Précision du dhp moyen échantillonné selon trois méthodes d'inventaire pour les principales essences	11
Tableau 6 -	Précision du volume évalué selon trois méthodes d'inventaire pour les principales essences	12

REMERCIEMENTS

La réalisation de cette recherche a été possible grâce à la collaboration et à l'engagement financier de la compagnie Gérard Crête et fils inc. Nous voulons remercier spécialement MM. Luc Richard, Pierre Breton et Pierre Paquin, représentants de la compagnie, qui ont contribué à la planification et au bon déroulement des prises des mesures sur le terrain. Nous désirons également remercier MM. Jean-François Desbiens et Louis Vachon de la compagnie Kruger inc., pour la recherche des secteurs d'étude.

Nos remerciements s'adressent aussi au personnel du ministère des Ressources naturelles (MRN) pour leur appui financier et leur collaboration ainsi qu'au ministère de l'Éducation (MEQ) pour une partie du financement via le programme d'aide à la recherche technologique (PART).

Nous tenons à souligner la collaboration de la Coopérative des travailleurs de la scierie Jos St-Amant et l'équipe technique du CERFO pour le travail de terrain. Enfin, nous remercions M^{me} Annie Lelièvre pour le traitement de texte, M. Jean-Pierre Dansereau pour la relecture et M^{me} Claire Demers pour la révision de ce rapport.

RÉSUMÉ

La planification et le suivi des opérations forestières exigent la connaissance du territoire. Pour ce faire, l'évaluation des paramètres forestiers doit être faite sur le terrain au moyen d'un échantillonnage. Les trois principaux facteurs pouvant influencer les résultats et leur précision sont : l'hétérogénéité des peuplements, la taille de l'échantillon et la méthode de mesure. Trois méthodes sont habituellement reconnues pour l'inventaire de peuplements forestiers au stade de futaie. Ces méthodes sont l'inventaire par parcelles à rayon fixe, par parcelles à rayon variable et les virées continues. Ces trois méthodes ont été comparées ici, afin de vérifier si l'une d'entre elles permettait de mieux représenter l'hétérogénéité du milieu. Les objectifs poursuivis par cette étude sont les suivants :

- 1- Déterminer s'il existe des différences significatives entre les méthodes utilisées;
- 2- Déterminer le taux d'échantillonnage nécessaire pour l'obtention d'une précision donnée;
- 3- Comparer les résultats avec l'inventaire d'intervention du bénéficiaire.

Le territoire visé par ce projet se situe dans le sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'est, plus précisément dans la sous-région 3c-T (Gosselin *et al.*, 1998). Le peuplement mixte inventorié est principalement constitué de sapin et de bouleau jaune. Quatre caractéristiques ont servi à comparer les trois méthodes d'inventaire : la surface terrière, le nombre de tiges à l'hectare, le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) moyen et le volume. Des tests statistiques ont été conduits sur les trois types d'inventaire, tous réalisés, sur une même superficie. La méthodologie utilisée pour la conduite de l'inventaire consistait d'abord à réaliser 36 parcelles au prisme (parcelle à rayon variable) sur une superficie de près de 21 ha, puis à recommencer l'inventaire des deux autres façons, en s'assurant que les mêmes centres de parcelles soient utilisés.

Les résultats indiquent que les trois méthodes d'inventaire évaluent les surfaces terrières, les densités et les volumes de façon semblable pour les estimations par essence et par groupe d'essence. Pour l'ensemble des paramètres totaux calculés (surface terrière totale, nombre de tiges total, volume total et dhp moyen), la méthode au prisme donne des résultats similaires aux parcelles à rayon fixe et à la virée continue. Seuls la surface terrière totale et le nombre de tiges total diffèrent significativement entre l'inventaire en virée continue et l'inventaire à rayon fixe. L'inventaire en virée continue semble surestimer ces paramètres alors que l'inventaire à rayon fixe semble sous-estimer ceux-ci, tout en étant pas significativement différents des résultats de l'inventaire au prisme.

Les différentes méthodes donnent des résultats et des précisions semblables. Cependant, le niveau de précision diminue à mesure que l'on désire estimer adéquatement un paramètre spécifique (par exemple, la surface terrière d'une essence donnée, etc.). Pour les trois types d'inventaire évalués, les paramètres totaux semblent estimés à un niveau de précision jugé comme fiable par le MRNQ, alors que les estimations par essence et groupe d'essences sont beaucoup moins précises. Les résultats de l'inventaire d'intervention sont semblables à ceux obtenus par la méthode d'inventaire au prisme pour l'évaluation des paramètres totaux de la même aire d'intervention. Toutefois, les résultats par essence sont imprécis, ceux-ci pouvant varier du simple au triple pour certaines essences et certains paramètres.

CONSIDÉRATIONS SUR LES MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE ET LEUR PRÉCISION

1. INTRODUCTION

La planification et le suivi des opérations forestières exigent la connaissance des forêts du territoire. Pour ce faire, l'évaluation des paramètres forestiers doit être faite sur le terrain au moyen d'un échantillonnage. Les deux principaux facteurs pouvant influencer les résultats sont : la taille de l'échantillon et la méthode de mesure.

La taille de l'échantillonnage est un facteur pouvant influencer considérablement les calculs des paramètres forestiers. Lorsque la taille de l'échantillon est faible, la grande variabilité retrouvée dans les données entraîne une diminution de la précision de l'échantillonnage ce qui a pour effet de rendre moins réaliste l'extrapolation des résultats d'inventaire à l'ensemble du peuplement.

