GOUVERNEMENT
DU QUÉBEC

MINISTÈRE DES TERRES
ET FORÊTS

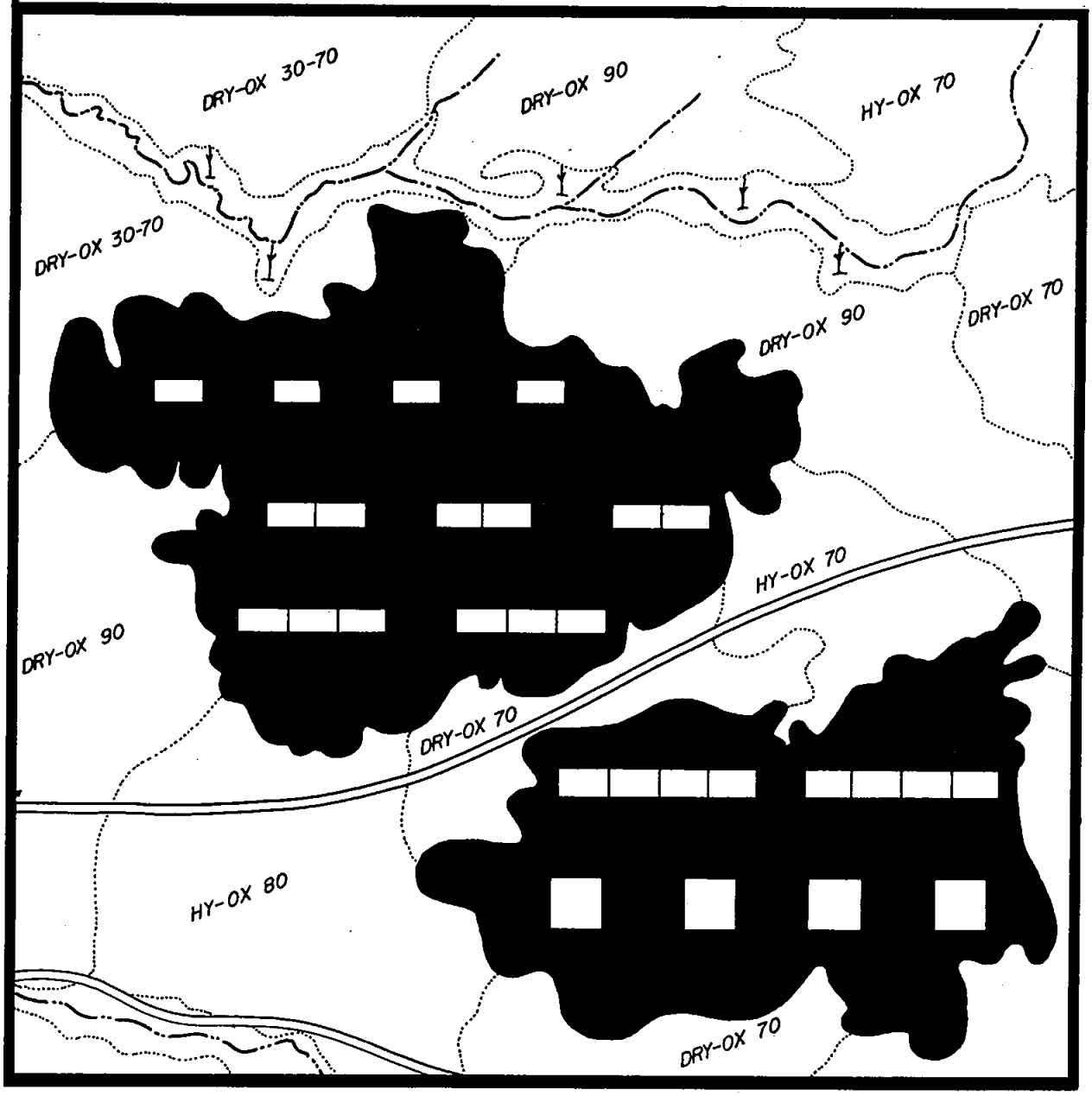
SERVICE DE LA RECHERCHE

O.D.C. 524.63/524.636--015.5(043) L.C. SD 555 V

MÉMOIRE Nº 4
1971

AIRE OPTIMALE DES PARCELLES-ÉCHANTILLONS

par Pierre Villeneuve



PIERRE VILLENEUVE est bachelier ès arts et bachelier ès sciences appliquées (foresterie) de l'université Laval depuis 1962. En 1965, cette université lui décernait le diplôme de maître ès sciences forestières. Sa carrière débuta au Service de l'inventaire forestier du ministère des Terres et Forêts du Québec où il fut l'un des pionniers. En 1967, il passa au Service de la recherche à titre de chargé de recherches en dendométrie ainsi que, par la suite, de chargé des secteurs expérimentaux. Depuis 1970, il est secrétaire du Conseil de la recherche et du développement forestiers du Québec, organisme consultatif dépendant directement du ministre des Terres et Forêts.

AIRE OPTIMALE DES PARCELLES-ÉCHANTILLONS*

PAR

PIERRE VILLENEUVE

MÉMOIRE Nº 4

SERVICE DE LA RECHERCHE

DIRECTION GÉNÉRALE DE LA PLANIFICATION

MINISTÈRE DES TERRES ET FORÊTS

* Résumé d'une partie de la thèse de maîtrise présentée par Pierre Villeneuve en 1965 à l'École des gradués de l'université Laval pour l'obtention du grade de maître ès sciences (dendométrie).

RÉSUMÉ

AIRE OPTIMALE DES PARCELLES-ECHANTILLONS

A partir d'un inventaire à 100 pour 100 d'une superficie de 47.8 acres (*19,4 ha*) de forêt à l'aide de 956 parcelles-échantillons de 0.05 acre (*0,02 ha*), nous avons étudié la possibilité de déterminer l'aire optimale des parcelles-échantillons. Les résultats obtenus nous ont permis de proposer une formule qui, moyennant certaines hypothèses, laisse entrevoir clairement la possibilité de déterminer de manière objective la superficie optimale des parcelles en fonction des conditions des relevés et de la structure de la forêt.

SUMMARY

OPTIMUM SIZE OF SAMPLE PLOTS

Following a 100 percent inventory of a forest of 47.8 acres (19,4 ha), 956 sample plots of 0.05 acre (0,02 ha) were used to study the possibility of determining the optimum size of sample plots. Results allowed the development of a formula which can be used to determine the optimum size of sample plots when some basic hypotheses are satisfied. According to this formula, the size of sample plot varies with stand structure and travel time between sample plots.

TABLE DES MATIÈRES

page

RÉSUMÉ iii

TABLE DES MATIÈRES v

LISTE DES FIGURES vii

LISTE DES TABLEAUX vii

INTRODUCTION 1

CHAPITRE I REVUE DE LA LITTÉRATURE 3

1.1 - États-Unis 3
1.2 - Canada 6
1.3 - Europe 7

CHAPITRE II DÉTERMINATION DE L'AIRE OPTIMALE DES PARCELLES-ÉCHANTILLONS 11

2.1 - Dispositif expérimental 11

2.1.1 - Localisation du peuplement étudié 11
2.1.2 - Description écologique 11
2.1.3 - Méthode de travail 14

2.2 - Compilations et calculs 14

2.2.1 - Travaux préliminaires 14
2.2.2 - La relation entre le coût total d'un inventaire et la superficie des parcelles 17

2.2.2.1 - Le coût de prise de stock dans les parcelles 17

page

2.2.2.2 - Les coûts de déplacement entre les parcelles..... 17

2.2.3 - La relation entre la précision de l'estimé et la superficie des parcelles..... 19

2.2.4 - Calcul de l'aire optimale des parcelles..... 23

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS..... 29

BIBLIOGRAPHIE..... 33

APPENDICE..... 35

LISTE DES FIGURES

page

FIGURE 1 Comparaison entre les coefficients de variation observés et calculés d'après la fonction C_v: a/y^2..... 22

FIGURE 2 Relations entre la superficie des parcelles, le rapport C_2/C_1 et "b" pour "m"= 1..... 26

FIGURE 3 Relations entre la superficie des parcelles, le rapport C_2/C_1 et "b" pour "m" = 2..... 27

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I Liste des peuplements et de leur superficie respective..... 13

TABLEAU II Calcul du volume, de la variance et du coefficient de variation par strate pour l'ensemble de la population..... 16

TABLEAU III Coefficient de variation pour diverses superficies de parcelle-échantillon..... 20

TABLEAU IV Coefficients de variation observés et calculés d'après la fonction $C_v = a/y^2$..... 21

TABLEAU V Présentation des valeurs de "y" en fonction du rapport C_2/C_1, "b" et "m"..... 25

CARTE localisant le secteur étudié..... 12

INTRODUCTION

Les relevés en forêt constituent la partie la plus ardue et la plus coûteuse de toutes les étapes d'un inventaire forestier. Il importe donc de mettre en oeuvre des méthodes de prélèvement des renseignements d'ordre forestier qui soient les plus efficaces et les moins coûteuses possibles.

