



**HAL**  
open science

# Recherches sur l'application aux taillis-sous-futaie des Méthodes Mathématiques-Statistiques d'Inventaire

Jean Pardé

► **To cite this version:**

Jean Pardé. Recherches sur l'application aux taillis-sous-futaie des Méthodes Mathématiques-Statistiques d'Inventaire. Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences Forestières, 1957, 15 (2), pp.455-557. hal-03483750

**HAL Id: hal-03483750**

**<https://hal.science/hal-03483750>**

Submitted on 16 Dec 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RECHERCHES SUR L'APPLICATION  
AUX TAILLIS-SOUS-FUTAIE  
DES  
**Méthodes Mathématiques-Statistiques**  
**d'Inventaire**

PAR

**J. PARDÉ**

Ingénieur des Eaux et Forêts  
à la 1<sup>re</sup> Section  
de la Station de Recherches et Expériences forestières



## CHAPITRE I

### GÉNÉRALITÉS

---

Les applications forestières de la méthode statistique prennent un développement considérable. Le lecteur encore peu familiarisé avec les calculs mathématiques-statistiques même simples, et leur emploi dans le domaine forestier, en fera un facile apprentissage en lisant une étude récente et claire de L. BRENAC et L. SCHAEFFER (5). On voudra bien essentiellement en retenir pour nous lire la partie qui concerne les inventaires de forêts par sondage (pages 17 à 24, pages 42 à 45) car c'est là notre propos.

On trouvera du reste, en annexe 5 à notre étude, les principes de base et les définitions des termes techniques que nous utiliserons couramment dans les lignes qui vont suivre.

En fait, les inventaires de forêts par sondage rentrent dans deux catégories :

1° les inventaires forestiers de vastes surfaces, du type des inventaires effectués à l'échelon national ;

2° les inventaires forestiers de surfaces moyennes — quelques centaines ou quelques milliers d'hectares — du type de ceux qu'on effectue en France pour la mise sur pied d'un aménagement de forêt : c'est de ceux-là que nous parlerons essentiellement.

Disons toutefois quelques mots des premiers.

Ils sont de plus en plus pratiqués un peu partout dans le monde, et le prochain inventaire national français sera un inventaire par sondages statistiques.

Les bases et modalités d'un semblable inventaire — photographies aériennes, méthodes de sondage, etc... — ont fait l'objet d'une récente publication en langue française de la F.A.O. (12), et DAGNELIE (6) en a fait une bonne étude générale et synthétique en 1956

Ce sont les Suédois qui, les premiers, ont inventorié leurs forêts par les méthodes mathématiques-statistiques.

L'essai initial en a été fait en 1911 dans la province de Värmland : étendu dès 1923 à l'inventaire général des forêts suédoises, il occupa dix équipes pendant sept étés consécutifs et donna lieu à un article très vivant d'un de ses réalisateurs dans la *Revue des Eaux et Forêts* (29). Il est intéressant de suivre l'évolution et le perfectionnement progressif en Suède des inventaires forestiers par

échantillonnage. Le deuxième inventaire eut lieu de 1938 à 1952. On peut s'en faire une idée assez précise en lisant VENET et NOISETTE (30). Le troisième inventaire — un modèle du genre — a débuté en 1953 et doit s'achever en 1962. Il en existe une analyse de choix en langue française, rédigée par le Chef de la Division de l'Inventaire forestier à l'Institut de Recherches Forestières de Stockholm (12).

D'une manière générale, les pays du nord de l'Europe sont passés maîtres dans ce genre d'inventaire, et on ne peut passer sous silence le travail considérable fait également en Finlande, dont a rendu compte ILVESSALO (15).

On trouvera quelques indications sur d'autres réalisations européennes récentes — Grande-Bretagne, Hollande, Autriche notamment — dans la *Revue Forestière Française* (22).

En fin de compte, il ne peut plus faire de doute qu'à l'échelon national ou même régional, les inventaires forestiers par échantillonnage ont acquis droit de cité et qu'ils seront de plus en plus employés et efficaces.

Qu'en est-il à l'échelle du simple massif forestier ?

---

## CHAPITRE II

**INVENTAIRES FORESTIERS  
ET AMÉNAGEMENT**

---

Qui rédige un aménagement se doit surtout de calculer correctement la possibilité de la forêt en cause. De plus en plus, et à juste titre, le volume prend le pas sur la contenance; c'est dire alors que l'aménagiste doit connaître avant toute chose l'importance du matériel sur pied existant dans chacune des coupes servant de base au calcul de la possibilité.

Comment sont connus ces volumes? A moins de s'en remettre à une simple évaluation subjective — ce qui ne viendrait à l'idée d'aucun technicien averti — il faut compter arbre par arbre tout ou partie des parcelles de la forêt et appliquer aux différentes catégories d'arbres le ou les tarifs de cubage préalablement déterminés.

Ces comptages totaux représentent pour certains services un travail énorme — et pour le budget de la Direction Générale une lourde mais nécessaire amputation.

Si on réussissait, dans certains cas, à les remplacer par un procédé d'exécution plus rapide — donc moins onéreux — et suffisamment précis tout de même, on pourrait avec les mêmes crédits évaluer les volumes existants sur davantage d'hectares.

D'où l'idée — qui fait son chemin à l'étranger, singulièrement en Allemagne — d'utiliser les inventaires par sondages dans le cas des inventaires forestiers locaux: on peut y gagner substantiellement du temps et de l'argent!

Comment orienter les recherches correspondantes?

Pour ce qui est de la France, le problème, pensons-nous, se présente ainsi:

**2I. — Cas des massifs traités en futaie**

**2II. — CEUX FAISANT DÉJÀ L'OBJET D'INVENTAIRES COMPLETS**

Il est probable que la majorité des forêts faisant actuellement l'objet de comptages méritent par la valeur de leurs bois — nous pensons à Tronçais par exemple, ou aux sapinières du type forêt

domaniale de la Joux — de ne pas voir simplifier les méthodes d'estimation du matériel sur pied.

On pourrait toutefois envisager certaines modifications ou améliorations.

*Exemple de modification:* en futaie régulière, dans la méthode du quartier bleu, on compte arbre par arbre la totalité des parcelles. On pourrait peut-être limiter ce procédé au quartier bleu lui-même, le restant de la forêt, parcouru par de simples coupes d'amélioration, ne faisant l'objet que d'un inventaire par sondage.

*Exemple d'amélioration:* en futaie régulière toujours, dans la méthode des affectations permanentes ou de l'affectation unique, on ne compte que les parcelles colloquées dans l'affectation à régénérer durant la période d'application de l'aménagement.

Les éclaircies, dans le restant de la forêt, sont assises simplement par contenance, et bien des ingénieurs regrettent de n'avoir aucune indication sur les cubes présumés réalisables à chaque passage dans les parcelles d'âge moyen.

Ce pourrait être le cas d'inventorier à bon compte ces parcelles par sondage.

Bien entendu, chaque sondage, s'il permet par la suite de calculer avec une approximation connue les volumes sur pied, peut être complété si besoin est par des mesures d'accroissement grâce à l'usage de la tarière de Pressler.

Il convient de remarquer du reste que la méthode employée depuis longtemps en France pour calculer les accroissements des peuplements par sondage à la tarière n'est ni plus ni moins qu'une méthode simplifiée d'échantillonnage statistique sans calcul d'erreur.

## 212. — LES MASSIFS NE FAISANT PAS L'OBJET D'INVENTAIRES COMPLETS

Nous pensons par exemple aux nombreuses séries de Pins noirs d'Autriche créées au début du siècle dans le sud du Massif Central, dans la Drôme et les Basses-Alpes, etc... La valeur relative réduite des bois qui les composent, la difficulté réelle de leur gestion ne semblent pas justifier l'emploi en ce qui les concerne d'inventaires complets: on pourrait là encore avoir recours aux inventaires par échantillonnage.

## 22. — Cas des taillis-sous-futaie et des forêts en conversion

On regrette souvent de mal connaître le matériel existant dans les taillis-sous-futaie à réserve riche tels qu'on en trouve par exem-

ple dans le val de Saône entre la côte bourguignonne et les premiers plis du Jura (18). Et quand on décide la conversion en futaie des forêts de ce type — conversion en futaie par bouquets par exemple (19) — on se doit de connaître le matériel existant dans une partie au moins des parcelles de la forêt.

Les comptages totaux dans les forêts du type taillis-sous-futaie sont souvent difficiles: il est tentant de les remplacer à l'occasion par de simples sondages convenablement répartis.

C'est sur ce point précis que porteront nos travaux.

---

## CHAPITRE III

## LES EXPÉRIMENTATIONS DÉJÀ FAITES

## 31. — Les travaux de Finney

Les premiers essais d'inventaire par sondage de massifs d'étendue moyenne — 2 à 3 000 hectares — ont été réalisés aux Indes par GRIFFITH (1945-1946) et aux Etats-Unis par HASEL (1938). Ils ont pu être contrôlés par la réalisation supplémentaire à titre expérimental des comptages complets des mêmes forêts. Et c'est FINNEY (7) qui en étudia par voie mathématique-statistique les caractéristiques.

Il est intéressant d'en noter — pour comparaison ultérieure — les résultats essentiels.

## 311. — FORÊT DE MOUNT STUART (Indes)

Cette forêt de 3 000 hectares est une forêt mélangée tropicale à feuilles caduques. Elle a été échantillonnée par bandes interrompues de 60 mètres de large, l'unité d'échantillonnage étant un rectangle de 60 ares (60 m  $\times$  100 m), à trois densités différentes de sondage: 1/5, 1/10, 1/20 et suivant quatre méthodes:

- méthode 1: échantillonnage strictement au hasard;
- méthode 2: échantillonnage stratifié — 2 unités d'échantillonnage par bloc;
- méthode 3: échantillonnage stratifié — 1 unité d'échantillonnage par bloc;
- méthode 4: échantillonnage systématique.

Les erreurs à craindre sur les volumes aux seuils de probabilité 95 % et 99 % — c'est-à-dire aux seuils de signification 5 % et 1 % — furent les suivantes:

TABLEAU I

Intensité d'échantillonnage ..	1/5		1/10		1/20	
	5 %	1 %	5 %	1 %	5 %	1 %
Seuils de signification .....	5 %	1 %	5 %	1 %	5 %	1 %
Méthode 1 .....	9,4	12,4	14,2	18,6	20,6	27,1
Méthode 2 .....	4,8	6,3	8,1	10,7	13,4	17,6
Méthode 3 .....	4,3	5,6	7,3	9,5	11,9	15,7
Méthode 4 .....	4,0	5,2	6,9	9,1	11,7	15,4

## 312. — FORÊT DE BLACKS MOUNTAIN (Californie)

Il s'agit d'une pineraie de 2 300 hectares (*Pinus ponderosa* et *Pinus Jeffreyi*). L'échantillonnage par unités de un hectare, comportait des bandes de 50 mètres de large.

Les volumes sont connus avec l'approximation suivante (même présentation que le tableau précédent).

TABLEAU 2

Intensité d'échantillonnage ..	1/8		1/16		1/32	
	5 %	1 %	5 %	1 %	5 %	1 %
Seuils de signification .....						
Méthode 1 .....	7,3	9,5	10,6	14,0	15,3	20,1
Méthode 2 .....	4,9	6,4	8,0	10,6	12,8	16,8
Méthode 3 .....	4,5	6,0	7,3	9,5	11,3	14,9
Méthode 4 .....	4,0	5,3	6,8	9,0	11,4	15,0

On ne peut qu'être frappé par l'excellente concordance des résultats, relatifs pourtant à des peuplements très différents.

## 32. — Recherches en Allemagne Orientale

Les études d'inventaires forestiers par les méthodes statistiques dans le cadre des aménagements de forêts ont pris tout récemment en Allemagne un grand développement.

En Allemagne Orientale, les recherches sont l'œuvre du Professeur A. RICHTER, d'Eberswalde, et de ses collaborateurs GROSSMANN et THIELE (26). La partie de forêt étudiée, gérée par la Station de Recherches Forestières d'Eberswalde, comprend 215 ha en 7 parcelles et 38 sous-parcelles, formées chacune de peuplements assez réguliers. Ses composantes végétales naturelles sont soit l'association chêne rouvre - charme, soit l'association pédonculé - charme suivant les stations. En fait, c'est le Pin sylvestre qui tient la place essentielle dans les peuplements (54 % du volume des bois sur pied), suivent le hêtre, mélangé de charme (37 %) et l'épicéa, le chêne et le bouleau (5 %), etc...

Les sept parcelles en cause ont tout d'abord fait l'objet d'un comptage total, arbre par arbre, à partir des diamètres de 7 cm à hauteur d'homme.

Puis on fit plusieurs inventaires par sondages à répartition d'abord *systématique* puis stratifiée et enfin au hasard. Les études antérieures faisaient en effet pressentir la supériorité des inventaires systématiques sur les autres, et la possibilité de leur appliquer tout de

même, en matière forestière, les formules mathématiques-statistiques valables seulement, pensait-on auparavant, dans le cas des inventaires au hasard.

RICHTER choisit des échantillons circulaires formés chacun de trois cercles concentriques :

1. — Cercle de rayon  $r$  : 2,82 m (1/4 are) — A l'intérieur de ce cercle sont comptées toutes les tiges de 7 cm de diamètre à hauteur d'homme et plus.

2. — Cercle de rayon  $r$  : 5,64 m (1 are) — A l'intérieur duquel sont comptées toutes les tiges de 10 cm de diamètre et plus.

3. — Cercle de rayon  $r$  : 11,28 m (4 ares) — A l'intérieur duquel sont comptées toutes les tiges de 25 cm de diamètre et plus.

Les résultats principaux sont les suivants :

1) Les inventaires systématiques donnent des résultats satisfaisants. Exemple :

Surface totale inventoriée : 215 ha.

Volume d'après inventaire complet : 48 976 m<sup>3</sup>.

Volume par sondage (1 cercle de 4 ares par ha) : 46 951 m<sup>3</sup>,  
soit — 4,1 % de la réalité.

Volume par sondage (1 cercle de 4 ares par 1/2 ha) : 47 018 m<sup>3</sup>,  
soit — 4 % de la réalité.

Volume par sondage (1 cercle de 4 ares par 1/4 ha) : 48 039 m<sup>3</sup>,  
soit — 1,9 % de la réalité.

Ces erreurs réelles se tiennent largement à l'intérieur de l'intervalle théorique de sécurité au seuil de probabilité de 95 %.

2) Les inventaires par échantillonnage stratifié ou strictement au hasard donnent des résultats moins bons que les inventaires par échantillonnage systématique.

3) Il semble possible de réduire encore l'importance de l'intervalle de sécurité en divisant la forêt en blocs et procédant à une analyse de variance.

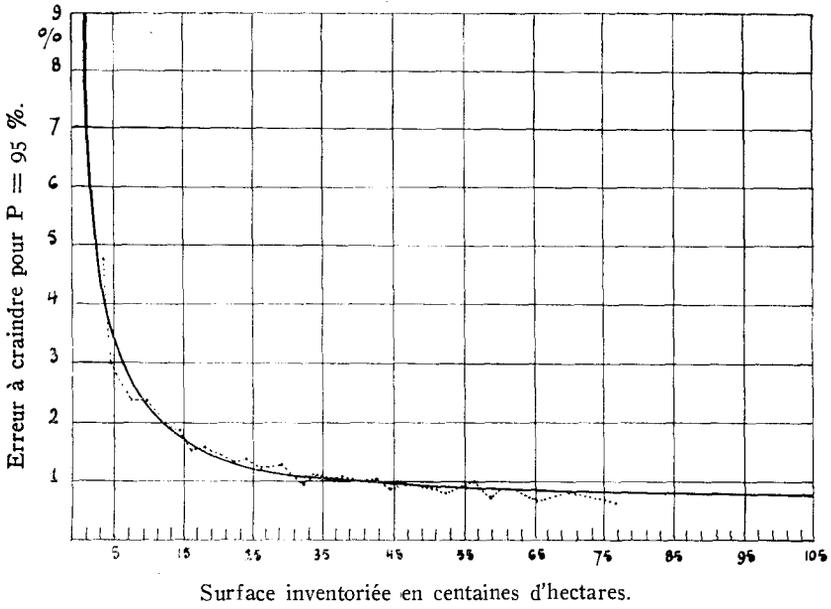
L'excellence des résultats obtenus a entraîné dès 1953 un bouleversement des méthodes d'aménagement en Allemagne orientale : depuis cette date, tous les inventaires de peuplement sur pied y sont faits par échantillonnage systématique, à raison d'un cercle de 4 ares par demi-hectare de forêt en principe (ou plus exactement de trois cercles concentriques — dont nous avons déjà parlé — par demi-hectare) (33).

De 1953 à 1956, 91 300 hectares de forêts ayant un cube moyen à l'hectare de 141 m<sup>3</sup> ont été inventoriés, à l'aide d'un sondage de 4 ares par demi-hectare ou par hectare suivant les cas.

Les résultats très satisfaisants de cette première masse d'inventaires ont été analysés par GROSSMANN (9) qui a pu tracer avec des données abondantes et très concordantes les deux courbes suivantes (graphiques n° 1 et 2) :

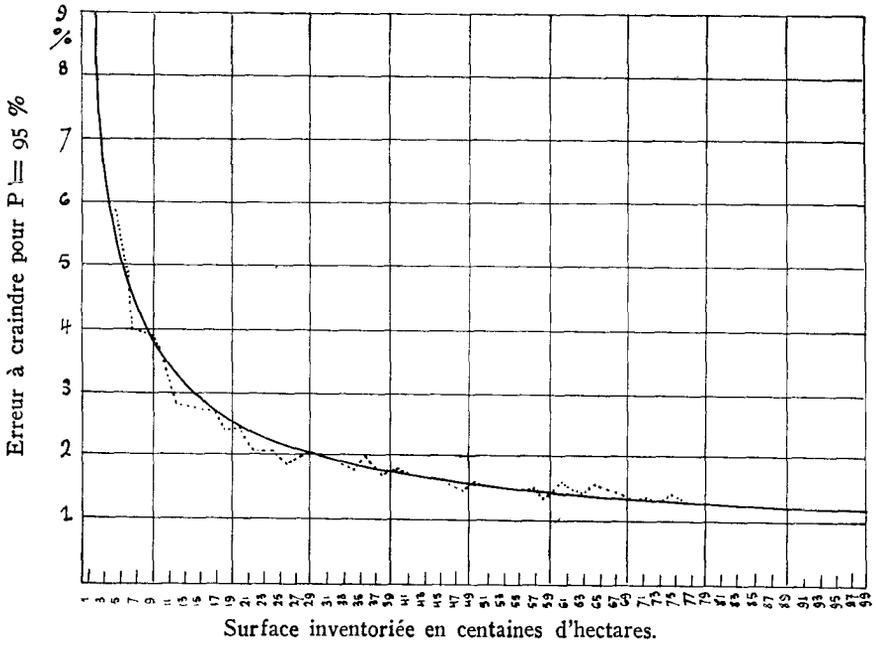
GRAPHIQUE n° 1

Erreurs à craindre  
Un sondage de 4 ares par demi-hectare.



GRAPHIQUE n° 2

Erreurs à craindre.  
Un sondage de 4 ares par hectare.



En abscisses se retrouvent chaque fois la surface de forêt faisant l'objet de l'inventaire, en ordonnées l'exactitude au seuil de probabilité 95 % (c'est-à-dire  $\pm 2 \sigma$ ).

L'auteur en conclut qu'à partir de la surface de ce que nous appelons en France le triage affecté à un agent technique — 700 hectares en moyenne — l'inventaire par sondage systématique à raison d'un cercle de 4 ares par demi-hectare (intensité d'échantillonnage: 8 %) vaut en exactitude l'inventaire complet.

Enfin, il vérifie ce qui avait déjà été observé: l'exactitude d'un inventaire par sondage est fonction du coefficient de variation du peuplement: elle augmente quand ce coefficient diminue.

Signalons encore le travail le plus récent de « l'équipe d'Eberswalde » (10). GROSSMANN a expérimenté sur le terrain un inventaire par sondage du type déjà éprouvé dans une forêt de type jardiné. Il résulte de ses travaux que, toutes choses égales d'ailleurs, ce mode d'inventaire donne des résultats plus satisfaisants encore en futaie jardinée qu'en futaie régulière: un pourcentage d'échantillonnage de 8 % (un cercle de 4 ares par demi-hectare) y donne des données valables à partir d'une surface forestière de 50 ha environ.

### 33. — Les recherches en Allemagne Occidentale

Les travaux de PRODAN (24) (25) et de ses disciples sont l'œuvre justement remarquée de ce qu'on doit appeler « l'École de Fribourg ». Son chef tient à adapter les nouvelles méthodes d'inventaire au cadre déjà façonné de la sylviculture intensive pratiquée en Allemagne du Sud. L'estimation des forêts nécessaire à l'aménagement doit combiner, dit-il, les trois méthodes suivantes qui n'ont pas lieu d'entrer en compétition, chacune pouvant trouver son domaine propre: inventaires complets, inventaires représentatifs, simples estimations approximatives (à l'aide de tables de production par exemple). C'est là une question de cas particuliers facilement soluble.

Cherchant à préciser l'utilisation des méthodes mathématiques-statistiques dans les peuplements de l'Allemagne du Sud, PRODAN a montré que la surface optima à donner aux placettes de sondage de type circulaire variait de 5 à 10 ares. Les inventaires par échantillonnage peuvent en peuplements réguliers y devenir rentables et efficaces à partir d'une surface forestière minima de 10 hectares: il est alors courant, en adoptant un pourcentage d'échantillonnage de 10 %, d'obtenir une approximation, au seuil de probabilité de 95 %, de  $\pm 5 \%$ , ce qui correspond largement à l'exactitude qu'on peut attendre d'un inventaire complet.

BAUMANN (2) a inventorié suivant ces principes — un cercle de

10 ares par hectare — 45 hectares dans l'Inspection forestière de Tübingen. Ces 45 hectares ont fait par ailleurs l'objet d'un inventaire complet qui donna un cube de 14 540 m<sup>3</sup>. Or, par échantillonnage, il avait trouvé 14 599 mètres cubes, soit 0,4 % en plus du chiffre réel seulement!

HABERLE (11) a étudié 68 inventaires forestiers portant sur des surfaces de l'ordre d'une dizaine d'hectares chacun. Pour ces 68 peuplements, il possédait les résultats:

- a) de l'inventaire complet;
- b) de l'inventaire par sondage.

L'erreur « réelle » — c'est-à-dire l'écart du cube obtenu par sondage au cube obtenu par inventaire complet — se place:

46 fois (67 % du total) à  $\pm$  un écart-type du cube échantillonné,  
66 fois (97 % du total) à  $\pm$  deux écarts-type de ce cube.

Il y a là une remarquable concordance entre la théorie et la pratique, et qui prend toute sa valeur lorsqu'on sait que la plupart des inventaires représentatifs ainsi testés sont des inventaires systématiques: c'est d'ailleurs ce type d'inventaire que recommande l'auteur en matière d'aménagement de forêts.

Une étude d'un intérêt considérable est celle de HASENKAMP (14). Cet auteur a travaillé dans une forêt de Westphalie, de 100.80 ha de superficie — la forêt de *Varlar*. Il s'agit d'une futaie mélangée résineux-feuillus où la recherche d'éléments homogènes (composition des essences, âges, etc...) permet de décomposer le peuplement en 48 sous-parcelles.

Les feuillus (42 %) comprennent avant tout des chênes et des hêtres.

Les résineux (58 %) sont principalement des Pins sylvestres et des Epicéas.

On fit d'abord un inventaire total par carrés de 6 ares successifs. La forêt fut donc décomposée sur le terrain en 1 680 carrés élémentaires de 6 ares chacun ( $1\ 680 \times 0,6 = 100,80$  ha) et pour chacun de ces 1 680 carrés on possédait l'inventaire réel total.

Il était facile ensuite de prendre un pourcentage déterminé de ces carrés, localisés ou non systématiquement sur le terrain, et de réaliser ainsi plusieurs inventaires par sondage différents d'une intensité d'échantillonnage donnée.

Exemple: On veut réaliser des inventaires par sondage à l'intensité de 4 %: on doit donc retenir pour l'inventaire un carré de

1680

6 ares par groupe de 25 carrés, soit  $\frac{1680}{25} = 67$  carrés au total:

25

et il est donc possible de réaliser 25 inventaires par sondage de la forêt comportant chaque fois des carrés élémentaires différents.

HASENKAMP fit ainsi 41 inventaires par sondages *systématiques*:

9 différents à l'intensité d'échantillonnage de	11,11	%
16	—	6,25 %
25	—	4 %
36	—	2,8 %
100	—	1 %
225	—	0,44 %

Il calcula chaque fois:

1) *l'erreur réelle* — c'est-à-dire l'écart en % existant entre la population vraie et la population d'après inventaire par sondage.

2) *l'écart-type*, et l'intervalle de sécurité correspondant au seuil de probabilité de 95 %.

Pratiquement, toutes les erreurs réelles furent trouvées comprises dans l'intervalle de sécurité  $\pm 2 \sigma$ , et beaucoup plus du pourcentage théorique 68 % dans l'intervalle  $\pm \sigma$ : c'est dire que les formules utilisables normalement dans le seul cas des inventaires par sondage au hasard s'appliquent parfaitement au cas des inventaires par sondage systématique; il est même possible, par une division en blocs de la forêt et une analyse de variance assez simple, de réduire davantage encore l'intervalle de sécurité, donc l'erreur à craindre: nous aurons l'occasion de reparler de cette question. On peut résumer comme suit (tableau 3) l'essentiel des résultats les plus importants obtenus par HASENKAMP:

TABLEAU 3

Pourcentage d'échantillonnage ..	11,11	6,25	4,00	2,80	1,00	0,44
Nombre d'inventaires réalisés ..	9	16	25	36	100	225
Erreurs réelles moyennes en % .	2,1	2,8	4,5	5,8	8,8	20,0
Erreur à craindre pour P = 95 % ( $2 \sigma$ ):						
1) sans analyse de variance ..	8,1	11,0	14,2	17,2	32,2	53,7
2) avec analyse de variance ..	5,1	7,0	8,9	11,0	20,7	40,2

D'autres problèmes ont été étudiés par HASENKAMP: nous les aborderons avec lui au fur et à mesure qu'ils se présenteront dans notre étude personnelle.

Disons encore toutefois que l'auteur a également réalisé de sa forêt un certain nombre d'inventaires strictement au hasard et stratifiés, et les a comparés aux inventaires systématiques de même intensité d'échantillonnage.