Trois méthodes sont habituellement reconnues pour l'inventaire de peuplements forestiers au stade de futaie. Ces méthodes sont l'inventaire par parcelles à rayon fixe, par parcelles à rayon variable et les virées continues. De celles-ci, l'inventaire à rayon variable est sans doute la méthode la plus rapide et la moins coûteuse et c'est pourquoi elle est habituellement utilisée par les industriels et le MRNQ pour dresser le portrait de territoires de grandes superficies. Le prisme de facteur 2 m²/ha est habituellement utilisé en accord avec les recommandations de Grenier (1993).

Dans les forêts mixtes à feuillus tolérants, où la structure irrégulière en îlot prédomine, certains industriels choisissent de procéder par virées continues. Ceci donnerait un meilleur portrait, en terme de composition et de qualité de tiges, que les autres méthodes. D'autre part, l'hypothèse est formulée que les virées continues apporteraient une meilleure précision puisqu'elles minimiseront l'effet de la structure en îlot pour sa forme : chacune des parcelles serait plus hétérogène. Enfin, l'opinion est répandue parmi les forestiers que le nombre de tiges à l'hectare est mieux évalué par les parcelles à rayons fixes que les parcelles à rayons variables.

2. OBJECTIFS

Les objectifs de cette recherche sont de :

- Déterminer s'il existe des différences significatives entre les méthodes utilisées.
- Déterminer le taux d'échantillonnage nécessaire pour l'obtention d'une précision donnée.
- Comparer les résultats avec l'inventaire d'intervention du bénéficiaire.

Trois paramètres, compilés de façon globale par groupement d'essences et par essence, sont retenus pour l'étude, soit : la surface terrière, le nombre de tiges à l'hectare et le volume.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 TERRITOIRE À L'ÉTUDE

Le territoire visé par ce projet se situe dans le sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'est, plus précisément dans la sous-région 3c-T (Gosselin *et al.*, 1998). Cette région, majoritairement recouverte par les tills, présente une température moyenne annuelle de 2,5 ° C, une saison de croissance d'une longueur variant entre 160 et 180 jours et des précipitations annuelles moyennes variant entre 900 et 1 100 mm.

Deux types écologiques sont fréquemment rencontrés dans cette région : les types écologiques FE32 et MJ22. Le type écologique FE32 (érablière à bouleau jaune sur dépôt mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique) occupe les sites sur mi-versant, en mi-pente et en haut de pente, couverts de till plus ou moins épais et dont le drainage varie de bon à modéré. Le type écologique MJ22 (bétulaie jaune à sapin sur dépôt mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique) se retrouve sur les sites en contrebas du type écologique FE32, en mi-pente ou en bas de pente, sur moyen ou bas versant, qui sont couverts de till moyennement épais et bien drainé (Gosselin *et al.*, 1998). Le type MJ12 (bétulaie jaune à sapin et érable) a récemment été défini pour décrire la zone de transition, parfois importante, entre les deux précédents.

3.2 DESCRIPTION DU PEUPEMENT

Le choix du peuplement à inventorier s'est fait dans la liste des peuplements devant faire l'objet d'une intervention pour l'année 1999 et cités au PAIF de Gérard Crête et Fils inc.

Le peuplement choisi est situé dans les secteurs du Lac Belette et porte l'appellation cartographique BJR(F) C3 90-50, il est situé dans l'aire d'intervention 1074-012.

Le peuplement est mixte, principalement composé de sapin baumier et de bouleau jaune. Le tableau 1 présente les résultats de l'inventaire de l'aire d'intervention 1074-012 tels que compilés par le bénéficiaire de CAAF. Il s'agit du secteur dans lequel les tests ont été effectués.

Tableau 1 - Portrait du peuplement de l'aire d'intervention 1074-012

Essence	Nb ti/ha n=10	DHP moyen	Volume (m ³ /ha)						Surface terrière (m ² /ha)						
			Classe de qualité (m ³ /ha)					Total	Classe de vigueur (m ² /ha)						Total
			A	B	C	D	Z		I	II	III	IV	V	VI	
BOJ	60	27.9	0.0	9.6	10.4	7.7	3.4	31.1	2.2	0.2	0.8	1.0	0.0	0.0	4.2
BOP	142	16.0	0.0	0.0	9.6	0.0	10.4	20.0	2.5	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0	3.2
ERR	69	17.9	0.0	1.5	4.2	1.5	4.4	11.6	1.2	0.0	0.2	0.6	0.0	0.0	2.0
ERS	3	41.0	1.8	1.8	0.0	0.0	0.0	3.6	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4
FRN	6	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
HEG	2	36.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2
EPB	4	37.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.4
EPR	104	23.2	0.0	0.0	0.0	0.0	34.7	34.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.8	5.0
SAB	245	16.7	0.0	0.0	0.0	0.0	35.7	35.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	2.8	6.2
THO	35	28.7	0.0	0.0	0.0	0.0	13.9	13.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	2.4
Feuillus	282	-	1.8	12.9	24.1	11.0	19.5	69.2	6.4	0.2	1.6	2.0	0.0	0.0	10.2
Résineux	388	-	0.0	0.0	0.0	0.0	87.3	87.3	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	6.0	14.0
Total	670	-	1.8	12.9	24.1	11.0	106.8	156.5	6.4	0.2	1.6	2.0	8.0	6.0	24.2

3.3 DESCRIPTION DES MÉTHODES UTILISÉES

L'inventaire avant la coupe a été réalisé au cours de l'automne 1999. Il a permis de répertorier toutes les tiges feuillues et résineuses de diamètre commercial. La récolte des données s'y est effectuée de façon similaire à celle utilisée lors des inventaires d'intervention, c'est-à-dire que les diamètres ont été mesurés par classe de dhp et des études d'arbre ont été réalisées sur un certain nombre de tiges. Les qualités des tiges feuillues ont été notées selon les normes de classification des tiges d'essences feuillues du MRNQ.