C'est pourquoi le choix des parcelles-échantillons devient un point important puisque leur forme ainsi que leurs dimensions sont sujettes à divers facteurs susceptibles de les faire varier considérablement. Parmi ces facteurs, on peut citer:

a) La structure du peuplement:

Des parcelles plus grandes conviendront mieux à des peuplements de faible densité et composés de gros arbres tandis que de plus petites parcelles seront préférables pour des peuplements formés d'un grand nombre de tiges de faible diamètre à l'acre.

b) L'exécution des relevés:

La forme des parcelles doit contribuer à faciliter la cueillette des données et à minimiser les erreurs d'observations.

c) Le coût de la prise de stock:

En général, pour une même précision, il faudra effectuer un plus grand nombre de petites parcelles que de parcelles de superficie plus élevée. Or, du point de vue économique, il y aura deux facteurs à considérer à savoir les coûts de la cueillette des données, qui sont sensiblement proportionnels à la superficie des parcelles et les coûts de déplacement entre les parcelles. Donc ces coûts étant en fonction du nombre total de parcelles à exécuter, cela implique que la superficie optimale de la parcelle-échantillon sera celle qui, pour précision donnée, minimisera les coûts de ces travaux.

Dans le but de vérifier diverses hypothèses relatives à ce sujet, une expérience a été effectuée à l'intérieur de la forêt domaniale de Matane, sise à quelques 250 milles (*400 km*) au nord-est de Québec. Une superficie totale de 50 acres (*20,2 ha*), répartie en trois blocs de 3, 10 et 37 acres, (*1, 2, 4 et 15 ha*) a été inventoriée. En vue de reconstituer des parcelles de superficies différentes, les relevés et la compilation des volumes ont été effectués à l'aide de 1 009 parcelles de 0.05 acres (*0,02 ha*). Cette parcelle constitue donc l'unité fondamentale et servira à obtenir d'autres parcelles de formes et de superficies plus grandes. De plus, tout le territoire a été stratifié; chaque strate est constituée de divers peuplements appartenant au même type écologique.

CHAPITRE I

REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1 ÉTATS-UNIS.

Aux États-Unis, les principaux travaux pionniers sur le sujet furent ceux de Graves (1914) et de Simmons (1926) qui affirmaient qu'il n'existait pas de règle stricte quant à la forme et à l'aire des parcelles, mais que la parcelle était surtout fonction du type de forêt à inventorier et du degré de précision désiré. Un peu plus tard, Chapman et Demeritt (1936) affirmèrent qu'il était assez difficile de choisir une aire et que celle-ci devait être déterminée par le nombre d'arbres présents, soit de 100 à 300 par parcelle, et aussi par le type de peuplements *i.e.* que les parcelles devraient être plus grandes dans de vieux peuplements que dans de jeunes. Quant à Dunbar (1940), il était d'avis que les parcelles carrées étaient préférables aux circulaires parce qu'elles s'avéraient plus faciles à installer sur le terrain, plus économiques et parce qu'elles présentaient de meilleurs résultats.

Les expériences, devenant de plus en plus explicites et détaillées, permirent de scruter le sujet sous un autre angle. En effet, on commença à établir un certain rapport entre le diamètre des tiges et la grandeur de la parcelle. Ainsi Gevorkiantz (1946) recommandait, pour la région des Grands Lacs, que les arbres de 24 pouces (*61 cm*) et plus de D.H.P. fussent mesurés à l'intérieur de parcelles d'une acre (*0,4 ha*); ceux de 10 à 22 pouces (*25,4 à 55,9 cm*), sur 0.2 acre (*0,08 ha*) etc... La même théorie fut appuyée par de nombreux chercheurs dont Becker (1950) et Lissdaniels (1947).

Enfin, l'expérience de Johnson et Nixon, en 1952, contribua largement à orienter les chercheurs quant au dispositif expérimental à employer. Leur étude fut entreprise, en Orégon, dans une vieille forêt de sapin Douglas, dont la superficie était de 40 acres (*16,2 ha*). Son volume moyen à l'acre se chiffrait à 91 000 p.m.p. (*910 m^3/ha*) avec un diamètre moyen de 45 pouces (*114,3 cm*). En premier lieu, ils expérimentèrent la méthode de l'estimation partielle. Ce procédé consistait à faire le dénombrement des tiges à l'intérieur de parcelles distribuées sur 10 virées. Chaque virées comprenait 12 catégories de parcelles, à savoir: 5 parcelles circulaires de 0.1, 0.125, 0.4, 0.25 et 0.2 acre (1) et 7 parcelles rectangulaires de 0.5 acre ($\frac{1}{2}$ x 1 ch (2)) 0.1 acre ($\frac{1}{2}$ x 2 ch), 0.2 acre ($\frac{1}{2}$ x 4 ch), 0.3 acre ($\frac{1}{2}$ x 6 ch), 0.2 acre (1 x 2 ch), 0.3 acre (1 x 3 ch) et 0.4 acre (1 x 4 ch). Cette expérience leur a permis de tirer les conclusions suivantes:

1° Moins de temps fut requis, en moyenne, pour établir les parcelles rectangulaires de 1 x 2 ch que celles de $\frac{1}{2}$ x 4 ch;

2° Moins de temps fut requis pour l'établissement des parcelles rectangulaires de 1 x 3 ch que celles de $\frac{1}{2}$ x 6 ch.

(1) 1 acre: *0,405 ha*
(2) 1 chaîne: *20,12 mètres*

En second lieu, ils procédèrent à l'estimation totale. Ils divisèrent les 40 acres (*16,2 ha*) de forêt en 1 600 parcelles de 0.025 acre (*0,01 ha*) (*1/40 ac*), qu'ils dénombrèrent et traitèrent séparément. Puis, en combinant ces parcelles selon différentes formes et superficies et en analysant statistiquement les résultats, ils constatèrent que:

1° La parcelle de 0.3 acre (1 x 3 ch) s'est avérée la plus efficace des points de vue grandeur, forme, temps et précision;

2° En général, les parcelles rectangulaires furent supérieures aux circulaires du point de vue efficacité tandis que les parcelles rectangulaires variant de 1/5 à 1/3 acre furent celles qui donnèrent les meilleurs résultats;

3° Quant aux parcelles circulaires, celles de 0.25 acre (*0,1 ha*) (*$\frac{1}{4}$ ac*) furent les plus efficaces.

En guise de conclusion, les auteurs spécifient très bien un point important. En effet, ils affirment que l'efficacité de la parcelle-échantillon est fonction de deux facteurs à la fois, à savoir la variation du volume et le temps requis pour effectuer les relevés. Ainsi, si les parcelles d'un certain type varient grandement entre elles, ce genre de parcelles sera certes inefficace. Cependant on ne peut pas affirmer que celles qui présentent peu de variation seront plus efficaces, car de telles parcelles peuvent en même temps exiger un travail plus considérable sur le terrain et affecter par le fait même le coût total du sondage qui est un facteur primordial en inventaire forestier. C'est pourquoi ils jugent que leurs recherches conduisent à une évidence et non une preuve.

1.2 CANADA.

Parmi les chercheurs canadiens dont les travaux suscitent un intérêt particulier, mentionnons, tout d'abord, Bickerstaff (1947). Son expérience s'est réalisée dans un peuplement mélangé, âgé de 60 ans, et composé de peuplier, de bouleau blanc, de pin rouge, pin blanc, d'épinette et de sapin baumier. En tout, il échantillonna 25 parcelles de 0.2 acre et 50 de 0.1 acre. A la suite d'une étude statistique de ses résultats, Bickerstaff tira les conclusions suivantes:

1° Pour obtenir la même précision dans l'échantillonnage, il aurait fallu 1.6 fois plus de parcelles de 0.1 acre (*0,04 ha*) que de 0.2 acre (*0,08 ha*) ;

2° Pour obtenir une vraie représentation de la distribution des tiges, les parcelles de 0.2 acre (*0,08 ha*) étaient 27 pour 100 moins erratiques que celles de 0.1 acre (*0,04 ha*) ;

3° Enfin, le surplus de temps requis pour effectuer des parcelles de 0.2 acre (*0,08 ha*) ne dépasse pas 20 pour 100.