Les erreurs à craindre au seuil de probabilité 95 % ont été trouvées concordantes dans les 3 types d'inventaire. Mais 3 fois sur 4,

les erreurs réelles — c'est-à-dire les écarts entre le volume total de la forêt d'après inventaire par sondage et ce même volume tel qu'il résulte de l'inventaire complet — ont été moins fortes dans le cas des inventaires systématiques que dans celui des inventaires au hasard

---

## CHAPITRE IV

**LES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE NOS TRAVAUX**41. — **Aperçu d'ensemble**

De tous les travaux que nous venons d'analyser rapidement, nous retiendrons surtout ceux qui ont été effectués en Allemagne parce qu'ils se rapportent à des forêts dont les structures ressemblent beaucoup aux forêts françaises.

En somme, la question de l'inventaire par sondage des futaies a déjà été sérieusement débroussaillée: il semble bien qu'en France aussi une intensité d'échantillonnage de l'ordre de 5 % ou un peu plus puisse donner pour des peuplements homogènes des résultats satisfaisants avant même que les surfaces inventoriées atteignent une centaine d'hectares.

Nous avons pensé pouvoir faire œuvre plus utile en abordant la question — neuve encore — de l'inventaire par sondage d'une forêt de type taillis-sous-futaie; la moitié des forêts feuillues françaises peuvent être rattachées à cette catégorie. L'affaire a un intérêt tout spécial dans ces taillis-sous-futaie à réserve déjà riche dont la rénovation ou conversion sont à l'ordre du jour: nous pensons par exemple aux taillis-sous-futaie des groupes I à IV de PERRIN-MATHEY (23) dont la composition normale a été remarquablement étudiée en 1951 par de LEMPS (18).

Prenons l'exemple courant d'un groupe de parcelles de taillis-sous-futaie qu'on décide de « passer en conversion ». Quelle que soit la méthode employée, il est habituel maintenant de faire le comptage total des parcelles en cause, et de calculer à la suite une possibilité par volume: telles les nombreuses révisions d'aménagement actuellement en cours en Côte-d'Or.

Compter arbre par arbre des parcelles à végétation très active encore traitées en taillis-sous-futaie est une opération matériellement difficile et pénible qui coûte cher.

S'il était possible en l'occurrence de remplacer valablement l'inventaire total par un inventaire représentatif, on élargirait de la fatigue, du temps et de l'argent. C'est donc ce problème que nous avons voulu aborder. Nous savions pouvoir trouver un terrain d'expérience de choix dans la plaine de la Saône.

Encouragé par M. le Conservateur GEORGES, et grâce à l'accord actif, à l'aide efficace de M. l'Ingénieur Principal de LEMPS à Dijon, nous avons pu travailler dans d'excellentes conditions dans une forêt qui nous convenait parfaitement : *la forêt domaniale d'Izeure*.

#### 42. — La forêt domaniale d'Izeure (\*)

La forêt domaniale d'Izeure, d'une contenance globale de 1 166,68 ha, répartie en trois cantons distincts mais voisins, est située dans la vallée de la Saône (rive droite) à 25 kilomètres au Sud-Est de Dijon.

Le sol de la forêt comporte une base minéralogique pliocène, épais dépôt marginal du lac bressan, barré au tertiaire par les moraines des Dombes. Cette importante formation, qui s'appuie sur les versants calcaires du vignoble bourguignon tout proche est constituée principalement par des alluvions argilo-siliceuses très fines, parfois marneuses et souvent ferrugineuses. Ces alluvions reposent par places sur des lits de cailloutis calcaires arrachés aux « combes » de la Côte et de l'Arrière-Côte par d'anciennes rivières aujourd'hui disparues pour la plupart.

Profonds et riches, humides aussi, parce que difficilement perméables et pratiquement sans relief, ce sont des sols forestiers de premier ordre. La végétation des taillis y est exubérante et la croissance des futaies remarquable, sauf lorsque les cailloutis calcaires affleurent, ou qu'une formation de gley se manifeste à faible profondeur.

Le climat de la vallée de la Saône est assez continental avec hivers froids, étés chauds et orageux, gelées printanières fréquentes et sévères.

La pluviosité annuelle est à Cîteaux de l'ordre de 800 mm. En 1956, on y a compté 74 journées de brouillard (maximum de la Côte-d'Or).

La température moyenne annuelle est voisine de 9°, la moyenne des maxima de 14°, celle des minima de 4°5. En 1956, le maximum absolu a été de 32°5, et le minimum absolu de — 23°.

L'indice d'aridité de de MARTONNE est de 42.

L'essence principale de la forêt d'Izeure est le *chêne* représenté par deux espèces : rouvre et surtout pédonculé. Tous deux atteignent des dimensions remarquables tant en hauteur qu'en circonférence. Le traitement en taillis-sous-futaie leur assurait jusqu'à ce jour, grâce à la fertilité du sol, une très forte rapidité de crois-

(\*) Ce paragraphe a été rédigé par M. l'Ingénieur Principal de LEMPS, Chef de Service à Dijon, auteur de la révision d'aménagement qui a permis la réalisation de nos travaux.

sance: les chênes de 3 à 4 m de tour à 150 ans n'y sont pas rares. La qualité des produits, sans être exceptionnelle, est excellente: c'est le « Chêne de Bourgogne » recherché pour la parquetterie. La qualité « tranchage » très peu représentée pourrait être obtenue en proportion intéressante par la conversion en futaie, en sacrifiant quelque peu la vitesse d'accroissement. Cette transformation permettrait aussi de résoudre d'une façon satisfaisante le problème du rajeunissement que le régime du taillis-sous-futaie a conduit à une impasse: il n'y a plus de baliveaux.

Le *Frêne* occupe les sols les plus riches et les moins imperméables. Sa croissance encore plus active que celle du chêne ne nuit point à sa qualité qui réside dans une rare élasticité.

L'*Orme*, qui atteignait jadis des dimensions extraordinaires et contribuait à la renommée de la forêt, succombant aux attaques du *Graphium ulmi*, est en voie de disparition totale.

Le *Hêtre*, le *Charme* et le *Tilleul*, ainsi que les *Fruitiers* complètent la liste des essences du peuplement dominant.

Les taillis sont constitués de charme, de bouleau, de tilleul et d'aune, fournissant chauffage, bois de mine et bois à pâte.

Jusqu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle, la forêt d'Izeure avait été aménagée en taillis-sous-futaie à très courte révolution. Elle produisait beaucoup plus de bois de feu que de bois d'œuvre et plus de charbonnette et de fagots que de rondins, comme d'ailleurs toutes les forêts de la région.

Les conditions économiques se transformant peu à peu, on allongea la révolution à 20 ans puis à 30 ans en 1811, enfin à 32 ans en 1848. En 1867, on entreprit la conversion en futaie pleine par la méthode des affectations permanentes, afin d'utiliser la puissance productive du sol à la formation de produits autrement intéressants que le bois à charbon dont la mévente se faisait déjà nettement sentir.

Mais on ne disposait alors que d'un matériel-réserves très insuffisant. Les difficultés de la régénération naturelle sur des sols riches et mouilleux très vite enherbés, dans une région où les brouillards et les gelées tardives faisaient avorter les fleurs de chêne neuf fois sur dix, avaient été sous-estimées: ce fut un échec.

En 1889, on profita d'une revalorisation des bois de feu pour déclarer le taillis-sous-futaie irremplaçable. Pendant 60 années, la forêt d'Izeure, exploitée à la révolution de 36 ans devait s'enrichir progressivement en réserves, au point qu'à partir de 1949, la régénération naturelle s'installait d'elle-même. Par ailleurs, les conditions dans lesquelles cette dernière pouvait être sauvée sur les sols humides de la vallée de la Saône, étant mieux connues, il n'y avait plus d'obstacle à abandonner un régime économiquement et techniquement périmé.

La révision de 1957 prévoit la conversion de toute la forêt en futaie pleine par la méthode de l'affectation unique. Cette méthode nécessite un inventaire préalable sur toute l'étendue de cette affectation soit, dans le cas présent, 300 hectares environ.

#### 43. — Emprise des expériences

Parmi les parcelles à compter, nous avons retenu pour nos expériences :

- 1) en première série, au Canton des Perreaux : les parcelles 29 - 30 - 31 - 32 - 33 - 34 - 35 - 36, soit un ensemble de 101,91 ha.
- 2) en deuxième série, au Canton du Cerisier : les parcelles 25 - 26 - 27 - 28, soit un ensemble de 68,56 ha.

C'est donc sur un total de 170,47 ha qu'ont porté nos travaux. Ces 170,47 ha ont tout d'abord été soigneusement inventoriés arbre par arbre et coupe par coupe suivant les méthodes traditionnelles. L'inventaire a naturellement distingué les différentes essences. Les tiges étaient groupées par catégories de circonférences variant de 20 en 20 cm, à partir de la catégorie minima 60 (qui englobait donc les tiges ayant à hauteur d'homme de 51 à 70 cm de circonférence).

Le tarif aménagement à appliquer aux arbres en cause avait été préalablement mis au point par M. l'Ingénieur Principal de LEMPS.

Le voici :

TABLEAU 4  
TARIF DE CUBAGE

Catégories de circonférences	60	Volume total	0,2
—	80	—	0,5
—	100	—	0,9
—	120	—	1,4
—	140	—	2,1
—	160	—	2,8
—	180	—	3,7
—	200	—	4,7
—	220	—	5,9
—	240	—	7,1
—	260	—	8,5
—	280	—	10,0
—	300	—	11,6
—	320	—	13,3
—	340	—	15,2
—	360	—	17,2
—	380	—	19,3
—	400	—	21,5

Les mêmes 170,47 ha, ainsi comptés exactement et totalement ont été ensuite inventoriés par sondage suivant les principes que nous allons exposer maintenant. La comparaison des données statistiques et des chiffres réels devait permettre, pensions-nous, de tirer des conclusions valables pour d'ultérieurs inventaires par sondage du type de forêt en cause.

---

## CHAPITRE V

**LES BASES PRATIQUES DES INVENTAIRES  
PAR ÉCHANTILLONNAGE A IZEURE**

---

51. — **Choix du type d'inventaire**

## 511. — MÉTHODE ADOPTÉE

Il nous fallait d'abord choisir entre trois types d'échantillonnage (5).

- l'échantillonnage strictement au hasard,
- l'échantillonnage stratifié,
- l'échantillonnage systématique.

Le troisième nous a paru préférable aux autres, en matière d'aménagement, parce que d'un emploi plus facile tant pour la détermination sur carte de l'emplacement des placettes de sondage que pour leur assiette ultérieure sur le terrain: cette question de la simplicité d'emploi a, croyons-nous, une importance capitale: il faut chercher avant tout une méthode sans complication qui ne surcharge pas le personnel de bureau et soit applicable en forêt sans difficulté majeure par des chefs de districts et agents techniques normalement qualifiés.

De plus, les travaux antérieurs que nous avons résumés nous autorisaient à penser:

1) que l'inventaire forestier par échantillonnage systématique donnait en fait des résultats encore plus exacts que les autres.

2) que les formules des mathématiques-statistiques (calcul de l'erreur à craindre à un seuil de signification donné) valables seulement en principe pour le cas de l'échantillonnage strictement au hasard leur seraient applicables.

Tout récemment encore, PRODAN (25), et dans des forêts qui sont nos voisines immédiates, se basant sur un peuplement expérimental inventorié par sondages au hasard d'abord, systématiques ensuite (10 fois chaque méthode) et testant les mérites respectifs de chaque procédé par deux analyses de variance, conclut à la supériorité de l'inventaire systématique. Ses 10 inventaires systématiques s'écartent du reste moins encore de leur valeur moyenne que ne le font les 10 inventaires au hasard correspondants.

En conclusion, le choix s'imposait : notre inventaire serait systématique.

Les études et réalisations étrangères antérieures nous permettaient par ailleurs de préciser deux points importants.

#### 512. — COMMENT FIXER SUR LE TERRAIN L'EMPLACEMENT EXACT DE CHAQUE PLACETTE ?

Il faut tout d'abord, cela ne fait aucun doute, déterminer sur plan l'implantation de chaque placette de sondage.

Les mots d'inventaire systématique peuvent ensuite inciter à conclure qu'il convient de matérialiser sur le terrain chaque placette du plan avec un soin minutieux, après de soigneuses opérations topographiques.

Il est tentant au contraire — on y gagnerait en temps et facilité de travail — de suivre simplement en forêt en toute bonne foi un axe de direction donné, déterminé par le chef d'équipe à l'aide d'une boussole portative, et de s'arrêter tous les  $x$  mètres,  $x$  étant précisé par un ruban de 20 mètres par exemple, sans plus.

HASENKAMP (14) a étudié et comparé les deux méthodes, faisant de sa forêt, au même taux d'échantillonnage de 6,25 % d'abord 16 inventaires par sondage quadratique rigoureusement exact (Streng quadratische Probenahme), ensuite 16 inventaires par sondage suivant la méthode courante approchée : recherche des points de sondage à la boussole portative et chaîne d'arpenteur (angewandte quadratische Probenahme). Les résultats de l'expérience ne laissent subsister aucun doute, les deux méthodes donnent des résultats remarquablement voisins ; les données de la première sont dans moitié des cas légèrement supérieures, dans l'autre moitié légèrement inférieures à celles de la seconde. On peut donc employer indifféremment l'un ou l'autre procédé et bien entendu on choisira le plus simple !

#### 513. — EST-IL OBLIGATOIRE D'EMPLOYER UN RÉSEAU A MAILLES CARRÉES pour asseoir les placettes de sondage, ou peut-on si besoin est, se contenter d'un réseau à mailles rectangulaires ? (figure 1).

La question a son importance lorsque le parcours en forêt est difficile — ce qui est souvent le cas en taillis-sous-futaie : on peut être tenté d'espacer les lignes de progression des équipes de travail, quitte à augmenter sur chacune d'elles le nombre des points de sondage.

Exemple : on veut faire un inventaire par sondage systématique à raison d'une placette d'échantillonnage par demi-hectare : on doit alors utiliser un réseau à mailles carrées de 70,71 m de côté : les lignes de progression parallèles sont espacées de 70,71 m et

sur chacune d'elles on s'arrête tous les 70,71 m. Une intensité de sondage analogue peut être obtenue en écartant les lignes de progression à 100 m les unes des autres, et s'arrêtant sur elles tous les 50 m seulement: les résultats obtenus sont-ils pratiquement les mêmes dans les deux cas? L'affaire a été étudiée par HASENKAMP (14) et RICHTER (27). La conclusion est certaine: l'une et l'autre méthode se valent, à condition toutefois peut-être que les populations étudiées ne soient pas exagérément hétérogènes.

Nous emploierons donc de préférence l'inventaire systématique à mailles carrées, mais le cas échéant nous n'hésiterons pas à utiliser également l'inventaire systématique à mailles rectangulaires.

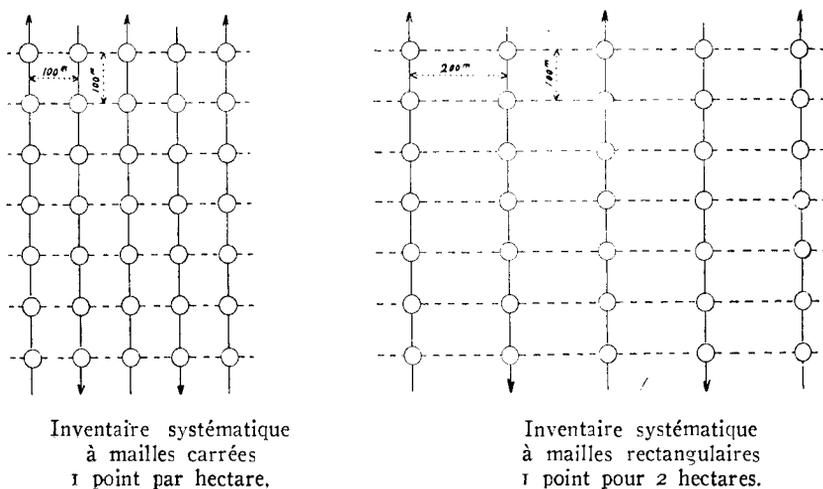


FIG. 1.

## 52. — Choix de la forme à donner aux placettes de sondage

Nous savons tout d'abord que nous devons éliminer le système des bandes, qui n'autorise souvent pas — en échantillonnage systématique tout au moins — l'emploi des formules d'erreur habituelles (14).

Ceci étant, on peut employer des placettes carrées, rectangulaires ou circulaires. La comparaison des avantages et inconvénients de ces trois formes géométriques en matière d'inventaire par sondage a été faite bien souvent, par les auteurs que nous avons déjà cités, par les américains JOHNSON et HIXON également (16) Il nous semble inutile de traiter ici cette question d'ordre général qui paraît bien avoir trouvé sa bonne réponse: en matière d'aménagement (et souvent même en matière d'inventaire forestier à l'échelon national) et dans le cas des forêts de type européen, les placettes circulaires

sont préférables aux autres; c'est elles que nous choisirons. Elles ont du reste pour nous un intérêt évident: on peut les asseoir très rapidement sur le terrain par voie optique, en utilisant par exemple le viseur dioptrique du dendromètre *Blume-Leiss*. Nous avons déjà dit (22) comment se pratiquait cette opération à l'aide d'une mire spéciale facile à construire et comment, si les voyants de cette mire sont mobiles, on peut opérer aussi facilement en terrain incliné qu'en terrain plat.

Aussi bien les placettes d'échantillonnage de forme circulaire sont-elles maintenant employées par les Services forestiers de tous les pays d'Europe faisant des inventaires de forêts par sondage, à la satisfaction générale.

### 53. — **Choix de la surface à donner à chaque placette de sondage**

La question est plus grave et plus difficile à solutionner que la précédente. A intensité d'échantillonnage égale, il est souvent préférable d'avoir un nombre de sondages aussi grand que possible, donc de diminuer la surface élémentaire de chaque placette.

PRODA« (25) a du reste montré que, du point de vue strictement théorique, les résultats sont d'autant meilleurs que la surface des placettes unitaires de sondage est plus réduite et ces placettes plus nombreuses. Toutefois, si cette surface devient trop petite, l'échantillon risque de ne plus être vraiment représentatif. Grâce à 11 peuplements expérimentaux badois groupant des types de forêts très différents inventoriés en totalité d'une part, et à la suite « échantillonnés » par placettes de 4, 9, 16 et 25 ares (les taux de sondage étant identiques), il a pu prouver qu'effectivement et en général, l'erreur à craindre au seuil de signification 5 % augmentait lorsque croissait la surface de chaque sondage; suivant son expression imagée, « l'agrandissement des placettes de sondage est lié à une perte d'efficacité ». Cette perte n'est toutefois vraiment sensible en forêt ouest européenne qu'à partir des placeaux de 16 ares: et pour les deux forêts qui s'apparentent comme structure à nos taillis-sous-futaie (Aue-Mittelwald), les placeaux de 9 ares ont même donné les meilleurs résultats. Or, plus les placettes sont petites, plus la surface échantillonnée par unité de temps décroît: d'où une augmentation du coût de l'inventaire.

Autres éléments susceptibles de déterminer le choix: les arbres-limites, situés exactement « à cheval » sur le périmètre de chaque placette de sondage, qu'on ne sait s'ils sont à inclure ou non dans le compte, posent un problème qu'il faut atténuer autant que faire se peut: de ce point de vue, à surface égale, un morcellement des placettes d'essai conduit à un périmètre plus long que si les

placettes unitaires étaient plus grandes : on accumule dangereusement les « arbres-limites ».

En sens inverse, les placettes sont d'autant plus difficiles à asseoir — optiquement surtout — qu'elles sont plus vastes. JOHNSON et HIXON ont inventorié statistiquement un peuplement de vieux Douglas avec six surfaces élémentaires différentes des placettes d'essai.

L'essentiel des résultats de leur étude est le suivant :

TABLEAU 5

Surface des placettes en ares .....	2	4	8	10	12	16
Nombre de placettes assises par unité de temps .....	32	21	15	14	13	10
Surface correspondante en ares ....	64	84	120	140	156	160
Ecart-type % obtenu .....	16,9	15,9	15,0	15,0	13,9	15,5

Dans leur cas particulier — mais ils n'ont travaillé que sur une surface totale de 16 hectares de peuplement (40 acres) — la placette de 12 ares semble spécialement intéressante.

Dans notre taillis-sous-futaie, des essais préliminaires faits avec M. l'Ingénieur Principal de LEMPS nous ont montré que le choix de placettes de 5 ares seulement — bien tentant\* — ne permettrait certainement pas de constituer des échantillons véritablement représentatifs. Finalement, nous avons adopté *la placette circulaire de 10 ares* comme unité élémentaire de notre inventaire rejoignant ainsi du reste les résultats obtenus en Allemagne du Sud (sans qu'alors nous les connaissions) par PRODAN.

#### 54. — Choix des pourcentages d'échantillonnage

Il était facile de décider de s'en tenir pour les calculs à la probabilité de 95 % (valable pour un intervalle de sécurité de  $\pm 2 \sigma$  dans le cas des échantillons suffisamment nombreux) correspondant dont au seuil de signification de 5 %.

Mais quelle « erreur à craindre » doit être retenue à ce seuil ? Le choix implique qu'en puisse répondre à une question préjudicielle : quel est le degré d'exactitude auquel peuvent prétendre les inventaires complets en matière d'aménagement ?

En *Allemagne*, HABERLE (11) admet qu'une erreur de  $\pm 5$  % correspond à l'approximation obtenue par un inventaire complet : mais il parle en fait d'inventaires très soigneux, réalisés souvent

\* En futaie, on peut choisir souvent la placette de 5 ares, plus facile à asseoir sur le terrain ; nous l'avons tout récemment utilisée avec succès dans une sapinière du Jura.

par classes de 2 cm de diamètre. L'éminent spécialiste qu'est outre-Rhin le Professeur MANTEL estime que pour le calcul de la possibilité, une approximation de 15 à 20 % est suffisante. Il admet qu'on peut se contenter lorsqu'on inventorie une forêt pour un aménagement, d'un cube de bois sur pied connu à 10 à 20 % près (20).

En France, la 1<sup>re</sup> Section de la Station de Recherches forestières a contrôlé récemment, par abattage total ultérieur du peuplement, des cubages sur pied effectués préalablement par elle (1) : les inventaires minutieux des arbres avaient été faits au *centimètre près* sur la circonférence à 1,30 m. Un tarif de cubage très exact — comportant pour sa confection des mesures complètes de volume sur des arbres sur pied — avait été construit spécialement pour chaque peuplement. Les erreurs faites ont tout de même atteint 1 à 2,50 % du cube réel : il est hors de doute que la pratique courante se situe loin au delà !

Passons sur le fait que le tarif de cubage — aménagement ne « colle » pratiquement jamais exactement à la réalité. Bornons-nous à juger l'inventaire complet en lui-même. Ceux qui l'ont pratiqué savent comment il peut devenir fastidieux lorsqu'il se prolonge de nombreuses et longues journées. Ils jugeront avec indulgence les mauvais conseils que la fatigue peut souffler à l'oreille des opérateurs, surtout en montagne !

Un grand spécialiste de la question, FRANÇOIS (8) n'est pas tendre pour l'inventaire total. Voici ce qu'il en dit :

« Si les erreurs accidentelles d'inventaires peuvent entraîner aisément sur le résultat de la comparaison (d'inventaire) une erreur de l'ordre de 10 %, si l'incertitude qui règne encore ensuite sur ce résultat est de l'ordre de 20 %, on peut bien dire qu'une semblable méthode de détermination de la production ne doit être employée qu'avec la plus grande circonspection ».

Nous serions volontiers moins sévère que FRANÇOIS sur la méthode des comparaisons d'inventaire ! Mais de son expérience — et de celle de bien d'autres que nous avons interrogés — on peut conclure fermement que, dans les conditions actuelles de travail, un inventaire pied par pied à *usage d'aménagement* exact à  $\pm 10\%$  près est déjà un très bon inventaire.

Lorsque nous obtiendrons pour les volumes toutes essences réunies, en inventaire par sondage, une erreur à craindre de  $\pm 10\%$  au seuil de probabilité de 95 %, nous pourrions penser avoir pratiquement atteint l'approximation normale et jugée suffisante de l'inventaire total.

En fait, il semble logique d'exiger une « erreur à craindre » d'autant plus réduite que la valeur marchande du peuplement forestier échantillonné est plus grande.

Et, dans le cadre de la sylviculture française, nous pensons qu'on peut admettre ce qui suit :

A. — *Forêts de valeur exceptionnelle* (type Tronçais). L'erreur admissible à craindre correspondant au seuil de probabilité de 95 % est  $\pm 5$  %.

Dans la pratique, il semble souhaitable de continuer à inventorier totalement — avec soin — ce type de forêt.

B. — *Peuplements de valeur moyenne* — du type par exemple de la forêt domaniale d'Izeure.

Erreur à craindre admissible au même seuil :  $\pm 10$  %.

C. — *Peuplements de valeur médiocre* (cas des séries de Pins noirs d'Autriche, ou des parcelles de bien des forêts, aménagées par la méthode de l'affectation unique, et ne faisant pas partie de cette affectation).

Erreur à craindre admissible au même seuil :  $\pm 15$  %.

Nous retiendrons donc que, dans notre cas particulier, il convient d'obtenir une erreur ne dépassant pas  $\pm 10$  % au seuil de signification de 5 %.

Ceci concerne les volumes globaux. Pour ce qui est de la séparation par essence, seul le cas de l'essence principale — le chêne en forêt d'Izeure — a un intérêt majeur : nous admettrons qu'il est souhaitable de connaître sa part dans le volume total à  $\pm 15$  % près.

L'étude que nous avons faite des travaux étrangers en matière d'inventaire des peuplements forestiers par sondages nous a conduit à penser qu'on pouvait atteindre cette exactitude pour les 100 à 200 hectares de nos parcelles d'Izeure avec un pourcentage d'échantillonnage de 10 %.

Par prudence, nous avons délimité et inventorié une placette de 10 ares par demi-hectare de peuplement, ce qui nous permettra de comparer, pour des surfaces croissantes (d'une parcelle seulement à la totalité de la surface inventoriée) l'inventaire complet à :

un inventaire par échantillonnage à 20 % — 2 placettes de 10 ares par ha,

deux inventaires par échantillonnage à 10 % — 1 placette de 10 ares par hectare — (par exemple :

1<sup>er</sup> inventaire : placettes précédentes paires seulement,

2<sup>e</sup> inventaire : placettes précédentes impaires seulement).

quatre inventaires par échantillonnage à 5 % — 1 placette de 10 ares pour 2 ha — en ne retenant chaque fois qu'une sur quatre des placettes de l'inventaire à 20 %, et commençant d'abord par la première, puis la seconde, etc...