Les sortes de parcelles à l'étude sont :

- Parcelle à rayon variable (prisme de facteur 2 m²/ha) : parcelle dite à rayon variable parce que chaque classe de diamètre est échantillonnée sur une superficie proportionnelle à la surface terrière des arbres. Les petits arbres sont échantillonnés sur une petite superficie, les gros arbres sur une plus grande superficie.
- Parcelle à rayon fixe : parcelle circulaire à dimension fixe d'une superficie de 400 m² dont le rayon est de 11,28 m (superficie égale à 1/25 hectare).
- Parcelle en virée continue : parcelle à largeur fixe de 4 m, sur toute la longueur du peuplement. Les virées sont subdivisées en section de 100 m de longueur correspondant à une superficie par parcelle de 400 m².

3.4 COMPILATION DES DONNÉES

Les caractéristiques de surface terrière, du nombre de tiges à l'hectare, du dhp moyen et de volume moyen à l'hectare ont servi à comparer les trois méthodes d'inventaire.

Afin de déterminer si les méthodes d'échantillonnage habituellement utilisées fournissaient des résultats semblables, des tests statistiques ont été conduits sur ces trois types d'inventaire réalisés sur une même superficie. La méthodologie utilisée pour la conduite des inventaires consistait d'abord à réaliser 36 parcelles au prisme (parcelle à rayon variable) sur une superficie de près de 21 ha, puis à recommencer l'inventaire des deux autres façons, en s'assurant que les mêmes centres de parcelles soient utilisés.

4. RÉSULTATS ET COMPARAISON DES MÉTHODES D'INVENTAIRE

4.1 ESTIMATION DES SURFACES TERRIÈRES, DES DENSITÉS (NOMBRE DE TIGES/HA) ET DES VOLUMES

Les résultats indiquent que les trois méthodes d'inventaire évaluent les surfaces terrières, les densités et les volumes de façon généralement semblable dans le cas des estimations par essence. La surface terrière totale et le nombre de tiges total diffèrent significativement entre l'inventaire en virée continue et l'inventaire à rayon fixe (tableau 2). Toutefois, la méthode au prisme amène des estimations équivalentes aux deux autres méthodes lorsqu'il s'agit de dresser le portrait dendrométrique global d'un peuplement forestier. Pour l'estimation des volumes, aucune différence significative n'a été détectée, que ce soit par essence, par regroupement d'essence ou au total.

Tableau 2 - Comparaison du nombre de tiges à l'hectare, de la surface terrière et des volumes par essence obtenus à la suite de la réalisation de parcelles en virée continue, de parcelles au prisme et de parcelles à rayon fixe (les moyennes significativement différentes sont marquées en gris).

Essence	ST (m ² /ha)			Nombre de tiges/ha			Volume (m ³ /ha)		
	Virée continue	Prisme	Rayon fixe	Virée continue	Prisme	Rayon fixe	Virée continue	Prisme	Rayon fixe
BOJ	8,3	8,0	8,0	159	152	140	53,9	51,5	52,7
BOP	2,2	1,5	1,3	101 a	75 ab	59 b	10,1	6,8	5,6
ERR	2,1	2,6	2,9	75	108	99	11,0	13,1	15,1
ERS	0,1	0,2	0,1	4	3	3	0,4	1,4	0,4
FRN	0,4 a	0,2 ab	0,1 b	16	10	6	2,0 a	0,7 ab	0,1 b
HEG	0,0	0,1	0,0	0	0	0	0,0	0,4	0,0
PET	0,1	0,0	0,0	2	0	0	0,3	0,0	0,0
EPB	0,1	0,0	0,4	1	0	10	0,5	0,0	2,6
EPR	3,7	3,8	2,7	103	96	78	22,2	23,7	16,4
SAB	5,6	4,5	4,5	253	178	201	31,2	26,3	25,3
THO	4,0	3,7	3,8	80	70	76	22,8	21,7	22,2
Feuillus	13,1	12,6	12,3	357	348	307	77,7	74,1	74,1
Résineux	13,4	12,1	11,5	437	344	365	76,8	71,7	66,7
TOTAL	26,5 a	24,7 ab	23,8 b	794 a	692 ab	672 b	154,6	145,9	140,9

Les moyennes possédant des lettres identiques sont jugées semblables à un $\alpha = 0,05$

Dans le cas des estimations des essences représentant une faible proportion du peuplement, comme c'est le cas du bouleau à papier et du frêne, la représentativité de l'échantillonnage de ces essences peut être remise en question, invalidant les résultats qui les concernent.

4.2 PRÉCISION DES MÉTHODES D'INVENTAIRE

Les différentes méthodes donnent des résultats et des précisions semblables pour les quatre paramètres retenus. C'est le nombre de tiges à l'hectare qui est évalué avec la plus faible précision. Cependant, comme il est possible de le constater dans les tableaux 3 à 6, le niveau de précision des différents paramètres est toutefois variable. Ainsi, la précision diminue à mesure que l'on désire estimer adéquatement un paramètre spécifique (par exemple, la surface terrière d'une essence donnée, etc.) ou encore un élément rare dans le peuplement (par exemple, les caractéristiques dendrométriques des érables à sucre). Pour la définition des différentes fonctions statistiques, se référer à l'annexe 1.

