

LA PROSPECTION DES PEUPELEMENTS FORESTIERS TROPICAUX

par application des méthodes statistiques ⁽¹⁾

par Y. DOMMERGUES,
Inspecteur principal des Eaux et Forêts,
Détaché à l'Office de la Recherche
Scientifique Outre-Mer.

FOREST INVENTORIES IN TROPICAL STANDS BY STATISTICAL METHODS

SUMMARY

The application of the statistical methods to the forest stands surveys has made great progress during the last 20 years and has enabled to put into shape the sample enumeration methods which are both quicker, more economic and just as reliable as the classical methods of complete enumeration of forest stands.

This study, after a theoretical account of the various methods of sample enumeration, goes into its application to different forest types and deals with the practical implementation of these enumerations in the field.

The last part draws the attention of foresters on research work, on the interest there is to use experimental designs enabling the statistical interpretation of the results.

LOS INVENTARIOS FORESTALES EN LOS ARBOLADOS TROPICALES POR APLICACION DE LOS METODOS ESTADISTICAS

RESUMEN

La aplicacion de los metodos estadisticas para el estudio de los arbolados forestales ha hecho muchos progresos en los ultimos 20 anos y permitio a determinar metodos de enumeracion parcial mas rapidos, mas economicos y tan seguros como los metodos clasicos de enumeracion total de los arbolados.

El presente estudio, despues de haber relatado teoricamente los metodos de enumeracion por pequenos cuarteles tomados al acaso, se vuelve a examinar la aplicacion de dichos metodos a los varios tipos de bosques, discutiendo todavia de la ejecucion practica de esas enumeraciones en los bosques.

En la ultima parte, es intencion del Autor de atraer la atencion del personal forestal encargado con investigaciones, a las ventajas que se encuentran en el empleo de los sistemas experimentales mediante los cuales se logra analizar estadisticamente los resultados.

(Pour les renvois ne correspondant pas à une note en bas de page, voir à la fin de l'article, page 169, la bibliographie)

Lorsqu'exploitants ou forestiers tropicaux ont à accomplir des comptages ou des prospections sur de grandes étendues forestières, avant de fixer leurs plans d'exploitation ou de travaux sylvicoles, il ne vient à l'idée d'aucun d'eux (sauf cas particuliers) d'effectuer un comptage sur la totalité du peuplement, et les uns et les autres procèdent par sondages ou comptages partiels. Mais une fois en possession des chiffres obtenus lors de ces premières opérations, dans quelle limite a-t-on le droit de les étendre à la surface totale du peuplement ? Ou bien, en le faisant sait-on quelle erreur on commet sur le résultat final ?

(1) Le lecteur désirant se familiariser rapidement avec les méthodes statistiques aura intérêt à lire l'excellent livre de M. VESSEREAU publié dans la collection « Que sais-je » (20). Pour approfondir ces questions, on devra consulter des ouvrages de base tels que ceux de FISHER (7), SNEDECOR (16), VESSEREAU (19), MASSIBOT (13).

D'autre part, si l'on ne veut pas dépasser une marge d'erreur que l'on se fixe par avance, comment doit-on procéder ? Quelle portion de la forêt doit-on prospecter ? Cette proportion est-elle la même quelle que soit la forêt, ou bien dépend-elle de l'étendue et de la composition de celle-ci ?

Enfin, connaissant la surface de cette portion du peuplement sur laquelle doivent porter les comptages, comment déterminer le nombre, la forme et la disposition des parcelles sur lesquelles les comptages devront être exécutés ?

La théorie du calcul statistique permet de donner des réponses pratiques à toutes ces questions, et c'est ce que nous essayons d'exposer brièvement ci-dessous.

D'ailleurs, l'application des méthodes statistiques à l'étude des peuplements forestiers a fait de grands progrès au cours des 20 dernières

années et a permis la mise au point de méthodes de comptage partiel à la fois plus rapides, plus économiques et aussi sûres que les méthodes classiques de comptage total des peuplements.

La plus grande partie de cet article, qui intéresse essentiellement le praticien, sera consacrée à une étude théorique simple des différentes méthodes de comptage par échantillonnage, puis à l'étude et à la critique d'inventaires forestiers exécutés dans différents types de forêts, enfin à l'exécution pratique sur le terrain de ces comptages.

I. — ETUDE THEORIQUE DES METHODES DE COMPTAGE PAR ECHANTILLONNAGE

A. — INTERET DES COMPTAGES PAR ECHANTILLONNAGE

Les différents auteurs sont actuellement d'accord pour estimer que des comptages portant sur 100 % du matériel sur pied ne sont pas nécessaires et les méthodes modernes qu'ils préconisent sont basées sur l'échantillonnage, c'est-à-dire sur des comptages limités à une fraction de la forêt, fraction qui constitue l'échantillon à partir duquel on estime le volume global du peuplement. Nous appellerons ces comptages indifféremment : comptages partiels ou comptages par échantillonnage ou comptages d'un échantillon.

En pratique, un comptage par échantillonnage bien organisé et effectué avec le concours d'un personnel intelligent et bien instruit donnera un résultat plus satisfaisant qu'un comptage complet exécuté avec une main-d'œuvre nécessairement plus nombreuse et moins experte.

Le docteur GRIFFITH, qui a appliqué ces méthodes aux Indes, estime que les comptages partiels sont environ trois fois moins coûteux et quatre fois plus rapides que les comptages complets [FINNEY (5)].

B. — QUELQUES DEFINITIONS

Nous avons adopté ici la terminologie proposée par FINNEY (4). Pour faciliter l'exposé, nous prendrons comme exemple un massif forestier rectangulaire de 5.000 ha ayant 5 km de large sur 10 km de long où l'on estimera le volume d'une seule essence (1).

Le *comptage complet* (complete enumeration) consiste à mesurer les arbres sur toute la sur-

(1) Il est bien évident que les méthodes d'échantillonnage sont applicables à des mesures quantitatives autres que le volume, en particulier le nombre total d'arbres, nombre d'arbres dans certaines catégories, etc. Mais les méthodes que l'on considère comme optimum pour l'estimation du volume ne sont pas forcément les meilleures pour l'estimation du nombre d'arbres ou d'une autre caractéristique du peuplement.

Une deuxième partie (chapitre IV), d'ailleurs très sommaire, attire l'attention des forestiers qui se consacrent à la recherche, d'une part, sur la nécessité qu'il y aurait à comparer les résultats obtenus par sondage à ceux provenant de comptage total sur peuplements identiques, afin de mettre au point les méthodes de comptage les plus économiques, et d'autre part, sur l'intérêt qu'ils ont à utiliser les méthodes statistiques pour l'étude de questions telles que la régénération naturelle, les éclaircies, l'expérimentation en pépinières.

face du massif forestier (dans l'exemple : 5.000 hectares).

Le *comptage partiel* ou *comptage d'un échantillon* (sample enumeration) consiste à mesurer les arbres sur une partie seulement des 5.000 ha, soit A ha (prenons par exemple A = 500 ha).

On obtient alors une estimation du volume total en multipliant le volume de l'échantillon

$$\frac{5.000}{A}$$

par ——— soit 10 dans l'exemple ci-dessus.

A

Les A ha constituent l'échantillon (sample) et le rapport de sa surface à celle du peuplement

$$\frac{A}{5.000} \quad (\text{ici } 1)$$

——— représente l'*intensité d'échantillonnage* (sampling fraction, intensity of sampling ou, pour les auteurs américains, intensity of cruise).