## CHAPITRE VI

## LA RÉALISATION DE L'INVENTAIRE PAR SONDAGE

61. — **Choix des groupes de parcelles à inventorier**  
**Division éventuelle en blocs**

Compte tenu de nos moyens, et du temps dont nous disposions, il ne nous était pas possible de retenir pour l'expérimentation plus de 150 à 200 hectares de forêt. Notre choix, nous l'avons dit, s'est porté sur les deux cantons dits « des Perreaux » et « du Cerisier » groupant en deux blocs 170,47 ha de peuplements (tableau 6).

TABLEAU 6  
PARCELLES INVENTORIEES EN FORET DOMANIALE D'IZEURE

Série - Canton	N° de parcelle	Surface (ha)	Age du taillis (ans)	Volume total aménagement à l'ha de la réserve (m <sup>3</sup> )
1 <sup>re</sup> Série - Les Perreaux	29	11,90	23	228,7
	30	13,60	22	200,6
	31	11,93	21	173,3
	32	13,62	19	142,8
	33	11,90	18	173,9
	34	13,59	18	178,2
	35	11,74	16	168,9
	36	13,63	16	176,5
2 <sup>e</sup> Série - Le Cerisier	25	16,17	27	188,2
	26	17,40	26	144,2
	27	16,27	25	195,8
	28	18,72	24	166,3
Total .....		170,57 ha		177,1 m <sup>3</sup>

Le canton des Perreaux est situé sur terrain plus filtrant que celui de Cerisier, argileux et humide : aussi, bien que dans les deux

cas la première place revienne dans les arbres de futaie au chêne (70 à 80 % du volume de la réserve), il s'agit aux Perreaux de chêne rouvre surtout, au Cerisier au contraire de chêne pédonculé.

Pour la même raison, le hêtre est abondant aux Perreaux (18 % du volume), pratiquement inexistant au Cerisier (3,5 %). Les divers, tels que les aunes et surtout les trembles, sont beaucoup plus nombreux au contraire dans le deuxième canton (22,7 %) que dans le premier (3,5 % seulement).

Pour ce qui est du taillis, il est plus vigoureux au Cerisier qu'aux Perreaux; dans le premier de ces deux cantons, les bois blancs — tremble surtout — y tiennent une place importante. Aux Perreaux au contraire, le charme joue le rôle essentiel.

S'agissant d'un aménagement de conversion en futaie, nous n'avons du reste dans nos relevés quantitatifs prêté attention qu'aux arbres de réserve: mais les différences d'aspect des peuplements suivant les stations doivent être notées soigneusement: *car la division de la forêt à inventorier en blocs écologiques peut avoir un intérêt capital.*

On sait en effet l'intérêt théorique qu'il peut y avoir à diviser une population (au sens statistique pur) peu homogène en blocs. Quel peut être, dans notre cas particulier, le critère de base qui nous permettra de différencier la forêt en unités élémentaires?

Ce pourrait être tout d'abord le *mode de traitement*. Il ne faut évidemment pas « mettre dans le même sac » des parcelles traitées en taillis-sous-futaie avec d'autres traitées en futaie. En fait, la division en cause est déjà réalisée: on sait qu'à chaque série, l'aménagiste doit faire correspondre un mode de traitement et un seul. Ce peut être ensuite *l'essence principale* du peuplement: là encore, la grande division essentielle — feuillus, résineux — est faite au départ par l'aménagiste: on sépare habituellement les séries résineuses des séries feuillues.

Nous en arrivons à la répartition efficace et fondamentale qu'il ne faut jamais perdre de vue: la division de la série à aménager en *blocs écologiques distincts*. On sait l'intérêt qu'elle présente par ailleurs. Elle est aussi à la base d'un bon inventaire mathématique-statistique.

Nous verrons, dans le cours de ce travail:

1° qu'un groupage des parcelles inventoriées en blocs écologiques permet seul de répartir correctement, essence par essence, la masse totale des bois fournie par le calcul entre les unités élémentaires sur le terrain (paragraphe 734 et 737);

2° que cette division en blocs, lorsque la forêt devient vraiment hétérogène, permet souvent, au moyen d'une analyse de variance, de réduire l'erreur à craindre par rapport à sa valeur globale apparente (section 77).

Dans cet ordre d'idée, nous retiendrons dès maintenant que les 101,91 ha du canton des Perreaux — chêne rouvre, hêtre, charme — forment unité écologique distincte des 68,56 ha du canton du Cerisier — chêne pédonculé et tremble.

## 62. — Détermination sur plan des points de sondage

L'excellent plan de la forêt mis à notre disposition par le service local était un plan au 1/20 000. Nous en avons fait tout d'abord un agrandissement au 1/5 000 pour les cantons qui nous intéressaient. Cette échelle s'est avérée convenir parfaitement à nos travaux, et c'est celle que nous recommandons: il est possible, éventuellement, de travailler encore sur un plan au 1/10 000, mais l'échelle du 1/5 000 est certainement l'échelle idéale.

Nous rappelons à ce sujet combien il est facile, par reproduction photographique, qui est maintenant une spécialité de laboratoires de plus en plus nombreux, d'agrandir au 1/10 000 ou au 1/5 000 n'importe quel plan à échelle plus réduite, et notamment la portion du plan de la France au 1/20 000 sur lequel se trouve la forêt (3).

Il s'agissait en somme de placer en « grille » un point de sondage par demi-hectare de forêt: dans l'inventaire au 1/5, tous les points ainsi déterminés entreront en ligne de compte, au 1/10 un point sur deux seulement: mais on réalisera ainsi deux inventaires au 1/10 totalement différents, l'un n'incorporant que les points pairs par exemple, l'autre que les points impairs; le quart des points seulement sera retenu pour l'inventaire au 1/20, dont on pourra donc étudier 4 modèles distincts.

Sachant qu'une grille rectangulaire « raisonnable » pouvait remplacer la grille carrée classique (14-27) et pour économiser quelque peu les trajets que rendent parfois difficiles les brins du taillis, nous avons espacé nos axes de progression à 100 mètres les uns des autres, les points de sondage se répétant sur ces axes tous les 50 mètres: autrement dit, nos inventaires au 1/5 et au 1/20 seront maillés rectangulairement, tandis que les inventaires au 1/10 seront en réseau de 100 m  $\times$  100 m.

Nous avons alors dessiné sur papier calque, à l'encre de Chine, le réseau convenable à l'échelle de 1/5 000: des lignes parallèles espacées de 1 cm.

L'opérateur choisit ensuite une direction de progression facile à préciser sur le terrain\*: parallèle à une route rectiligne, ou aux lignes d'aménagement de plus grande longueur dans le canton en cause, ou, faute de mieux, tout simplement nord-sud par exemple.

\* l'affaire est plus délicate en montagne; voir à ce sujet notre compte rendu d'une étude autrichienne de MOSER. R.F.F., octobre 1958 (Revue des revues).

Au canton des Perreaux, nos tracés sont ainsi parallèles à la route forestière des Perreaux; au canton du Cerisier, nous les avons placés parallèlement à la route forestière du Pont de Pierre.

On déplace alors le papier calque maillé sur le plan des parcelles à inventorier, toujours parallèlement à cette direction privilégiée, en cherchant la position optima mettant à l'intérieur de l'emprise des parcelles le nombre de points d'échantillonnage correspondant aussi exactement qu'il est possible à leur surface et à l'intensité de sondage prévue. Il y faut parfois, pour y parvenir au mieux, du doigté et de la réflexion! Quand on estime avoir réalisé un dispositif satisfaisant, il ne reste plus qu'à le matérialiser sur le plan en piquant à l'aide d'une épingle à travers le calque un nombre suffisant de points caractéristiques du réseau maillé, qu'on reconstitue ensuite dans sa totalité au crayon.

Il convient enfin de numérotter « à la suite » la succession des points de sondage ainsi déterminés.

Les plans correspondants figurent en annexe (annexes 1 et 2). Ils seront confiés au chef de l'équipe d'inventaire qui organise d'après eux, en les suivant soigneusement, sa progression sur le terrain. De petites surprises pourront troubler un peu l'ordonnancement initial: par exemple, une limite mal reproduite sur le plan et rencontrée plus tôt qu'on ne pensait, supprimera malencontreusement un ou deux points prévus: mais ailleurs au contraire, on devra en ajouter un autre; le jugement du chef d'équipe doit lui permettre de ne pas se laisser arrêter par d'aussi minimes obstacles, que l'excellence des plans d'aménagement de facture récente réduit à fort peu de chose.

### 63. — Le travail de l'équipe d'inventaire sur le terrain

#### 63I. — LE MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Nous avons tout d'abord mis au point un système de fiches — une par point de sondage — imprimées recto-verso, qui permettent, à chaque station, de noter tous les renseignements utiles.

On en trouvera un modèle en annexes 3 et 4.

Au recto, les colonnes « N » du tableau (nombre de tiges par catégories de circonférence et par essence dans chaque placette de sondage) sont remplies *dans tous les cas*: un point au crayon matérialise chaque fois un arbre. Les colonnes « V » sont réservées au calcul des volumes au bureau.

Les autres rubriques permettent soit une description complète du peuplement, soit la notation d'éventuels sondages d'arbres à la tarière. Leur « coefficient d'utilisation » dépend de la plus ou moins grande homogénéité de la forêt, comme des intentions exactes de l'aménagiste.

Le complément de la première page — description du taillis, semis et plantation — peut à notre avis se remplir sans surcroît sensible de travail à chaque point de station. Le côté verso peut être réservé à un nombre plus modéré de stations — une sur deux par exemple, comme il est pratiqué parfois en pays scandinave — ou moins encore.

Le maintien de la direction de marche prévue sera assuré par l'utilisation d'une boussole à main suffisamment précise, du genre de celles qui ont été récemment décrites par BOUTIN (4) — (Lemaire, Méridien ou Topochaix par exemple). En ce qui nous concerne, nous avons travaillé avec la boussole à main *Topochaix* qui s'est révélée parfaitement efficace.

La mesure des distances séparant les points de station peut se faire de différentes façons. Si la visibilité sous bois est suffisamment bonne, on peut procéder dans de bonnes conditions par voie optique avec dendromètre *Blume-Leiss* et mire dont nous reparlerons. Nous avons préféré à Izeure nous munir tout simplement d'une solide corde de 50 mètres de longueur. L'homme de pointe en saisit une extrémité d'une main — ou se l'attache autour de la taille. Un camarade resté en arrière l'arrête lorsque les 50 mètres de corde sont tendus. 100 mètres se mesureront en deux fois cinquante mètres. Nous avons dit que la précision ainsi obtenue était suffisante dans le cas d'un inventaire statistique.

La corde en cause sera choisie si possible de couleur vive tranchant sur les couleurs naturelles en forêt. Elle sera munie de repères tous les 10 mètres et même tous les 5 mètres si on l'estime utile.

Chaque centre de cercle de sondage sera matérialisé sur le terrain par l'implantation d'un fort piquet muni d'une plaque d'aluminium portant mention du numéro d'ordre correspondant. Ce matériel est préparé d'avance, les piquets ayant été confectionnés sur place au préalable et concentrés en divers points du terrain, de passage oblique, faciles à retrouver.

Cette pose de piquets était certainement nécessaire dans le cadre de l'expérimentation poursuivie. Dans la pratique courante, on pourra bien souvent s'en exonérer et simplifier ainsi le travail de l'équipe d'inventaire.

Pour le traçage des cercles de sondage, nous avons adopté la méthode optique faisant intervenir le viseur dioptrique du dendromètre *Blume-Leiss* et une mire cylindrique spécialement construite qui, emmanchée sur un piquet, était placée verticalement à hauteur des yeux au centre de chaque cercle (voir photo n° 1). Notre plus récent et plus efficace modèle est un tube cylindrique métallique peint en rouge, de 5 cm de diamètre et 60 cm de longueur; sur ce tube sont tracés à 53,5 cm l'un de l'autre d'axe en axe, deux voyants blancs de 2 cm de large faisant chacun le tour complet du tube. Si, avec l'appareil optique dont est muni le dendromètre *Blume-Leiss*, on

regarde les deux voyants, ils cessent d'être dédoublés lorsque la distance séparant l'opérateur de la mire est égale à 17,84 m — rayon du cercle ayant 10 ares de superficie: d'où la méthode de travail qui aboutit à tracer optiquement, par points, la circonférence nécessaire. On sait que l'affaire se complique en terrain incliné; nous avons ailleurs dit pourquoi, et comment, l'obstacle pouvait être facilement levé (22) grâce à l'emploi d'une mire munie de voyants à espacement variable.

Nous avons du reste pu faire construire une mire spéciale suffisamment perfectionnée et précise, tout en restant légère et maniable, qui permet d'asseoir des cercles de tous rayons sur des sols de pente quelconque (voir photo n° 2).

Enfin, restait à désigner les arbres comptés dans chaque placette de sondage.

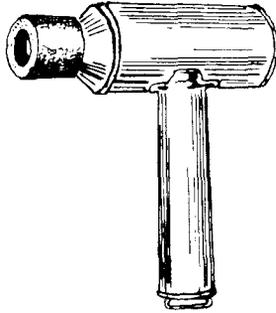


FIG. 2.

Le plus simple est évidemment d'utiliser pour cela la griffe forestière bien connue.

Mais il peut être intéressant de ne laisser aucune trace indélébile sur les arbres comptés. Et surtout, le travail est simplifié lorsque de loin on distingue si un arbre a déjà ou non été appelé: on peut penser alors appliquer simplement sur l'écorce une tache colorée. Nous avons donc fait appel — et nous ne le regrettons pas — à des « marteaux-poudreurs » de construction suédoise (« Klappen »). L'appareil (voir figure 2) se compose essentiellement d'un petit récipient cylindrique placé au bout d'un manche et muni d'une ouverture caoutchoutée pourvue d'un fin grillage. On remplit le récipient d'une poudre de couleur vive — jaune ou rouge par exemple. Quand on frappe avec l'appareil l'écorce de l'arbre comme d'un coup de marteau, on dépose sur l'écorce une tache circulaire de poudre colorée, visible de loin et capable de demeurer en place plusieurs jours.

Il serait intéressant, pensons-nous, de voir l'usage de ces « Klappen » se répandre en France (\*).

L'usage d'une chaîne d'arpenteur ne s'impose pas absolument. Il peut cependant être utile, pour certaines vérifications, de s'en munir.

### 632. — L'ÉQUIPE D'INVENTAIRE

L'équipe que nous a fournie M. l'Ingénieur Principal de LEMPS à Izeure n'était pas entraînée, et pour cause, à la pratique des inventaires forestiers par sondage.

Elle se composait :

1) d'un chef d'équipe, muni du plan « quadrillé » de la forêt, de la boussole et d'un dendromètre *Blume-Leiss*. Il dirigeait les opérations, assurant en particulier la direction de marche, contrôlant les mises en station de la mire et précisant les limites des cercles de 10 ares sur le terrain.

2) d'un chef de district pointeur — muni des fiches d'inventaire qu'il plaçait sur une plaquette de contreplaqué du type souvent employé en martelage pour supporter le calepin, de gomme et de crayons. Le pointeur remplissait les fiches : appels des arbres, description du taillis, notation des semis ou plantations rencontrées ; le cas échéant, sur indications du chef d'équipe, il remplissait les rubriques correspondant à la description de la station écologique locale.

3) d'un agent technique « porte-mire et dérouleur de corde » dont la progression était dirigée par le chef d'équipe.

4) d'un ou deux autres agents techniques porteurs de griffes et marteaux-poudreurs chargés de l'inventaire des tiges dans chaque placette.

En fait, et la chose mérite d'être notée, ce personnel prit vite un vif intérêt au travail proposé, n'accusant pas en fin de journée la lassitude qu'inspirent parfois les inventaires complets, et se montrant parfaitement apte à utiliser la boussole ou à délimiter les cercles de sondage à l'aide du dendromètre *Blume-Leiss*.

Des essais que nous avons faits, il résulte qu'avec du personnel suffisamment actif et intelligent — c'est le cas du corps des chefs de district et agents techniques — l'équipe d'inventaire peut fort bien se réduire à la formation suivante :

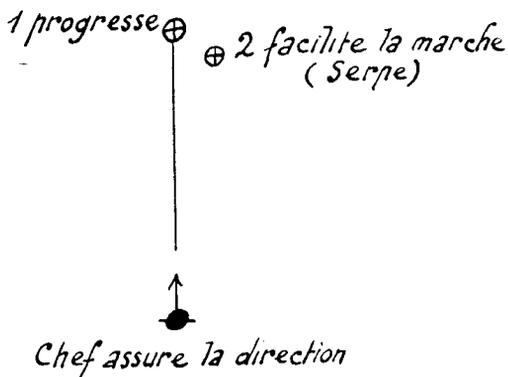
1 chef de district chef d'équipe — muni d'une boussole à main, d'un dendromètre *Blume-Leiss* et des fiches d'inventaire ;

2 agents techniques munis de griffes ou marteaux d'inventaire et portant la mire et la « corde d'arpentage ».

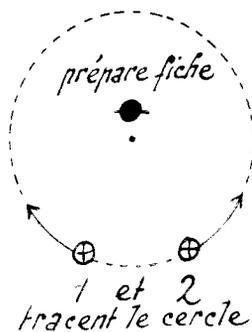
(\*) Les Klappen sont vendus par la firme « Skogs-Flottningsmateriel A/B » — Torsgatan 10 - Stockholm I - Suède.

Il est possible de les munir en supplément de dendromètre *Blume-Leiss*, et d'accélérer ainsi le traçage des cercles sur le terrain. Le travail peut alors se décomposer comme suit :

1<sup>er</sup> temps : progression.



2<sup>e</sup> temps : traçage du cercle.



3<sup>e</sup> temps : inventaire.



Une remarque importante reste à faire: dans ce type de forêt feuillue, les feuilles forment un obstacle considérable à l'assiette à l'aide du *Blume-Leiss* — ou des appareils similaires — des placettes d'échantillonnage. Il convient donc de procéder aux inventaires pendant la période de repos de la végétation — après la chute des feuilles ou avant leur pousse. C'est en fait ce qui se pratique également dans le cas des inventaires complets.

### 633. — LES MODALITÉS PRATIQUES DE L'INVENTAIRE PAR SONDAGE

6.331. — 1<sup>er</sup> temps: *progression*. — Le chef d'équipe doit tout d'abord « traduire » en orientation (angle par rapport au nord magnétique) sa direction de marche. Rien n'est plus simple: on voit par exemple qu'au canton des Perreaux les lignes de progression sont parallèles à la longue sommière rectiligne qui traverse le canton: il suffit donc de lire sur la boussole à main, en stationnant à une extrémité de la sommière et dans son axe, l'orientation correspondant.

Se plaçant ensuite en position convenable sur la ligne de départ initiale, le chef d'équipe prend à l'intérieur du peuplement un point de repère en direction aussi éloigné que possible, et envoie en avant son « homme de pointe ». Restant en place, il peut rectifier son angle de marche au fur et à mesure que cet homme avance, déroulant sa corde derrière lui. On comprend facilement comment, en répétant la manœuvre, l'équipe progresse en forêt. Nous conseillons, chaque fois qu'on franchit une ligne d'aménagement, de comparer l'axe de marche réel à celui qui figure sur le plan de travail. On rectifie le cas échéant l'endroit de pénétration dans la parcelle venant à la suite.

Pour faciliter et accélérer au moment de l'inventaire ces vérifications, il semble opportun d'avoir au préalable fait placer par l'agent technique du triage, des jalons munis d'un carré de papier blanc aux points d'intersection des lignes d'aménagement et des axes de progression de l'inventaire relevés sur plan. De toute façon, nous avons vérifié à Izeure qu'il n'était pas nécessaire de tracer sur le terrain des « filets » analogues aux filets de martelage que l'équipe d'inventaire n'aura qu'à suivre: cela augmente considérablement le coût de l'inventaire par sondage — donc son intérêt — alors qu'il est facile de... « travailler sans filets »!

6.332. — 2<sup>e</sup> temps: *Assiette des cercles de sondage*. — L'homme de tête plante la mire au centre du futur cercle de sondage. Ce point est ou non repéré par piquet, numéro ou tout autre procédé: nous avons dit comment nous avons placé chaque fois en terre un fort piquet muni d'une plaquette d'aluminium numérotée.

Dans le cas du taillis-sous-futaie qui nous intéresse ici, il n'est même pas nécessaire de préciser complètement à l'aide du *Blume-Leiss* sur le terrain, le cercle périmétral correspondant à chaque point d'inventaire: il y avait en moyenne 10 à 11 tiges, par cercle de sondage, à compter. Plus de la moitié de ces tiges étaient suffisamment près du centre du cercle pour qu'aucun doute n'existe: elles faisaient partie du sondage.

Restait donc simplement à vérifier la position, en deçà ou au delà de 17,84 m du centre, de 3 ou 4 tiges: 99 fois sur 100, le cas était tranché au dendromètre *Blume-Leiss*. Chaque jour cependant, 2 ou 3 tiges posaient un problème plus délicat: soit qu'une forte tache de semis intermédiaire empêche une vision normale, soit qu'un soleil violent et d'incidence malheureuse laisse subsister une certaine incertitude. Pour juger ces récalcitrantes, nous étions muni d'une cordelette ayant exactement 17,84 m de longueur qu'il suffisait de tendre de l'arbre litigieux au centre du cercle pour lever le doute.

Il faut cependant régler sans ambiguïté la question de deux cas particuliers:

*Cas des arbres limites:* Il arrive de temps en temps que la trace du cercle périmétral recoupe la section horizontale à hauteur d'homme d'un tronc d'arbre.

Le travail au *Blume-Leiss* est suffisamment exact pour qu'on puisse préciser le mode d'intersection des deux courbes. Si plus de la moitié du tronc est située à l'intérieur du cercle de sondage, l'arbre est compté. Il demeure en dehors de l'inventaire dans le cas contraire.

Restent cependant, même après vérification, des arbres litigieux. Il convient de les inscrire sur la fiche d'inventaire avec la mention « *limite* ». Ultérieurement, au bureau, on reprendra la pile des fiches d'inventaire et *automatiquement*, en se gardant bien de faire intervenir le moindre élément subjectif, on inclura alternativement dans le sondage définitif un arbre limite sur deux, les autres étant rejetés et définitivement rayés.

*Cas des cercles incomplets.* — Il peut arriver qu'on ne puisse tracer normalement le cercle d'échantillonnage: soit qu'il tombe à cheval sur deux parcelles appartenant à deux types de peuplements différents si on a divisé la forêt en blocs, soit qu'une partie du cercle doive se tracer en dehors de la limite de la forêt: cela peut être le cas lorsqu'un axe de progression se rapproche par trop du périmètre.

Là encore, on veillera à ne pas prendre une décision subjective. Nous proposons la solution que voici.

Le chef d'équipe fera placer successivement le centre du cercle de sondage, *toujours dans le même ordre*, dans les quatre positions suivantes, en arrêtant l'opération et adoptant la première position permettant un inventaire normal :

- 1) 17,84 m en avant sur l'axe de progression ;
- 2) 17,84 m en arrière sur ce même axe ;
- 3) 17,84 m à 90° à droite dans le sens de la marche ;
- 4) 17,84 m à 90° à gauche.

6.333. — 3<sup>e</sup> temps: *Inventaire proprement dit*. — Il ne soulève aucune difficulté spéciale, sauf celle des arbres-limites dont nous venons de parler.

Les arbres les plus éloignés vers l'extérieur ont été appelés en premier lieu par l'opérateur qui en a vérifié la position en les marquant au corps, grâce au marteau-poudreur, d'une tache colorée *face au centre du cercle*.

Le chef d'équipe se tient près du centre et note les arbres inventoriés au fur et à mesure. Les agents techniques les désignent au marteau-poudreur (ou à la griffe, simplement, le cas échéant) au fur et à mesure de leur mensuration. Toutes les marques au corps étant faites en direction du centre du cercle de sondage, en fin d'opération, le chef d'équipe, placé précisément près du centre, peut d'un simple coup d'œil vérifier rapidement qu'aucun arbre n'a été oublié.

\*  
\*\*

L'inventaire que nous avons fait à Izeure était destiné à être comparé à un inventaire complet qui n'enregistrait que l'essence et les circonférences à hauteur d'homme, le tarif de cubage convenable ayant été préalablement précisé: nous ne parlerons donc que des données dont nous avons eu à connaître.

Mais bien entendu — est-il du reste besoin de le dire? — un inventaire par sondage peut s'accompagner de nombreux relevés; sans même parler de relevés botaniques ou d'analyses pédologiques, signalons qu'on peut faire obligation dans certains cas aux opérateurs de mesurer des hauteurs d'arbres — tous les arbres d'un plateau sur 4 ou 5 par exemple — de prélever des carottes à la tarière de Pressler pour permettre des calculs d'accroissement, etc..

---

## CHAPITRE VII

## LES RÉSULTATS DE L'EXPÉRIMENTATION FAITE

71. — Comparaisons des répartitions réelles  
avec les répartitions normales

VESSEREAU (31) — entre autres classiques — a précisé comment ajuster une répartition observée à la répartition normale calculée la plus voisine possible. Et il signale que le critérium  $\chi^2$  permet d'éprouver l'ajustement (\*).

Il ne convient pas de reprendre ici des considérations théoriques qui sont du domaine plus général des mathématiques-statistiques : nous les admettrons connues. Nous nous sommes bornés à appliquer les méthodes proposées par VESSEREAU :

1° A l'étude de la répartition des surfaces terrières directement liées aux volumes dans les échantillons de l'inventaire au 1/5 des cantons complets *Perreaux- + Cerisier*.

(Voir annexe 6).

Cette étude prouve qu'il est possible d'ajuster correctement la répartition réelle des surfaces terrières à la loi normale, c'est-à-dire que la répartition des surfaces terrières dans la population étudiée est gaussienne ;

2° A l'étude de la répartition des nombres de tiges dans les mêmes échantillons (voir annexe 7).

Le test  $\chi^2$  prouve au contraire cette fois que cette répartition n'est pas gaussienne.

Cela n'a du reste qu'une importance réduite, puisqu'il suffit que les populations ne s'écartent pas exagérément de la loi normale pour que leur moyenne ait, elle, une répartition gaussienne.

Les auteurs forestiers spécialisés admettent que le test  $\chi^2$  est un test trop « fin », trop précis, pour le cas des populations d'arbres. En fait, il semble qu'on puisse se contenter d'un test graphique qui consiste à utiliser le papier de probabilité dont BRENAC et SCHAEFFER ont expliqué déjà l'emploi (5).