Un peu plus tard, Clark (1953) présentait des conclusions du même genre. Il affirmait que les parcelles de 0.2 acre (*0,08 ha*) étaient préférables à celles de 0.1 acre (*0,04 ha*) pour des peuplements inéquiennes de sapin et d'épinette tandis qu'il recommandait des parcelles de 0.25 acre (*0,1 ha*) pour des peuplements de sapin Douglas, âgés de 50 ans.

Ce n'est qu'en 1956 que le problème fut attaqué sous un autre angle. En effet, Savage effectua des expériences tout en considérant à la fois la superficie et la forme des places.

Il échantillonna un peuplement au moyen de parcelles distribuées au hasard et de formes variées, à savoir: circulaires, carrées, rectangulaires pour chacune des superficies suivantes: 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.25, 0.33, 0.5 et 1 acre. Après une analyse statistique sérieuse, il conclut que:

1° Les parcelles rectangulaires de 0.5 acre (*0,2 ha*) (1 x 5 ch) donnaient un meilleur rendement dans la vieille forêt;

2° Les parcelles circulaires de 0.5 acre avait un coefficient de variation presqu'égal à celui des parcelles rectangulaires de 0.5 acre, mais demandaient plus de temps à être établies et étaient plus susceptibles aux erreurs lors de leur délimitation;

3° Les parcelles de 0.33 acre (*0,13 ha*) avaient un coefficient de variation sensiblement égal à celui des parcelles rectangulaires de 0.5 acre, mais les compilations présentaient beaucoup trop d'inconvénients.

1.3 EUROPE.

Parmi les principaux ouvrages effectués en Europe, notons ceux de Strand en 1955 et en 1958, dans lesquels il présente une juste idée de l'évolution des travaux dans son pays.

En premier lieu, il analysa plusieurs travaux comme ceux d'Anderson, Gustafson et Johnson (1951) qui, se basant sur la variation de l'erreur standard pour des parcelles de superficie différente, émettaient les conclusions suivantes:

1° Les parcelles, établies sur une base de 150 arbres dans un jeune peuplement, donnent rarement une erreur standard du volume plus grande que 2 pour 100. Des parcelles de même superficie établies dans des peuplements de 70-80 ans, où le nombre d'arbres diminue à 25 ou 30, présentent des résultats semblables;

2° La variance la plus basse par unité de surface est réalisée avec les parcelles d'une superficie de 0.05 acre (*0,02 ha*).

En second lieu, Strand résume les expériences passées en ces mots:

1° S'il s'agit d'un peuplement donné, la variation entre les parcelles ne paraît pas augmenter avec l'aire de ce peuplement;

2° Plus il y a de variation entre les peuplements, plus l'erreur diminue si on augmente la superficie de la parcelle;

3° Les parcelles de 0.025 acre (*0,01 ha*) présentent une grande variation, même à l'intérieur de petites superficies.

Enfin Yates (1949) et Pardé (1956) recommandent, pour leur part, l'emploi des parcelles circulaires tandis que Dagnélie (1957), en plus d'appuyer la forme circulaire des parcelles, spécifie que les parcelles carrées donnent, à surface et intensité égales, une précision maximum, sauf s'il y a une variation de fertilité dans une direction donnée.

Cette très courte étude bibliographique nous a montré que le problème de l'aire optimale des parcelles-échantillons n'a pas encore été élucidé complètement; cependant cette revue nous a conduit aux conclusions suivantes:

1° Tous les auteurs sont unanimes à dire que la grandeur et la forme des parcelles peuvent affecter considérablement l'efficacité, c'est-à-dire le nombre de parcelles nécessaires pour obtenir un estimé avec un niveau donné de précision, la précision des données ainsi que le coût de l'inventaire;

2° La grandeur et la forme des parcelles devraient être fonction de la nature du peuplement, *i.e.* que les parcelles seront plus grandes dans de vieux peuplements à faible densité que celles prises à l'intérieur de jeunes peuplements à forte densité;

3° Les superficies des parcelles variant entre 1/10 (*0,04*) et 1 acre (*0,4 ha*) sont généralement recommandées;

4° Du point de vue de la forme de la parcelle, certains auteurs recommandent des parcelles rectangulaires à cause de leur plus grande efficacité tandis que d'autres sont d'avis que des parcelles circulaires ou même carrées s'avéreront plus recommandables;

5° Enfin beaucoup de chercheurs sont d'avis que l'aire des parcelles varie selon différents facteurs et c'est pourquoi la recherche de l'aire optimale des parcelles est devenue un problème très intéressant et surtout urgent à solutionner.

Dans ce bref exposé, nous essaierons de considérer l'aire optimale des parcelles en relation avec le coût relatif à la cueillette des données et aux déplacements entre les parcelles. Cependant, nous ne nous attarderons pas à calculer une aire minimale exacte, mais surtout nous tâcherons d'indiquer une marche à suivre dans ce sens tout en énumérant les différents facteurs à considérer. Enfin nous proposerons une équation qui, certes, devra être expérimentée avant son utilisation.

CHAPITRE II

DÉTERMINATION DE L'AIRE OPTIMALE DES PARCELLES-ÉCHANTILLONS

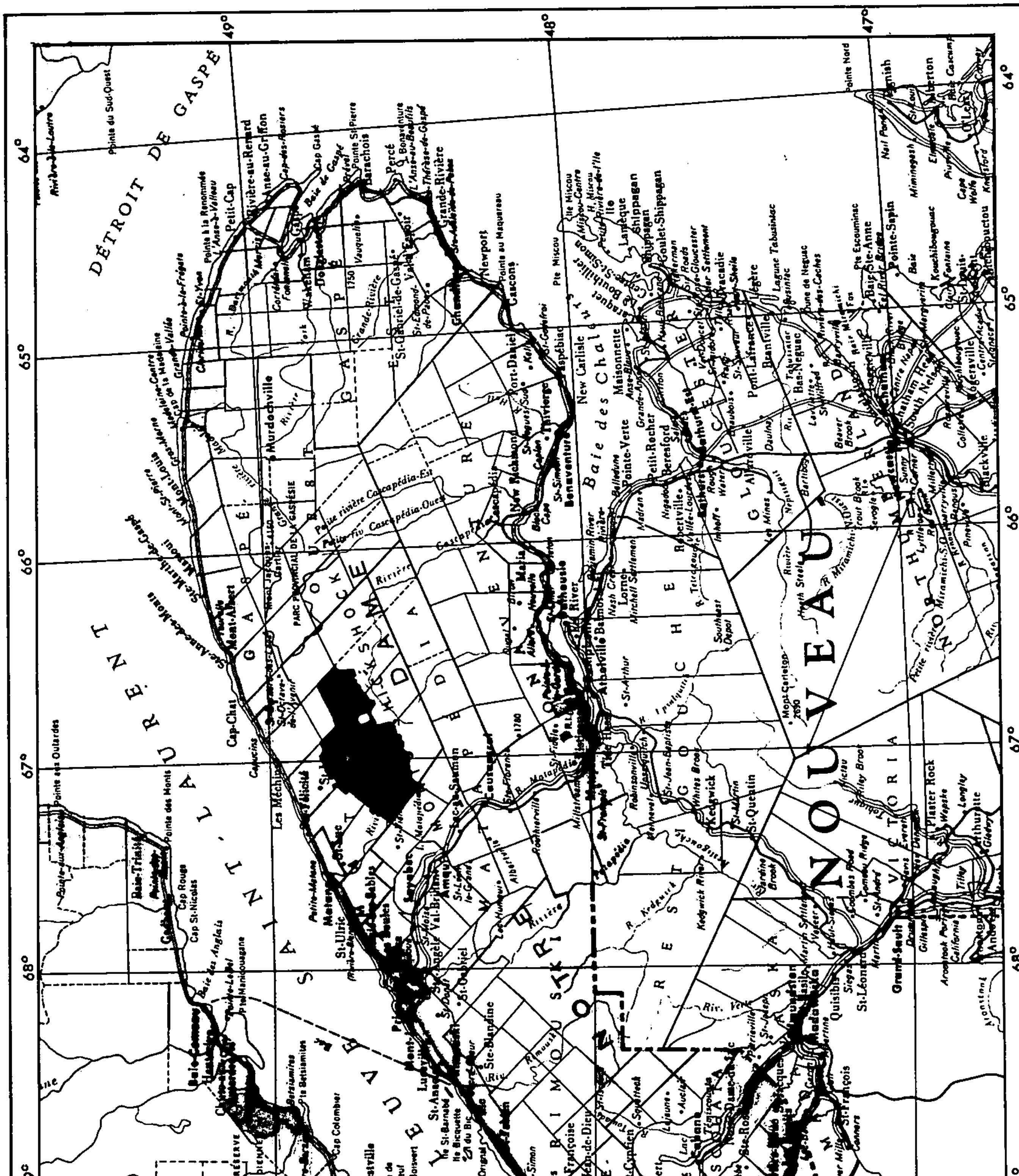
2.1 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL.