Les A ha sont, en fait, composés d'*unités d'échantillonnage* ou parcelles d'échantillonnage (sampling units). L'unité d'échantillonnage est, par exemple, un rectangle de 100 × 50 m. donc d'une superficie d'1/2 ha, si bien que l'échantillon contiendra

$$\frac{500}{0,5} = 1.000 \text{ unités d'échantillonnage.}$$

Une unité d'échantillonnage n'est pas nécessairement une parcelle d'un seul tenant, mais peut être constituée de plusieurs parcelles équidistantes. Par exemple, une unité d'échantillonnage d'une surface de 0,5 ha peut être constituée de deux parcelles de 50 m. de côté. On appelle ces sous-parcelles *unités de comptage* ou parcelles élémentaires (recording units); elles peuvent être identiques aux unités d'échantillonnage ou plus petites qu'elles. La manière dont les unités d'échantillonnage sont divisées en unités de comptage n'influe pas sur l'estimation du volume total ni sur le calcul de la précision.

C. — LES DIFFERENTES METHODES D'ECHANTILLONNAGE

1° *Echantillonnage strictement au hasard (unrestricted random sampling)*. — Un échantillon strictement au hasard est un échantillon pour lequel le choix de chaque unité qui le compose est fait strictement au hasard. Ainsi en adoptant les chiffres de l'exemple précédent, un échantillon strictement au hasard obtenu avec une intensité d'échantillonnage de 10 % serait composé de 1.000 unités, chaque unité étant choisie au hasard et indépendamment des autres. On obtient un tel échantillon en numérotant les unités d'échantillonnage de 0 à 9999 et en choisissant 1.000 nombres de 4 chiffres différents à l'aide d'une table de nombres de hasard, telle que celle de FISCHER et YATES (1).

En pratique, on adopte assez rarement cette méthode car une grande partie du peuplement risque de ne pas être représentée dans l'échantillon et une autre partie peut l'être d'une façon excessive. Aussi préfère-t-on la méthode d'échantillonnage par stratification.

2° *Echantillonnage par stratification (restricted ou stratified random sampling)*.

On divise la surface du peuplement en un certain nombre de blocs (strata ou blocks) et l'échantillon est constitué par l'ensemble des unités d'échantillonnage tirées au sort dans chacun de ces blocs et proportionnellement à la dimension de ceux-ci. La dimension des blocs est, en général, la même mais elle peut être différente et cela n'a pas d'importance.

Ainsi, avec la même intensité d'échantillonnage de 10 %, on peut diviser la forêt en 100 blocs de 5.000 m. \times 100 m. soit 50 ha. et à l'intérieur de chaque bloc, on choisit entièrement au hasard 10 unités de 100 m. \times 50 m.; on obtient ainsi un total de 1.000 unités d'échantillonnage. On peut envisager des dispositifs très variés, par exemple : 500 blocs de 10 ha avec 2 unités d'échantillonnage par bloc ou 1.000 blocs de 5 ha avec 1 unité d'échantillonnage par bloc (forme extrême de la stratification).

3° *Echantillonnage systématique (systematic sampling)*.

La position de toutes les unités d'échantillonnage est déterminée conformément à un schéma arbitraire fixé à l'avance ; le plus généralement on adopte un espacement régulier des unités.

Ainsi avec la même unité d'échantillonnage de 0,5 ha, on obtient un échantillon systématique de 10 % en prenant par exemple les unités portant un numéro pair (2, 4, 6... 100) dans les rangées portant les numéros 5, 10, 15, 20, 25... 95, 100.

(1) Statistical tables for Biological Agricultural and Medical Research. 3^e éd. Oliver et Boyd. Edimburgh.

Ce type d'échantillon systématique est souvent décrit sous le nom de « grid sample ». La position de chaque unité est déterminée quand celle de la première unité a été fixée.

D. — L'ECHANTILLONNAGE PAR BANDE (STRIP SAMPLING)

Dans certains types de forêts et plus particulièrement dans les forêts à sous-bois dense, le dénombrement de petites unités d'échantillonnage serait trop coûteux puisqu'il faudrait ouvrir un sentier pour atteindre chaque unité à partir d'une ligne de base et la dépense provoquée par l'ouverture des sentiers serait hors de proportions avec la dépense causée par le comptage proprement dit. Aussi a-t-on adopté presque universellement l'unité d'échantillonnage en forme de bande étroite perpendiculaire à une ligne de base et traversant complètement la forêt. C'est l'échantillonnage en bande (strip sampling).

La surface d'une telle unité d'échantillonnage est en général beaucoup plus grande que celle de l'unité carrée ou rectangulaire et pour obtenir une même précision, l'intensité d'échantillonnage dans ce cas doit être sensiblement plus forte que dans le cas où l'on a un échantillon composé d'unités beaucoup plus petites. Malgré cet inconvénient, on préfère l'échantillonnage par bande, en raison de son prix de revient bien plus bas.

L'échantillonnage par bandes peut être fait strictement au hasard, par stratification ou systématiquement. Si nous reprenons l'exemple ci-dessus d'un massif forestier de 5.000 ha, divisons-le en bandes de 20 m. de large et de 5 km de long, de façon à obtenir 500 bandes étroites.

— Pour obtenir un échantillon strictement au hasard d'une intensité de 10 %, il suffit de tirer au sort 50 bandes parmi ces 500 bandes.

— Pour obtenir un échantillon stratifié de 10 %, on peut par exemple diviser la forêt en 10 blocs successifs de 50 bandes et tirer au sort dans chacun de ces blocs 5 bandes ou bien diviser la forêt en 25 blocs successifs de 20 bandes et tirer au sort dans chacun de ces blocs 2 bandes.

— Pour obtenir un échantillon systématique de 10 %, il suffit par exemple de prendre chaque 10^e bande, la première étant choisie au hasard, soit par exemple la bande n° 5 ; l'échantillon est alors constitué par l'ensemble des bandes numérotées 5, 15, 25, 35... 495.

Le schéma ci-dessous (fig. 1 à 3) représente les trois méthodes d'échantillonnage en bande pour une forêt de 400 m. \times 1.600 m., divisée en 40 bandes de 40 m. \times 400 m.

L'échantillon, qui porte sur 20 % de la surface du peuplement, est constitué par 8 unités