On peut par exemple, sur un tel papier, porter en abscisses les circonférences à 1.30 m, et en ordonnées les fréquences *cumulées* des volumes par catégories de circonférence.

(\*) VESSEREAU - volume cité, pages 74 et suivantes.

C'est ce que nous avons fait avec les résultats donnés par l'inventaire complet du peuplement (annexe 8).

On sait que si les points obtenus se trouvent alignés, c'est que la série étudiée suit la loi normale: le résultat semble satisfaisant dans notre cas particulier. On notera, pour apprécier « sainement » cet alignement que, d'après l'Américain HAZEN (cité par HASENKAMP) il suffit, pour qu'on puisse s'estimer satisfait, que les points soient correctement placés de la « fréquence cumulée 5 % » à la « fréquence cumulée 95 % ». L'ensemble des observations compris entre ces deux limites est ce qu'il appelle « l'espace T 90 ».

## 72. — Etude comparative des temps et des prix

Cette étude a d'autant plus d'importance que ces temps sont ici pratiquement proportionnels au coût de l'opération: nous l'avons déjà dit, notre expérience a tout d'abord montré que le personnel forestier habituel d'un district pouvait réaliser lui-même l'inventaire sur le terrain, pourvu qu'on lui fournisse un plan de travail précis et qu'on en contrôle de temps en temps la bonne application. Les calculs qui suivent au bureau nécessitent simplement l'emploi d'une machine à calculer: quelle inspection n'en est pas dotée maintenant?

Quant au matériel à mettre en œuvre sur le terrain — dendromètre *Blume-Leiss* et mire spéciale principalement — il existe déjà en dotation, ou a un coût négligeable.

1° L'inventaire complet a été mené à bien par un chef de district et trois agents techniques (\*). Il a nécessité 8 journées de travail. Cela correspond bien du reste à ce qui est admis couramment dans ce type de forêt par le service local (15 à 20 hectares par jour pour l'équipe en cause).

2° *Le même type d'équipe a procédé à l'inventaire par sondage.* Nous répétons ici — mais nous n'en tiendrons pas compte — qu'une équipe réduite de un chef de district et deux agents techniques, si elle est convenablement entraînée (tandis que nous avons affaire bien entendu à des « novices »!) peut arriver à une vitesse d'exécution comparable.

Le travail a comporté une matinée d'explications et mise en route, et deux après-midi de samedi incomplètes: en fin de compte, l'inventaire au 1/5 — un cercle de 10 ares par demi-hectare — a nécessité presque le même temps: 7,5 journées de travail.

On peut en tirer les très importantes conclusions suivantes que nous prions de considérer comme de simples ordres de grandeur:

a) l'inventaire au 1/5 n'est pas intéressant: il nécessite prati-

(\*) Alternativement M. le Chef de District VALLON et trois Agents techniques, M. le Chef de District CORDELET et trois Agents techniques.

quement le même temps — et le même coût — qu'un inventaire total. Si on peut en tirer dans notre cas particulier des renseignements dignes d'être notés, il doit être rejeté dans la pratique: on lui préférera, lorsqu'il sera nécessaire, l'inventaire complet.

b) l'inventaire au 1/10 — un cercle de 10 ares par hectare — ne nécessite l'assiette que de la moitié des points de sondage du précédent: il progresse deux fois plus vite et coûte donc à peu près deux fois moins cher qu'un inventaire total; il peut lui être préféré dès que la précision qu'il donne est jugée suffisante.

c) l'inventaire au 1/20 — un cercle de 10 ares pour deux hectares — coûte trois à quatre fois moins cher qu'un inventaire complet: s'il fournit par ailleurs une erreur à craindre acceptable, il doit être pareillement retenu.

On notera aussi que, suivant la facilité plus ou moins grande de pénétration du taillis, on assoit dans le type de forêt en cause 40 à 50 cercles d'échantillonnage de 10 ares par journée normale de travail (8 heures) et par équipe.

### 73. — La précision de l'inventaire par sondage dans l'estimation des volumes sur pied

#### 73I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Nous l'avons déjà dit: nous désirons obtenir une erreur à craindre, au seuil de signification de 5 %, ne dépassant pas  $\pm 10$  %: l'inventaire par échantillonnage nous permet de calculer un volume  $V$ , et on veut être sûr d'avoir 95 chances sur 100 que le volume réel  $V_1$  ne s'en écarte pas de plus de 10 % par excès ou par défaut.

En première approximation, on sait que l'intervalle de sécurité qui nous intéresse va de  $V - 2\sigma$  à  $V + 2\sigma$ ,  $\sigma$  étant l'écart-type de la moyenne  $V$ .

En fait — et on en trouvera une bonne explication dans LAMOTTE (17) — le facteur 2 doit être remplacé en toute rigueur par le paramètre  $t$  de STUDENT, dont la distribution ne se rapproche de la normalité que dans le cas des grands échantillons (nombre des cercles de sondage supérieur à 30). L'intervalle de sécurité qui nous intéresse s'étend exactement de  $V - t\sigma$  à  $V + t\sigma$ .

On trouvera en *annexe 9* la table des valeurs de  $t$ , au seuil de probabilité de 95 %, en fonction du nombre de degrés de liberté: c'est-à-dire, dans le cas particulier, en fonction du nombre de placettes d'échantillonnage moins une.

Nous nous en servirons dans tous les cas.

Dans la pratique courante, *lorsque le nombre des sondages dé-*

passé 30, on pourra remplacer  $t$  par le chiffre 2 et adopter les limites traditionnelles de l'intervalle de sécurité :  $V - 2\sigma$ ,  $V + 2\sigma$ .

L'annexe 10 donne à titre d'exemple un type d'inventaire par sondage statistique réalisé à Izeure (inventaire des 170,47 ha à raison d'un cercle de sondage de 10 ares par hectare de peuplement).

L'annexe 11 condense, coupe par coupe, par essences et catégories de circonférence, les données de l'inventaire complet pied par pied auxquels nous comparerons chaque fois les résultats de nos calculs d'inventaires par sondages.

Les annexes 12 et 13 donnent les volumes totaux trouvés dans chaque cercle d'échantillonnage, en mètres cubes par hectare de peuplement (c'est-à-dire volume existant dans chaque cercle de 10 ares multiplié par 10).

### 732. — LES VOLUMES TOTAUX

C'est le renseignement demandé le plus intéressant, celui pour lequel l'erreur doit être aussi faible que possible. Disons tout d'abord que nous avons fait 85 combinaisons d'inventaires systématiques, en faisant varier soit les taux de sondage, soit les surfaces, les groupements de parcelles entrant en cause : une seule fois le cube s'est trouvé sortir de l'intervalle de sécurité calculé : encore s'agissait-il de l'inventaire au 1/10 d'une seule parcelle (parcelle 29 des Perreaux, d'une surface de 11,90 ha seulement, voir en annexe). Pour une si petite surface, et avec un tel taux de sondage, nul ne s'étonnera que des résultats douteux soient possibles !

La conclusion importante qui s'impose tout d'abord rejoint celles qui ont déjà été faites par les auteurs que nous avons étudiés : *il est parfaitement valable d'appliquer aux inventaires systématiques les formules du calcul de l'erreur à craindre réservées en principe au cas des inventaires au hasard.*

*Cas des inventaires au 1/5.* — Bien qu'ils ne soient pas « économiques », nous avons fait figurer en annexe 14 les plus caractéristiques d'entre eux.

Le tableau prouve qu'ils sont utilisables dans les conditions de précision voulue ( $\pm 10\%$ ) dès une surface globale à inventorier égale à 35 hectares environ, les résultats devenant absolument remarquables au-dessus de 100 hectares puisqu'on arrive à une erreur à craindre au seuil de probabilité de 95 % inférieure à 5 % !

*Cas des inventaires au 1/10.* — Les résultats essentiels figurent en annexe 15. On remarquera la très régulière réduction de l'intervalle de sécurité au fur et à mesure qu'augmente la surface inventoriée. A partir d'un minimum de 75 hectares (13 à 14 000 m<sup>2</sup>), on se trouve dans les limites d'erreur que nous nous sommes fixées. On notera du reste que l'erreur réelle est d'une manière générale étonnamment faible : les volumes déduits des calculs sem-

blent plus « condensés » encore autour des valeurs vraies que ne les y autorise la marge d'erreur théoriquement accordée. Cette observation a déjà été faite par HASENKAMP (14) et RICHTER (26).

*Cas des inventaires au 1/20.* — Ils sont portés en annexe 16. On voit qu'ils donnent dès la centaine d'hectares, des erreurs réelles très acceptables, et que les précautions dont nous nous entourons conduisent à leur faire confiance à partir de quelque 170 ha de forêts, soit 30 000 mètres cubes environ de bois sur pied.

Retenons que l'erreur à craindre moyenne d'environ 8 % obtenue pour une surface forestière de 170 hectares se raccorde bien à l'erreur à craindre vérifiée par GROSSMANN (voir graphique 2) dans le cas d'un sondage de 4 ares par hectare (soit 8 ares seulement pour 2 hectares) pour des surfaces de forêts du même ordre de grandeur. Il est intéressant de traduire ces résultats en courbes, du moins ceux concernant les inventaires par sondage d'usage vraiment économique au 1/10 et au 1/20.

Nous porterons en abscisses, chaque fois, les surfaces échantillonnées, en ordre croissant; en ordonnées les erreurs à craindre (en %) au seuil de probabilité de 95 %, chaque cas examiné donnant bien entendu lieu à deux pointages symétriques par rapport à l'axe des x, qui caractérise les erreurs nulles. Enfin, nous ferons figurer également sur nos graphiques les erreurs réelles — c'est-à-dire les écarts-vrais entre cube d'après inventaire complet et cube d'après sondage.

Cette partie de nos travaux se résume ainsi:

Graphique annexe 17 - Inventaire statistique - volumes totaux - 1 sondage par ha;

Graphique annexe 18 - Inventaire statistique - volumes totaux - 1 sondage pour 2 ha.

Il apparaît clairement sur ces graphiques que non seulement 95 % au moins des observations sont bien comprises dans l'intervalle de sécurité  $\pm 2 \sigma$  mais qu'il doit y en avoir plus dans l'intervalle  $\pm \sigma$  que ne le laisseraient supposer les lois du calcul des erreurs à craindre: cette remarque doit pour le moins convaincre d'utiliser en matière d'aménagement ou d'inventaire de petits massifs forestiers les inventaires par sondage systématique, plus simples à « asseoir » sur le terrain que les inventaires stratifiés ou strictement au hasard, en leur appliquant en toute sécurité les formules classiques.

Notons-le, si pour une même surface inventoriée on fait varier le pourcentage d'échantillonnage:

$$1/5, 1/10, 1/20, 1/50, 1/100, \text{ etc...}$$

l'intervalle de sécurité se réduit lorsqu'augmente le taux de sondage, et le graphique qu'on peut tracer a une allure générale très voisine de celle des deux graphiques précédents.

*Remarque:* Sortant du cadre d'un aménagement, on peut se demander quelle valeur auraient nos résultats dans celui d'une simple estimation de forêt. Bien souvent, peut-on penser, une erreur à craindre de  $\pm 15\%$  sur les volumes totaux serait acceptable.

L'inventaire au 1/10 pourrait alors être pratiqué à partir de 40 ha de forêt à inventorier seulement, et l'inventaire au 1/20 à partir de quelque 70 ha: c'est dire que les experts forestiers peuvent eux aussi tirer une méthode de travail efficace et économique de nos études.

### 733. — LES VOLUMES CHÊNE

Les erreurs à craindre doivent être inférieures en qualité à celles du cas précédent, car si la surface intervient lorsqu'elle croît, pour faire diminuer l'erreur, c'est qu'en fait le volume inventorié — et le nombre d'arbres — augmentent eux aussi. Plus nos calculs se rapporteront à des volumes faibles, plus l'intervalle de sécurité sera étendu. Les résultats principaux figurent en :

Annexe 19: cas des inventaires au 1/5;

Annexe 20: cas des inventaires au 1/10;

Annexe 21: cas des inventaires au 1/20.

On constate tout d'abord que les lois des mathématiques-statistiques sont toujours applicables.

Mais il faudra nous contenter, aux surfaces-limites inférieures que nous avons reconnues tout à l'heure, d'une erreur à craindre de 10-13 %, d'autant plus acceptable que l'erreur réelle correspondante est la plupart du temps bien plus réduite.

Le graphique annexe 22 donne un résumé, dans le cas de l'inventaire au 1/10, des erreurs réelles ou à craindre en fonction de la surface inventoriée dans le calcul des volumes « chêne seulement ».

### 734. — LES ESSENCES SECONDAIRES

On admettra pensons-nous facilement qu'il est moins important encore d'avoir une précision fine dans l'estimation du volume des hêtres et autres essences secondaires en forêt d'Izeure, car bien entendu, leur faible pourcentage ne peut conduire qu'à une erreur encore accrue.

Le tableau annexe 23 montre qu'une approximation très acceptable de  $\pm 20\%$  est atteinte lorsque le volume en cause est de l'ordre d'au moins 3 000 m<sup>3</sup> (hêtre aux Perreaux). Mais elle est encore de 25 % pour un peu plus de 600 m<sup>3</sup> seulement de divers dans le cas du canton du Cerisier.

Pour ce qui est des erreurs réelles, elles sont, sauf cas particulier du Cerisier, minimes pour les hêtres, et peuvent contenter les plus difficiles.

On notera, dans le cas du hêtre, par exemple, combien une division de la forêt en blocs écologiques peut être intéressante: nous avons dit que le canton des Perreaux formait unité stationnelle homogène du type chêne rouvre - hêtre - charme: effectivement, la grande majorité du cube hêtre y est concentrée: 3 287 m<sup>3</sup> de hêtre aux Perreaux, 419 m<sup>3</sup> seulement au Cerisier. En conséquence, pour cette essence, l'erreur à craindre — comme l'erreur réelle du reste — ne s'améliorent pas lorsqu'on passe des 101,91 ha des Perreaux aux 170,47 ha de l'ensemble: la division écologique nous permet de le prévoir et nous pousse à traiter à part de l'ensemble le cube de hêtres sur pied au canton des Perreaux: on peut ainsi mieux connaître la « ventilation » des bois sur pied entre les différents blocs de la forêt.

L'approximation réelle obtenue sur les divers est médiocre et ne vaut guère mieux que l'approximation théorique.

Mais il faut savoir que ces divers sont formés pour une bonne part, au canton du Cerisier surtout, de trembles à l'âge du taillis, très nombreux, « noyés » au milieu de beaucoup d'autres qui n'ont pas encore atteint la dimension-limite de 51 cm de circonférence à hauteur d'homme; c'est dans un tel cas, où il est bien difficile aux opérateurs d'un inventaire complet de mesurer au ruban toutes les tiges de dimension douteuse que l'exactitude véritable d'un comptage total est sujette à caution. L'erreur réelle obtenue est peut-être moins forte qu'il ne paraît...

Aux résultats médiocres obtenus dans le cas des divers, qui forment de petites populations à répartition capricieuse sur le terrain, correspondent, on voudra bien le noter, des coefficients de variation très élevés; comme il est normal, plus le coefficient de variation d'une population forestière s'accroît, plus s'accroît également l'erreur à craindre au seuil de signification 5 %.

### 735. — LES VOLUMES PAR CATÉGORIES DE CIRCONFÉRENCE

La connaissance des volumes par catégories de circonférence est beaucoup moins utile. Elle n'est cependant pas dénuée de tout intérêt.

Il est intéressant de voir à partir de quel cube et de quelle surface inventoriés (les deux notions sont liées) on obtient une approximation raisonnable: disons par exemple  $\pm 20$  % pour l'erreur à craindre au seuil de signification de 5 %.

Les résultats déjà obtenus conduisent à penser que la chose est possible à partir d'un volume de 3 000 m<sup>3</sup> environ.

Nous avons fait les calculs pour les arbres de la catégorie 180 — ayant 170 à 189 centimètres de circonférence à hauteur d'homme.

L'annexe 24 prouve qu'effectivement l'erreur à craindre rentre dans le cadre prévu; dans le cas de l'inventaire au 1/5: autour de 17 % pour 100 ha inventoriés, 15 % seulement pour 170 ha. Dans le cas de l'inventaire plus intéressant au 1/10, on approche seulement des 20 % pour la surface totale étudiée.

Nous pensons que ces résultats sont acceptables dans la pratique courante, puisque le classement des arbres par catégories de circonférence n'est souvent repris par aucun calcul.

#### 736. — LES VOLUMES RÉPARTIS EN VIEUX BOIS, BOIS MOYENS ET JEUNES BOIS

Cette répartition a une réelle importance, puisqu'une formule classique du calcul de la possibilité englobe directement — et séparément — les vieux bois et les bois moyens.

Comme de toute façon on connaît tout d'abord le volume total, on est amené à calculer ensuite le volume des vieux bois puis le volume des bois moyens, celui des jeunes bois étant obtenu en fin de compte par différence, avec une approximation qu'on ignorera, peu importe!

L'annexe 24 donne les résultats des calculs pour les 101,91 ha des Perreaux d'une part, les 170,47 ha de l'ensemble des parcelles inventoriées d'autre part, dans le cas de l'inventaire classique au 1/10 (un point de sondage de 10 ares par hectare).

L'erreur à craindre au seuil de signification de 5 % se tient toujours au-dessous de 10 % pour l'ensemble des deux cantons, largement en dessous de 15 % pour le seul canton des Perreaux. Les erreurs réelles sont dans tous les cas très satisfaisantes.

Ces résultats sont, pensons-nous, largement suffisants. Ils précisent utilement, pour les études ou les réalisations pratiques à venir, les possibilités de la méthode d'inventaire qui nous préoccupe.

#### 737. — LES VOLUMES CALCULÉS PAR PARCELLE

Les annexes 14, 15 et 16 nous donnent un aperçu de ce qu'on est en droit d'attendre dans cet ordre d'idée.

Si l'on se place dans le cas de l'inventaire au 1/10, on voit qu'il faut inventorier au moins 20 à 25 hectares pour avoir une approximation raisonnable de l'ordre de  $\pm 20\%$  — et au moins 70 ha dans le cas de l'inventaire au 1/20 —. En fait, cette marge d'erreur est suffisante si l'on doit se borner à indiquer en fonction du cube du bois sur pied un volume présumé réalisable, et on peut même se montrer moins exigeant.

En somme, si l'on tient à avoir des résultats suffisamment approchés, parcelle par parcelle, la méthode d'inventaire par sonde-

ge incite à ne pas morceler à l'excès la forêt: dans la mesure où la chose est compatible avec d'autres impératifs — écologiques ou topographiques par exemple — il est préférable en tout cas de ne pas descendre au-dessous de 10 hectares par unité de gestion... et, mieux encore, de se tenir si faire se peut, autour de la vingtaine d'hectares!

Dans ce cadre, la division des peuplements en unités écologiques homogène joue un rôle capital. On le comprendra sur l'exemple du hêtre, que nous reprendrons.

Le volume à l'hectare est en moyenne pour les 170,47 ha étudiés de 21,7 m<sup>3</sup>; mais si on a pris la précaution de distinguer pour le moins une unité écologique aux Perreaux, une autre au Cerisier, on pourra tenir compte du fait que le volume moyen à l'hectare est en réalité de 32,2 m<sup>3</sup> dans le premier de ces cantons, de 6,1 m<sup>3</sup> seulement dans le second.

Effectivement, les résultats de l'inventaire par sondage au 1/10 (points impairs) sont les suivants:

Volume moyen des hêtres à l'ha :

ensemble: 21,4 m<sup>3</sup>,  
Perreaux seulement: 31,2 m<sup>3</sup>,  
Cerisier seulement: 6,8 m<sup>3</sup>.

Grâce à la différenciation écologique des peuplements, il devient donc possible de mieux répartir par parcelle ou groupe de parcelles les volumes sur pied fournis par le calcul pour chaque essence.

#### 74. — Le nombre de tiges par catégories de circonférence

Il s'agit là d'un renseignement qui n'a qu'un intérêt secondaire. Et nous savons qu'il ne faut pas s'attendre à trouver sur ce point un résultat hautement satisfaisant. Nous nous sommes borné à calculer les écarts par rapport aux chiffres réels:

1) dans le cas d'un inventaire au 1/10 du canton des Perreaux (101,91 ha — voir annexe 25);

2) dans le cas d'un inventaire au 1/20 de l'ensemble Perreaux + Cerisier (170,47 ha — voir annexe 26).

On voit que si le nombre total des tiges est chaque fois connu avec une approximation convenable, cette approximation est franchement mauvaise lorsque le nombre de tiges par catégorie descend au-dessous de 300, et elle reste médiocre la plupart du temps.

Mais, bien souvent, que ce soit en matière d'aménagement ou même en matière d'inventaire de forêt pur et simple, la répartition des tiges par catégories de circonférence n'est qu'un élément mineur, voire inutile, de l'estimation.

### 75. — Comparaison des inventaires systématiques et des inventaires au hasard

Faire d'une forêt un inventaire strictement au hasard est pratiquement impossible : dans le cas par exemple, d'un inventaire par sondage au 1/10, il faudrait superposer au plan parcellaire un calque quadrillé en fractions de 10 ares toutes pourvues d'un numéro d'ordre, tirer ensuite au hasard un sur 10 de ces numéros, aller enfin les délimiter et inventorier un à un sur le terrain ; on voit combien, par rapport à ce schéma, l'inventaire systématique simplifie le problème !

Il est pourtant nécessaire de comparer les résultats respectifs donnés par les deux types d'inventaire.

Nous avons tenté d'approcher l'inventaire au hasard autant que nous le pouvions : puisque nous avons en fait assis un cercle de 10 ares par demi-hectare, on peut, dans le cas de l'inventaire au 1/20, numéroté tous ces cercles, et en tirer au hasard un sur 4 : soit tout simplement en plaçant avant tirage le nombre voulu de papiers numérotés et pliés préalablement, brassés tous ensemble dans un chapeau, soit plus rigoureusement en utilisant une table de nombres au hasard comme on en trouve dans un ouvrage classique de SNEDECOR (28).

Nous avons déjà (voir annexe 16) réalisé un certain nombre d'inventaires systématiques au 1/20. Nous leur avons ainsi ajouté 12 inventaires au hasard (voir annexe 27) qui peuvent être comparés aux 12 inventaires systématiques homologues, soit :

- 4 inventaires du canton du Cerisier (68,56 ha),
- 4 inventaires du canton des Perreaux (101,01 ha),
- 4 inventaires de l'ensemble Perreaux + Cerisier (170,47 ha).

On constate que les inventaires au hasard n'accusent apparemment aucune supériorité sur les inventaires systématiques : les erreurs à craindre sont du même ordre dans les deux cas ; les erreurs réelles sont plus faibles dans le cas des inventaires systématiques pour les 68,56 ha du Cerisier ou les 170,47 ha de l'ensemble, mais elles sont dans le même cas nettement plus fortes pour le canton des Perreaux, l'erreur à craindre étant même alors franchie une fois.

En définitive, cette étude comparative — qu'il serait intéressant de pousser plus rigoureusement ultérieurement — nous confirme dans l'idée que les inventaires par sondage systématique valent sans aucun doute par leur exactitude les inventaires au hasard, en matière forestière tout au moins.

Il y a du reste simplement confirmation locale d'une constatation déjà faite à l'étranger, et tout récemment encore, nous l'avons vu, par PRODAN (25).

## 76. — Rôle et utilisation du coefficient de variation

On sait que lorsque ce coefficient augmente, l'erreur à craindre à laquelle on peut s'attendre devient de plus en plus forte: moins un peuplement est régulier et homogène, plus ce coefficient est élevé.

Il convient de retenir dès maintenant — pour comparaison avec des études ultérieures éventuelles — que le coefficient de variation estimé des volumes des peuplements expérimentés dans le cas d'un inventaire au 1/10 se tient autour de 40, et qu'il reste assez constant, lorsqu'augmente la surface inventoriée, puisqu'il ne varie en somme que d'environ 30 à 46 (voir annexe 15).

En fait, un des grands intérêts du coefficient de variation — les études allemandes entre autres l'ont montré — est de permettre le calcul du nombre de points de sondage nécessaires pour ne pas dépasser une erreur à craindre donnée.

*Certaines formules assez compliquées ont été données pour calculer les différents éléments d'un inventaire par échantillonnage.*

DAGNELIE en cite plusieurs (6).

MEYER (21) en partant de l'une d'elles, a pu donner les valeurs de l'erreur à craindre prévisible au seuil de 5 % pour trois coefficients-type de variation (15 % 30 % — 60 %), huit surfaces totales échelonnées de 50 acres à 10000 acres, et six intensités d'échantillonnage: 1 % — 2 % — 5 % — 10 % — 20 % — 30 %.

*Toutes ces formules nous paraissent d'un maniement assez délicat.*

Il nous semble plus simple de raisonner ainsi:

Soit  $e$  l'erreur à craindre qui est jugée acceptable au seuil de signification de 5 %.

Soit  $C_v$  le coefficient de variation,

$n$  le nombre de placettes de sondage,

$t$  (voir annexe 9).

On a en valeur absolue:

$$e = t \frac{C_v}{\sqrt{n}}$$

Si, avant de réaliser le travail d'inventaire prévu, on fait un petit « inventaire partiel pilote » de quelques heures, on peut espérer pouvoir calculer ensuite au bureau une valeur assez approchée de  $C_v$ .

$n$  peut donc se tirer de la formule suivante:

$$\sqrt{n} = \frac{C_v \cdot t}{e}$$

ou

$$n = \left( \frac{C_v \cdot t}{e} \right)^2$$

*Exemple pratique:* A Izeure, on aurait pu employer une première journée à inventorier par sondage au 1/10 — 28 points de sondage — :

la parcelle 29 du canton des Perreaux,  
et la parcelle 25 du canton du Cerisier.

Le calcul du coefficient de variation (nous l'avons dans notre dossier), arrondi à l'unité la plus proche, donne la valeur 38.

Pour 27 degrés de liberté, on trouve une valeur de  $t$  égale à 2,05 : nous pourrions prendre tout simplement 2.

On désire par exemple réaliser de la surface totale — 170,47 ha — un inventaire donnant une erreur à craindre de l'ordre de 6 %.

Quel nombre  $n$  de placettes de sondage permet d'obtenir cette approximation ? Il est donné par le calcul suivant :

$$n = \left( \frac{C_v t}{e} \right)^2 = \left( \frac{38 \times 2}{6} \right)^2 = \left( \frac{76}{6} \right)^2 = (12,3)^2 = 160$$

160 points de sondage nous donneront l'exactitude cherchée. Comme l'inventaire au 1/10 prévu correspond pour les 170,47 ha de forêt en cause à 170 points de sondage, on peut présumer que l'exactitude recherchée sera obtenue : c'est bien ce qui s'est effectivement passé (voir annexe 15).