Pour les trois types d'inventaire évalués, la majorité des paramètres totaux (tableaux 3 à 6) semblent estimés à un niveau de précision jugé comme fiable par le MRNQ (zones en gris). Celui-ci préconise en effet que les résultats de l'échantillonnage ayant un niveau de précision de 90 %, à un niveau de probabilité de 95 %, soient considérés comme adéquats (MRNQ, 2000). Pour évaluer de façon satisfaisante les paramètres par essence ou par groupe d'essences, des tailles échantillonnales de près du double, dans le meilleur des cas, seraient nécessaires par aire d'intervention.

Les trois méthodes d'inventaire évaluent la surface terrière moyenne à l'hectare (tableau 3) avec une précision supérieure à 90 % avec un échantillonnage de 36 parcelles. La surface terrière feuillue et résineuse est évaluée avec une précision plus faible (entre 79,2 % et 87,1 %) que la surface terrière totale. Ainsi, avec la méthode au prisme, pour obtenir une précision de 90 % pour l'évaluation de la surface terrière feuillue, 63 parcelles plutôt que 36 seraient nécessaires.

L'évaluation de la surface terrière par essence est encore beaucoup moins précise et nécessiterait un nombre de parcelles beaucoup plus élevé pour atteindre une précision de 90 %.

Tableau 3 - Précision de la surface terrière évaluée selon trois méthodes d'inventaire pour les principales essences

	ST (m ² /ha)									
	BOJ	BOP	ERR	ERS	SAB	EPR	THO	Feuillus	Résineux	TOTAL
VIRÉE CONTINUE										
Moyenne	8,3	2,2	2,1	0,1	5,6	3,7	4,0	13,1	13,4	26,5
Écart-type	5,0	2,4	1,7	0,3	3,7	3,0	3,7	5,2	5,6	6,2
Intervalle de confiance	1,6	0,8	0,6	0,1	1,2	1,0	1,2	1,7	1,8	2,0
Limite inférieure de l'IC	6,7	1,4	1,5	0,0	4,4	2,7	2,8	11,5	11,5	24,5
Limite supérieure de l'IC	10,0	3,0	2,7	0,2	6,8	4,7	5,2	14,8	15,2	28,5
Précision (%)	80,4	64,4	72,6	-14,6	78,4	73,5	69,7	87,1	86,3	92,3
N _{90%}	145	481	285	4994	177	270	351	62	71	22
PRISME										
Moyenne	8,0	1,5	2,6	0,2	4,5	3,8	3,7	12,6	12,1	24,6
Écart-type	4,5	2,2	3,4	0,8	4,3	5,2	4,5	4,9	7,5	6,9
Intervalle de confiance	1,5	0,7	1,1	0,3	1,4	1,7	1,5	1,6	2,5	2,3
Limite inférieure de l'IC	6,5	0,8	1,5	0,0	3,0	2,1	2,2	10,9	9,5	22,3
Limite supérieure de l'IC	9,5	2,2	3,8	0,5	5,9	5,6	5,2	14,2	14,6	27,0
Précision (%)	81,4	52,0	57,6	-21,2	67,8	55,1	60,0	86,9	79,2	90,6
N _{90%}	128	853	664	5438	383	769	607	63	160	32
RAYON FIXE										
Moyenne	8,0	1,3	2,9	0,1	4,5	2,7	3,8	12,3	11,5	23,8
Écart-type	5,5	1,4	3,6	0,4	3,1	3,6	4,2	6,1	6,2	6,2
Intervalle de confiance	1,9	0,5	1,2	0,1	1,1	1,2	1,4	2,1	2,1	2,1
Limite inférieure de l'IC	6,2	0,8	1,6	0,0	3,5	1,5	2,4	10,2	9,4	21,7
Limite supérieure de l'IC	9,9	1,7	4,1	0,2	5,6	3,9	5,3	14,3	13,6	25,9
Précision (%)	77,1	63,3	57,6	-86,2	76,9	55,4	63,0	83,5	82,1	91,2
N _{90%}	194	497	664	12829	198	730	501	101	118	28

Le **nombre de tiges/ha** du peuplement est le paramètre qui est le plus difficile d'évaluer avec précision lors d'inventaire forestier (tableau 4). C'est également un paramètre qui aura une influence sur l'estimation des volumes. Le prisme est le type d'inventaire qui évalue le moins bien le nombre de tige/ha. Les écarts-types observés par cette méthode prouvent qu'elle procure difficilement une bonne précision. Le peu de tiges inclus dans une parcelle est probablement responsable de la plus faible précision de ce type d'inventaire. Par contre la virée continue semble préférable. La virée continue et les virées à rayons fixes présentent des précisions plus élevées.