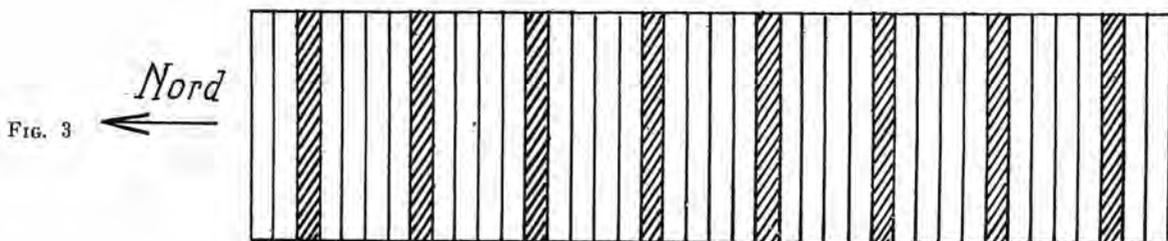
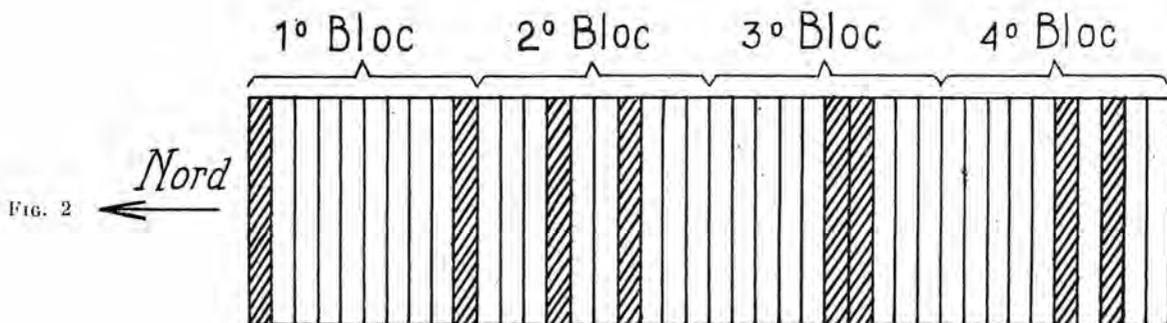
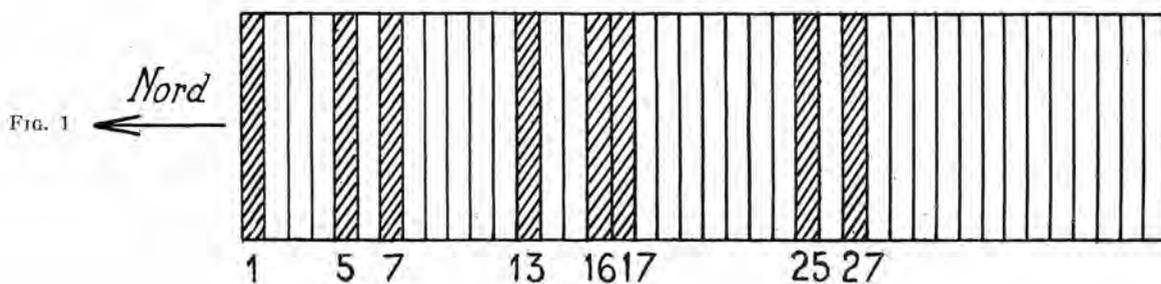


FIG. 1. — Echantillon strictement au hasard
 FIG. 2. — Echantillon stratifié
 FIG. 3. — Echantillon systématique

d'échantillonnage en forme de bandes étroites :

a) Ces 8 bandes sont tirées au sort pour l'échantillon strictement au hasard ; ce sont les bandes : 1, 5, 7, 13, 16, 17, 25, 27 (fig. 1).

b) Elles sont tirées au sort 2 par 2 dans chacun des 4 blocs pour l'échantillon stratifié (fig. 2).

c) Elles sont disposées régulièrement dans l'échantillon systématique : ce sont les bandes n° 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38, la première bande (n° 3) ayant été tirée au sort parmi les nombres 1, 2, 3, 4, 5 (fig. 3).

On remarquera dans cet exemple que les parcelles sud de la forêt n'ont pas été représentées dans l'échantillon, strictement au hasard (cf. I.C.I.).

E. — CONDITIONS A REMPLIR POUR OBTENIR UN ECHANTILLON REPRESENTATIF

1° Elimination de l'erreur systématique (bias)

Afin d'obtenir un échantillon aussi représentatif que possible, il est indispensable d'éliminer toute erreur systématique (bias). Pour cela, on doit choisir les unités d'échantillonnage d'une façon entièrement objective et se conformer aux règles strictes relatives à la mise en place des unités d'échantillonnage : tirage au sort des unités d'échantillonnage dans le cas d'échantillonnage strictement au hasard ou stratifié, tirage au sort de la première unité dans le cas de l'échantillonnage systématique (FINNEY) (5).

2° Précision

L'estimation doit être aussi précise que possible pour un prix de revient donné.

La précision dépend de l'intensité d'échantillonnage, elle augmente quand la dimension de l'échantillon augmente, ce qui est bien évident.

Pour une même intensité d'échantillonnage, elle augmente quand le nombre des unités d'échantillonnage augmente, un échantillon composé de 1.000 unités d'échantillonnage d'une surface unitaire de 0,5 ha est plus précis qu'un échantillon composé de 500 unités ayant chacune une surface de 1 ha.

La forme de l'unité d'échantillonnage influe sur la précision; il semble que la forme carrée soit la plus intéressante. Cependant, si la forêt présente une variation marquée de rendement dans une direction donnée, on aura une précision supérieure en utilisant des unités d'échantillonnage longues et étroites et disposées parallèlement à cette direction [FINNEY (4)]. On a vu plus haut qu'en pratique l'unité d'échantillonnage en forme de bande étroite était souvent la seule utilisable.

Notons enfin que, pour un même plan d'échantillonnage, la précision dépend du coefficient de variation de la forêt, c'est-à-dire de son homogénéité, et de la surface de la forêt à inventier.

3° Erreur due au personnel chargé du comptage

Il est bien évident qu'en dehors de l'erreur due à la méthode, il faut tenir compte de celle due au personnel chargé du comptage. Pour réduire cette erreur, il faut employer un personnel bien entraîné, bien payé, doté d'un bon équipement et surveillé de très près [BRASNETT (3)]. On doit toujours prévoir, lors des comptages, un système de contrôle étendu à tous les stades du travail; en particulier, on doit organiser des comptages de contrôle dans certaines unités d'échantillonnage [FINNEY (5)].

Il est aussi indispensable de posséder une très bonne carte du massif à étudier.

Enfin les calculs statistiques, quoique simples dans leur principe, sont longs et il faut les exécuter avec le plus grand soin.

II. — ETUDE DES DIFFERENTS PLANS DE COMPTAGE PAR ECHANTILLONNAGE ACTUELLEMENT UTILISES — CHOIX DE LA METHODE DE COMPTAGE

Nous analyserons dans ce chapitre les différents plans de comptage par échantillonnage qui ont été appliqués dans des types de forêts très variés. Il y a lieu de distinguer les inventaires forestiers faits sur de grandes surfaces (de 100.000 à plusieurs millions d'ha) et les inventaires forestiers faits sur des surfaces moyennes (moins de 10.000 ha en général).

A. — ESTIMATION DU VOLUME DE BOIS SUR PIED PAR ECHANTILLONNAGE SUR DE GRANDES SUPERFICIES A L'AIDE DE PHOTOS AERIENNES

Cette méthode a été décrite par F. A. JOHNSON dans deux articles très intéressants parus récemment (10 et 11). Elle a été appliquée avec succès à l'inventaire de peuplements forestiers (forêt mélangée de résineux) du Nord-Ouest des Etats-Unis, dans les Etats d'Oregon et de Washington sur des surfaces allant de dix mille à deux millions d'hectares environ.

1° Principe de la méthode

Il s'agit d'une méthode d'échantillonnage strictement au hasard, le choix des unités d'échantillonnage étant fait par tirage au sort. Une amélioration de cette méthode consisterait dans l'emploi de la stratification, ce qui ne semble pas soulever de difficulté spéciale.