2.1.1 LOCALISATION DU PEUPLEMENT ÉTUDIÉ.

Le territoire où s'est déroulée l'expérience est situé à environ 10 milles (*16 km*) à l'est du lac Matane. Cette concession forestière, qui appartenait auparavant à la compagnie *Hammermill Ltd*, fait maintenant partie intégrante de la forêt domaniale de Matane. La station étudiée a une superficie de 50 acres (*20,2 ha*) divisée en trois blocs distincts de 3, 10 et 37 acres (*1,2, 4 et 15 ha*). L'âge moyen des peuplements est de 70 ans. Cette station est cartographiée suivant les coordonnées géographiques suivantes: 48° 41' Lat. N et 66° 48' Long. O. Elle est sise en bordure de la rivière à la Truite dans le canton Boutet.

2.1.2 DESCRIPTION ÉCOLOGIQUE.

Une étude phytosociologique de la station concernée nous a permis de la définir comme un facies du type *Dryopteris-Oxalis* tel que décrit par A. Lafond (1960).


DÉTROIT DE GASPÉ
SAINT LAURENT
Cap-Chat
Mont-Albert
Petit-Cap
Percé
New Carlisle
Bonaventure
Campbellton
Dalhousie
Bathurst
Chatham
Newcastle
Grand-Sault
Edmundston
Rivière-du-Loup
Tadoussac
Forestville
Matane
Rimouski

Cependant, bien que l'ensemble de la superficie reflète l'aspect de ce type, l'on retrouve plusieurs îlots qui appartiennent aux types *Hylocomium-Oxalis et Hylocomium-Cornus*. Le tableau I qui suit montre la distribution de ces différents peuplements ainsi que leur âge et leur superficie respective.

TABLEAU I

Liste des peuplements et de leur superficie respective				
Type	Classe d'âge	Nombre de parcelles (1/20 ac)	Superficie (acres)	(*ha*)
Dryopteris-Oxalis	90 a1*	25	1.25	*0,51*
Dryopteris-Oxalis	90	112	5.60	*2,27*
Dryopteris-Oxalis	70	659	32.95	*13,34*
Dryopteris-Oxalis	50	5	0.25	*0,10*
Dryopteris-Oxalis	30-70	56	2.80	*1,13*
Dryopteris-Oxalis	30	11	0.55	*0,22*
Hylocomium-Oxalis	70	67	3.35	*1,36*
Hylocomium-Cornus	70	21	1.05	*0,43*
Sous-total		956	47.80	*19,36*
Parcelles rejetées		53	2.20	*0,89*
TOTAL		1 009	50.00	*20,25*

* Présence d'aulnes

2.1.3 MÉTHODE DE TRAVAIL.

Tout le territoire fut divisé en parcelles-échantillons de 0.05 acre ($\frac{1}{2}$ x 1 ch) qui furent délimitées à l'aide de cordes fixées à des piquets placés à chaque coin de la parcelle; cette procédure facilitait grandement l'enregistrement des arbres marginaux. Chaque piquet fut ensuite numéroté et, en vue d'éviter des mélanges au cours des opérations de coupe, deux arbres localisés à l'intérieur de chaque parcelle, furent blanchis et dotés du numéro de la parcelle. Nous avons obtenu ainsi un quadrillage complet de chacun des blocs de forêt dont l'un comptait 58 parcelles, le second 199 et le dernier 752 parcelles pour un total de 1 009 parcelles dont 53 furent rejetées parce qu'elles n'appartenaient pas à un type forestier proprement dit.

Chaque parcelle fut identifiée écologiquement, toutes les tiges y furent dénombrées. Le calcul du volume du bois fut effectué de deux façons: il y eut, en premier lieu, une compilation du volume du bois debout faite par l'auteur lui-même et, en second lieu, la compilation du volume du bois coupé effectuée par les mesureurs officiels du ministère des Terres et Forêts. Cependant, seuls les chiffres provenant de l'inventaire du bois debout furent utilisés pour tous les calculs de cette expérience.

2.2 COMPILATIONS ET CALCULS.

2.2.1 TRAVAUX PRÉLIMINAIRES.

En premier lieu, le volume de chaque parcelle fut compilé par types écologiques et par classes d'âge. Le volume total de 956 parcelles, retenues pour cette expérience, s'élève à 185 877 pieds cubes (*5 260* m^3).

Le volume moyen par parcelle est de 195 pieds cubes (*15,5 m^3*) et le volume à l'acre se chiffre à 3 890 pieds cubes (*272,3 m^3/ha*).

En second lieu, les calculs de la variance par strate, "σ_i^2", et pour l'ensemble de la population, "σ^2", ainsi que les coefficients de variation, Cv, ont été effectués et ils sont présentés au tableau II qui suit.

Cependant, afin de mieux saisir la notion de la superficie optimale, il faut fixer un critère d'optimalité. Dans le cas présent, un tel critère peut s'énoncer de la façon suivante:

> "Pour une précision donnée de l'estimation du volume, il faut rechercher la superficie de la parcelle-échantillon qui soit la plus efficace ou, en d'autres termes, qui minimise les coûts de relevé".

Selon cet énoncé, deux facteurs principaux doivent être établis:

1° La relation entre le coût total d'un inventaire et la superficie des parcelles;

2° La relation entre la précision de l'estimé et la superficie des parcelles.

Dans le but de développer ces deux relations, définissons les principaux termes ou symboles employés:

$\bar{X}$ = Estimation du volume moyen par parcelle;

S^2 = Estimation de la variance du volume des parcelles;

N = Nombre total de parcelles;

n = Nombre de parcelles de l'échantillon;

Y = Dimension relative des parcelles;

$Cv = S/\bar{X}$ = Coefficient de variation;

K = Erreur admissible dans l'estimation de $\bar{X}$, exprimée en proportion;

T_p = Variable de Student au seuil de probabilité "P".

TABLEAU II

Calcul du volume, de la variance et du coefficient de variation par strate pour l'ensemble de la population.

Strates	Volume	Nombre de parcelles	Volume par parcelle	Variance	Cv %
DRY-OX 90 a1	pi^3: 3 689	25	148	3 922	42
	m^3 : *104,4*		*4,2*	*3,1*	
DRY-OX 90	pi^3: 20 302	112	181	3 698.4	33
	m^3 : *574,5*		*5,1*	*3,0*	
DRY-OX 70	pi^3: 135 536	659	206	3 522	28
	m^3 :*3 835,7*		*5,8*	*2,8*	
DRY-OX 50	pi^3: 286	5	57	567	42
	m^3 : *8,1*		*1,6*	*0,45*	
DRY-OX 30-70	pi^3: 5 041	56	90	1 095.8	37
	m^3 : *142,7*		*2,5*	*0,9*	
DRY-OX 30	pi^3: 469	11	43	1 312.5	83
	m^3 : *13,3*		*1,2*	*1,05*	
HY-OX 70	pi^3: 15 894	67	237	2 739.4	22
	m^3 : *449,8*		*6,7*	*2,2*	
HY-YO 70	pi^3: 4 660	21	222	1 405.6	16
	m^3 : *131,9*		*6,3*	*1,1*	
TOTAL	pi^3: 185 877	956	195	4 577.4	35
	m^3 :*5 260,3*		*5,5*	*3,7*	

2.2.2 LA RELATION ENTRE LE COÛT TOTAL D'UN INVENTAIRE ET LA SUPERFICIE DES PARCELLES.

Dans les travaux de relevé, le coût total peut être affecté par deux facteurs particuliers:

2.2.2.1 Le coût de prise de stock dans les parcelles.

A toute fin pratique, ces coûts sont à peu près proportionnels à la superficie des parcelles-échantillons. Dans un inventaire forestier, le coût de la prise de stock à l'aide de parcelles de superficie "y" est égal à:

$$yC_1n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

où C_1 le coût d'inventorier une parcelle fondamentale, *i.e.* de 1/20 acre dans notre cas.