Tableau 4 - Précision de la densité évaluée selon trois méthodes d'inventaire pour les principales essences

	Nombre de tiges/ha									
	BOJ	BOP	ERR	ERS	SAB	EPR	THO	Feuillus	Résineux	TOTAL
VIRÉE CONTINUE										
Moyenne	159,0	101,0	75,0	4,0	253,0	103,3	80,3	356,0	438,0	793,0
Écart-type	65,0	97,0	63,0	14,0	166,0	92,7	66,1	115,0	217,0	221,0
Intervalle de confiance	21,0	32,0	21,0	4,0	54,0	30,4	21,7	38,0	71,0	73,0
Limite inférieure de l'IC	137,0	69,0	54,0	0,0	198,0	72,8	58,6	318,0	366,0	721,0
Limite supérieure de l'IC	180,0	132,0	96,0	8,0	307,0	133,7	102,0	394,0	509,0	866,0
Précision (%)	86,5	68,5	72,2	-13,7	78,5	70,5	73,0	89,4	83,7	90,9
N _{90%}	69	378	293	4914	176	330	278	42	101	31
PRISME										
Moyenne	152,0	75,0	108,0	3,0	178,0	95,8	69,7	348,0	344,0	692,0
Écart-type	128,0	186,0	188,0	11,0	213,0	177,8	87,4	257,0	314,0	355,0
Intervalle de confiance	43,0	62,0	63,0	4,0	71,0	59,2	29,1	86,0	105,0	118,0
Limite inférieure de l'IC	109,0	14,0	46,0	0,0	107,0	36,5	40,5	263,0	239,0	574,0
Limite supérieure de l'IC	194,0	137,0	171,0	6,0	249,0	155,0	98,8	434,0	448,0	810,0
Précision (%)	71,9	17,9	42,2	-32,1	60,2	38,1	58,2	75,4	69,5	82,9
N _{90%}	291	2491	1237	6459	585	1415	646	224	343	108
RAYON FIXE										
Moyenne	140,0	59,0	99,0	3,0	201,0	78,5	76,4	306,0	366,0	672,0
Écart-type	86,0	66,0	104,0	13,0	154,0	109,1	76,5	140,0	220,0	237,0
Intervalle de confiance	29,0	22,0	35,0	4,0	52,0	36,9	25,9	47,0	74,0	80,0
Limite inférieure de l'IC	111,0	37,0	63,0	0,0	149,0	41,6	50,5	259,0	292,0	592,0
Limite supérieure de l'IC	170,0	81,0	134,0	7,0	253,0	115,4	102,3	354,0	440,0	752,0
Précision (%)	79,4	62,8	64,8	-56,9	74,0	53,0	66,1	84,8	80,0	88,2
N _{90%}	156	511	458	9107	224	793	411	86	148	51

C'est le **dhp moyen** qui est évalué avec la plus grande précision (tableau 5). Cela est dû au fait que la précision est évaluée à partir de toutes les tiges individuelles et non à partir des données par parcelle, comme pour les autres paramètres. La précision du dhp moyen est moins influencée par la rareté d'une essence dans le peuplement. L'estimation adéquate du dhp moyen par essence nécessite ainsi un échantillonnage plus faible que les autres paramètres du peuplement. Une précision plus grande peut être remarquée pour les méthodes de virée continue et à rayons fixes (97,2 % et 97,0 %) comparativement à la méthode au prisme (94,6 %).

Tableau 5 - Précision du dhp moyen échantillonné selon trois méthodes d'inventaire pour les principales essences

	DHP (cm)									
	BOJ	BOP	ERR	ERS	SAB	EPR	THO	Feuillus	Résineux	TOTAL
VIRÉE CONTINUE										
Moyenne	22,9	15,5	17,4	16,3	15,7	19,8	22,6	19,3	17,9	18,5
Écart-type	12,1	6,1	7,3	4,3	6,0	7,9	11,2	10,0	9,1	9,0
Intervalle de confiance	1,5	1,0	1,4	4,3	0,6	1,2	2,0	0,8	0,7	0,5
Limite inférieure de l'IC	21,4	14,6	16,0	12,1	15,1	18,6	20,6	18,5	17,3	18,0
Limite supérieure de l'IC	24,4	16,5	18,7	20,6	16,3	21,0	24,6	20,1	18,6	19,0
Précision (%)	93,4	93,7	92,2	73,9	96,2	93,7	91,1	95,6	96,2	97,2
PRISME										
Moyenne	23,2	14,7	16,0	30,0	16,5	20,8	12,0	18,9	19,5	19,2
Écart-type	15,9	6,0	7,1	9,9	7,5	10,4	4,0	11,8	10,6	11,2
Intervalle de confiance	2,6	2,2	2,0	15,8	2,6	3,8	0,4	1,5	1,4	1,0
Limite inférieure de l'IC	20,6	12,5	14,0	14,2	13,9	6,6	3,6	17,4	18,1	18,2
Limite supérieure de l'IC	25,8	16,9	18,0	45,8	19,1	14,2	4,4	20,4	20,9	20,2
Précision (%)	89,0	84,9	87,6	47,5	84,2	81,6	96,9	92,0	92,9	94,6
RAYON FIXE										
Moyenne	24,1	15,2	17,8	16,5	15,7	19,7	23,4	20,0	17,7	19,1
Écart-type	12,2	6,1	7,3	9,1	6,3	7,4	9,6	10,4	7,9	9,2
Intervalle de confiance	1,7	1,3	1,2	12,6	0,7	1,4	1,8	0,4	0,5	0,6
Limite inférieure de l'IC	22,4	13,9	16,6	3,9	15,0	18,3	25,6	19,6	17,2	18,5
Limite supérieure de l'IC	25,8	16,6	19,0	29,1	16,4	25,5	25,2	20,4	18,2	19,7
Précision (%)	93,0	91,3	93,2	23,5	95,4	93,0	92,2	98,2	97,2	97,0

Les trois méthodes d'inventaire évaluent le **volume total moyen à l'hectare** avec une précision semblable de 90 %, avec un échantillonnage de 36 parcelles. Il n'y a pas de différence significative du volume total entre les 3 méthodes. Il est important de remarquer des précisions plus faibles pour les volumes feuillus et résineux et des précisions très faibles pour les volumes par essence.