2° Description de la méthode

On délimite sur les photos aériennes du massif forestier, au besoin avec l'aide d'un stéréoscope, les différents types de peuplements avec les différentes classes d'âge qu'on peut y distinguer. On contrôle ensuite sur le terrain cette délimitation et on la rectifie si nécessaire; on reporte en même temps sur les photos tous les repères observés sur le terrain.

Les données des photos aériennes ainsi complétées, sont reportées sur une carte topographique de base et l'on peut alors déterminer la surface des différents types de peuplement (par planimétrie ou une méthode graphique quelconque).

L'estimation du volume de bois est faite dans chaque type de peuplement, soit en prenant séparément le volume de la futaie et celui du perchis, soit globalement. Le choix des unités d'échantillonnage est fait au hasard: tirage au sort de chaque photo suivi du tirage au sort d'un point, centre de parcelles d'échantillonnage, sur chaque photo. Le repérage en forêt des parcelles d'échantillonnage ainsi choisies ne présente aucune difficulté grâce aux repères qui ont été marqués lors du premier passage en forêt. La surface des unités d'échantillonnage adoptée par JOHNSON est, en général, de



(Photo P. Ichac)

La forêt équatoriale

24 ares (1). Ces unités d'échantillonnage sont elles-mêmes composées de 3 unités de comptage, c'est-à-dire de sous-parcelles ayant une superficie de 8 ares et distantes d'environ 120 m. On obtient le volume total d'un type de peuplement en multipliant le volume moyen par hectare de l'échantillon par la surface couverte par ce type de peuplement.

(1) Les chiffres de longueur et les surfaces exprimés en « chains » et « acre » dans les textes anglais ont été convertis en mètre et hectare ou are et arrondis pour la commodité de l'exposé.

3° Nombre d'unités d'échantillonnage

Le nombre d'unités d'échantillonnage dépend de l'erreur d'échantillonnage que l'on s'est fixée et de la variation dans le volume des unités d'échantillonnage constituant l'échantillon exprimé par le coefficient de variation (2).

F. A. JOHNSON donne dans son article (10) un tableau indiquant le nombre de parcelles d'échantillonnage qu'il faut prendre pour un coefficient de variation donné et une erreur d'échantillonnage donnée. Nous le reproduisons ci-après car il peut être très utile :

(2) Voir en appendice : définition et calcul du coefficient de variation.

Nombre de parcelles d'échantillonnage à inclure dans un plan de comptage.

Coefficient de variation	Erreur d'échantillonnage pour cent du volume total pour une probabilité de 0,15									
	2	4	6	8	10	12	14	16	25	20
%										
40	1536	388	172	98	64	45	34	26	18	12
42	1693	428	190	108	70	49	37	29	19	13
44	1859	469	209	119	77	54	40	32	21	14
46	2031	508	228	130	84	59	44	34	23	15
48	2212	553	248	141	91	64	47	37	24	17
50	2400	600	270	153	98	69	52	40	26	18
52	2596	649	291	164	106	74	55	43	28	19
54	2799	700	314	177	114	80	60	46	30	20
56	3011	753	338	190	123	86	64	49	33	22
58	3229	807	363	204	132	93	68	53	35	23
60	3456	864	388	218	141	98	73	56	37	24
62	3690	983	414	233	151	105	78	60	39	26
64	3932	923	442	248	160	111	83	64	42	28
66	4182	1045	470	264	169	119	88	68	44	29
68	4439	1110	498	280	179	126	93	72	47	31
70	4704	1176	523	297	190	133	98	76	49	33
72	4977	1244	553	314	201	141	104	80	52	34
74	5257	1314	584	332	212	149	110	85	55	36
76	5545	1386	616	350	223	157	116	89	58	38
78	5841	1460	649	369	236	164	122	94	61	40
80	6144	1536	683	388	248	172	128	98	64	42
82	6455	1614	717	408	261	181	134	103	67	44

Si l'erreur d'échantillonnage est fixée à l'avance — par exemple, on admet couramment une erreur d'échantillonnage de 10 %, — il n'en est pas de même pour le coefficient de variation. On prend pour valeur de ce coefficient un chiffre basé sur les résultats des inventaires effectués dans des conditions identiques. L'auteur donne, dans ce but, un tableau des facteurs influant sur le coefficient de variation de 9 types de peuplements mais nous ne le reproduisons pas ici car il n'est valable que pour des forêts du Nord-Ouest des Etats-Unis.

**B. — ESTIMATION DU VOLUME DE BOIS
SUR PIED PAR ECHANTILLONNAGE
SUR DES SURFACES MOYENNES
(10.000 Ha. ou moins)**

C'est la méthode désignée aux Etats-Unis sous le nom de timber cruise ».

L'échantillonnage par bande est à peu près universellement adopté dans les forêts tropicales ainsi que nous l'avons vu plus haut (I.D.). Nous décrirons cependant dans un deuxième paragraphe une méthode d'échantillonnage par parcelles carrées.

1° Echantillonnage par bandes

Nous passerons en revue les travaux effectués aux Indes, à Java, à Bornéo et en Guyane hollandaise, puis nous examinerons les résultats de l'étude statistique faite par le Dr FINNEY portant sur des comptages effectués aux Etats-Unis et aux Indes.

a) COMPTAGES EFFECTUES AUX INDES

Aux Indes, le Dr GRIFFITH a étudié l'échantillonnage systématique par bande dans trois types de forêts :

- Forêt à feuilles persistantes de Madras (Madras evergreen Forest) : échantillonnage par bandes de 40 m. de large composées d'unités de comptage de 40 ares.
- Forêt à feuilles caduques de Madras (Madras deciduous forest) : échantillonnage par bandes de 60 m. de large, composées d'unités de comptage d'une surface de 40 ares.
- Forêt de *Pinus longifolia* du Punjab (Punjab Chir Pine Forest), où les unités d'échantillonnages avaient différentes dimensions.

Il a conclu de ces recherches, d'une part, que l'échantillonnage systématique est préférable à l'échantillonnage au hasard pourvu qu'il soit

tenu compte des variations de fertilité dans la forêt (cf. I.E. 2); d'autre part, que des comptages portant sur 5 à 10 % des forêts à feuilles persistantes et des forêts de *Pinus longifolia* ou portant sur 2 1/2 à 5 % dans les forêts à feuilles caduques sont probablement suffisantes [BRASNETT (3) — NAIR (14)].

b) A JAVA, on a adopté l'échantillonnage systématique [TIDEMAN (18)]. On a utilisé dans ce pays des bandes parallèles équidistantes de 20 m. de large et de 200 à 1.000 m. de longueur avec une intensité d'échantillonnage variant de 2 % dans les peuplements forestiers dépassant 10.000 ha. à 10 % dans les peuplements inférieurs à 1.000 ha. (cf. I.E. 2. Influence de la surface de la forêt à inventorier sur la précision de l'estimation).

c) A BORNEO, pour faire l'inventaire du Bois de Fer de Bornéo (*Eusideroxylon zwageri*) dans la forêt ombrophile mélangée du Sud-Est de cette île, on a utilisé des bandes parallèles de 20 m. de large distantes de 1 km. et divisées en unités de comptage ayant 100 m. de longueur [BOON (2)].