Si l'on avait voulu obtenir une erreur à craindre de l'ordre de 5 %, un calcul analogue nous aurait prouvé que 231 points de sondage étaient nécessaires : le type d'inventaire envisagé ne convenait pas, il aurait fallu augmenter l'intensité d'échantillonnage, et asseoir par exemple sur le terrain 2 points de sondage par 3 hectares de forêt (255 points au total). Nous retiendrons de cet exemple que la connaissance d'une trentaine de points de sondage seulement suffit pour avoir une valeur raisonnablement approchée du coefficient de variation, donc pour calculer les caractéristiques de l'inventaire envisagé — en particulier l'erreur à craindre qu'il permettra d'obtenir au seuil de signification de 5 %. On voit également que le nombre de points de sondage est proportionnel *au carré* de l'inverse de l'erreur à craindre : pour obtenir une erreur deux fois plus petite, il faut multiplier par 4 le nombre des points de sondage nécessaire, etc...

## 77. — Analyse de variance et inventaire par sondage

### 77I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Si la forêt inventoriée est homogène, il n'y a pas lieu de répartir les peuplements en différents blocs, et la question de l'analyse de la variance ne se pose pas.

Mais si de fortes différences dans les constitutions du peuplement conduisent à envisager la répartition des parcelles à inventorier en plusieurs blocs distincts — nous avons déjà dit combien une division par stations écologiques peut souvent être fructueuse si elle est bien faite — on peut se demander si une analyse de variance — la plus simple qui soit — ne permet pas de serrer de plus près l'erreur réelle d'inventaire — donc de réduire l'erreur à craindre.

En effet, la variance totale de la population peut alors se décomposer en deux parts — la variance entre les blocs, et la variance à l'intérieur de ces blocs —. La variance entre les blocs est due à l'hétérogénéité de la forêt, et n'a donc rien à voir avec la plus ou moins grande exactitude de l'inventaire par sondage. Seule la variance à l'intérieur des blocs — et la fraction de l'erreur qui lui est attachée — nous intéresse dans notre cas particulier.

HASENKAMP (14) et RICHTER (26) ont fait les calculs correspondants, qui, il faut le reconnaître, compliquent un peu le travail d'exploitation des données. HASENKAMP en a déduit que l'analyse de variance était « rentable » et efficace et lui permettait de réduire l'erreur à craindre d'un bon tiers. RICHTER arrive à la même conclusion et parle d'une réduction de l'ordre du quart (\*).

#### 772. — SCHÉMA DE L'ANALYSE DE VARIANCE

Il s'agit — dans le cas des inventaires forestiers — d'une analyse simple qui peut se schématiser comme suit (tableau 7).

Jusqu'à maintenant, nous nous sommes bornés aux calculs relatifs à la première ligne du tableau. L'erreur à craindre, au seuil de probabilité de 95 %, était donc  $\pm 2 \sigma$  % (exactement  $\pm t \sigma$  %). L'analyse de la variance peut nous conduire à adapter simplement pour erreur réelle d'inventaire l'erreur résultant de la seule variation dans les blocs, soit  $\pm 2 \sigma_R$  %  $\leq \pm 2 \sigma$  %.

C'est cette nouvelle erreur,  $\sigma_R$  %, qui dans les cas envisagés par RICHTER et HASENKAMP est inférieure d'un tiers ou d'un quart à l'erreur totale. (On remarquera que la variance totale n'est pas égale à la somme des variances partielles basées du reste sur des degrés de liberté différents: l'égalité n'existe qu'entre les sommes des carrés).

Avant de conduire les calculs jusqu'à leur terme, on fera bien de vérifier que la décomposition de la forêt en blocs est valable:

on formera donc classiquement le rapport des variances  $\frac{V_B}{V_R}$  (la

(\*) En fait, bien entendu, l'analyse de variance ne « réduit » pas l'erreur qui est ce qu'elle est! Mais elle permet de n'en retenir que la fraction qui concerne le travail d'inventaire par sondage proprement dit.

TABLEAU 7 — ANALYSE DE LA VARIANCE

Origine de la variation	Somme des carrés	Degré de liberté	Variance	Ecart-type	Coefficient de variation	Ecart-type de la moyenne en %
Variation totale ..	$\sum (x - \bar{x})^2 = \sum x^2 - \bar{x} \sum x$	Nombre des placettes $n - 1$	$\frac{\sum x^2 - \bar{x} \sum x}{n - 1} = V_T$	$\sqrt{\text{variance}} = s_T$	Rapport en % de l'écart-type à la moyenne générale	Colonne précédente divisée par $\sqrt{n}$
Variation entre blocs .....	$\sum_1^l m_1 \bar{x}_1^2 - \bar{x} \sum x$	Nombre de blocs $m - 1$	$\frac{\sum_1^l m_1 x_1 - \bar{x} \sum x}{m - 1} = V_B$	$\sqrt{\text{variance}} = s_B$		
Variation dans les blocs (ou résiduelle) .....	Différence entre les deux données ci-dessus — soit R $(\sum x^2 - \sum_1^l m_1 \bar{x}_1^2)$	$n - m$	$\frac{R}{n - m} = V_R$	$\sqrt{\text{variance}} = s_R$		

TABLEAU 8

Origine de la variation (1)	Somme des carrés (2)	Degrés de liberté (3)	Variance (4)	Ecart-type (5)	Coefficient de variation (6)	Ecart-type de la moyenne en % (7)
Variation totale ..	890 493	169	5 238	72,4	41,5	3,19
Variation entre blocs .....	28 528	2	14 264	119,44	68,44	5,26
Variation dans les blocs (résiduelle).	861 965	168	5 131	71,64	41,05	3,16

plus forte variance devant toujours figurer au numérateur) et se rapportera à la table de SNEDECOR (point 5 %) (28) (test F de Snedecor) (\*).

La division de la forêt en blocs suivant le processus employé n'est valable que si le test est positif: on peut alors poursuivre le calcul et adopter pour erreur d'inventaire  $\pm 2 \sigma_R$  % seulement. Si le test F est négatif, c'est qu'il n'y avait pas lieu de diviser la forêt en blocs.

### 773. — EXEMPLE PRATIQUE

Les parcelles inventoriées à Izeure ne semblent pas à priori tellement différentes les unes des autres.

Cependant — nous l'avons dit — le canton du Cerisier se distingue des Perreaux par l'absence presque totale de hêtres, et la présence au contraire de nombreux bois blancs. De même aux Perreaux, on peut être tenté de distinguer les parcelles situées à l'est de la sommière, riches en hêtre, des autres qui en ont peu; on obtient ainsi une division de l'ensemble en 3 blocs.

Renrenons les calculs figurant à l'annexe 10: ils permettent de remplir intégralement la première ligne du tableau précédent.

Les calculs relatifs aux deux autres lignes se mènent sans difficulté. En définitive, le résultat est le suivant (tableau 8).

L'erreur à craindre adoptée en premier lieu était:

$$1,97 \times 3,19 = \pm 6,28 \%$$

L'erreur résiduelle — qui n'est pas significativement différente — n'est que:

$$1,97 \times 3,16 = \pm 6,22 \%$$

En fait, on aurait dû, en cours de calcul, s'arrêter à la colonne 4 « variance » et former le rapport :

$$\frac{14\ 264}{5\ 131} = 2,77$$

Si l'on se reporte à la table de SNEDECOR — point 5 % — pour  $n = 2$  et  $n' = 168$ , on constate que la valeur limite prévue — comprise entre 3 et 3,15 — n'est pas atteinte; il n'y a donc pas de variation significative entre les blocs, la forêt est homogène et il n'y a pas lieu d'en prévoir une division comme nous venons de le faire.

### 774. — CONCLUSION POUR L'ANALYSE DE VARIANCE

L'utilisation de l'analyse de variance telle qu'elle est recommandée par certains auteurs est certainement intéressante lorsque l'hé-

(\*) Voir VESSEREAU (31), page 371.

térogénéité de la forêt inventoriée rend absolument évidente la nécessité d'une répartition en plusieurs blocs des parcelles. Mais notre cas particulier prouve que des différences d'aspect pourtant sensibles au premier abord telles que celles que nous avons relevées n'ont pratiquement pas d'influence sur la plus ou moins grande exactitude de l'inventaire par sondage.

La division de la forêt en blocs — et les calculs subséquents avec analyse de sa variance — ne se justifient que pour des hétérogénéités importantes telles que réserve dense d'arbres de petite dimension d'une part, réserve lâche de gros arbres d'autre part — peuplements feuillus d'une part, résineux d'autre part — etc.. Des études restent à faire pour permettre de préciser véritablement, en France, le champ d'application de l'analyse de variance en matière d'inventaire par sondage.

## CHAPITRE VIII

**CONCLUSIONS GÉNÉRALES**

1° L'inventaire des peuplements forestiers par échantillonnage et emploi des méthodes mathématiques-statistiques est applicable en France dans le cadre des aménagements, et singulièrement au cas des taillis-sous-futaie, tels que ceux de la plaine de la Saône.

2° Les inventaires par sondage systématique donnent en matière forestière des résultats au moins aussi bons que les inventaires par sondage au hasard. Les calculs d'erreur à craindre en principe réservés à ce dernier type d'inventaire leur sont également applicables.

Les placettes de sondage de forme circulaire sont d'un emploi très pratique. Dans le cas envisagé, les placettes d'une surface de 10 ares se sont montrées efficaces.

4° Les méthodes de travail décrites sont facilement applicables par le personnel forestier du service ordinaire. La réalisation de l'inventaire — préparation au bureau, mise en œuvre sur le terrain, calculs — a pu être précisée.

5° Dans le cadre d'un aménagement de forêt, il semble suffisant d'obtenir, au seuil de signification de 5 %, une erreur à craindre inférieure à  $\pm 10$  % pour les volumes totaux.

6° L'inventaire par échantillonnage au 1/10 — un cercle de 10 ares par hectare de peuplement — coûte deux fois moins cher qu'un inventaire complet dans le cas étudié. Il est efficace dans le cas d'une surface à inventorier d'environ 75 hectares.

7° L'inventaire par échantillonnage au 1/20 — un cercle de 10 ares pour deux hectares de peuplement — coûte pour le moins 3 fois moins cher qu'un inventaire complet. Il est efficace à partir d'une surface d'environ 170 hectares.

8° Ce procédé d'inventaire permet d'obtenir également des résultats suffisamment approchés — erreur à craindre de  $\pm 15$  % par exemple — pour les données secondaires nécessaires au calcul de la possibilité (répartition des bois en vieux bois et bois moyens en particulier).

9° Une méthode est indiquée qui permet, à l'aide d'un petit inventaire-test préalable, de préciser le nombre de points de sondage à asseoir dans une forêt donnée pour obtenir une approximation donnée.

10° L'utilisation éventuelle, après partage de la forêt en blocs élémentaires, de l'analyse de variance permettant de réduire l'erreur vraie d'inventaire a été étudiée. La méthode peut certainement être efficace en forêt hétérogène; mais, dans le cas particulier, il s'est avéré que les variations pourtant sensibles de peuplement ne motivaient pas l'emploi d'une analyse de variance.

La division d'une forêt en blocs, si elle se justifie, doit avoir pour base essentielle l'étude des stations écologiques.

---



PHOTO 1.

Assiette d'une placette circulaire à l'aide de la mire cylindrique simple et du dendromètre Blume-Leiss.

L'opérateur frappe au « Klappen » un arbre situé près du périmètre.

(Photo Toulgouat.)



PHOTO 2.

La mire cylindrique à voyant coulissant. Cet appareil permet le travail en terrain incliné.

(Photo Pardé.)

## BIBLIOGRAPHIE

---

*Légende:*

A.E.N.E.F.: Annales de l'École Nationale des Eaux et Forêts.  
 R.F.F.: Revue Forestière Française.  
 B.S.F.F.C.: Bulletin de la Société Forestière de Franche-Comté.

---

1. AYRAL (P.). — Sur le calcul du volume total et par catégories de produits des peuplements restant sur pied dans les places d'essai au passage des éclaircies. Rapport au Congrès de l'Union Internationale des Stations de Recherches, 1953. 11 pages.
2. BAUMANN (H.). — Rationelle Stichprobenverfahren in der Forsteinrichtung. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, janvier 1955, p. 11-22.
3. BOUTIN (J.). — La reproduction photographique des plans. R.F.F., février 1957, p. 137-139.
4. BOUTIN (J.). — Des instruments topographiques à main pour levés expédiés. R.F.F., mars 1956, p. 205-210.
5. BRENAC (L.) et SCHAEFFER (L.). — La méthode statistique et ses applications en matière forestière. R.F.F., août 1953, 80 pages.
6. DAGNELIE (P.). — L'échantillonnage statistique appliqué à la prospection et aux inventaires forestiers. Annales de Gembloux, 2<sup>e</sup> trimestre 1956, p. 109-134.
7. FINNEY (D.-J.). — Random and systematic sampling in timber Surveys. Forestry, 1948, volume XXII, n<sup>o</sup> 1, p. 64-99.
8. FRANÇOIS (T.). — Comparaison d'inventaires et sondages à la tarière de Pressler. B.S.F.F.C., 1934, p. 444-459.
9. GROSSMANN (G.). — Genauigkeitsuntersuchungen über die in der D.D.R. angewandten mathematisch-statistischen Holzvorratsaufnahmen. Archiv für Forstwesen, 1956, n<sup>o</sup> 5/6, p. 402-422.
10. GROSSMANN (G.). — Die Dauerwaldversuchsfläche Gross-Ziethen. Archiv für Forstwesen, 1957, n<sup>o</sup> 1, p. 73-108.
11. HABERLE (S.). — Die Holzvorratsinventur mit Repräsentativverfahren. Fribourg, 1955, 50 pages.
12. HAGBERG (Erik). — Le nouvel inventaire national suédois. Unasylva, n<sup>o</sup> 1, 1957, p. 3-8 et 28.
13. HARRISON (J.-D.-B.). — Préparation d'un inventaire forestier national. Collection « verte » de la F.A.O. Washington-Rome, 1950, 107 pages.
14. HASENKAMP (J.-G.). — Die Genauigkeit der systematischen Etichprobenahme bei forstlichen Vorratsinventuren. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst und Holzwirtschaft. Reinbeck, n<sup>o</sup> 35, octobre 1954, 62 pages plus 44 tableaux.
15. ILVESSALO (Yrjö). — Kolmeen Valtakunnan Metsien Inventointiin Perustuva Tutkimus. Helsinki, 1956, 227 pages avec un important résumé en anglais.

16. JOHNSON (F.-A.) et HIXON (J.-H.). — The most efficient size and shape of Plot to use for cruising in old growth Douglas-Fir Timber. *Journal of Forestry*, janvier 1952, p. 17-20.
17. LAMOTTE (M.). — Introduction à la biologie quantitative. Paris, 1948, 369 pages.
18. de LEMPS (F.). — Volume critique, plan de balivage et composition normale dans les taillis-sous-futaie. R.F.F., 1951, p. 552-572.
19. de LEMPS (F.). — Qu'est-ce que la futaie par bouquets. R.F.F., mars 1958, p. 183-194.
20. MANTEL (W.). — Über die notwendige Genauigkeit bei der Forsteinrichtung. *Forstarchiv*, 1941, n° 21/22.
21. MEYER (H.-A.). — Cruising Intensity and Accuracy of Cruise. *Journal of Forestry*, août 1949, p. 646-649.
22. PARDÉ (J.). — Inventaires forestiers et méthode statistique. R.F.F., août-septembre 1956, p. 598-614.
23. PERRIN (H.). — Etudes statistiques sur les taillis-sous-futaie. *Annales E.N.E.F.*, 1946, fascicule 1, p. 1-102.
24. PRODAN (M.). — Zur Durchführung von Repräsentativaufnahmen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, juin 1955, p. 93-100.
25. PRODAN (M.). — Untersuchungen über die Durchführung von Repräsentativaufnahmen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, janvier 1958, p. 15-33 (avec une importante bibliographie).
26. RICHTER (A.), GROSSMANN (H.) et THIELE (H.). — Beiträge zur Methodik der Holzvorratsinventuren auf mathematisch-statistischer Grundlage. *Archiv für Forstwesen*, 1953, p. 142-181, 289-339, 481-501.
27. RICHTER (A.). — Erfahrung auf dem Gebiete mathematisch-statistischer Holzvorratsinventuren. *Allgemeine Forstzeitschrift*, n° 40/41, octobre 1956, p. 519-522.
28. SNEDECOR (G.-W.). — *Statistical methods applied tho experiments in Agriculture and Biology*, 1956, 534 pages (5<sup>e</sup> édition).
29. THORELL (Erik). — Les forêts de la Suède. R.E.F., juillet 1931, p. 541-553.
30. VENET (J.) et NOISETTE (A.). — La Suède forestière. *Annales E.N.E.F.*, 1949, p. 499-652.
31. VESSEREAU (A.). — *Méthodes statistiques en biologie et en agronomie*. Paris, 1948, 381 pages.
32. YATES (F.). — *Méthodes de sondage pour recensements et enquêtes*. Paris, 1951, 336 pages.
33. X. — *Das neue Forsteinrichtungsverfahren*. Berlin, 1953, 152 pages.

### TABLE DES PIÈCES ANNEXES

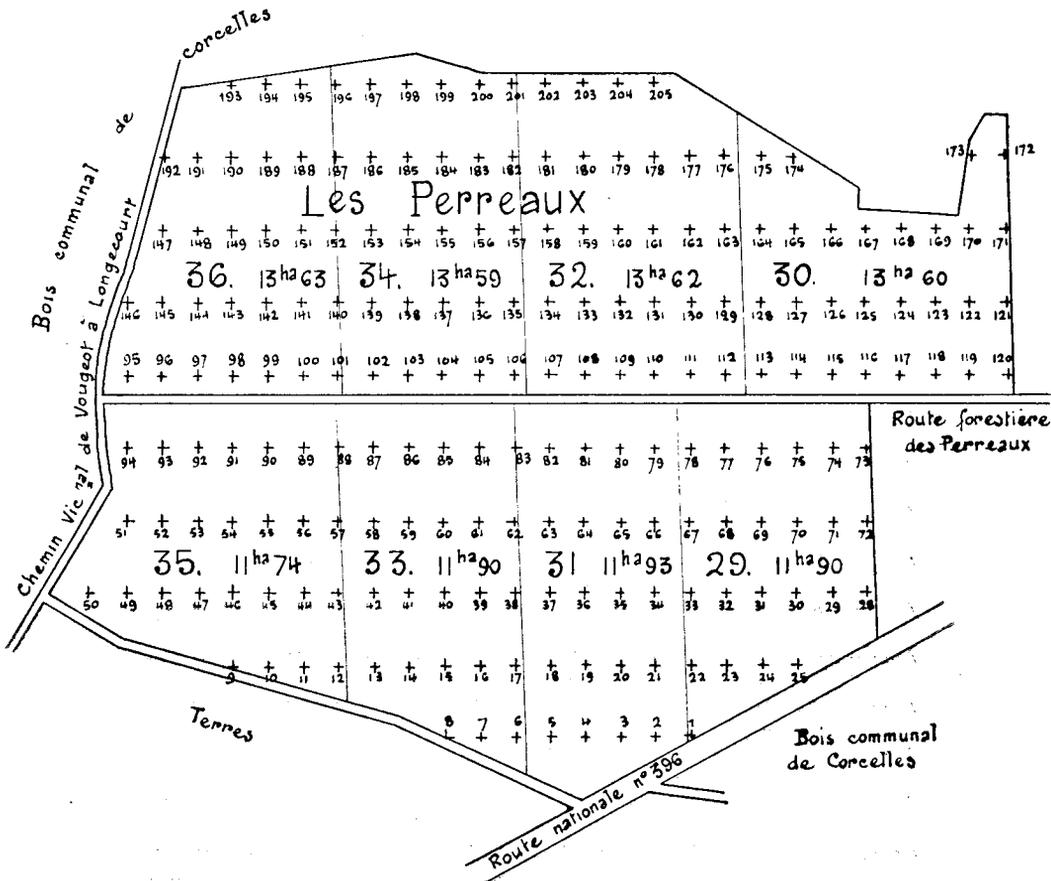
---

- Annexe 1 — Mise sur plan des points de sondage. Canton des Perreaux.  
 Annexe 2 — Mise sur plan des points de sondage. Canton du Cerisier.  
 Annexe 3 — Modèle de fiche pour inventaire par sondage recto.  
 Annexe 4 — Modèle de fiche pour inventaire par sondage verso.  
 Annexe 5 — Notions de base de mathématiques-statistiques à usage des inventaires forestiers par sondage.  
 Annexe 6 — Répartition des surfaces terrières et Loi de Gauss.  
 Annexe 7 — Répartition des nombres de tiges et Loi de Gauss.  
 Annexe 8 — Exemple d'utilisation du papier de probabilité.  
 Annexe 9 — Valeur de  $t$  au seuil de probabilité de 95 %.  
 Annexe 10 — Exemple numérique d'inventaire par sondage.  
 Annexe 11 — Résultat par parcelles de l'inventaire complet.  
 Annexe 12 — Volumes totaux trouvés à l'hectare par point de sondage. Canton des Perreaux.  
 Annexe 13 — Volumes totaux trouvés à l'hectare par point de sondage. Canton du Cerisier.  
 Annexe 14 — Inventaires par sondage systématique à 20 %. Volumes totaux.  
 Annexe 15 — Inventaires par sondage systématique à 10 %. Volumes totaux.  
 Annexe 16 — Inventaires par sondage systématique à 5 %. Volumes totaux.  
 Annexe 17 — Courbes de l'erreur à craindre en fonction des surfaces inventoriées, volumes totaux, inventaires à 10 %.  
 Annexe 18 — Courbes de l'erreur à craindre en fonction des surfaces inventoriées, volumes totaux, inventaires à 5 %.  
 Annexe 19 — Inventaires par sondage systématique à 20 %. Volumes chênes seuls.  
 Annexe 20 — Inventaire par sondage systématique à 10 %. Volumes chênes seuls.  
 Annexe 21 — Inventaires par sondage systématique à 5 %. Volumes chênes seuls.  
 Annexe 22 — Courbes de l'erreur à craindre en fonction des surfaces inventoriées. Volumes chênes seuls. Inventaires à 10 %.  
 Annexe 23 — Inventaires par sondage systématique à 10 %. Volumes des divers.  
 Annexe 24 — Inventaires par sondage systématique. Etudes d'une catégorie de circonférence. Etude des volumes totaux des bois moyens et des vieux bois.  
 Annexe 25 — Etude des nombres de tiges par catégories de circonférence. Cas d'un inventaire à 10 %.  
 Annexe 26 — Etude des nombres de tiges par catégories de circonférences. Cas d'un inventaire à 5 %.  
 Annexe 27 — Inventaires par sondage au hasard à 5 %. Volumes totaux.
-

ANNEXE I

Forêt domaniale d'Izeure (1<sup>re</sup> Série)

Mise sur plan des points de sondage



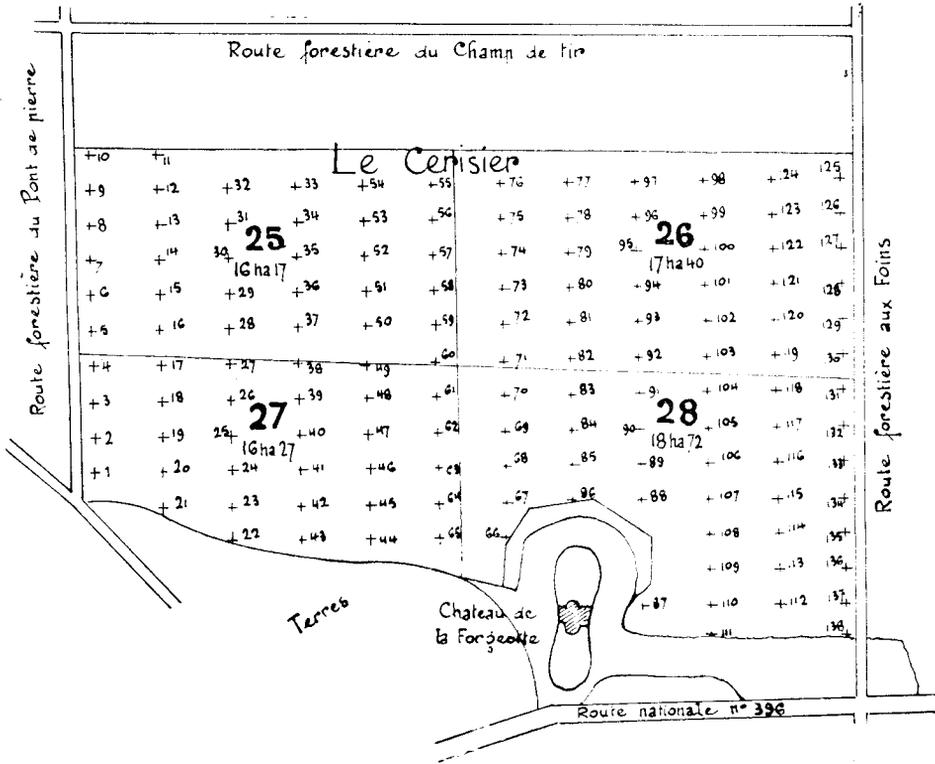
101,91 ha

Nombre théorique de points: 204.

Nombre réel de points: 203.

Remarque: les n°s 26 et 27 n'existent pas.

Forêt domaniale d'Izeure (2<sup>e</sup> Série)  
 Mise sur plan des points de sondage



68,56 ha

Nombre théorique de points: 137.

Nombre réel de points: 138.

Fiche pour inventaire par sondage « recto »

FORET _____ ale d _____						<u>CERCLE</u>					
Série - Parcelle _____				Surface _____		n° _____					
Chef d'inventaire _____				Date _____		Canton _____					
						Surface = _____					

	<u>CHENES</u>		<u>HEUTES</u>		N	V	N	V	N	V	N	V	<u>TOTAL</u>	
	N	V	N	V									N	V
Beliveaux														
60														
80														
100														
120														
140														
160														
180														
200														
220														
240														
260														
280														
300														
Total cercle														
Total à l'ha														

**TAILLIS.-** Age \_\_\_\_\_ Composition en I/IO \_\_\_\_\_

Rendement \_\_\_\_\_

Vigueur \_\_\_\_\_

**SEMIS** (1) { Essence \_\_\_\_\_ Age \_\_\_\_\_ Depité \_\_\_\_\_

Vigueur \_\_\_\_\_

**PLANTATION** (1) { Proportion du cercle recouvert \_\_\_\_\_

Avenir \_\_\_\_\_

(1) - Rayer le mot inutile.