Tableau 6 - Précision du volume évalué selon trois méthodes d'inventaire pour les principales essences

	Volume (m ³ /ha)									
	BOJ	BOP	ERR	ERS	SAB	EPR	THO	Feuillus	Résineux	TOTAL
VIRÉE CONTINUE										
Moyenne	53,9	10,1	11,0	0,4	31,2	22,3	22,8	77,8	76,9	154,7
Écart-type	37,6	13,2	10,1	1,5	21,6	18,2	21,5	38,0	32,0	42,4
Intervalle de confiance	12,4	4,3	3,3	0,5	7,1	6,0	7,1	12,5	10,5	13,9
Limite inférieure de l'IC	41,5	5,8	7,7	-0,1	24,1	16,3	15,8	65,3	66,4	140,7
Limite supérieure de l'IC	66,3	14,4	14,3	0,9	38,3	28,3	29,9	90,3	87,4	168,6
Précision (%)	76,8	56,8	69,4	-17,4	76,9	72,7	68,7	83,8	86,1	90,9
N_{90%}	199	691	346	5101	196	275	361	97	71	30
PRISME										
Moyenne	51,5	6,8	13,2	1,5	26,3	23,7	21,8	74,2	71,8	145,9
Écart-type	29,4	8,3	16,4	5,4	25,2	30,5	26,5	29,8	43,4	40,3
Intervalle de confiance	9,8	2,8	5,5	1,8	8,4	10,2	8,8	9,9	14,5	13,4
Limite inférieure de l'IC	41,8	4,1	7,7	-0,3	17,9	13,6	12,9	64,2	57,3	132,5
Limite supérieure de l'IC	61,3	9,6	18,6	3,3	34,7	33,9	30,6	84,1	86,2	159,4
Précision (%)	81,0	59,6	58,6	-23,2	68,1	57,2	59,5	86,6	79,9	90,8
N_{90%}	133	605	634	5617	377	678	608	66	150	31
RAYON FIXE										
Moyenne	52,8	5,7	15,2	0,5	25,3	16,5	22,2	74,2	66,7	140,9
Écart-type	39,8	7,2	21,5	2,6	19,5	22,0	24,8	41,8	37,2	41,7
Intervalle de confiance	13,5	2,4	7,3	0,9	6,6	7,4	8,4	14,1	12,6	14,1
Limite inférieure de l'IC	39,3	3,3	7,9	-0,4	18,7	9,0	13,9	60,1	54,2	126,8
Limite supérieure de l'IC	66,2	8,1	22,4	1,3	31,9	23,9	30,6	88,3	79,3	155,0
Précision (%)	74,5	57,4	52,0	-97,5	74,0	54,9	62,3	81,0	81,2	90,0
N_{90%}	234	653	831	14043	244	733	510	130	127	36

4.3 COMPARAISON AVEC LES RÉSULTATS D'INVENTAIRE D'INTERVENTION

En comparant les résultats de l'inventaire d'intervention (tableau 1) avec les résultats de l'inventaire au prisme (même méthode), il est possible de constater que pour la surface terrière totale, le nombre de tiges/ha total, le dhp moyen total et le volume total, les résultats sont semblables. Toutefois, lorsque l'on compare les résultats par essence, ils peuvent varier du simple au double dans le cas de la surface terrière et du simple au triple pour le nombre de tiges/ha et le volume à l'hectare.

Ainsi, l'inventaire semble satisfaisant pour une évaluation des paramètres totaux, mais tout à fait imprécis pour une évaluation des paramètres par espèce.

5. DISCUSSION

Les résultats indiquent que les trois méthodes d'inventaire évaluent les surfaces terrières, les densités et les volumes de façon semblable pour les estimations par essence et par groupe d'essences. Pour l'ensemble des paramètres totaux calculés (surface terrière totale, nombre de tiges total, volume total et dhp moyen), la méthode au prisme donne des résultats similaires aux parcelles à rayon fixe et à la virée continue confirmant ainsi les résultats de Banyard (1975) et Grosenbaugh et Stover (1957). Seuls la surface terrière totale et le nombre de tiges total diffèrent significativement entre l'inventaire en virée continue et l'inventaire à rayon fixe. L'inventaire en virée continue semble surestimer ces paramètres alors que l'inventaire à rayon fixe semble sous-estimer ceux-ci, tout en étant pas significativement différents des résultats de l'inventaire au prisme.

La précision des résultats d'inventaire varie selon le paramètre que l'on désire estimer. Généralement, elle est meilleure pour l'évaluation de paramètres globaux du peuplement (la surface terrière totale, nombre de tiges à l'hectare totale, dhp et volume à l'hectare total) mais diminue à mesure que l'on désire évaluer des paramètres spécifiques (par groupe d'essences, feuillus, résineux ou par essence). Par exemple, on ne peut obtenir une précision adéquate sur le nombre de tiges d'une essence donnée car les intervalles de confiance observés sur un tel paramètre sont très étendus. Pour estimer adéquatement des paramètres par essence, un nombre beaucoup plus élevé de parcelles d'inventaire serait requis.