L'analyse de cet inventaire a montré que l'erreur d'échantillonnage est inversement proportionnelle à la racine carrée de la surface du peuplement.

d) EN GUYANE HOLLANDAISE, on a fait le comptage avec une intensité de 2 % à l'aide de bandes parallèles de 20 m. de large et distantes de 500 m. [SWABEY (17)].

e) Malheureusement, la plupart de ces comptages n'ont pas fait l'objet d'une analyse statistique poussée. Le Dr FINNEY a le mérite d'avoir repris à fond l'étude de ce problème à partir de comptages complets effectués sur la surface totale de deux forêts : la forêt de Blacks Mountain, étudiée auparavant par HASEL aux Etats-Unis et la forêt de Mount Stuart, étudiée auparavant par GRIFFITH aux Indes.

Cette étude a porté sur la comparaison de la précision de différents procédés d'échantillonnage à des intensités d'échantillonnage différentes (de 1/2 à 1/32) :

MÉTHODES ÉTUDIÉES :

Méthode 1. — Echantillonnage strictement au hasard ;

Méthode 2. — Echantillonnage par stratification avec 2 unités d'échantillonnage par bloc ;

Méthode 3. — Echantillonnage par stratification avec 1 unité d'échantillonnage par bloc ;

Méthode 4. — Echantillonnage systématique.

FORÊTS ÉTUDIÉES :

1° Forêt de Blacks Mountain.

C'est une forêt de 2.300 ha. environ, située au Nord-Est de la Californie et constituée pour 90 % de son volume par des *Pinus Ponderosa* et *Pinus Jeffreyi*. Ce massif forestier, de forme régulière, a été divisé en 288 bandes de 1.600 mètres de long et de 50 m. de large, chaque bande étant composée de 8 unités de comptage de 50 m. × 80 m.

2° Forêt de Mount Stuart.

C'est une forêt de 3.000 ha. environ située au Sud de Coimbatore, province de Madras, du type forêt mélangée tropicale à feuilles caduques (tropical deciduous forest). Ce massif forestier, de forme irrégulière, a été divisé en 160 bandes de 60 m. de large, chaque bande étant constituée de 15 à 45 unités de comptage de 60 m. × 100 m.

f) COMPARAISON DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE COMPTAGE..

Les deux tableaux ci-dessous, extraits de l'analyse statistique des comptages de ces deux forêts parus dans *Forestry* (FINNEY — 5), montrent clairement la valeur relative des différentes méthodes d'échantillonnage étudiées :

Tableau I. — Erreur d'échantillonnage pour cent pour la Forêt de Mount Stuart

Intensité d'échantillonnage	1 sur 5		1 sur 10		1 sur 20	
	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
Probabilité de dépasser l'erreur						
Méthode d'échantillonnage :						
Méthode 1	9,4	12,4	14,2	18,6	20,6	27,1
» 2	4,8	6,3	8,1	10,7	13,4	17,6
» 3	4,3	5,6	7,3	9,5	11,9	15,7
» 4	4,0	5,2	6,9	9,1	11,7	15,4



Tableau II. — Erreur d'échantillonnage pour cent pour la Forêt de Blacks Mountain

Intensité d'échantillonnage	1 sur 8		1 sur 16		1 sur 32	
	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
Méthode d'échant. :						
Méthode 1	7,3	9,5	10,6	14,0	15,3	20,1
» 2	4,9	6,4	8,0	10,6	12,8	16,8
» 3	4,5	6,0	7,3	9,5	11,3	14,9
» 4	4,0	5,3	6,8	9,0	11,4	15,0

g) CONCLUSIONS.

Bien que les conclusions du Dr FINNEY soient basées sur deux forêts seulement, la concordance remarquable de ces deux séries de résultats permet de les considérer comme une indication pour les autres forêts :

1° Un échantillon stratifié ou systématique contenant de 30 à 35 bandes et représentant environ le 1/5^e ou le 1/8^e de la surface de la forêt donne une estimation du volume avec une erreur inférieure à 5 %, Un échantillonnage réalisé avec une intensité deux fois moins forte donnerait une estimation avec une erreur inférieure à 10 %.

2° L'échantillonnage strictement au hasard est moins précis que les autres procédés.

3° L'échantillonnage stratifiée avec une bande par bloc est plus précis que l'échantillonnage stratifié avec 2 bandes par bloc, mais on doit lui préférer cette dernière méthode car celle-ci permet le calcul de l'erreur d'échantillonnage à partir d'un seul échantillon.

4° L'échantillonnage systématique est sensiblement plus précis que l'échantillonnage stratifié, mais il ne permet pas le calcul de l'erreur d'échantillonnage à partir d'un seul échantillon et l'on doit en principe lui préférer l'échantillonnage stratifié avec 2 bandes par bloc.

2° Echantillonnage par parcelles carrées régulièrement espacées

Cette méthode d'échantillonnage systématique peut avoir un intérêt dans quelques cas particuliers : inventaires de peuplements purs ou mélangés à sous-bois peu dense, facilement accessibles et d'une surface relativement petite (de l'ordre de 10 à 100 ha.). Nous signalons donc la formule très pratique mise au point pour des forêts de résineux du Nord des Etats-Unis ou des peuplements mélangés du Centre des Etats-Unis [BARTON & SCOTT (1)]. Cette formule permet de déterminer approximativement l'intensité d'échantillonnage en fonction de la surface des unités d'échantillonnage, du coefficient de

variation du peuplement, de la surface totale de la forêt à inventorier et de la précision qu'on s'est fixé.

La formule de base est la suivante :

$$P = \frac{400 \text{ ac}^2}{A (e)^2 + 4 \text{ ac}^2}$$

P est l'intensité d'échantillonnage nécessaire, a est la surface de l'une des parcelles en ha., soit par exemple 0,2 ha.,

c est le coefficient de variation du peuplement, prenons par exemple : c² = 0,25,

A est la surface totale de la forêt pour laquelle on calcule l'intensité d'échantillonnage ; prenons par exemple cette surface totale égale à 200 ha.,

e est l'erreur d'échantillonnage pour cent exprimées sous forme de décimale, soit par exemple : 0,20,

Exemple :

$$P = \frac{400 \times 0,2 \times 0,25}{200 \times (0,20)^2 + 4 \times 0,2 \times 0,25}$$

d'où :

$$P = 2,4 \%$$

ce qui représente un échantillon de 4,8 ha. pour une surface totale de 200 ha. ou 24 parcelles de 0,2 ha.

La formule de base a été simplifiée pour donner le nombre de parcelles (N) à la place de l'intensité d'échantillonnage (P) et l'expression 4 fois le coefficient de variation au carré (4c²) a été remplacée par le facteur de peuplement (f) d'une valeur équivalente. Ces facteurs provenant de la table de GEVORKIANTZ et DUERR pour des peuplements mélangés de bois d'œuvre sont indiqués dans la table ci-après (page 165 en haut à gauche) :

La formule de base simplifiée utilisant les symboles indiqués ci-dessus est la suivante :

$$N = \frac{A (f)}{A (e)^2 + a (f)}$$

Facteurs de peuplement

Régularité du peuplement	Densité du peuplement		
	bonne (plus de 2/3)	moyenne (1/3 à 2/3)	faible (moins de 1/3)
Bonne régularité (moins de 20 % de clairières) ..	f	f	f
Régularité moyen- ne (20 à 40 % de clairières) ..	0,2	0,6	2
Clairié (40 % ou plus de clairières).	—	2	6