ANNEXE 4

*Fiche pour inventaire par sondage « verso »*

<b>TOPOGRAPHIE</b> .-		Altitude _____		Exposition _____					
		Pente _____		Schéma du relief _____					
<b>SOL</b> .-									
Base géologique _____									
Profondeur _____									
Pédologie _____									
Humus - couverture morte _____									
<b>COUVERTURE VIVANTE</b> .-									
Recouvrement _____									
Composition _____									
<b>SONDAGES A LA TARIERE ET MESURES DE HAUTEURS</b>									
Longueur des _____ derniers accroissements			Essence	Age	Circonférences ou Diamètres	Nombre de cerne dans les _____ derniers cm			Hauteur totale
1°	2°	moyenne				1°	2°	moyenne	
						</			

## ANNEXE 5

*Notions de base de mathématiques statistiques  
à usage des inventaires forestiers par sondage*

---

Chaque unité de sondage donne une valeur  $x$  qu'on peut ramener tout de suite à l'hectare: ce sera par exemple le volume à l'hectare. S'il y a  $n$  unités de sondage, le volume moyen à l'hectare de la forêt inventoriée sera évidemment:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

*L'écart-type des observations* est par définition:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x)^2}{n - 1}}$$

Il rend compte de la plus ou moins grande « variabilité » de la population. Si  $n$  devient suffisamment grand,  $n - 1$  tend vers  $n$  et le dénominateur  $n - 1$  peut être remplacé simplement par  $n$ .

Le numérateur peut se calculer rapidement de la façon suivante, d'après YATES (31):

$$\sum (\bar{x} - x)^2 = \sum x^2 - \bar{x} \sum x$$

*Le coefficient de variation* — qui caractérise assez bien la plus ou moins grande homogénéité de la population, est le rapport, en « pour cent », de l'écart-type à la moyenne:

$$V \% = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100$$

La dispersion de la moyenne elle-même est plus ou moins grande suivant le nombre de sondages qui ont servi à la déterminer.

*L'écart-type de la moyenne* est le rapport entre l'écart-type des observations et la racine carrée du nombre de sondages:

$$s = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x)^2}{n(n - 1)}}$$

qui peut aussi se calculer en % :

$$s \% = \frac{s}{\bar{x}} \times 100$$

Même si la distribution des observations ne suit pas exactement la loi de Gauss, celle des moyennes des observations tend à s'en rapprocher, et ceci d'autant plus que le nombre des observations (sondages) est plus grand.

Dans ces conditions, si  $n$  est suffisamment grand (supérieur à 30), on pourra calculer une erreur d'échantillonnage au sens statistique correspondant à une probabilité déterminée: nous verrons que ce calcul demeure valable dans le cas d'un inventaire systématique.

On peut dire en somme que la valeur trouvée  $x$  a 68,26 chances pour 100 de n'être écartée de la valeur réelle que de  $\pm s$  %.

95,44 chances pour cent de ne s'en écarter que de  $\pm 2 s$  %.

99,73 chances pour 100 de ne s'en écarter que de  $\pm 3 s$  %.

Dans la pratique, en matière d'inventaire forestier, il semble nécessaire et suffisant de déterminer « l'erreur à craindre » correspondant à la probabilité 95,44 % — soit 95 % — c'est-à-dire si l'on préfère parler ainsi, au seuil de signification de 5 %.

## ANNEXE 6

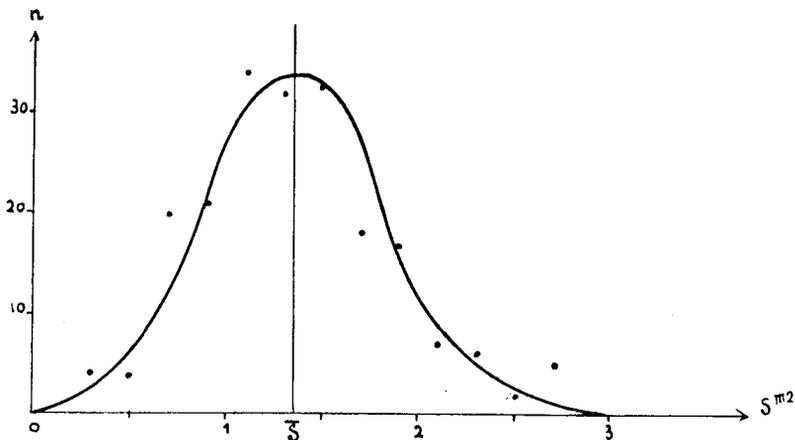
*Dans l'échantillonnage au 1/5 du canton des Perreaux  
(203 placettes)  
les surfaces terrières des arbres par placettes  
ont une répartition normale*

---

1) Si l'on calcule les surfaces terrières des arbres de chaque placette, on obtient la répartition suivante en classes de 20 dcm<sup>2</sup> chaque:

Surface terrière moyenne de chaque classe (m <sup>2</sup> )	Nombre de placettes correspondantes
—	—
0,30	4
0,50	4
0,70	20
0,90	21
1,10	34
1,30	32
1,50	33
1,70	18
1,90	17
2,10	7
2,30	6
2,50	2
2,70	5

qui permet le traçage sans difficulté de la courbe en cloche que voici:



La valeur moyenne autour de laquelle se répartissent les surfaces terrières est :

$$\bar{s} = 1,35 \text{ m}^2$$

La variance est :

$$\sigma^2 = \frac{\sum (s - \bar{s})^2}{n - 1} = 0,2586$$

L'écart-type est :

$$\sigma = 0,5085$$

Un test  $\chi^2$  nous permettra de comparer la distribution réelle avec la distribution théorique de Gauss correspondante :

1° Répartition en classes de groupement : Nous avons choisi des classes élémentaires égales chacune à  $0,2 \sigma$ , lorsque ces classes étaient insuffisamment peuplées, nous les avons regroupées. D'où la colonne (4) des nombres observés.

La colonne (5) est celle des probabilités théoriques correspondantes ; pour la remplir, voir VESSEREAU (30) pages 74 et suivantes, et la table de la fonction  $\pi(x)$  page 367 du même livre.

Exemple d'utilisation de cette table :

valeur de $\pi(x)$ pour $x = 2,2 \sigma$	0,9861
valeur de $\pi(x)$ pour $x = 1,4 \sigma$	0,9192

en soustrayant

---

0,0669

premier chiffre de la colonne.

La colonne (6) — fréquences théoriques — est le produit du chiffre correspondant de la colonne (5) par le nombre total de placettes 203.

Il faut observer en effet que la formule classique du facteur  $\chi^2$

$$\chi^2 = \frac{\sum (o - c)^2}{c}$$

se simplifie du fait que le nombre « d'échantillons » est ici égal dans la population observée comme dans la population théorique  $\sum o = c$ ;  
d'où

$$\frac{\sum (o - c)^2}{c} = \frac{\sum o^2}{c} - c$$

par un calcul sans difficulté.

La colonne (7) donne donc  $n^2$  (c'est-à-dire  $o^2$ ) et la colonne (8)

$$\frac{n^2}{f}$$

En fin de compte, le  $\chi^2$  est égal à :

$$\sum \frac{n^2}{f} - 203$$

On a conservé 15 classes de groupement ; 3 relations entre les données ont été utilisées pour calculer la distribution théorique : leur nombre, leur moyenne, leur écart-type.

Il y a donc :  $15 - 3 = 12$  degrés de liberté.

Il ne reste plus qu'à utiliser la table graphique de la distribution de  $\chi^2$  (VESSEREAU - page 369).

Pour 12 degrés de liberté et  $\chi^2 = 19,90$ , la probabilité P ( $\chi^2$ ) est comprise entre 0,05 et 0,10. Le seuil 0,05 n'est pas atteint : les écarts entre les fréquences théoriques et observées peuvent donc être imputées au seul hasard : la distribution des surfaces terrières par placettes peut donc être considérée comme normale.

TEST  $\chi^2$

Limites des Classes élémentaires de groupement des S (1)	n (2)	Classes de groupement de S pour le test (3)	n Fréquences observées (4)	P Probabilité théorique (5)	f Fréquences théoriques (6)	n <sup>2</sup> (7)	n <sup>2</sup> — f (8)
S — 2,4 σ = 0,129							
S — 2,2 σ = 0,231	2						
S — 2 σ = 0,333	3						
S — 1,8 σ = 0,435	2	( $\bar{s} - 2,2 \sigma$ ) à ( $\bar{s} - 1,4 \sigma$ )	14	0,0669	13,58	196	14,43
S — 1,6 σ = 0,536	7						
S — 1,4 σ = 0,638	8						
S — 1,2 σ = 0,739	11	( $\bar{s} - 1,4 \sigma$ ) à ( $\bar{s} - 1,2 \sigma$ )	8	0,0343	6,96	64	9,19
S — 1 σ = 0,841	10	( $\bar{s} - 1,2 \sigma$ ) à ( $\bar{s} - \sigma$ )	11	0,0436	8,85	121	13,67
S — 0,8 σ = 0,943	13	( $\bar{s} - \sigma$ ) à ( $\bar{s} - 0,8 \sigma$ )	10	0,0532	10,80	100	9,26
S — 0,6 σ = 1,045	18	( $\bar{s} - 0,8 \sigma$ ) à ( $\bar{s} - 0,6 \sigma$ )	13	0,0624	12,67	169	13,33
S — 0,4 σ = 1,147	14	( $\bar{s} - 0,6 \sigma$ ) à ( $\bar{s} - 0,4 \sigma$ )	18	0,0703	14,27	324	22,70
S — 0,2 σ = 1,248	19	( $\bar{s} - 0,4 \sigma$ ) à ( $\bar{s} - 0,2 \sigma$ )	14	0,0761	15,45	196	12,68
S — 0 σ = 1,350	15	( $\bar{s} - 0,2 \sigma$ ) à ( $\bar{s}$ )	19	0,0793	16,10	361	22,42
S + 0,2 σ = 1,452	14	( $\bar{s}$ ) à ( $\bar{s} + 0,2 \sigma$ )	15	0,0793	16,10	225	13,97
S + 0,4 σ = 1,553	19	( $\bar{s} + 0,2 \sigma$ ) à ( $\bar{s} + 0,4 \sigma$ )	14	0,0761	15,45	196	12,68
S + 0,6 σ = 1,665	9	( $\bar{s} + 0,4 \sigma$ ) à ( $\bar{s} + 0,6 \sigma$ )	19	0,0703	14,27	361	25,29
S + 0,8 σ = 1,757	6	( $\bar{s} + 0,6 \sigma$ ) à ( $\bar{s} + \sigma$ )	15	0,1156	23,47	225	9,58
S + 1 σ = 1,859	12	( $\bar{s} + \sigma$ ) à ( $\bar{s} + 1,2 \sigma$ )	12	0,0436	8,85	144	16,27
S + 1,2 σ = 1,960	2						
S + 1,4 σ = 2,062	5						
S + 1,6 σ = 2,164	1	( $\bar{s} + 1,2 \sigma$ ) à ( $\bar{s} + 2 \sigma$ )	12	0,0923	18,74	144	7,68
S + 1,8 σ = 2,265	4						
S + 2 σ = 2,367	3						
S + 2,2 σ = 2,469	0						
S + 2,4 σ = 2,570	3						
S + 2,6 σ = 2,672	3	( $\bar{s} + 2 \sigma$ ) à ( $\bar{s} + 2,8 \sigma$ )	9	0,0202	4,10	81	19,75
S + 2,8 σ = 2,774	3						

$$\chi^2 = \sum \frac{n^2}{f} - 203 = 222,90 - 203 = 19,90$$

$$\sum \frac{n^2}{f} = 222,90$$

## ANNEXE 7

*Dans l'échantillonnage au 1/5 du canton des Perreaux  
(203 placettes)  
les nombres de tiges n'ont pas une répartition normale*

1° Si l'on compte le nombre de tiges par placettes, on obtient la répartition suivante:

Fréquence	Nombre de tiges
0	1
1	2
4	3
4	4
11	5
12	6
24	7
24	8
14	9
16	10
29	11
10	12
15	13
11	14
10	15
3	16
5	17
4	18
3	19
3	20
203	

La moyenne est:  
 $\bar{n} = 10,163$  tiges

L'écart-type:  
 $\sigma = 3,837$

La fréquence maxima:  
 $F = \frac{\sum n}{\sigma \sqrt{2\pi}} = 21,45$

Le tableau du test  $\chi^2$  correspondant appelle les remarques suivantes:

Test  $\chi^2$

n	$\frac{n-\bar{n}}{\sigma}$	$\frac{f_t}{F}$	Classes de groupements pour le test	Fréquences théoriques $f_t$ (5)	Fréquences réelles $f_r$ (6)	$f_t - f_r$ (7)	$(f_t - f_r)^2$ (8)	$\frac{(f_t - f_r)^2}{f_t}$ (9)
2	2,127	0,1059	0,5569	11,95	9	2,95	8,70	0,73
3	1,867	0,1755		8,67	11	2,33	5,43	0,63
4	1,606	0,2755		11,91	12	0,09	0,01	0,00
5	1,346	0,4041	0,5553	15,27	24	8,73	76,21	4,99
6	1,085	0,5553		16,28	24	5,72	32,72	1,79
7	0,824	0,7120	0,8523	20,48	14	6,48	41,99	2,05
8	0,564	0,8523		21,40	16	5,40	29,16	1,36
9	0,303	0,9550	0,9979	20,93	29	8,07	65,12	3,11
10	0,042	0,9979		19,11	10	9,11	82,99	4,34
11	0,218	0,3758	0,8910	16,32	15	1,32	1,742	0,11
12	0,479	0,8910		13,01	11	2,01	4,04	0,31
13	0,739	0,7607	0,6065	9,68	10	0,32	0,10	0,01
14	1,000	0,6065		11,14	8	3,14	9,86	0,89
15	1,261	0,4513	0,5195	5,06	10	4,94	24,40	4,82
16	1,521	0,3148		2,042	8	2,042	24,40	4,82
17	1,782	0,2047	0,1256	0,722	10	4,94	24,40	4,82
18	2,042	0,1256		0,0380	8	3,14	9,86	0,89
19	2,303	0,0722	0,2358	2,564	10	4,94	24,40	4,82
20	2,564	0,0380		25,14	8	3,14	9,86	0,89

— On passe de la colonne (2) à la colonne (3) par la *table de Davenport* (Vessereau, page 368).

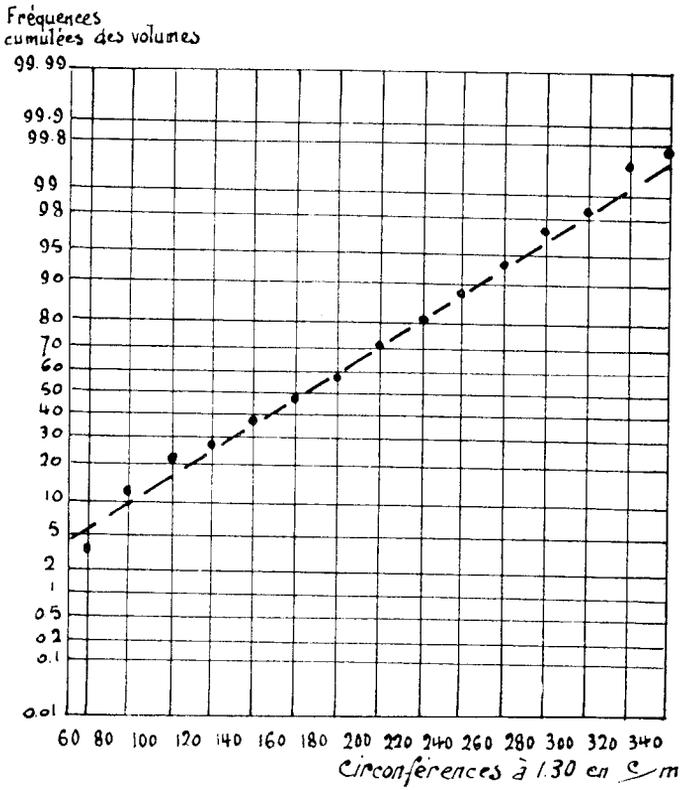
— La colonne (5) s'obtient en multipliant le chiffre correspondant de la colonne (4) par la fréquence maxima  $F = 21,45$ .

— Le  $\chi^2$  est la sommation des nombres de la colonne (9). On a 14 classes de groupement et 11 degrés de liberté (voir test des surfaces terrières). La table graphique de la distribution de  $\chi^2$  montre qu'alors pour  $\chi^2 = 25,14$ ,  $P(\chi^2)$  est inférieur à 0,01. Le test est donc négatif : il y a moins de 1 chance pour 100 pour que sa distribution observée cadre avec la distribution théorique normale !

---

ANNEXE 8

*Utilisation du papier de probabilité*



## ANNEXE 9

*Valeur de t au seuil de probabilité de 95 %  
d'après FISHER et YATES « Statistical Tables »*

Nombre de degrés de liberté	Valeur de t	Nombre de degrés de liberté	Valeur de t
1	12,71	26	2,06
2	4,30	27	2,05
3	3,18	28	2,05
4	2,78	29	2,04
5	2,57	30	2,04
6	2,45	35	2,03
7	2,37	40	2,02
8	2,31	45	2,01
9	2,26	50	2,01
10	2,23	60	2,00
11	2,20	70	1,99
12	2,18	80	1,99
13	2,16	90	1,99
14	2,15	100	1,98
15	2,13	120	1,98
16	2,12	140	1,98
17	2,11	160	1,98
18	2,10	180	1,97
19	2,09	200	1,97
20	2,09	300	1,97
21	2,08	400	1,97
22	2,07	500	1,96
23	2,07	1.000	1,96
24	2,06	∞	1,96
25	2,06		

## ANNEXE 10

*Exemple numérique d'inventaire par sondages*

Inventaire des volumes totaux de l'ensemble des deux cantons Perreaux + Cerisier (170,47 ha) à raison d'un cercle de sondage de 10 ares par hectare (170 cercles pairs).

1° Les volumes trouvés dans chaque cercle sont ramenés à l'hectare et additionnés.

On trouve ainsi  $\sum x = 29\,669 \text{ m}^3$ , d'où  $\bar{x} = 174,52 \text{ m}^3$ .

Le volume calculé des 170,57 ha en cause est :

$$170,47 \times 174,52 = 29\,750 \text{ m}^3.$$

Nota. — Le volume réel est de 30 194 m<sup>3</sup>. On s'en approche donc à — 1,47 % près, ce qui est très satisfaisant.

2° Calcul de l'erreur à craindre.

$$\bar{x} \sum x = 174,52 \times 29\,669 = 5\,177\,834$$

$\sum x^2$  (somme des carrés des 170 volumes trouvés) est égal à 6 068 327.

$$\sum x^2 - \bar{x} \sum x = 6\,068\,327 - 5\,177\,834 = 890\,493.$$

d'où la variance :

$$\sigma^2 = \frac{890\,493}{170} = 5\,238$$

et l'écart-type :

$$\sigma = \sqrt{5\,238} = 72,4$$

Exprimé en « % » de la moyenne, cet écart-type devient le coefficient de variation  $C_v$ .

$$C_v = \frac{72,4}{174,52} \times 100 = 41,5$$

L'écart-type de la moyenne, en %, est donc :

$$\frac{41,5}{\sqrt{170}} = \frac{41,5}{13} = 3,19$$

La valeur de  $t$ , pour 169 degrés de liberté est 1,97.

D'où l'erreur à craindre au seuil de probabilité de 95 % =

$$3,19 \times 1,97 = \pm 6,28 \%$$

Le cube réel, 30 194 m<sup>3</sup>, est bien largement compris dans l'intervalle de sécurité.

## ANNEXE II

## Résultats de l'inventaire total par parcelles

Circon- férences	CUBAGES EN METRES CUBES											
	CHENES		FRENES		HETRES		ORMES		DIVERS		TOTAUX	
	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume
<u>Canton des PERREAUX - Parcelle 29 - 11,90 ha</u>												
60	65	13	2	0,4	6	1,2			103	20,6	176	35,2
80	115	57,5	1	0,5	25	12,5			101	50,5	242	121
100	68	61,2			73	65,7			33	29,7	174	156,6
120	59	82,6			89	124,6			5	7	153	214,2
140	76	159,6			54	113,4					130	273
160	90	252			16	44,8					106	296,8
180	66	244,2			5	18,5					71	262,7
200	60	282			1	4,7					61	286,7
220	52	306,8									52	306,8
240	40	284			2	14,2					42	298,2
260	23	195,5									23	195,5
280	13	130									13	130
300	9	104,4									9	104,4
320	3	39,9									3	39,9
<b>Totaux</b>	739	2 212,7	3	0,9	271	399,6			242	107,8	1 255	2 721
% Volume		81,3 %		0 %		14,7 %				4 %		
Volume à l'hectare = 229,7 m <sup>3</sup> - Volume de l'arbre moyen = 2,2 m <sup>3</sup>												
<u>Canton des FERREAUX - Parcelle 30 - 13,60 ha</u>												
60	82	16,4	3	0,6	19	3,8			100	20	204	40,8
80	135	67,5			52	26			148	74	335	167,5
100	71	63,9			88	79,2			35	31,5	194	174,6
120	58	81,2			107	149,8			2	2,8	167	233,8
140	67	140,7			54	113,4			3	6,3	124	260,4
160	80	224			17	47,6					97	271,6
180	71	262,7			8	29,6					79	292,3
200	66	310,2			3	14,1					69	324,3
220	46	271,4			2	11,8					48	283,2
240	55	390,5			2	14,2					57	404,7
260	18	153									18	153
280	7	70									7	70
300	2	23,2									2	23,2
320	1	13,3									1	13,3
340	1	15,2									1	15,2
<b>Totaux</b>	760	2 103,2	3	0,6	352	489,5			288	134,6	1403	2 727,9
% Volume		77,1 %		0 %		18 %				4,9 %		
Volume à l'hectare = 200,6 m <sup>3</sup> - Volume de l'arbre moyen = 1,9 m <sup>3</sup>												

Circon- férences	CUBAGES EN METRES CUBES											
	CHENES		FRÈNES		HETRES		ORMES		DIVERS		TOTAUX	
	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume
Canton des PERREAUX - Parcelle 31 - 11,93 ha												
60	89	17,8	10	2	11	2,2			138	27,6	248	49,6
80	158	79	4	2	37	18,5			91	45,5	290	145
100	126	113,4	2	1,8	27	24,3			18	16,2	173	155,7
120	78	109,2			27	37,8			3	4,2	108	151,2
140	87	182,7	1	2,1	10	21					98	205,8
160	74	207,2			10	28					84	235,2
180	65	240,5			1	3,7					66	244,2
200	53	249,1			7	32,9					60	282
220	36	212,4			4	23,6					40	236
240	25	177,5									25	177,5
260	10	85									10	85
280	10	100									10	100
<b>Totaux</b>	811	1 773,8	17	7,9	134	192			250	93,5	1212	2 067,2
% Volume		85,8 %		0,4 %		9,3 %				4,5 %		
Volume à l'hectare = 173,3 m <sup>3</sup> - Volume de l'arbre moyen = 1,7 m <sup>3</sup>												
Canton des PERREAUX - Parcelle 32 - 13,62 ha												
60	51	10,2	4	0,8	29	5,8	2	0,4	91	18,2	177	35,4
80	55	27,5	1	0,5	96	48			80	40	232	116
100	30	27			138	124,2			25	22,5	193	173,7
120	31	43,4			83	116,2			1	1,4	115	161
140	47	98,7			37	77,7					84	176,4
160	37	103,6			13	36,4					50	140
180	48	177,6			6	22,2					54	199,8
200	46	216,2			2	9,4					48	225,6
220	48	283,2			2	11,8					50	295
240	21	149,1									21	149,1
260	22	187									22	187
280	5	50									5	50
300	2	23,2									2	23,2
320	1	13,3									1	13,3
<b>Totaux</b>	444	1 410	5	1,3	406	451,7	2	0,4	197	82,1	1054	1 945,5
% Volume		72,5 %		0,1 %		23,2 %		0 %		4,2 %		
Volume à l'hectare = 142,8 m <sup>3</sup> - Volume de l'arbre moyen = 1,8 m <sup>3</sup>												

Circon- férences	CUBAGES EN METRES CUBES											
	CHENES		FRENES		HETRES		ORMES		DIVERS		TOTAUX	
	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume
<u>Canton des PERREAUX - Parcelle 33 - 11,90 ha</u>												
60	107	21,4	3	0,6	19	3,8			114	22,8	243	48,6
80	139	69,5			43	21,5			91	45,5	273	136,5
100	111	99,9	2	1,8	49	44,1			4	3,6	166	149,4
120	91	127,4			32	44,8					123	172,2
140	154	323,4			8	16,8					162	340,2
160	154	431,2			7	19,6					161	450,8
180	65	240,5									65	240,5
200	46	216,2									46	216,2
220	22	129,8									22	129,8
240	12	85,2									12	85,2
260	7	59,5									7	59,5
280	4	40									4	40
<b>Totaux</b>	912	1 844	5	2,4	158	150,6			209	71,9	1284	2 068,9
% Volume		89,1 %		0,1 %		7,3 %				3,5 %		
Volume à l'hectare = 173,9 m <sup>3</sup> - Volume de l'arbre moyen = 1,6 m <sup>3</sup>												
<u>Canton des PERREAUX - Parcelle 34 - 13,59 ha</u>												
60	67	13,4	1	0,2	89	17,8			69	13,8	226	45,2
80	57	28,5	1	0,5	208	104			61	30,5	327	163,5
100	33	29,7			245	220,5			16	14,4	294	264,6
120	76	106,4			118	165,2			6	8,4	200	286
140	95	199,5			58	121,8			1	2,1	154	323,4
160	84	235,2			13	36,4					97	271,6
180	65	240,5			6	22,2					71	262,7
200	41	192,7			2	9,4					43	202,1
220	49	289,1									49	289,1
240	25	177,5									25	177,5
260	12	102									12	102
280	4	40									4	40
<b>Totaux</b>	608	1 654,5	2	0,7	739	697,3			153	69,2	1502	2 421,7
% Volume		68,3 %		0 %		28,8 %				2,9 %		
Volume à l'hectare = 178,2 m <sup>3</sup> - Volume de l'arbre moyen = 1,6 m <sup>3</sup>												