Il existe inévitablement un biais dans le calcul des **volumes par essence** tel que réalisé avec les inventaires d'intervention car cette estimation se base sur une taille échantillonnale et une précision trop faibles. Dans le cas présent, le secteur d'intervention visé (1074-012) avait fait l'objet de 10 parcelles (tableau 2, bloc 1), ce qui est nettement insuffisant pour évaluer adéquatement les paramètres du peuplement **par essence**. En effet, l'inventaire au prisme prévoit au moins 36 parcelles pour évaluer, avec une précision de 90 % à un niveau de probabilité de 95 %, **le volume total du peuplement**. Afin d'améliorer les estimations du **volume par essence**, un très grand nombre de parcelles serait nécessaire.

La précision des résultats est fonction de l'hétérogénéité des peuplements et du nombre de parcelles réalisées. Les résultats démontrent qu'un nombre de 30 à 40 parcelles est suffisant pour atteindre une précision de 90 % pour l'estimation des paramètres totaux et ce, sans référence spécifique à la superficie du territoire étudié (<250 ha).

Pour sa part, l'estimation des paramètres par groupement d'essences ou par essence nécessiterait un nombre de parcelles très élevé (souvent >100 parcelles) pour obtenir une précision de 90 %. Ceci est expliqué par le fait que l'on travaille avec un sous-échantillon de notre échantillon, impliquant ainsi des variations beaucoup plus grandes de ces paramètres.

Un paramètre tel le pourcentage de tige vigoureuse est également sujet à de grandes variations et de faible précision lors de son estimation, puisqu'il s'agit aussi d'un sous-échantillon de l'ensemble des tiges échantillonnées.

6. CONCLUSION

Pour l'estimation des volumes, qui est le paramètre le plus important, les trois méthodes d'inventaire permettent d'obtenir des résultats qui sont similaires autant pour les estimations par essence, par regroupement d'essences ou au total. Pour les estimations de surface terrière et du nombre de tiges, l'inventaire au prisme ne diffère pas des autres méthodes. Cependant, la méthode par rayon fixe est significativement différente de la virée continue pour ces deux paramètres.

Un nombre de 30 à 40 parcelles semble suffisant pour l'obtention d'une précision de 90 % des résultats des paramètres totaux d'aire d'intervention. Pour l'évaluation des paramètres par essence ou groupe d'essences (feuillus, résineux), un nombre beaucoup plus élevé de parcelles serait nécessaire à l'obtention d'une précision de 90 % par aire d'intervention.

Les résultats des 10 parcelles de l'inventaire d'intervention sont semblables à ceux obtenus par la méthode d'inventaire au prisme pour l'évaluation des paramètres totaux de la même aire d'intervention. Toutefois, les résultats par essence sont différents, ceux-ci pouvant varier du simple au triple pour certaines essences et certains paramètres.

7. RÉFÉRENCES

- GRENIER, Y. et MARC DU SABLON, 1993. Comparaison entre des prismes de différents facteurs de surface terrière pour établir la structure des diamètres d'un peuplement inéquienne. *The Forestry Chronicle*, Vol. 69, NO. 2. 5 p.
- GOSSELIN, J., P. GRONDIN et J.P. SAUCIER, 1998. Rapport de classification écologique du sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'est. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de la gestion des stocks forestiers. 173 p.
- BANYARD, S.G., 1975. A comparison between point sampling and plot sampling in tropical rain forest based on a concept of the equivalent relascope plot size. *Commonw. For. Rev.* 54 :312-320.
- GROSENBAUGH, L.R. et W.S. STOVER, 1957. Point-sampling compared with plot-sampling in Southeast Texas. *Forest Science*. 3(1) :2-14.

ANNEXE 1

Compilations statistiques

COMPILATIONS STATISTIQUES

PARAMÈTRE À ESTIMER

À elle seule, une moyenne ne suffit pas pour qualifier correctement un paramètre (Bédard, 1996). La figure 1 illustre bien que des moyennes similaires de la hauteur de deux peuplements peuvent caractériser deux paysages tout à fait différents et ainsi des écarts-types différents. Il est donc nécessaire d'utiliser des compilations statistiques afin de qualifier les valeurs moyennes des paramètres étudiés.

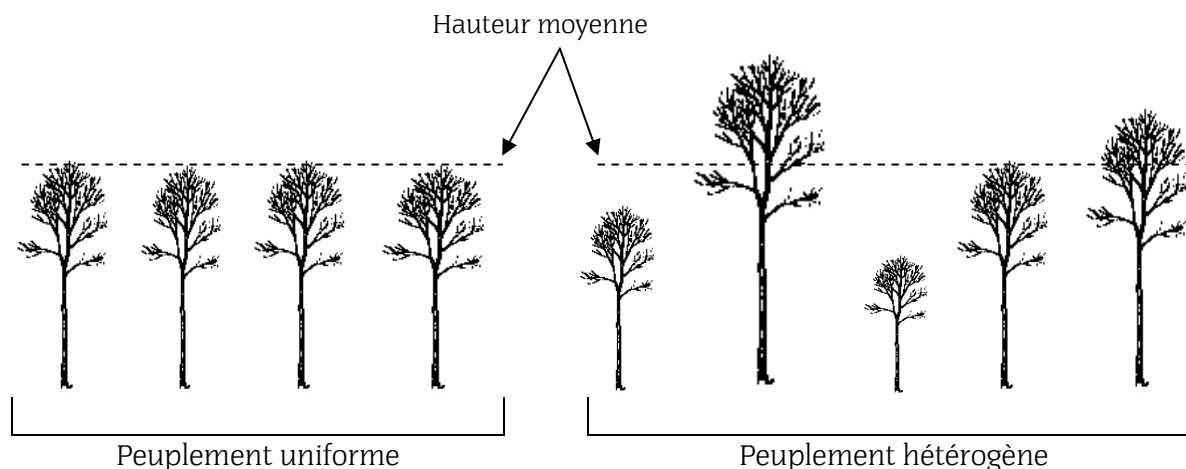


Figure 1 - Hauteurs moyennes identiques de deux peuplements différents

L'ÉCART-TYPE (VARIANCE DE L'ÉCHANTILLON)

Ce paramètre exprime la dispersion de la valeur des unités par rapport à la moyenne de l'échantillon. Tel qu'illustré sur la figure 1, le peuplement uniforme a un écart-type petit alors que le peuplement hétérogène a un écart-type plus élevé.