La formule de base simplifiée peut être transformée en une formule utile permettant de

déterminer l'erreur d'échantillonnage; cette formule utilisant les mêmes symboles que ci-dessus, est la suivante :

$$e = \frac{A - Na}{AN} \times f$$

3^o Conclusion. — Choix de la méthode d'échantillonnage

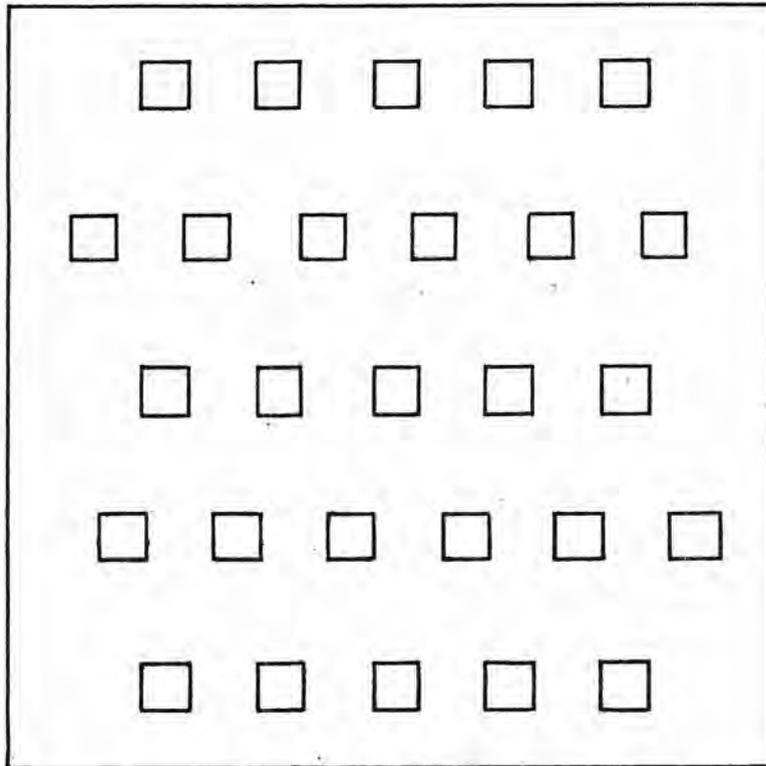
Il ressort de l'exposé ci-dessus que c'est l'échantillon *stratifié composé de bandes de 20 m. de largeur qui donne l'estimation du volume la plus précise pour une intensité d'échantillonnage donnée.*

On devra donc utiliser de préférence cette méthode. *On adoptera cependant l'échantillonnage systématique par bandes de 20 m. de largeur ou plus (jusqu'à 60 m.) si sa mise en place est plus facile et si l'on ne juge pas indispensable de connaître la précision de l'échantillonnage.*

SCHEMA DE PLAN D'ECHANTILLONNAGE

concernant un peuplement de 40 ha

[d'après *Simplified Guide to Intensity of cruise* (1)]



L'échantillon est composé de 27 parcelles de 0,2 ha, espacées d'environ 80 × 80 m.

Ce plan donnera une erreur de :

- 10 à 15 % si le peuplement est dense et homogène,
- .. 15 à 20 % si le peuplement est moyen,
- ~ 20 à 25 % si le peuplement est clairié.

a) Intensité de l'échantillonnage

En réalité, l'on ne peut connaître exactement à l'avance l'intensité de l'échantillonnage nécessaire pour obtenir une précision donnée si l'on ne dispose pas de résultats de comptages relatifs à des peuplements identiques. Les chiffres donnés plus haut ne sont que des ordres de grandeur. C'est aux stations de recherches forestières qu'il incombe de mettre au point les méthodes de comptage les plus économiques (cf. ci-dessous : IV.A).

Nous pourrions cependant admettre avec GRIFFITH que des comptages portant sur 5 à 10 % des forêts à feuilles persistantes ou portant sur 2 1/2 à 5 % dans des forêts à feuilles caduques

III. — EXECUTION SUR LE TERRAIN DE COMPTAGE PARTIELS

Nous n'envisagerons ici que le comptage par bande stratifié ou systématique. On trace ces bandes parallèlement les unes aux autres sur une carte aussi précise que possible du massif forestier ; leur direction doit être perpendiculaire à l'axe longitudinal du peuplement ou bien, si l'on a constaté une variation de fertilité dans une direction donnée, on les dispose parallèlement à cette direction. En pays montagneux, leur direction doit être perpendiculaire aux lignes de crêtes et aux axes des vallées principales.

Les axes des bandes sont tracés en forêt à l'aide de la boussole. Un excellent article concernant l'exécution de l'inventaire forestier a été publié récemment dans *Tectona* (18), dont nous extrayons le passage suivant :

« L'inventaire par bande lui-même est effectué par des équipes mobiles composées d'un officier forestier assisté de garde-forestiers. Les axes des bandes sont tracés dans la forêt à l'aide d'une « boussole Tranche Montagne » (B.T.M.) ou d'une boussole de bonne qualité suivant l'azimut déterminé sur la carte. Une méthode rapide et relativement précise est souvent employée, qui consiste à indiquer la direction de la bande à l'aide de trois piquets ou plus qui sont alternativement avancés dans la direction indiquées par la B.T.M. De temps en temps, il est nécessaire de faire un contrôle à la boussole.

« A l'aide d'une chaîne d'arpenteur de 20 m. de long et de la B.T.M. ou du clinomètre de poche (type méridien) et de tables de distances, la distance horizontale de chaque portion de 20 m. est estimée et matérialisée le long de l'axe de la bande au moyen de piquets. Chaque hectomètre et chaque kilomètre sont indiqués sur les arbres par le n° de la bande et celui de l'hectomètre. A gauche et à droite de chaque piquet et à 10 m. de distance de l'axe, on place bien visiblement des pieux. Ceux-ci indiquent la largeur

sont probablement suffisants, et avec FINNEY qu'« un échantillon de 30 à 35 bandes et représentant environ le 1/5^e ou le 1/8^e de la surface de la forêt, donne une estimation du volume avec une erreur inférieure à 5 % et qu'un échantillonnage réalisé avec une intensité deux fois moins forte donnerait une estimation avec une erreur inférieure à 10 % ».

b) Calcul de la précision

Le calcul de la précision du comptage offre un très grand intérêt, mais il ne pourra être fait à partir d'un seul échantillon qu'à la seule condition que l'on adopte l'échantillonnage strictement au hasard ou l'échantillonnage stratifié avec au minimum deux unités d'échantillonnage par bloc.

de la bande (20 m.). Le système de bandes doit être raccordé au moins à un point de triangulation dans le voisinage dont on connaît les coordonnées et l'altitude.

« Finalement, chaque arbre, se trouvant dans la bande et ayant un diamètre à hauteur d'homme de plus de 15 cm., est marqué à hauteur des yeux par enlèvement de l'écorce en prenant soin qu'une exsudation de gomme ou de résine ne se produise pas et par inscription d'un numéro. Des plaques de zinc portant des numéros marqués au marteau et cloués sur les arbres ont l'avantage de durer plus longtemps.

« Pour chaque arbre recensé, on note : le nom local de l'arbre, le diamètre à hauteur d'homme (1 m. 30) ou juste au-dessus des contreforts, la longueur de la bille jusqu'à la première fourche (contreforts exclus).

« Toutes les mesures de longueur et d'inclinaison des bandes sont regroupées. En même temps, on fait une carte schématique sur laquelle on indique sommairement les courbes de niveau, les rivières, les différences facilement visibles dans la végétation et tous autres détails utiles.