CUBAGES EN METRES CUBES												
CHENES		FRENES		HETRES		ORMES		DIVERS		TOTAUX		
Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	
Canton des PERREAUX - Parcelle 35 - 11,74 ha												
60	56	11,2	1	0,2	25	5			18	3,6	100	20
80	142	71			67	33,5			18	9	227	113,5
100	68	61,2			99	89,1			2	1,8	169	152,1
120	62	86,8	1	1,4	46	64,4					109	152,6
140	81	170,1			7	14,7					88	184,8
160	98	274,4									98	274,4
180	62	229,4			2	7,4					64	236,8
200	66	310,2			2	9,4					68	319,6
220	50	295									50	295
240	21	149,1									21	149,1
260	4	34									4	34
280	3	30									3	30
400	1	21,5									1	21,5
Totaux	714	1 743,9	2	1,6	248	223,5			38	14,4	1002	1 983,4
% Volume		87,9 %		0,1 %		11,3 %				0,7 %		
Volume à l'hectare = 168,9 m <sup>3</sup> - Volume de l'arbre moyen = 2 m <sup>3</sup>												
Canton des PERREAUX - Parcelle 36 - 13,63 ha												
60	102	20,4			101	20,2			83	16,6	286	57,2
80	131	65,5			235	117,5			46	23	412	206
100	46	41,4			243	218,7			6	5,4	295	265,5
120	50	70			134	187,6			3	4,2	187	261,8
140	71	149,1			30	63					101	212,1
160	67	187,6			13	36,4					80	224
180	57	210,9			3	11,1					60	222
200	57	267,9			2	9,4					59	277,3
220	60	354			2	11,8					62	365,8
240	23	163,3			1	7,1					24	170,4
260	11	93,5									11	93,5
280	5	50									5	50
Totaux	680	1 673,6			764	682,8			138	49,2	1582	2 405,6
% Volume		69,0 %				28,4 %				2 %		
Volume à l'hectare = 176,5 m <sup>3</sup> - Volume de l'arbre moyen = 1,5 m <sup>3</sup>												

Circonscriptions	CUBAGES EN METRES CUBES											
	CHENES		FRENES		HETRES		ORMES		DIVERS		TOTAUX	
	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume
Canton "LE CERISIER" - Parcelle 25 - 16,17 ha												
60	101	20,2	1	0,2	1	0,2			538	107,6	641	128,2
80	167	83,5	3	1,5	24	12			363	181,5	557	278,5
100	180	162	1	0,9	30	27			169	152,1	380	342
120	110	154			49	68,6			23	32,2	182	254,8
140	116	243,6			27	56,7			1	2,1	144	302,4
160	108	302,4			9	25,2					117	327,6
180	83	307,1			5	18,5					88	325,6
200	70	329			1	4,7					71	333,7
220	38	224,2			1	5,9					39	230,1
240	22	156,2									22	156,2
260	21	178,5									21	178,5
280	11	110									11	110
300	2	23,2									2	23,2
320	4	53,2									4	53,2
<b>Totaux</b>	1033	2 347,1	5	2,6	147	218,8			1094	475,5	2279	3 044
% Volume		77,1 %		0,1 %		7,2 %				15,6 %		
Volume à l'hectare = 188,2 m <sup>3</sup> - Volume de l'arbre moyen = 1,3 m <sup>3</sup>												
Canton "LE CERISIER" - Parcelle 26 - 17,40 ha												
60	139	27,8	20	4	1	0,2			1299	259,8	1459	291,8
80	296	148	9	4,5	12	6			442	221	759	379,5
100	193	173,7	2	1,8	11	9,9	1	0,9	209	188,1	416	374,4
120	68	95,2			11	15,4			43	60,2	122	170,8
140	65	136,5			7	14,7			34	71,4	106	222,6
160	63	176,4			10	28			4	11,2	77	215,6
180	31	114,7			6	22,2			1	3,7	38	140,6
200	26	122,2			5	23,5					31	145,7
220	28	165,2			3	17,7					31	182,9
240	13	92,3									13	92,3
260	9	76,5									9	76,5
280	9	90									9	90
300	5	58									5	58
320	4	53,2									4	53,2
340	1	15,2									1	15,2
<b>Totaux</b>	950	1 544,9	31	10,3	66	137,6	1	0,9	2032	815,4	3080	2 509,1
% Volume		61,6 %		0,4 %		5,5 %		0 %		32,5 %		
Volume à l'hectare = 144,2 m <sup>3</sup> - Volume de l'arbre moyen = 0,8 m <sup>3</sup>												

Circons- férences	CUBAGES EN METRES CUBES											
	CHENES		FRENES		HETRES		ORMES		DIVERS		TOTAUX	
	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume	Nb	Volume
<u>Canton "LE CERISIER" - Parcelle 27 - 16,27 ha</u>												
60	84	16,8	29	5,8	1	0,2	5	1	826	165,2	945	189
80	143	71,5	44	22	3	1,5			229	114,5	419	209,5
100	142	127,8	20	18	7	6,3	1	0,9	148	133,2	318	286,2
120	72	100,8	8	11,2	12	16,8	1	1,4	27	37,8	120	168
140	60	126	1	2,1	9	18,9			9	18,9	79	165,9
160	57	159,6	2	5,6	2	5,6	1	2,8	1	2,8	63	176,4
180	84	310,8	2	7,4							86	318,2
200	62	291,4							1	4,7	63	296,1
220	67	395,3	1	5,9							68	401,2
240	50	355									50	355
260	26	221									26	221
280	12	120									12	120
300	12	139,2									12	139,2
320	7	93,1									7	93,1
340	2	30,4									2	30,4
360	1	17,2									1	17,2
<b>Totaux</b>	<b>881</b>	<b>2 575,9</b>	<b>107</b>	<b>78</b>	<b>34</b>	<b>49,3</b>	<b>8</b>	<b>6,1</b>	<b>1241</b>	<b>477,1</b>	<b>2271</b>	<b>3 186,4</b>
<b>% Volume</b>		<b>80,8 %</b>		<b>2,4 %</b>		<b>1,60 %</b>		<b>0,2 %</b>		<b>15 %</b>		
Volume à l'hectare = 195,8 m <sup>3</sup> - Volume de l'arbre moyen = 1,44 m <sup>3</sup>												
<u>Canton "LE CERISIER" - Parcelle 28 - 18,72 ha</u>												
60	116	23,2	109	21,8	1	0,2	3	0,6	720	144	949	189,8
80	226	113	69	34,5	3	1,5	4	2	354	177	656	328
100	155	139,5	28	25,2	3	2,7	2	1,8	181	162,9	369	332,1
120	88	123,2	22	30,8	4	5,6	1	1,4	51	71,4	166	232,4
140	124	260,4	11	23,1			1	2,1	21	44,1	157	329,7
160	111	310,8	13	36,4					6	16,8	130	364
180	81	299,7	4	14,8	1	3,7			1	3,7	87	321,9
200	49	230,3	1	4,7							50	235
220	37	218,3	1	5,9							38	224,2
240	21	149,1									21	149,1
260	16	136									16	136
280	6	60									6	60
300	9	104,4									9	104,4
320	4	53,2									4	53,2
340	1	15,2									1	15,2
360	1	17,2									1	17,2
400	1	21,5									1	21,5
<b>Totaux</b>	<b>1046</b>	<b>2 275</b>	<b>258</b>	<b>197,2</b>	<b>12</b>	<b>13,7</b>	<b>11</b>	<b>7,9</b>	<b>1334</b>	<b>619,9</b>	<b>2661</b>	<b>3 113,7</b>
<b>% Volume</b>		<b>73,1 %</b>		<b>6,3 %</b>		<b>0,4 %</b>		<b>0,3 %</b>		<b>19,9 %</b>		
Volume à l'hectare = 166,3 m <sup>3</sup> - Volume de l'arbre moyen = 1,2 m <sup>3</sup>												

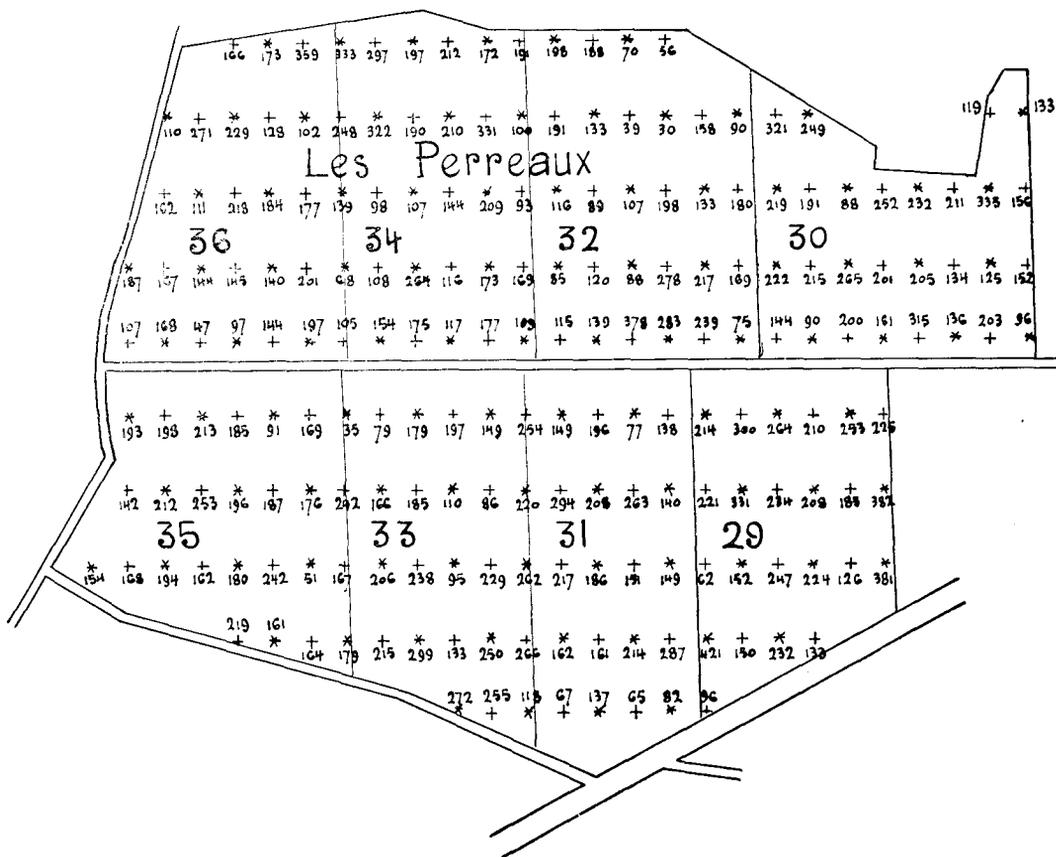
## RECAPITULATION

N° des parcelles	VOLUMES REELS				Volume total à l'hectare	SURFACES
	CHENE	HETRE	DIVERS	TOTAL		
<u>Canton LES PERREAUX</u>						
	m3	m3	m3	m3	m3	ha
29	2 212,7	399,6	108,7	2 721	228,7	11,90
30	2 103,2	489,5	135,2	2 727,9	200,6	13,60
31	1 773,8	192	101,4	2 067,2	173,3	11,93
32	1 410	451,7	83,8	1 945,5	142,8	13,62
33	1 844	150,6	74,3	2 068,9	173,9	11,90
34	1 654,5	697,3	69,9	2 421,7	178,2	13,59
35	1 743,9	223,5	16	1 983,4	168,9	11,74
36	1 673,6	682,8	49,2	2 405,6	176,5	13,63
<b>Totaux PERREAUX</b>	<b>14 415,7</b>	<b>3 287</b>	<b>638,5</b>	<b>18 341,2</b>	<b>180</b>	<b>101,91</b>
<b>% Volume</b>	<b>78,6 %</b>	<b>17,9 %</b>	<b>3,5 %</b>			
<u>Canton "LE CERISIER"</u>						
25	2 347,1	218,8	478,1	3 044	188,2	16,17
26	1 544,9	137,6	826,6	2 509,1	144,2	17,40
27	2 575,9	49,3	561,2	3 186,4	195,8	16,27
28	2 275	13,7	825	3 113,7	166,3	18,72
<b>Totaux CERISIER</b>	<b>8 742,9</b>	<b>419,4</b>	<b>2 690,9</b>	<b>11 853,2</b>	<b>172,9</b>	<b>68,56</b>
<b>% Volumes</b>	<b>73,8 %</b>	<b>3,5 %</b>	<b>22,7 %</b>			
<b>Totaux PERREAUX CERISIER</b>	<b>23 158,6</b>	<b>3 706,4</b>	<b>3 329,4</b>	<b>30 194,4</b>	<b>177,1</b>	<b>170,47</b>
<b>% Volumes</b>	<b>76,7 %</b>	<b>12,3 %</b>	<b>11 %</b>			

ANNEXE 12

Forêt domaniale d'Izeure (1<sup>re</sup> Série)

Volumes totaux en m<sup>3</sup> trouvés à l'hectare par point de sondage



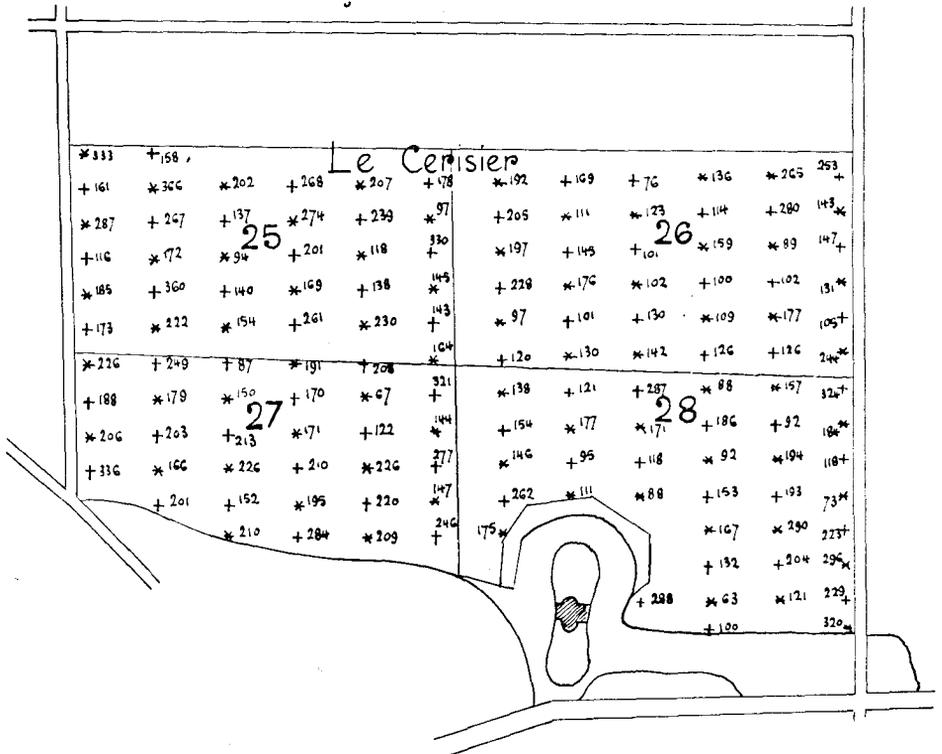
Légende

- + \* tous les points = un sondage par 1/2 hectare.
- + ou \* seulement = un sondage par hectare.

ANNEXE 13

Forêt domaniale d'Izeure (2<sup>e</sup> Série)

Volumes totaux en m<sup>3</sup> trouvés à l'hectare par point de sondage



Légende

- + \* tous les points = un sondage par 1/2 hectare.
- + ou \* seulement = un sondage par hectare.

## ANNEXE 14

*Inventaires par sondage systématique à 20 % - Volumes totaux*

(Un cercle de 10 ares pour 50 ha)

Coupe ou canton	Surface ha	Cube réel m <sup>3</sup>	Cube d'in- ventaire statisti- que (m <sup>3</sup> )	Erreur réelle %	Coefficient de variation	Écart-type de la moyenne S %	Erreur à craindre S x t %
PERREAUX - Parcelle 29	11,90	2.721	2.910	+ 6,95	32,67	6,95	14,39
PERREAUX p. 29 + 31	23,83	4.788	4.851	+ 1,32	41,25	6,08	12,22
PERREAUX p. 29 + 31 + 33	35,73	6.857	6.981	+ 1,81	40,60	4,85	9,65
PERREAUX p. 29 + 31 + 33 + 35	47,47	8.840	9.076	+ 2,67	38,02	3,96	7,88
PERREAUX p. 29 + 31 + 33 + 35 + 30	61,07	11.568	11.634	+ 0,57	37,47	3,41	6,75
PERREAUX p. 29 + 31 + 33 + 35 + 30 + 32	74,69	13.514	13.646	+ 0,98	40,86	3,34	6,61
PERREAUX p. 29 + 31 + 33 + 35 + 30 + 32 + 34	88,28	15.936	16.136	+ 1,26	40,26	3,05	6,04
PERREAUX TOTAL	101,91	18.341	18.366	+ 0,14	40,56	2,85	5,61
PERREAUX TOTAL + CERISIER p. 25	118,08	21.385	21.631	+ 1,24	40,17	2,61	5,14
PERREAUX TOTAL + CERISIER p. 25 + 26	135,48	23.894	24.219	+ 1,36	40,38	2,45	4,83
PERREAUX TOTAL + CERISIER p. 25 + 26 + 27	151,75	27.081	27.467	+ 1,42	39,25	2,25	4,43
PERREAUX TOTAL + CERISIER TOTAL	170,47	30.194	30.671	+ 1,58	39,63	2,14	4,21

## ANNEXE 15

*Inventaire par sondage systématique à 10 % - Volumes totaux*  
(Un cercle de 10 ares par ha)

Coupe ou Canton	Surface ha	Cube réel total m <sup>3</sup>	Cube d'après inventaire statistique m <sup>3</sup>	Erreur réelle %	Coefficient de variation	Ecart-type de la moyenne S %	Erreur à craindre S x t %
PERREAUX - Parcelle 29	11,90	2.4721	3.312	+ 21,72	31,2	9,37	20,61
			2.508	- 7,83	27,48	8,25	18,15
PERREAUX P. 29 + 31	23,83	4.788	5.217	+ 8,95	42,44	9,03	18,69
			4.516	- 5,68	39,07	7,97	16,42
PERREAUX P. 29 + 31 + 33	35,73	6.487	7.254	+ 5,79	43,55	7,36	14,94
			6.708	- 2,17	37,04	6,26	12,71
PERREAUX P. 29 + 31 + 33 + 35	47,47	8.840	9.212	+ 4,21	42,33	6,24	12,54
			8.940	+ 1,13	33,27	4,91	9,87
PERREAUX P. 29 + 31 + 33 + 35 + 30	61,07	11.568	11.986	+ 0,16	42,43	5,43	10,86
			11.682	+ 0,99	32,47	4,19	8,38
PERREAUX P. 29 + 31 + 33 + 35 + 30 + 32	74,69	13.514	13.292	- 1,64	45,80	5,29	10,53
			14.004	+ 3,62	36,18	4,20	8,36
PERREAUX 29 + 31 + 33 + 35 + 30 + 32 + 34	88,28	15.936	15.789	- 0,92	44,41	4,79	9,53
			16.476	+ 3,39	36,49	3,89	7,74
PERREAUX TOTAL	101,91	18.341	17.823	- 2,28	43,84	4,36	8,63
			18.804	+ 2,52	37,29	3,69	7,31
PERREAUX TOTAL + CERISIERS 25	118,08	21.385	21.396	- 0,08	43,11	3,97	7,86
			22.106	+ 3,37	37,13	3,42	6,77
PERREAUX TOTAL + CERISIERS 25 + 26	133,48	23.884	23.814	- 0,33	42,54	3,65	7,23
			24.624	+ 3,05	36,17	3,27	6,47
PERREAUX TOTAL + CERISIERS 25 + 26 + 27	151,75	27.081	26.790	- 1,22	40,93	3,30	6,59
			28.174	+ 4,04	37,50	3,03	5,99
PERREAUX TOTAL + CERISIERS TOTAL	170,47	30.194	28.756	- 1,47	41,5	3,19	6,28
			31.586	+ 4,61	37,67	2,88	5,67

## ANNEXE 16

*Inventaires par sondage systématique à 5 % - Volumes totaux*  
(Un cercle de 10 ares pour 2 ha)

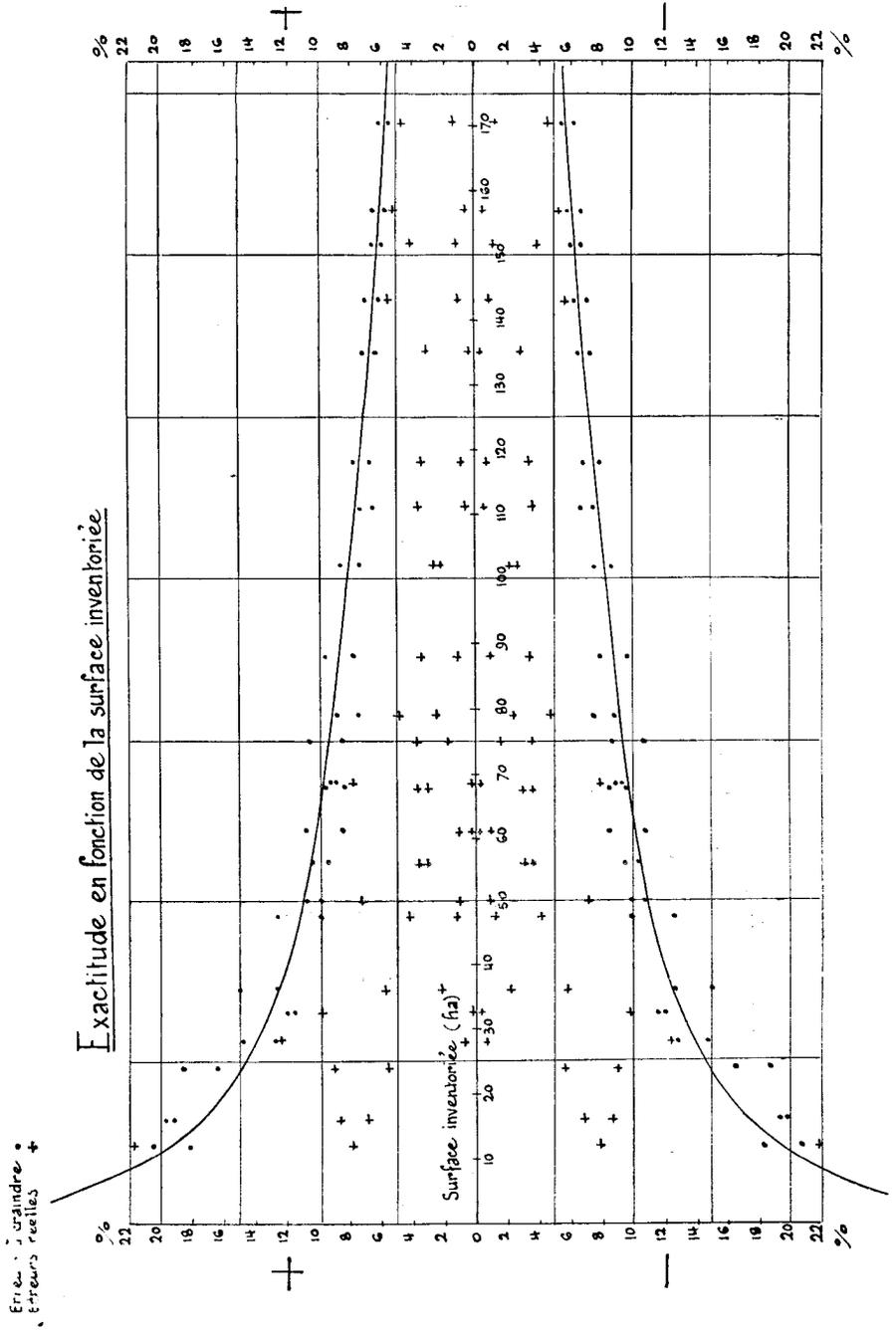
Coupe ou canton	Cube réel total m <sup>3</sup>	Cube d'après inventaire statistique m <sup>3</sup>	Erreur réelle %	Coefficient de variation	Ecart-type moyen S <sub>x</sub> %	Erreur à craindre $\frac{1}{\sqrt{n}}$ %	Moyenne de l'erreur à craindre %	
1°) CERISIER - 68,56 ha	(	Combinaison A	A	12.143	+ 2,45	32,56	5,50	11,16
			B	13.404	+13,08	36,58	6,41	13,01
			C	11.024	- 6,99	40,12	6,88	14,03
			D	12.625	+ 6,51	42,60	7,31	14,91
2°) FERREUX - 101,91 ha	(	Combinaison A	A	17.726	- 3,35	40,10	5,62	11,30
			B	18.580	+ 1,30	42,44	5,94	11,24
			C	19.217	+ 4,78	40,50	5,67	11,40
			D	17.932	- 2,23	43,40	6,14	12,34
3°) FERREUX + CERISIER Pelles 25 et 26. 135,48 ha	(	Combinaison A	A	23.766	- 0,54	57,79	4,55	9,10
			B	24.334	+ 4,35	59,10	4,74	9,48
			C	24.659	+ 3,20	42,40	5,14	10,28
			D	23.513	- 1,59	42,97	5,25	10,50
4°) FERREUX + CERISIER 170,47 ha	(	Combinaison A	A	29.872	- 1,07	36,96	3,99	7,94
			B	31.995	+ 5,96	32,12	4,11	8,18
			C	30.851	+ 0,19	34,26	3,71	7,38
			D	30.561	+ 1,21	42,87	4,76	9,47

NOTA.- A = 1<sup>er</sup> point.  
B = 2<sup>ème</sup> point.  
C = 3<sup>ème</sup> point.  
D = 4<sup>ème</sup> point.