2.2.2.2 Les coûts de déplacement entre les parcelles.

Ces coûts sont très difficiles à déterminer ou à prévoir, car ils dépendent en grande partie de nombreux facteurs dont voici les principaux:

- La taille de l'échantillon;
- L'intensité du sondage, *i.e.* le rapport n/N;
- Le genre de sondage utilisé;
- La saison de l'inventaire;
- Le nombre et les types de peuplements;
- La nature du terrain;
- La distance entre les parcelles;
- Le niveau des prix et des gages.

En ce qui nous concerne, aucune étude particulière n'a été faite relativement à cette question.

Cependant, des recherches effectuées au cours d'inventaires agricoles par Mahalanobis (1944) et Jessen (1942) indiquent, pour une superficie déterminée et pour un sondage aléatoire, que la distance totale, *"do"*, entre les parcelles est proportionnelle à la racine carrée de la taille de l'échantillon:

$$\text{donc: } do = b\sqrt{n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

où "b" est le coefficient de proportionnalité. Ainsi, si "C_2" est le coût de déplacement, pour une distance unitaire, entre les parcelles, alors le coût total de déplacement pour une superficie déterminée sera égal à:

$$C_2 b\sqrt{n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Maintenant, il serait intéressant de voir comment cette distance *"do"* varierait quand les "n" parcelles sont distribuées sur un territoire dont la superficie serait un multiple "m" de la superficie fondamentale pour laquelle *"do"* a été calculée. .

A cet effet, supposons que la superficie de base est l'unité et que sa configuration géométrique de base ne s'éloigne pas trop du carré. Or, si nous doublons la surface, c'est-à-dire si $m = 2$, le côté du carré sera alors de 1.43. Ce qui implique que le fait de doubler la superficie d'un carré d'une unité de côté augmente la longueur de ce côté selon le rapport de:

$$\frac{1.4}{1} = \sqrt{m}$$

Donc, la distance totale des déplacements, "D", entre les parcelles, distribuées sur un territoire dont la superficie est un multiple, "m", de la superficie fondamentale pour laquelle *"do"* a été établie sera approximativement égale à :

$$D = do\sqrt{m} = b\sqrt{mn} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Donc, à l'aide des équations ci-dessus, le coût total, *Co*, de l'inventaire s'exprime comme suit:

$$Co = C_1 ny + C_2 b \sqrt{mn} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

2.2.3 LA RELATION ENTRE LA PRÉCISION DE L'ESTIMÉ ET LA SUPERFICIE DES PARCELLES.

La fonction économique des coûts d'inventaire étant établie, il reste encore à déterminer le nombre "n" de parcelles à exécuter de façon à obtenir la précision recherchée des estimations. Ce nombre s'obtient à l'aide de l'expression suivante (négligeant le facteur de correction pour les populations finies):

$$n = \frac{t_p^2}{k^2} \times \frac{S^2}{\bar{X}^2} = \left(\frac{tp}{K}\right)^2 C_v^2 \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

L'on sait, de plus, qu'en règle générale, S^2 aura tendance à croître et C_v à décroître avec la superficie des parcelles. Si bien que l'on peut exprimer S^2 et C_v d'après les fonctions suivantes:

$$S^2 = \alpha_1 y^{g_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

et

$$C_v = \alpha_2 / y^{g_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

où "α" et "g" sont des paramètres.

Par substitution de (9) dans (7), nous avons:

$$n = \left(\frac{t_p}{K}\right)^2 \left(\frac{\alpha_2}{y^{g_2}}\right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

Afin de pouvoir déterminer la valeur de "α_2" et "g_2" de la formule (9), nous avons effectué les calculs montrés au tableau III.

TABLEAU III

Coefficient de variation pour diverses superficies de parcelle-échantillon				
Superficie des parcelles (ac)	*(ha)*	Nombre des parcelles	Superficie relative (y)	Coefficient de variation (%)
1/20	*0,02*	659	1	28.6
1/10	*0,01*	295	2	23.9
1/5	*0,08*	107	4	19.4
1/4	*0,10*	79	5	18.2
3/10	*0,12*	52	6	17.3

Aux fins de la détermination des paramètres "α_2" et "g_2", l'équation (9) ci-dessus peut être écrite de la façon suivante:

$$\log Cv = \log \alpha_2 - g_2 \log y$$

d'où

$$\log \alpha_2 = \overline{\log Cv} + g_2 \overline{\log y}$$

et "g_2" s'obtient par cette expression-ci:

$$g_2 = \frac{-\Sigma(\log y \times \log Cv) + \left[\frac{(\Sigma \log y)(\Sigma \log Cv)}{n}\right]}{\Sigma(\log y)^2 - \frac{(\Sigma \log y)^2}{n}}$$

En employant les données du tableau III, nous obtenons les valeurs suivantes:

$\alpha_2 = 28.73$ et $g_2 = 0.282$

Les chiffres du tableau IV et de la figure I ci-dessous indiquent que la fonction choisie s'ajuste très bien aux données expérimentales.

TABLEAU IV

Coefficients de variation observés et calculés d'après le facteur $C_v = a/y_2$		
Dimension des parcelles (ac) (*ha*)	C_v observé pour 100	C_v calculé pour 100
0.05 *0,02*	28.6	28.7
0.10 *0,01*	23.9	23.7
0.20 *0,08*	19.4	19.4
0.25 *0,10*	18.2	18.3
0.30 *0,12*	17.3	17.3

Les résultats obtenus au cours de cette expérience assez limitée quant au territoire inventorié, nous portent à croire que le coefficient de variation sera toujours une fonction inverse de la dimension des parcelles-échantillons, quelle que soit la superficie du territoire inventorié.

Cependant, il serait peut-être préférable de refaire une expérience semblable sur des superficies plus considérables et à l'intérieur de types forestiers variés et situés à des endroits différents. Néanmoins, l'on a tout lieu de croire que, même si ces conditions se réalisaient, les résultats et les conclusions seraient à peu près les mêmes que ceux qui ont été obtenus au cours de ce travail.