« Toutes les mesures concernant les arbres sont notées sur un calepin comportant différentes colonnes pour : les hectomètres de bande, le nombre d'arbres, les classes de diamètre, les longueurs de troncs et les volumes. Les classes de diamètre sont délimitées de la manière suivante : classe de diamètre n° 1 entre 5 et 15 cm., classe de diamètre n° 2 entre 15 et 25, etc. La plupart des énumérations négligent les arbres en-dessous de 15 cm. de diamètre.

« Chaque bande a sa propre numérotation des arbres. Le volume de chaque arbre recensé est calculé d'après une courbe faite avec les diamètres et hauteurs, en tenant compte d'un facteur de forme égal à 0,7. Ce facteur a été considéré comme une valeur moyenne, de laquelle



chaque espèce d'arbre diffère en plus ou en moins. Il est employé jusqu'à ce que des tables de volume pour chaque espèce aient été mises au point par l'Institut de Recherches Forestières.

« Lorsque l'inventaire est terminé, tous les renseignements des mensurations des bandes

sont tracés sommairement sur une carte définitive à une échelle de 1/10.000^e à l'aide de la première carte schématique. On fait les profils en long des bandes en employant des échelles de 1/10.000^e et 1/5.000^e pour les distances et de 1/500^e à 1/200 pour les altitudes suivant la topographie du peuplement. »

IV. — RECHERCHES FORESTIERES

A. — MISE AU POINT DE METHODE DE COMPTAGE PAR ECHANTILLONNAGE

On a vu plus haut (II.B.3.a) qu'il appartenait aux stations de recherches forestières de mettre au point pour chaque type de forêt la méthode de comptage la plus efficace et la plus économique. Ce travail a été fait pour deux forêts (II.B.1.e.); il doit être généralisé et de l'examen des données provenant de régions différentes, il sera sans doute possible d'établir des règles générales d'échantillonnage en forêt.

La mise au point d'une méthode de comptage pour un type de peuplement donné consiste à faire l'inventaire complet de la forêt par bandes (ou autre unité d'échantillonnage si on le désire), divisées elles-mêmes en unités de comptage, puis de faire l'analyse statistique : il s'agit de calculer les variances par bande pour les différents types d'échantillonnage (strictement au hasard, stratifié, systématique) à des intensités d'échantillonnage différentes, puis de comparer l'efficacité des différentes méthodes.

L'étude détaillée de l'analyse statistique des comptages sortirait du cadre de cet article, elle a été exposée clairement par FINNEY dans un article paru récemment dans *Forestry* (5), auquel nous renvoyons le lecteur qui désirerait faire de tels calculs.

B. — ETUDE DE LA REGENERATION NATURELLE

C'est encore à l'échantillonnage que l'on doit faire appel pour chiffrer l'importance de la régénération naturelle en forêt dense. R.-C. BARNARD (22) a publié récemment un compte rendu intéressant concernant l'utilisation de méthode d'échantillonnage pour l'étude de cette importante question de sylviculture.

C. — ETUDE DES ECLAIRCIES

On a appliqué avec succès les méthodes statistiques aux recherches concernant les éclaircies, notamment en Ecosse [HUMMEL (9)] et en Afrique du Sud [WITCH, HUMMEL, FINNEY (21)]; on a fait d'abord des parcelles d'une surface de 4 ares disposées en carré latin (1); puis, cette surface s'étant révélée insuffisante, on l'a portée à 8 ares et plus.

La méthode du carré latin a donné des résultats intéressants, mais son application en forêt présente des difficultés parfois très grandes : il

est en effet souvent impossible de trouver une surface d'un seul tenant et suffisamment homogène pour la mise en place de ce dispositif expérimental et FINNEY (21) préconise l'utilisation de la méthode des blocs randomisés (1); cette méthode est d'ailleurs adoptée en Malaisie pour l'étude de l'Hévéa [SMITH (15)].

D. — EXPERIMENTATION EN PEPINIERE

Jusqu'en 1930, l'expérimentation en pépinière était basée uniquement sur la méthode du carré latin et la méthode des blocs. C'est seulement récemment que, sous l'impulsion du Dr E.M. CROWTHER, de Rothamsted, que s'est développé l'emploi des expériences factorielles (1) qui s'est révélé bien supérieur au point de vue efficacité et prix de revient; ce dispositif expérimental permet, en effet, de mettre en évidence les différentes interactions [GUILLEBAUD (8)].

E. — ESTIMATION DU VOLUME NET DU BOIS SUR PIED PAR ECHANTILLONNAGE

Le but des inventaires forestiers est de donner une estimation du volume brut. Mais lorsqu'il s'agit de coupes d'amélioration faites dans des stations de recherches ou destinées à la vente, il est intéressant de pouvoir estimer sur pied le volume de bois net.

Une méthode permettant de faire cette estimation a été mise au point aux Etats-Unis [LEXEN (12)]; elle est basée sur le principe du double échantillonnage (double sampling). Le premier échantillon, qui constitue le grand échantillon, est composé d'environ 2.000 arbres choisis au hasard parmi les arbres marqués en abandon. On les cube sur pied, mais en raison de l'erreur systématique que comportent les tarifs de cubage et des défauts des arbres, ce cubage ne donne qu'une première estimation du volume total. Il est donc indispensable de tirer de ce grand échantillon un deuxième échantillon (petit échantillon) dont les arbres sont abattus et façonnés, ce qui permet d'établir la corrélation — qui souvent, d'ailleurs, n'est pas linéaire — entre le volume estimé et le volume net. On obtient ainsi un moyen simple de convertir le volume estimé (à l'aide du grand

(1) Voir FISHER (7), MASSIBOT (13), VESSEREAU (19 et 20).

échantillon) en volume net. L'importance du petit échantillon, c'est-à-dire le nombre d'arbres à abattre et à façonner, dépend dans une grande mesure du pourcentage des défauts des arbres. Pour des peuplements sains et si les mensura-

tions ont été bien faites, un petit échantillon d'une centaine d'arbres est suffisant; mais si le pourcentage de défauts s'élève à 30-35 %, on doit prendre environ 400 arbres pour constituer le petit échantillon.

DEFINITION DE QUELQUES TERMES DE STATISTIQUES UTILISES DANS CET ARTICLE

(Entre parenthèses, traduction en anglais du terme employé)

I. — VARIANCE OU CARRE MOYEN (variance)

La variation dans le volume des unités d'échantillonnage constituant l'échantillon est exprimée par la variance dont on désigne l'estimation par : S^2 .

$$S^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N - 1}$$

ou x = volume d'une unité (ou parcelle) d'échantillonnage quelconque,

\bar{x} = volume moyen d'une unité d'échantillonnage,

N = nombre d'unités d'échantillonnage constituant l'échantillon.

Pour calculer l'estimation de la variance de l'échantillon, on procède ainsi :

1° On calcule le volume moyen de l'unité (ou parcelle d'échantillonnage (\bar{x}) en additionnant le volume de toutes les parcelles et en le divisant par le nombre N de parcelles.

2° On calcule la différence ($x - \bar{x}$) entre le volume (x) de chaque parcelle d'échantillonnage et le volume moyen des parcelles (\bar{x}).

3° On élève au carré chacune de ces différences : $(x - \bar{x})^2$ et on fait la somme de toutes ces différences : $\sum (x - \bar{x})^2$.