L'ERREUR STANDARD (VARIANCE DE LA MOYENNE)

Ce paramètre exprime la variation de la valeur moyenne de la population étudiée. Elle mesure la dispersion des moyennes d'échantillons autour de la moyenne de la population.

LE COEFFICIENT DE VARIATION

C'est la variation relative de l'écart-type par rapport à la moyenne. Cette valeur est exprimée en pourcentage.

LA DISTRIBUTION NORMALE

Ce paramètre représente la distribution de fréquence théorique et normale d'une population.

Il est possible d'en déduire, pour une moyenne donnée, la distribution de fréquence autour de laquelle on retrouve 66 % des valeurs de l'échantillon à l'intérieur d'un écart-type, 95 % des valeurs à l'intérieur de deux écarts-types et 99 % des valeurs à l'intérieur de trois écarts-types (figure 2). Cela signifie que si nous retournons sur le terrain prendre les mesures d'une parcelle additionnelle, nous avons 95 % de probabilité que le résultat de cette parcelle se retrouve à l'intérieur de l'intervalle compris entre deux écarts-types autour de la moyenne.

Concernant l'erreur standard, si on échantillonnait la population un très grand nombre de fois et qu'on construisait, pour chaque échantillon, l'intervalle de deux erreurs standards autour de la moyenne, 95 % de ces intervalles contiendraient la moyenne de la population.

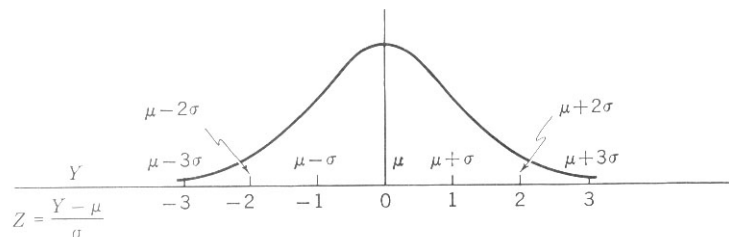


Figure 2 - Distribution de fréquence normale avec une moyenne, μ , égale à 0 et une variance, σ^2 , égale à 1.

LE t DE STUDENT

Il s'agit de l'adaptation de la distribution normale en fonction d'un échantillonnage. Plus le taux d'échantillonnage est faible, plus la courbe est aplatie et les extrémités sont longues. Plus le taux d'échantillonnage est élevé, plus la courbe s'approche de celle de la distribution normale.

L'INTERVALLE DE CONFIANCE

Intervalle à l'intérieur duquel devrait se trouver la vraie valeur du paramètre estimé, et ce avec un certain niveau de probabilité (habituellement 95 %).

LA PRÉCISION

Il s'agit du complément de la demi-largeur de l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne, exprimé en pourcentage de μ . Plus l'erreur standard est faible, plus grande est la précision.

Les formules permettant le calcul de ces paramètres sont les suivantes :

Paramètre à estimer $\hat{R} = \frac{\sum y_i}{\sum x_i}$

Variance de l'échantillon $S^2 = \frac{1}{\bar{x}^2} \left[\frac{\sum y_i^2 + \hat{R}^2 \sum x_i^2 - 2\hat{R} \sum x_i y_i}{n-1} \right]$

Écart-type $S = \sqrt{S^2}$

Variance de la moyenne $S_{\hat{R}}^2 = \frac{S^2}{n}$

Erreur standard $E = \sqrt{S_{\hat{R}}^2} = \frac{S}{\sqrt{n}}$

Coefficient de variation $CV = \frac{S}{\hat{R}} \times 100$

Précision $P = 100 - \left[T \times \frac{E}{\hat{R}} \times 100 \right]$

Intervalle de confiance $\hat{R} \pm T \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right)$

Dimension de l'échantillon $n = \frac{T^2 \times S^2}{d^2}$

- Où :
- y_i = Volume, nombre de tiges ou surface terrière de la parcelle;
 - x_i = Superficie de la parcelle (ha);
 - \hat{R} = Volume, nombre de tiges ou surface terrière moyenne à l'hectare;
 - S^2 = Variance de l'échantillon;
 - S = Écart-type de l'échantillon, si $n=1$ on utilise 60 % du paramètre estimé;
 - $S_{\hat{R}}^2$ = Variance de la moyenne;
 - E = Erreur de la moyenne;
 - CV = Coefficient de variation (%);
 - P = Précision (%);
 - T = 97.5^{ième} percentile de la loi de t de « Student » avec $n-1$ degrés de liberté ;
si $n > 120$ utiliser $T = 1.96$;
 - n = Nombre de parcelles;
 - \bar{x} = Superficie moyenne des parcelles;
 - d = Erreur relative correspondant à l'erreur permise par rapport au paramètre estimé (pour une précision de 90 %, l'erreur relative est égale à 10 % du paramètre estimé ($d = 10 \% \times \hat{R}$)).