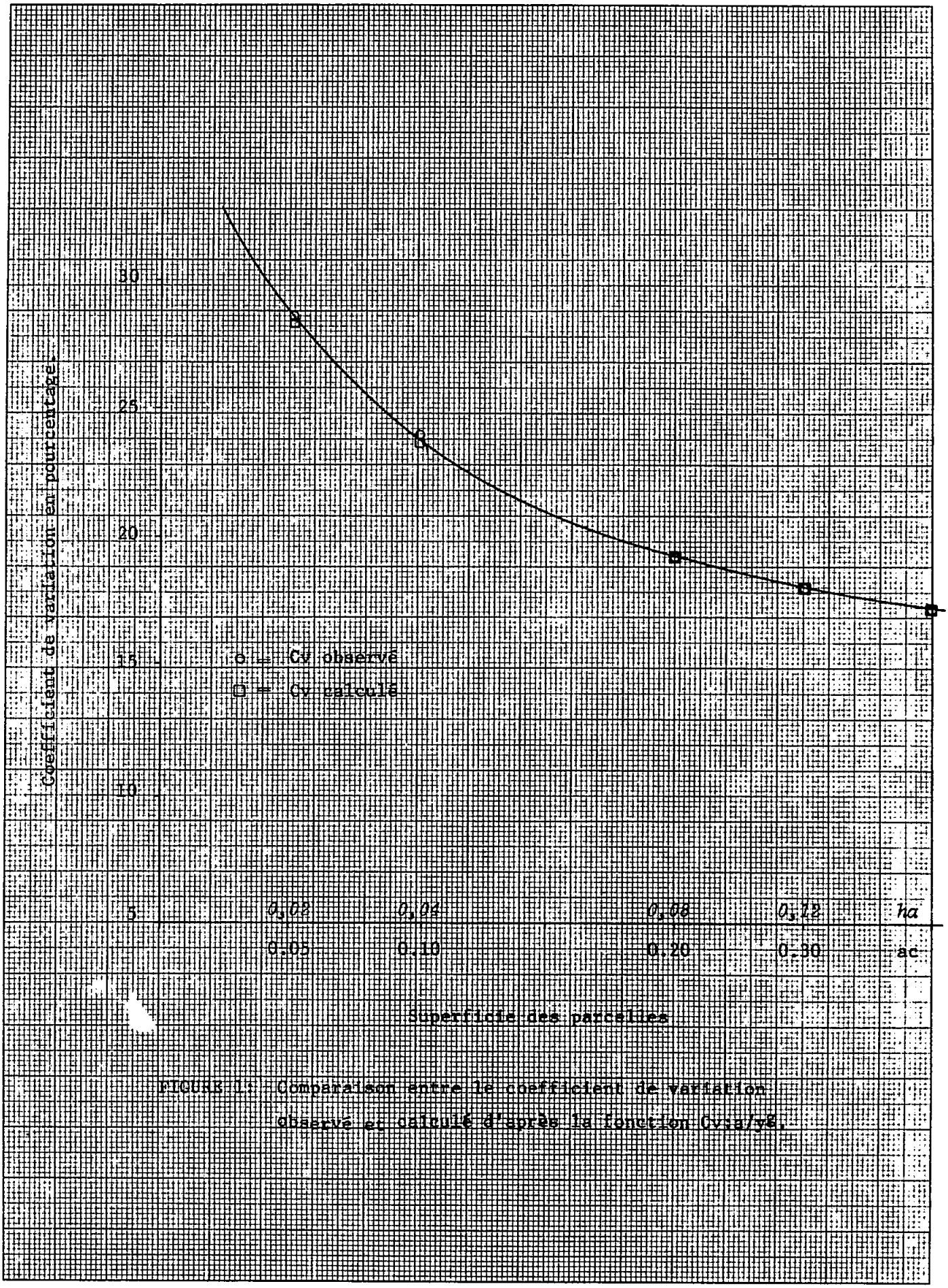


FIGURE 1: Comparaison entre le coefficient de variation observé et calculé d'après la fonction $Cv = a/y^{\beta}$.

En effet, le coefficient de variation, étant le rapport de la déviation standard "σ" à la moyenne, il est à prévoir que plus la superficie de la parcelle croît, plus le coefficient de variation décroît; car, cette superficie augmentant, le volume moyen par parcelle augmente plus que la déviation standard et le coefficient se trouve à diminuer en conséquence.

2.2.4 CALCUL DE L'AIRE OPTIMALE DES PARCELLES.

Pour déterminer les valeurs de "y" et de "n" qui minimisent le coût total de l'inventaire "C_o" et qui satisfont à l'équation (10) on forme la fonction suivante:

$$F = C_1 ny + bC_2 \sqrt{mn} + \lambda \left[\frac{tp\ \alpha_2}{\sqrt{ny^{g_2}}} - K \right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

et l'on prend les dérivées partielles suivantes:

$$\frac{\delta F}{\delta y} = 0 = C_1 n - \frac{g_2\ \lambda tp\ \alpha_2}{\sqrt{n.}\ y^{g_2 + 1}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

$$\frac{\delta F}{\delta n} = 0 = C_1 y + \frac{bC_2 \sqrt{m}}{2 \sqrt{n}} - \frac{\lambda tp\ \alpha_2}{2y^{g_2}\ n^{3/2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

$$\frac{\delta F}{\delta \lambda} = 0 = \frac{tp\ \alpha_2}{\sqrt{n.}\ y^{g_2}} - K \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

La solution des équations (12), (13) et (14) donne comme valeur optimale de "y":

$$y^{1-g_2} = \left[\frac{C_2}{C_1} \right] \frac{. bg_2 K \sqrt{m}}{\alpha_2 tp\ (1-2g_2)}$$

d'où l'on tire:

$$\log y = \frac{\log (C_2/C_1) + \log (bg_2K\sqrt{m}) - \log \left[\alpha_2 tp (1 - 2g_2)\right]}{1 - g_2}$$

Dans cette équation:

$-g_2 = 0.2821$

$-\alpha_2 = 0.2873$*

$-K_2 = 0.05$

$-t = 2$

C_1, C_2 et b sont des paramètres à être déterminés par des expériences. Comme des estimations de ces paramètres n'ont pas été calculées, vu le manque de données, un certain nombre de valeurs leur ont été attribuées afin de pouvoir constater si la valeur de "y" serait affectée par des changements dans les valeurs de "b", "m" et dans celles du rapport C_2/C_1.

"m" est égal à l'unité pour la superficie fondamentale utilisée pour déterminer la relation:

$do = b\sqrt{m}$

Pour toute autre surface, "m" est le rapport de la superficie inventoriée à la superficie de base. Dans notre expérience, les valeurs de 1 et 2 ont été attribuées à "m". Les résultats de ces calculs sont montrés au tableau V et aux figures 2 et 3 qui suivent.

* Notez qu'ici α_2 n'est plus exprimé en pourcentage mais en proportion.

TABLEAU V

Présentation des valeurs de "y" en fonction du rapport C_2/C_1, "b" et "m".

m = 1					m = 2				
C_2/C_1	b	y	Superficie de la parcelle (ac)	(*ha*)	C_2/C_1	b	y	Superficie de la parcelle (ac)	(*ha*)
2.5	5	0.617	0.03	*0,01*	2.5	5	1.00	0.05	*0,02*
2.5	10	1.61	0.08	*0,03*	2.5	10	2.61	0.13	*0,05*
2.5	20	4.23	0.21	*0,08*	2.5	20	6.85	0.34	*0,14*
2.5	40	11.11	0.55	*0,22*	2.5	40	17.98	0.90	*0,36*
5	5	1.61	0.08	*0,03*	5	5	2.61	0.13	*0,05*
5	10	4.23	0.21	*0,08*	5	10	6.85	0.34	*0,14*
5	20	11.11	0.55	*0,22*	5	20	17.98	0.90	*0,36*
5	40	29.18	1.46	*0,59*	5	40	47.29	2.36	*0,95*
10	5	4.23	0.21	*0,08*	10	5	6.85	0.34	*0,14*
10	10	11.11	0.55	*0,22*	10	10	17.98	0.90	*0,36*
10	20	29.18	1.46	*0,59*	10	20	47.29	2.36	*0,95*
10	40	76.63	3.83	*1,55*	10	40	124.2	6.21	*2,51*

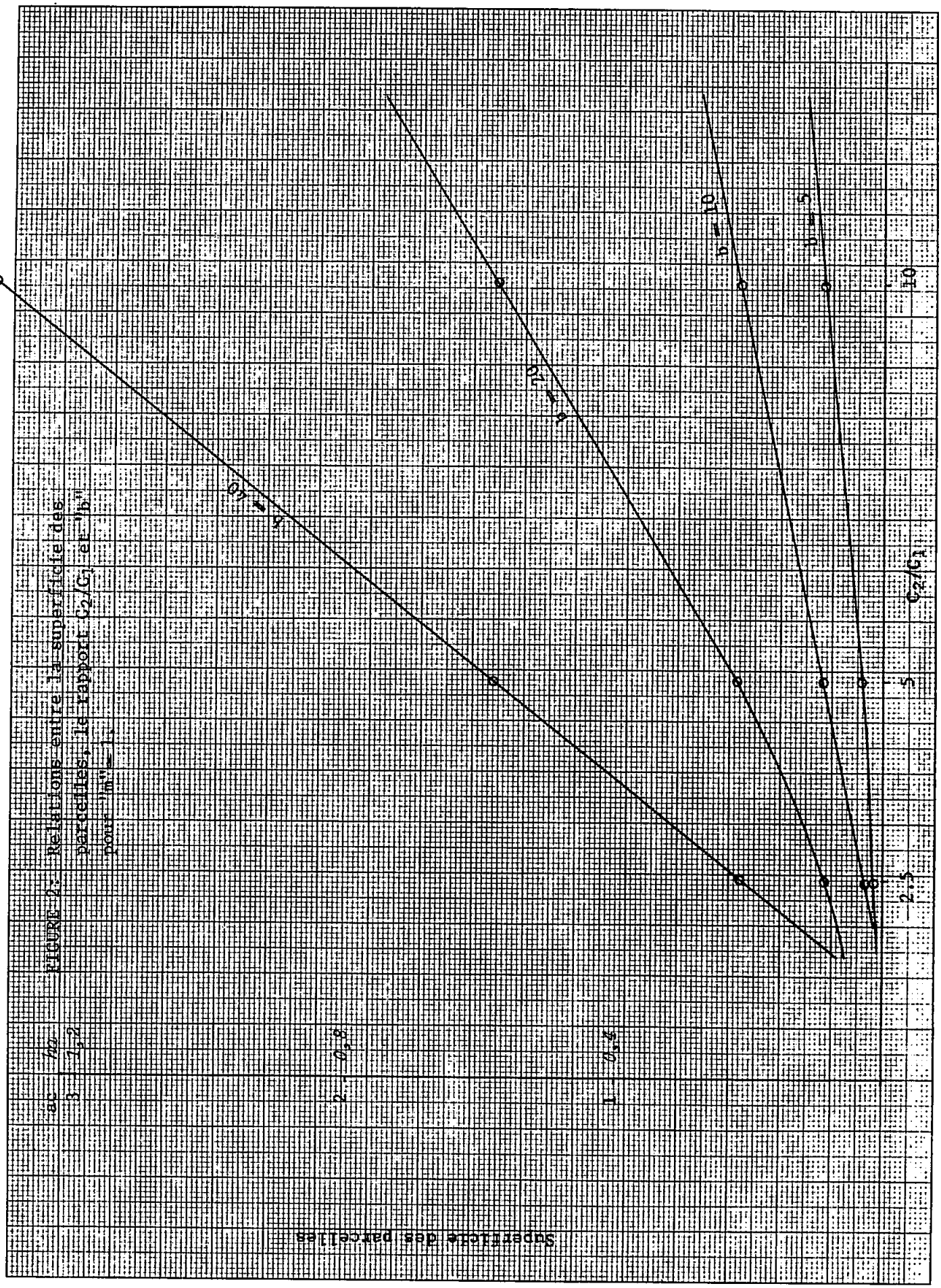


FIGURE 2.- Relations entre la superficie des particules, le rapport C_2/C_1 et "b" pour "m" = 1.