4° On divise cette somme des carrés par le nombre ($N - 1$).

Cette méthode de calcul a été utilisée par certains auteurs dans le cas de l'échantillonnage systématique mais FINNEY rappelle qu'elle n'est valable que dans le cas de l'échantillonnage au hasard (5).

II. — ECART TYPE OU DEVIATION STANDARD OU ERREUR STANDARD (standard error)

C'est la racine carrée de la variance.

On désigne l'estimation de l'écart-type par la lettre S :

$$S = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N - 1}$$

III. — COEFFICIENT DE VARIATION OU DE VARIABILITE (coefficient of variation)

C'est une caractéristique relative du peuplement telle que :

$$Cv = \frac{100 S}{\bar{x}}$$

IV. — ECART TYPE DE LA MOYENNE (standard error of mean)

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

On peut l'exprimer sous forme de pourcentage du

volume moyen des parcelles d'échantillonnage; c'est alors :

$$S_x \text{ pour cent} = \frac{S_x \times 100}{\bar{x}}$$

V. — ERREUR D'ECHANTILLONNAGE (sampling error)

Elle s'exprime par l'intervalle de confiance ou limites fiduciaires pour une probabilité de... (limits of error for probability of...)

Si on adopte une probabilité de 0,05 (c'est le cas général), on obtient l'erreur d'échantillonnage en multipliant l'écart-type de la moyenne par 1,96, chiffre que l'on arrondit souvent à 2 :

E.E. = $S_x \times 1,96$ pour une probabilité de 0,05

On exprime souvent cette caractéristique sous la forme du pourcentage du volume moyen des parcelles d'échantillonnage (percentage limits of error ou average accuracy percent for a probability of 0,05).

Exemple [emprunté à FINNEY (5)] :

Si dans un échantillonnage l'écart-type de la moyenne pour cent est de 3,52, l'erreur d'échantillonnage pour cent pour une probabilité de 0,05 est de :

$$3,52 \times 1,96 = 6,9$$

Cela veut dire qu'il y a seulement 5 chances sur 100 (ou 1 chance sur 20) pour qu'une estimation t.m.³ basée sur cet échantillonnage s'écarte de la vraie valeur θ m³ de plus de 6,9 %.

$$\theta - \theta \frac{6,9}{100} < t < \theta + \theta \frac{6,9}{100}$$

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BARTON W. W. et SCOTT C. B. (1946) Simplified Guide to Intensity of Cruise. — *Journal of Forestry*, volume 44, n° 10, p. 750-754.
- (2) BOON D. A. (1949) De betrouwbaarheid van de proefbaanopnamen in het ijerhout-gabied van Zuidoost Borneo. — *Tectona* XXXIX, 1949, n° 4, p. 334-346.
- (3) BRASNETT N. V. (1946) The efficiency of enumerations. — *The Empire Forestry Review*, volume 25, n° 1, p. 42-46.
- (4) FINNEY D. J. (1947) Volume estimation of standing timber by sampling. — *Forestry*, volume XXI, n° 2, p. 179-203.
- (5) FINNEY D. J. (1948) Random and Systematic Sampling. — *Forestry*, volume XXII, n° 1, p. 64-99.
- (6) FINNEY D. J. (1949) The Elimination of Bias due to edge — Effects in forest sampling. — *Forestry*, volume XXIII, n° 1, p. 31-47.
- (7) FISHER R. A. Statistical Methods for research workers (Oliver & Boyd London). — Traduction française aux Presses Universitaires.
- (8) GUILLEBAUD W. H. (1946) Some recent developments in forest research. — *Forestry* volume XXII, n° 2, p. 145-157.

- (9) HUMMEL F. C. (1947) The Bowmont norway spruce sample plots. — *Forestry*, volume XXI, n° 1, p. 30-42.
- (10) JOHNSON F. A. (1949) Sampling for estimates of timber volume on large areas. — *The Timberman*, June 1949, volume L, n° 8, p. 68-72.
- (11) JOHNSON F. A. (1950) Estimating forest areas and volumes for large tracts. — *Journal of Forestry*, August 1950, volume 48, n° 8, p. 340-342.
- (12) LEXEN B. (1947) The determination of net volume by sample-tree measuring. — *Journal of Forestry*, jan. 1947, volume 45, n° 1, p. 21-32.
- (13) MASSIBOT J. A. (1946) La technique des Essais culturaux et des Etudes d'Ecologie Agricole. — Editions Georges Frères.
- (14) NAIR K. R. (1949) Sampling Techniques. — United Nations scientific conference on the conservation and utilisation of Ressources.
- (15) SMITH H. F. (1949) Replicated Experiments. — *Forestry*, volume XXIII, n° 1, p. 56-58.
- (16) SNEDECOR G. W. (1946) Statistical Methods. Iowa State College Press, p. 458 et suivantes.
- (17) SWABEY C. (1950) Forestry in dutch Guiana. — *The Empire Forestry Review*, volume 29, n° 2, June 1950, p. 125-131.
- (18) TIDEMAN P. (1950) Aperçus sur les méthodes d'inventaire forestier dans les îles voisines de Java. — *Tectona*, juin 1950, volume 40, n° 2, p. 119-126.
- (19) VESSEREAU A. (1948) Méthodes statistiques en biologie et en agronomie. — Baillière éditeurs.
- (20) VESSEREAU A. (1947). — La Statistique. — Presses Universitaires.
- (21) WITCHT C. L., Hummel F. C., FINNEY D. J. (1948) Replicated Experiments. — *Forestry*, volume XXII, n° 1, p. 113-117.
- (22) BARNARD R. C. Linear Regeneration Sampling. — *The Malayan Forester* (juillet 1950), 13, n° 3, p. 129-42.

N.D.L.R. — Il peut être intéressant de signaler que, aux Indes, le Service forestier étudie cette question de l'emploi des méthodes statistiques en matière forestière depuis 1929. Dès 1936, deux assistants sylviculteurs furent envoyés en stage d'un an à l'Institut indien des Statistiques à Calcutta ; en 1939, le 5^e Congrès de sylviculture décida d'inclure l'exposition de ces méthodes dans le Manuel expérimental destiné aux forestiers et enfin, en 1947, cette question se révéla tellement importante que le Manuel (qui porte maintenant le nom de Code de recherches sylvicoles) fut scindé en deux volumes, le volume II constituant le Manuel Statistique.

Quoique ce manuel soit d'une grande utilité, on se rendit compte que le sujet était tellement vaste qu'il nécessitait l'emploi constant d'un spécialiste. Aussi, dans le plan de réorganisation d'après-

guerre de l'Institut de Recherches forestières de Dehra-Dun, a-t-on prévu la création d'une Division des Statistiques, avec à la tête un spécialiste statisticien. Cette division fut créée le 1^{er} août 1947 et a depuis rendu les plus grands services. Voici d'ailleurs le plan schématique de l'organisation de l'Institut de Recherches forestières de Dehra-Dun aux Indes.

Enfin signalons que l'Institut de Recherches sur les huiles et oléagineux (I.R.H.O., 12, square Pétrarque, Paris 16^e), comprend également, adjoint à son Directeur, un ingénieur agronome, spécialiste des Statistiques, qui est chargé de mettre sur pied les plans d'expérience des Stations de recherches de l'I.R.H.O. (sur arachide, cocotier, palmier à huile...) et qui analyse les résultats obtenus dans ces stations.