GRAPHIQUE - ANNEXE 17

Forêt d'Iseure — Inventaires statistiques au 1/10

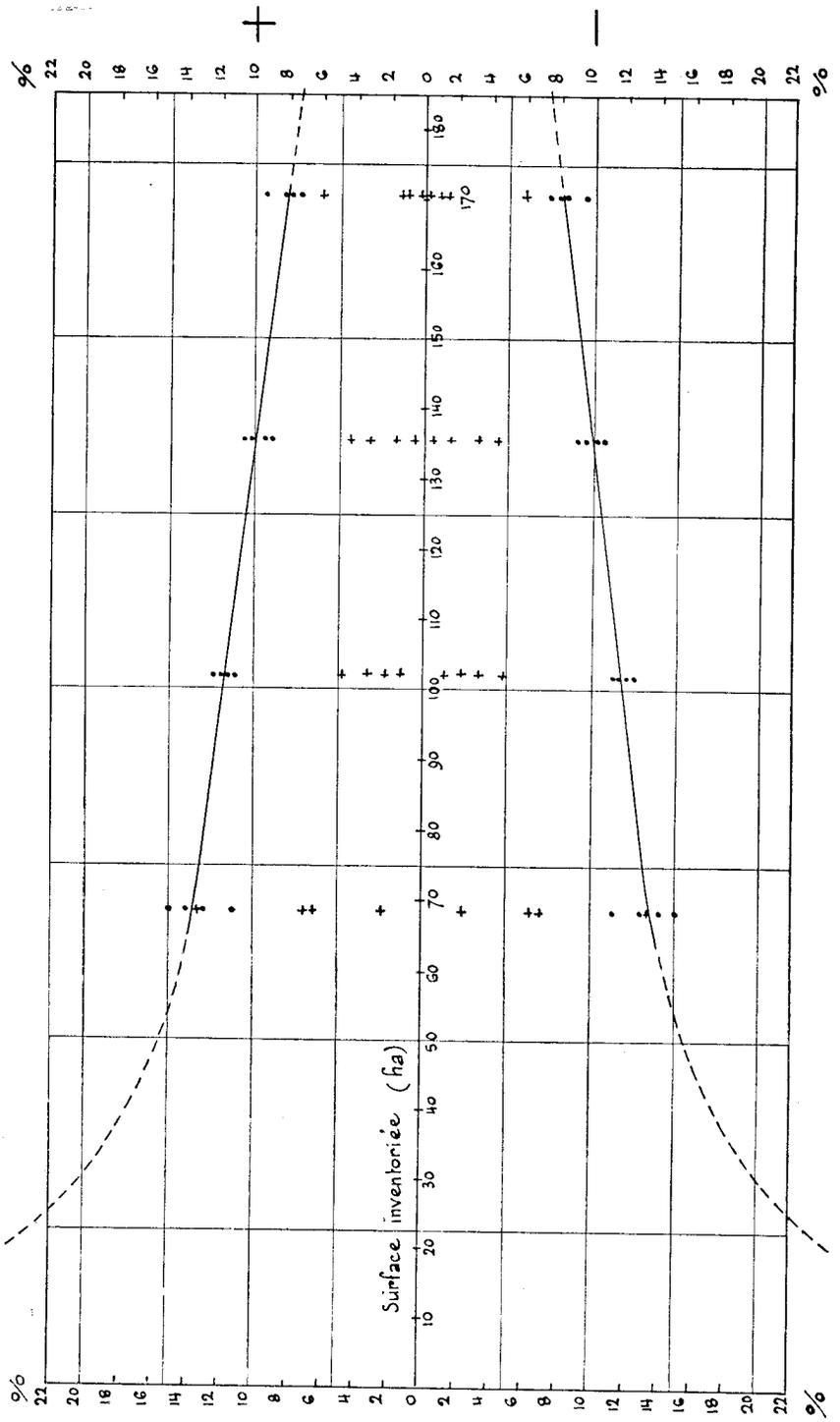
Volumes totaux



# GRAPHIQUE — ANNEXE 18

*Forêt d'Izéure — Inventaires statistiques au 1/20*  
*Volumes totaux*  
*Exactitude en fonction de la surface inventoriée*

Erreurs à craindre... •  
 Erreurs réelles..... +



## ANNEXE 19

*Inventaires par sondage systématique à 20 %. Volumes chênes seuls*  
(Un cercle de 10 ares pour 50 ares)

Coupe ou canton	Surface ha	Cube réel total m <sup>3</sup>	Cube d'après inventaire statistique m <sup>3</sup>	Erreur réelle %	Coefficient de variation	Ecart-type de la moyenne S	Erreur à craindre S x t %
PERREUX - Parcelle 29	11,90	2.213	2.205	- 0,36	44,15	9,41	19,48
PERREUX - p. 29 + 31	23,83	3.987	3.985	- 0,05	49,11	7,24	14,55
PERREUX p. 29 + 31 + 33	35,73	5.831	5.893	+ 1,06	47,14	5,63	11,20
PERREUX p. 29 + 31 + 33 + 35	47,47	7.575	7.757	+ 2,40	43,54	4,54	9,03
PERREUX p. 29 + 31 + 33 + 35 + 30	61,07	9.678	9.733	+ 0,57	43,77	3,98	7,88
PERREUX p. 29 + 31 + 33 + 35 + 30 + 32	74,69	11.088	11.292	+ 1,84	49,30	4,04	8,00
PERREUX p. 29 + 31 + 33 + 35 + 30 + 32 + 34	88,28	12.743	13.118	+ 2,94	50,06	3,79	7,50
PERREUX TOTAL	101,91	14.416	14.543	+ 0,88	53,96	3,79	7,47
PERREUX TOTAL + CERISIER p. 25	118,08	16.763	17.200	+ 2,61	53,16	3,46	6,82
PERREUX TOTAL + CERISIER p. 25 + 26	135,48	18.308	18.746	+ 2,39	56,20	3,41	6,72
PERREUX TOTAL + CERISIER p. 25 + 26 + 27	151,75	20.884	21.611	+ 3,48	53,83	3,09	6,09
PERREUX TOTAL + CERISIER TOTAL	170,47	23.159	24.202	+ 4,50	54,17	2,93	5,77

## ANNEXE 20

*Inventaire par sondage systématique à 10 %. Volumes chênes seuls*  
(Un cercle de 10 ares par hectare)

Coupe ou canton	Surface ha	Cube réel m <sup>3</sup>	Cube d'après inventaire statistique m <sup>3</sup>	Erreur relative %	Coefficient de variation %	Ecart-type de la moyenne S %	Erreur à craindre S x t %
FERRÉAUX - Parcelle 29 ( Points pairs Points impairs	11,90	2.213	2.637	+ 19,16	42,91	12,89	26,36
FERRÉAUX Parcelles 29 + 31 ( Points pairs Points impairs	23,85	3.987	4.219	- 5,13	42,05	12,63	27,79
FERRÉAUX 29 + 31 + 33 ( Points pairs Points impairs	35,73	5.831	6.093	- 4,49	50,14	10,69	22,13
FERRÉAUX 29 + 31 + 33 + 35 ( Points pairs Points impairs	47,47	7.575	7.690	- 1,49	48,24	9,84	20,27
FERRÉAUX 29 + 31 + 33 + 35 + 30 ( Points pairs Points impairs	61,07	9.676	9.746	- 0,71	50,36	8,46	17,17
FERRÉAUX 29 + 31 + 33 + 35 + 30 + 32 ( Points pairs Points impairs	74,69	11.068	11.771	- 6,42	43,63	7,53	14,88
FERRÉAUX 29 + 31 + 33 + 35 + 30 + 32 + 34 ( Points pairs Points impairs	88,28	12.743	13.546	- 6,30	47,33	6,98	14,03
FERRÉAUX TOTAL ( Points pairs Points impairs	101,91	14.416	14,963	- 3,85	55,84	5,97	11,08
FERRÉAUX TOTAL + CERISIER 25 ( Points pairs Points impairs	118,08	16.763	17.638	- 5,22	57,16	5,75	11,39
FERRÉAUX TOTAL + CERISIER 25+26 ( Points pairs Points impairs	135,48	18.308	19,189	- 4,81	56,05	5,16	10,22
FERRÉAUX TOTAL + CERISIER 25 + 26 + 27 ( Points pairs Points impairs	151,75	20.884	22,313	- 6,84	50,24	4,63	9,17
FERRÉAUX TOTAL + CERISIER TOTAL ( Points pairs Points impairs	170,47	23.159	23,208	- 0,21	56,72	4,55	8,61
			25,191	+ 8,77	51,57	5,94	7,80

## ANNEXE 21

*Inventaires par sondage systématique à 5 %. Volumes chênes seuls*  
(Un cercle de 10 ares pour 2 ha)

Coupe ou échantillon	Cube réel total m <sup>3</sup>	Cube d'après inventaire statistique m <sup>3</sup>	Erreur réelle %	Coefficient de variation	Ecart-type de la moyenne S %	Erreur à craindre S x t %	Moyenne de l'erreur à craindre %
1°) CERISIER 68,56 ha	8,743	9,692	+ 10,95	48,53	8,20	16,65	19,21
		10,615	+ 21,41	50,83	8,59	17,44	
		8,657	- 0,98	57,05	9,78	19,85	
		9,481	+ 8,44	65,74	11,28	22,90	
2°) FERREAUX 101,91 ha	14,416	13,454	- 6,67	52,95	7,42	14,91	15,18
		14,939	+ 3,63	52,56	7,36	14,79	
		16,016	+ 11,10	49,88	6,99	14,05	
		13,750	- 4,62	59,67	8,44	16,96	
3°) FERREAUX + CERISIER 170,47 ha	23,159	23,154	- 0,02	50,89	5,45	10,93	11,78
		25,560	+ 10,37	51,60	5,57	11,08	
		24,684	+ 6,58	53,17	5,77	11,48	
		23,233	+ 0,32	62,81	6,85	13,63	

NOTA. — A = 1 point sur 4 en commençant par le 1er point.

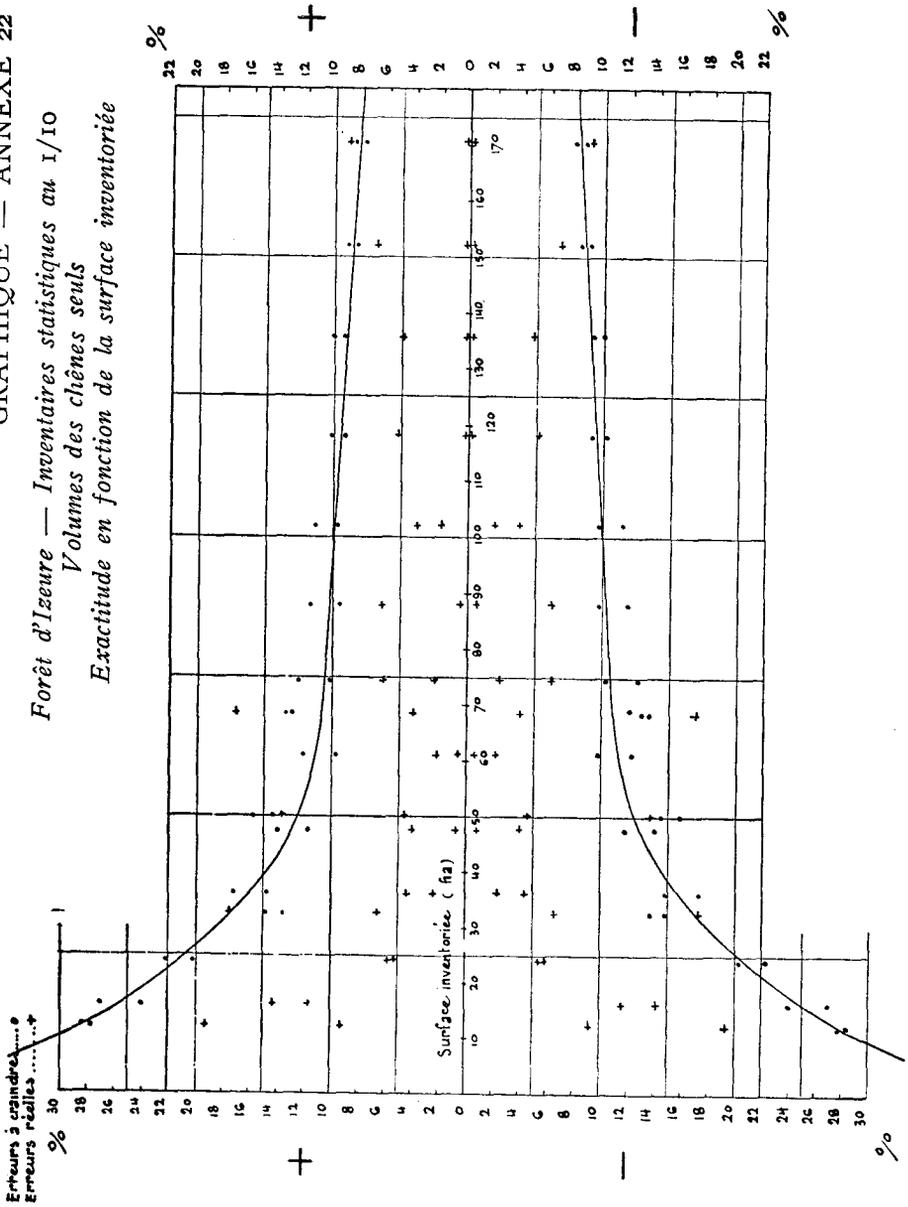
B = 2ème point.

C = 3ème point.

D = 4ème point.

GRAPHIQUE — ANNEXE 22

Forêt d'Izeure — Inventaires statistiques au 1/10  
 Volumes des chênes seuls  
 Exactitude en fonction de la surface inventoriée



## ANNEXE 23

*Inventaire par sondage systématique à 10 % .. Volume des divers*  
(Un cercle de 10 ares par hectare)

Coupe ou canton	Surface ha	Cube réel total m <sup>3</sup>	Cube d'après inventaire statistique m <sup>3</sup>	Erreur réelle %	Coefficient de variation	Ecart-typé de la moyenne $\sigma \%$	Erreur à craindre $\sigma \times t$ %
1°) <u>METRES SEULS.</u>							
CERISIER :							
- points pairs	68,56	419	603	+ 43,9	239	28,7	57,5
- points impairs			468	+ 11,7	198	23,77	47,5
PERREAUX :							
- points pairs	101,91	3.287	3.253	- 1,03	103	10,29	10,95
- points impairs			3.178	- 3,32	97	9,57	20,37
PERREAUX + CERISIER :							
- points pairs	170,47	3.706	3.842	+ 3,67	133	10,05	19,90
- points impairs			3.641	- 1,75	132	10,19	20,18
2°) <u>AUTRES DIVERS SEULS.</u>							
CERISIER :							
- points pairs			2.135	- 20,66	77	9,26	18,52
- points impairs	68,56	2.691	2.087	- 22,44	101	12,12	24,24
PERREAUX :							
- points pairs			550	+ 13,79	130	12,91	24,27
- points impairs	101,91	638	663	+ 3,92	124	12,26	25,56
PERREAUX + CERISIER :							
- points pairs	170,47	3.329	2.701	- 18,86	129	9,90	19,60
- points impairs			2.755	- 17,24	125	9,52	18,85

## ANNEXE 24

## Inventaires par sondage systématique

Coupe ou canton	Intensité échantillon- nage	Surface ha	Cube réel total m <sup>3</sup>	Cube d'après inventaire statistique m <sup>3</sup>	Erreur réelle %	Coefficient de variation	Ecart type de la moyenne S %	Erreur à ordre S et %
1°) ETUDE DES VOLUMES TOTAUX D'UNE CATÉGORIE DE CIRCONFÉRENCE : 180 cm.								
Perreaux tous les points	1/5	101,91	1.961	2.059	+ 7,04	124,44	8,73	17,20
Ensemble Perreaux-Cerisier tous les points	1/5	170,47	3.067	3.329	+ 8,54	141,77	7,67	15,11
Perreaux points pairs	1/10	101,91	1.961	2.165	+ 10,40	110,56	11,00	21,78
Perreaux points impairs	1/10	101,91	1.961	2.033	+ 3,67	139,09	13,77	27,26
Ensemble Perreaux-Cerisier points pairs	1/10	170,47	3.067	3.525	+ 14,93	138,57	10,63	21,05
Ensemble Perreaux-Cerisier points impairs	1/10	170,47	3.067	3.135	+ 2,22	144,90	11,08	21,94
2°) ETUDE DES VOLUMES TOTAUX DES BOIS MOYENS : 80 + 100 + 120 cm.								
Perreaux points pairs	1/10	101,91	4.288	4.006	- 6,58	61,69	6,14	12,16
Perreaux points impairs	1/10	101,91	4.288	4.408	+ 2,80	59,16	5,86	11,60
Ensemble Perreaux-Cerisier points pairs	1/10	170,47	7.644	7.434	- 2,75	56,92	4,36	8,63
Ensemble Perreaux-Cerisier points impairs	1/10	170,47	7.644	7.557	- 0,82	54,79	4,19	8,30
3°) ETUDE DES VOLUMES TOTAUX DES VIEUX BOIS : 140 cm et plus.								
Perreaux points pairs	1/10	101,91	13.721	13.604	- 0,85	60,17	5,99	11,86
Perreaux points impairs	1/10	101,91	13.721	14.043	+ 2,35	52,31	5,18	10,26
Ensemble Perreaux-Cerisier points pairs	1/10	170,47	21.419	21.439	+ 0,09	62,50	4,79	9,46
Ensemble Perreaux-Cerisier points impairs	1/10	170,47	21.419	23.136	+ 8,02	56,20	4,30	8,51

## ANNEXE 25

*Etude des nombres de tiges par catégories de circonférence  
Cas d'un inventaire à 10 % du canton des Perreaux — 101,91 ha*

Circonférence	Nombres réels	Nombres d'après inventaire statistique	Pourcentage d'erreur par rapport au nombre réel
60	1.660	1.788	+ 7,71 %
80	2.338	2.428	+ 3,85
100	1.658	1.658	0
120	1.162	1.199	+ 3,18
140	941	829	- 11,90
160	773	889	+ 15,01
180	530	539	+ 1,70
200	454	619	+ 36,34
220	373	330	- 11,53
240	227	250	+ 10,13
260	107	80	- 25,23
280	51	70	+ 37,25
300	13	0	-
320	5	10	+ 100
340	1	0	-
360	0	0	-
380	0	0	-
400	1	0	-
TOTAUX .....	10.294	10.689	+ 3,84

## ANNEXE 26

*Etude des nombres de tiges par catégories de circonférence  
Cas d'un inventaire à 5 % de l'ensemble Perreaux-Cerisier  
170,47 ha*

Circonférence	Nombres réels	Nombres d'après inventaire statistique.	Pourcentage d'erreur par rapport au nombre réel.
60	5.654	3.806	- 32,68
80	4.729	4.856	+ 2,69
100	3.141	3.053	- 2,80
120	1.752	1.725	- 1,54
140	1.427	1.090	- 23,62
160	1.160	1.169	+ 0,78
180	829	1.090	+ 31,48
200	669	694	+ 3,74
220	549	555	+ 1,09
240	333	297	- 10,81
260	179	159	- 11,17
280	89	198	+ 122,47
300	41	119	+ 190,24
320	24	0	
340	5	20	+ 300
360	2	0	
380	0	0	
400	2	0	
TOTAL .....	20.585	18.831	- 8,52 %

## ANNEXE 27

*Inventaires par sondage au hasard à 5 % - Volumes totaux*  
(Un cercle de 10 ares pour 2 ha)

Coupe ou Canton	Cube réel total m <sup>3</sup>	Cube d'après-inventaire statistique m <sup>3</sup>	Erreur réelle %	Coefficient de variation	Erreur de type de la moyenne S %	Erreur à l'extrême S et %	Moyenne de l'erreur à l'extrême %
1° CERISIER - 68 ha 56	11.853	1er Tirage	- 1,04	36,60	6,28	12,61	13,92
		2ème Tirage	+ 5,58	37,57	6,44	13,14	
		3ème Tirage	- 4,59	41,74	7,16	14,61	
		4ème Tirage	- 1,42	43,28	7,42	15,14	
2° FERREUX - 101,91 ha	18.341	1 er Tirage	+ 8,97	40,79	5,71	11,48	11,44
		2 ème -	+ 0,25	40,69	5,70	11,46	
		3 ème -	+ 15,04	40,77	5,71	11,48	
		4 ème -	+ 1,50	40,32	5,65	11,36	
3° FERREUX + CERISIER 170,47 ha	30.194	1er Tirage	+ 0,44	35,86	3,89	7,74	7,78
		2ème -	+ 1,61	33,05	3,58	7,12	
		3ème -	+ 2,65	37,89	4,11	8,18	
		4ème -	+ 1	37,50	4,07	8,10	

## SUMMARY

---

After an analysis of foreign works on the application to forest management of forest survey by statistical methods of sampling, the author describes the stands which he studied himself. The domainial forest of Izeure, a rich composite forest about to be converted, lies in the valley of the Saône, 25 km south-east of Dijon.

The characteristic species of the reserve is oak (*Quercus robur* and *Q. pedunculata*) forming 77 % of the total volume together with some beech (12 %) and various species (11 %).

The average volume per hectare is 177 cubic meter (stem and branch wood).

The survey of 170,47 ha of the forest was done on the one hand stem by stem, along traditional methods, and compartment by compartment, on the other hand by mathematical-statistical methods of sampling.

Systematically laid circular plots of 10 ares in area were used at the density of one every for 50 ares of forest.

The main following results were obtained:

1° Survey of forest stands by sampling and use of mathematical-statistical methods can be applied in France in the framework of managements, and in particular to the case of coppice with standards forests such as are found in the plain of the Saône.

2° Systematic samplings in forest surveys give results that are at least as good as random probings and the computation of the standard error of the mean usually reserved to the latter type of surveys can equally be applied to them.

3° Circular sampling plots are very convenient. In this study 10 ares plots revealed themselves adequate.

4° The methods described can be readily utilized by the ordinary personnel of the Forest Service. The conduct of inventory operations — preparatory office work, actual field application, calculations. — has been established.

5° For the management of a forest, it appears sufficient to obtain, at the 5 % level of significance, an error on the mean smaller than  $\pm 10$  % for total volumes.

6° Sampling 1/10<sup>th</sup> of the area inventoried — on a 10 ares plot per hectare of stand — costs twice less than complete sampling in the case studied here. It is adequate for area larger than 75 hectares.

7° Sampling 1/20<sup>th</sup> of the area inventoried — one 10 ares plot per two hectares of stand — is at least one third cheaper than complete sampling. It is applicable to areas larger than 170 hectares.

8° This type of inventory also gives accurate enough results — standard error of the mean of  $\pm 15\%$  for example,— for secondary data used in the estimation of the possibility (separation of stems between mature and immature in particular).

9° A méthode is shown for finding by a preliminary test survey the number of sampling points to be laid over a given forest in order to obtain a given level of precision.

10° After a division of the forest into elementary units, the author studied the eventual use of variance analysis permitting a reduction of the true error on the survey. This method may certainly be useful in dealing with a heterogeneous forest; but in this particular case, it appeared that the variations between stands, although noticeable, did not motivate an analysis of the variance.

The subdivision of a forest into blocks, if it is to be justified, should essentially be based on the study of the ecological sites.

(Traduction L. ROUSSEAU.)

---

## ZUSAMMENFASSUNG

---

Nachdem er die ausländischen Werke auseinandergesetzt hat, welche darauf hingehen, die statistischen Stichprobenaufnahmen an das Gebiet der Forsteinrichtung anzuwenden, beschreibt der Verfasser die Bestände, worin seine persönlichen Forschungen stattgefunden haben. Es handelt sich um den Staatswald von Izeure, einen reichen Mittelwald, dessen Überführung bald zustande kommen wird, und der sich in dem Sâonetal, 25 km sud-östlich von Dijon befindet.

Die bekenntzeichnende Holzart des Bestandes ist vor allem die Eiche (Stieleiche und Traubeneiche) (77 % der Gesamtmasse), von 12 % Buchen und 11 % verschiedener Holzarten begleitet.

Der Mittelvorrat pro ha ist von 177 Kubikmeter (Gesamtholz). Die Inventurforschungen betreffen 170,47 ha Wald, die einerseits Stamm pro Stamm, nach den herkömmlichen Methoden (Vollkluppung), und Abteilung pro Abteilung, andererseits nach den mathematisch-statistischen Methoden verzeichnet wurden.

Verwendet wurden dafür, systematisch im Verhältnis zu einem Kreis für 50 a. Wald angelegte 10 a. Kreise.

Die wesentlichsten Ergebnisse, die erhalten wurden, sind folgende:

1) Die Inventur der Waldbestände durch Stichproben und Verwendung der mathematisch-statistischen Methoden kann in Frankreich, im Rahmen der Forsteinrichtungen angewendet werden, und ganz besonders im Fall der Mittelwälder, wie diejenigen des Saônetals.

2) Die Inventuren durch systematische Probenahmen wirken mindestens so gut wie die zufälligen Probenahmen. Die Genauigkeitsberechnungen, die eigentlich den letzteren vorbehalten sind, können auch für die ersteren angewendet werden.

3) Die Stichprobekreise sind auch sehr praktisch. In dem hier betrachteten Fall, haben sich die 10 a. Kreise sehr wirksam erwiesen.

4) Die hier beschriebenen Arbeitsmethoden können leicht von dem gewöhnlichen Dienstpersonal verwendet werden. Die Verwirklichung der Inventur-Vorbereitung im Büro, Verarbeitung im Wald, Berechnungen — hat der Verfasser bestimmen können.

5) Im Rahmen einer Forsteinrichtung scheint es zulänglich, mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 5 %, eine Genauigkeit von 10 % für die Gesamtmassen zu erhalten.

6) Die Inventur durch Stichproben von  $1/10$ , d.h. ein 10 a. Kreis pro ha, kostet im betrachteten Fall Mal weniger als eine vollständige Inventur. Sie ist von einer Fläche von ca. 70 ha zweckdienlich.

7) Die Inventur durch Stichproben von  $1/20$ , d.h. ein 10 a. Kreis für 2 ha, kostet mindestens 3 Mal weniger als eine vollständige Inventur und ist von einer Fläche von ca. 170 ha zweckdienlich.

8) Diese Inventurart genehmigt auch zulänglich annähernde Ergebnisse zu erhalten — Genauigkeit von  $\pm 15\%$  z. B. — für die Nebenangaben, die für die Möglichkeitsberechnung notwendig sind (im besonderen Einteilung des Holzes in Alt— und Mittelholz).

9) Es wird auch eine Methode angegeben, die, mit Hilfe einer kleinen Inventur (vorgängigen Testes) genehmigt, die Probezahl in einem bestimmten Wald festzusetzen, um eine bestimmte Annäherung zu erhalten.

10) Die eventuelle Verwendung, nach der Zergliederung des Waldes in Elementarblöcke, der Streuungszerlegung, womit man den wirklichen Irrtum vermindern kann, ist hier studiert worden. Diese Methode kann bestimmt in verschiedenartigen Wäldern wirksam sein, im besonderen Fall aber, hat sich erwiesen, dass die zwar sichtbaren Variationen der Bestände, die Verwendung einer Streuungszerlegung doch nicht begründen.

Die Einteilung eines Waldes in Blöcke, wenn sie auch gerechtfertigt werden kann, muss wesentlich auf das Studieren der oekologischen Standorte gegründet sein.

(Traduction DECOURT.)

---

*Imprimerie Georges Thomas - Nancy.*

Dépôt légal IV/1958 - N° 475