LEUFFEL & ESSER CO

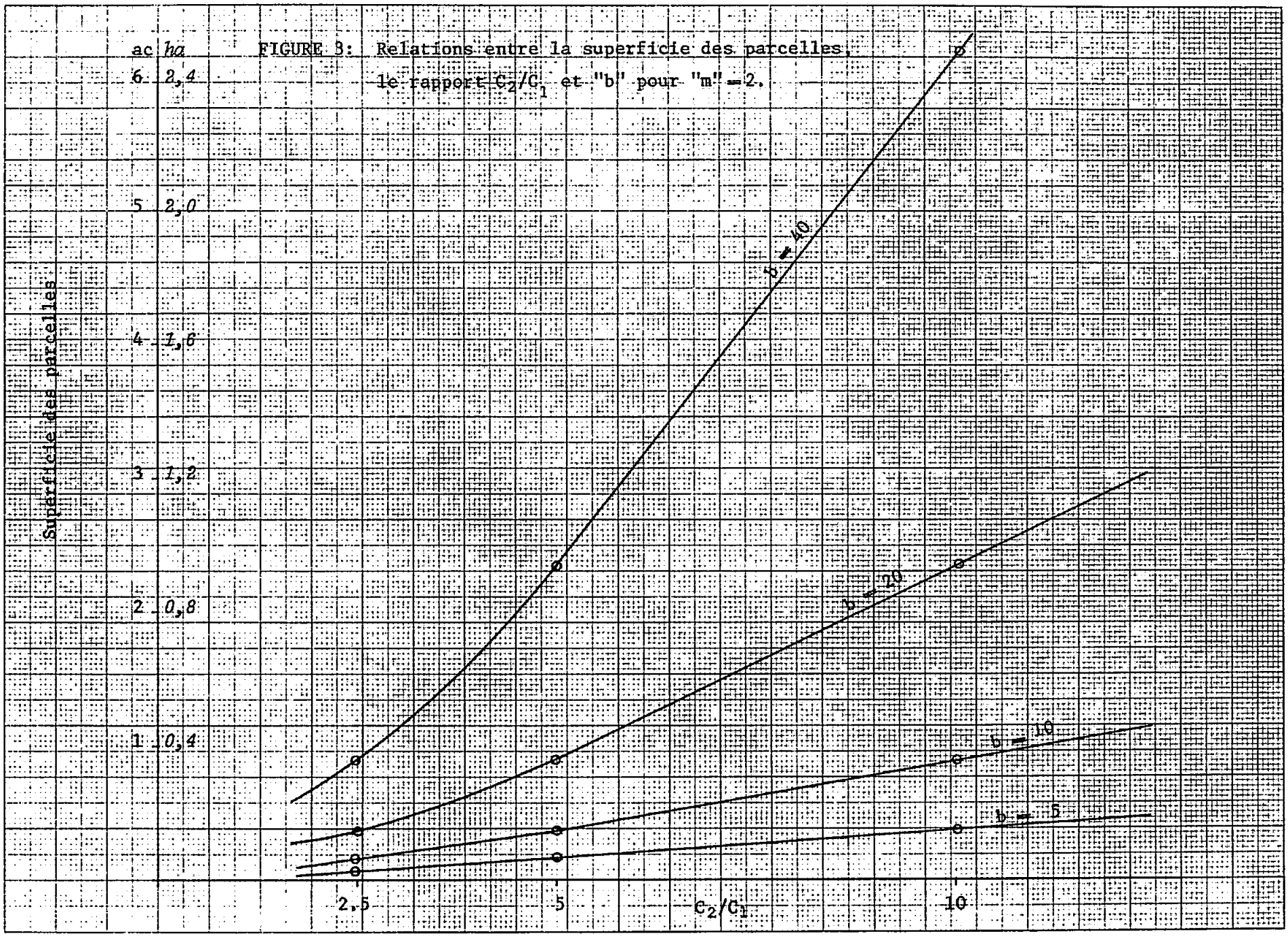


FIGURE 3: Relations entre la superficie des parcelles, le rapport C_2/C_1 et "b" pour "m" = 2.

A la lumière des données du tableau V et des figures 2 et 3 nous sommes en mesure de conclure que la superficie relative des parcelles est influencée d'une manière significative:

1° Par le coût relatif C_2/C_1, c'est-à-dire le rapport du coût des déplacements au coût de la prise des données à l'intérieur d'une parcelle fondamentale de 1/20 acre (*0,02 ha*). Si ce rapport augmente, la superficie de la parcelle devra être augmentée: cela est tout à fait plausible si on considère que le coût de déplacement entre les parcelles est considérable, on devrait réduire la distance entre les parcelles en les agrandissant et en diminuant leur nombre.

2° Par le coefficient de proportionnalité "b" qui, dans la relation

$$do = b\sqrt{n}$$

détermine la distance totale entre les "n" parcelles. Ainsi, pour un nombre fixe de "n" parcelles, "b" est proportionnel à la grandeur de la superficie de la parcelle fondamentale. C'est pourquoi "y" augmente quand "b" augmente.

3° Par le coefficient "m" qui est le rapport d'une superficie d'un territoire à la superficie de la parcelle fondamentale. Il influence "y" de la même manière que "b".

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La théorie élaborée ci-dessus laisse clairement entrevoir qu'il est possible, moyennant certaines hypothèses, de déterminer de manière objective la superficie des parcelles-échantillons en fonction des conditions de relevé et de la structure de la forêt. Ces résultats confirment ce qui avait déjà été observé et mis en oeuvre d'une façon empirique par nombre de chercheurs qui, comme nous l'avons vu au cours de la revue de la littérature, recommandent des dimensions de parcelles variant en fonction de la structure des peuplements (âge et nombre de tiges par unité de surface). Nous avons ici donné au problème une dimension de plus en tenant compte du coût de sondage.

En pratique, l'on ne saurait, toutefois, appliquer à la lettre cette méthode de détermination objective de la superficie des parcelles puisque les conditions sans cesse changeantes du milieu forestier impliqueraient de trop nombreuses modifications aux superficies des parcelles. Néanmoins, la méthode présentée ci-dessus devrait permettre de déterminer de façon objective les dimensions de quelques cas bien représentatifs se rapportant aux postes suivants:

1.- La forêt.

a) sa composition: résineuse et feuillue;

b) son âge: peuplements jeunes et ceux qui ont atteint leur maturité.

2.- Les plans de sondage.

C'est-à-dire sondage systématique ou aléatoire en forêt stratifiée.

3.- La superficie du territoire inventorié.

Cette superficie pourrait, par exemple, être classée par catégorie de 0 à 50 mi^2 (*0 à 129,5 km^2*), 50 à 100 mi^2 (*129,5 à 259 km^2*), 100 à 200 mi^2 (*259 à 518 km^2*) etc...

De plus, l'on pourra considérer l'extension au problème traité ci-dessus, extension en vertu de laquelle l'on considérerait globalement le cas de plusieurs strates au lieu d'une seule strate comme ci-dessus. Enfin, l'on notera avec intérêt, en étudiant le tableau V que les diverses valeurs des superficies des parcelles demeurent dans l'ordre de grandeur de celles des parcelles employées généralement au cours des inventaires forestiers.

Dans toute expérience future, nous recommandons l'étude des problèmes suivants:

1° L'expression analytique de la fonction économique devra être étudiée d'une façon plus poussée tant au point de vue des facteurs dont elle dépend que de sa structure;

2° L'on devra tenir compte non seulement de la superficie des parcelles mais aussi de leur forme, car elle peut influencer considérablement le coût et les erreurs d'observations;

3° Toute expérience relative aux problèmes énumérés ci-dessus devra être soigneusement planifiée et l'on devra tenir rigoureusement compte des coûts fixes et variables liés aux diverses phases du travail en forêt.

BIBLIOGRAPHIE

BECKER, M.E., 1950. *Forest survey procedure for area and volume determination.* Journal of Forestry, 48 (7): 465-469.

BICKERSTAFF, F., 1947. *One-fifth acre versus one-tenth acre plots in sampling immature stands.* Silv. Res. Note, For. Serv. Can. No. 83, pp. 1-11.

CLARK, M.B., 1953. *Relative efficiency of some specific plot sizes in estimating timber volume in some specific timber types.* For. Chronicle, 29 (3): 254-260.

DAGNELIE, P., 1956. *L'échantillonnage statistique appliqué à la prospection et aux inventaires forestiers.* Ann. de Grembloux, sec. trimestre: 109-134.

DEMERITT, D.B. and H. CHAPMAN, 1936. *Elements of forest mensuration.* J.B. Lyon Company Publishers, Albany N.Y.

DUNBAR, J.F., 1940. *Use of square plots in place of circular plots in timber estimating.* Jour. Forestry, 38: 514-515.

GRAVES, H.S., 1914. *Forest mensuration.* John Wiley and Sons Inc. N.Y.

GEVORKIANTZ, S.R., 1946. *Volume sampling procedure and volume tables.* R.S. F.S. Forest Survey Techniques Conf.: 11 pp.

JESSEN, R.J., 1942. *Statistical investigation of a sample survey for obtaining farm facts.* Res. Bul. 304 Iowa Agricul. Expt. Sta.

LAFOND, A., 1960. *Notes pour l'identification des types forestiers sur les concessions de la "Quebec North Shore Paper Co."* Manuel de poche. 56 pp.

LISDANIEL, O.M., 1947. *The size and spacing of sample plots in strip surveys.* Swenska. Skogsv-Foren. Tidsdr., 45: 217-45.

MAHALANOBIS, P.C., 1944. *On large scale sample surveys.* Phil. Trans. Roy. Soc., London, Genès B, 231: 329-451.

PARDE, J., 1957. *Recherches sur l'application aux taillis des méthodes mathématiques - statistiques d'inventaire,* Ann. Ec. nation. des Eaux et Forêts et de la Stat. Rech. et Exp., Tome XV. fasc. 2.

SAVAGE, M.B., 1956. *What about size of the sample plot?* Forestry Chron., 32 (1): 75-76.

SIMMONS, C.E., 1926. *A manual of forest mensuration.* Calcutta, Governm. of India, Central Publication Branch.

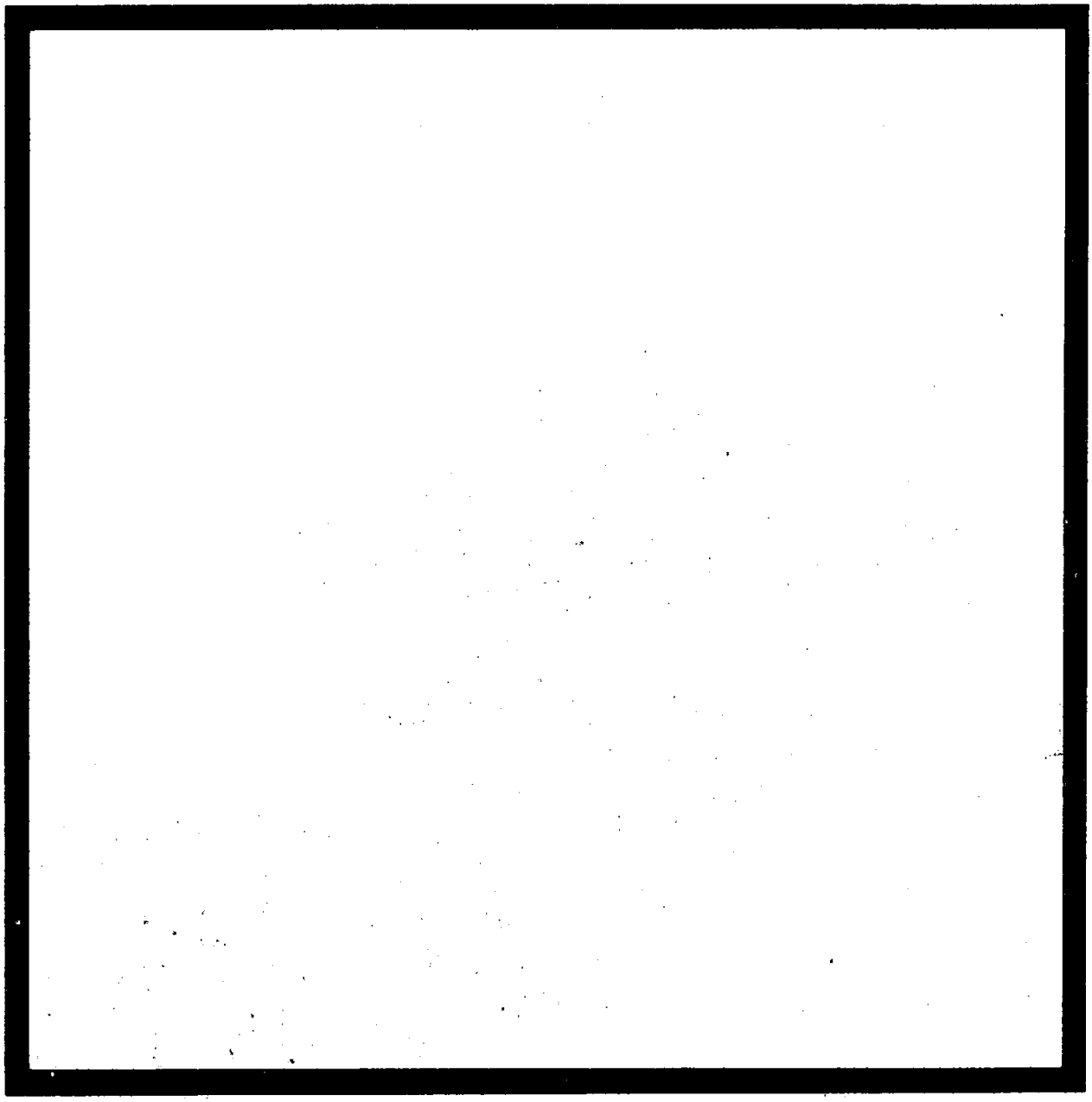
STRAND, L., 1955. *Plot size infield trials.* Zeitfchrift Fur Forst genetik: 157-162.

STRAND, L., 1958. *The effect of the plot size and the accuracy of forest surveys.* Medd. Norske Skrogforskov. 14 (8): 620-633.

YATES, F., 1948. *Systematic sampling.* Royal Soc. of London Philos. Trans., 241 (A834): 345-377.

APPENDICE

COEFFICIENTS UTILISES POUR CONVERTIR LES MESURES ANGLAISES EN MESURES MÉTRIQUES (Rennie 1967)

Pouces (po)	X	2.54	=	Centimètres (*cm*)
Pieds (pi)	X	0.305	=	Mètres (*m*)
Chaînes (ch)	X	20.12	=	Mètres (*m*)
Acres (ac)	X	0.405	=	Hectares (*ha*)
Milles (mi)	X	1.6	=	Kilomètres (*km*)
Milles carrés (mi^2)	X	2.59	=	Kilomètres carrés (km^2)
Pieds cubes (pi^3)	X	0.0283	=	Mètres cubes (m^3)
Pieds cubes à l'acre (pi^3/ac)	X	0.07	=	Mètres cubes à l'hectare (m^3/ha)

Le ministère des Terres et Forêts est responsable de l'administration et de la gestion des forêts publiques dans l'intérêt général du Québec. Le Ministère doit donc se préoccuper de connaître les ressources forestières dont il dispose. L'inventaire forestier constitue un élément indispensable à une telle connaissance. Dans les limites de sa juridiction, le Service de la recherche contribue à une meilleure connaissance des ressources forestières. En effet, une partie du budget du Service est consacrée aux recherches ayant pour but de développer ou d'améliorer les méthodes utilisées lors de l'inventaire forestier.