

# Etude comparative de méthodes d'échantillonnage de charbon sur wagon ou allège

J. FEDERWISCH, I.C.Mi.

Ingénieur à la Société de Recherche Opérationnelle et d'Economie Appliquée SORCA, S.A.  
Président du Groupe de Travail « Echantillonnage » à l'Institut Belge de Normalisation

## SAMENVATTING

*In de dagelijkse praktijk gebeurt het staalnemen op wagens en lichters door het systematisch inplanten van de monsternamen.*

*Deze methode leidt tot systematische fouten die men in belangrijke mate kan verminderen door een willekeurige verdeling van de inplantingen.*

*Deze laatste methode kan bovendien verbeterd worden als het aantal opnemingen per laag gepondereerd wordt in verhouding tot het volume van deze laag.*

## ZUSAMMENFASSUNG

*Nach üblicher Praxis beruht die Probenahme von Waggon- oder Kahnladungen auf der systematischen Anordnung der Entnahmestellen.*

*Diese Methode enthält Systemfehler, welche man dadurch in erheblichem Ausmasse einschränken kann, dass man schichtgebundene « stratifizierte » Entnahmen ausführt und die punktuelle Verteilung dem Zufall überlässt.*

*Eine Verbesserung erfährt dieses letztere Verfahren noch durch eine Abstimmung der Anzahl der schichtweisen Entnahmen mit dem Volumen der Schicht.*

## 1. POSITION DU PROBLEME

11. Nous nous proposons d'étudier l'incidence des méthodes d'échantillonnage par prélèvements systématiques et par prélèvements répartis suivant une stratification au hasard (\*) sur la précision de l'échantillonnage.

(\*) Parmi les méthodes de prélèvements d'échantillons, la stratification au hasard résulte d'une division, par la pensée, du lot en une série de cellules jointives appelées « strates ». Dans chaque strate, l'endroit de prélèvement des échantillons est fixé au hasard.

## RESUME

*Dans la pratique courante, l'échantillonnage de wagons ou d'allèges est réalisé par l'implantation systématique des prélèvements.*

*Cette méthode introduit des erreurs systématiques que l'on peut réduire, dans d'importantes proportions, en réalisant une implantation stratifiée au hasard des points de prélèvement.*

*Cette dernière méthode peut, de plus, être améliorée grâce à une pondération du nombre de prélèvements par strate, en fonction du volume de celle-ci.*

## SUMMARY

*The common method of checking the contents of waggons or barges is the systematic implantation of the samples.*

*This method introduces systematic errors which may be reduced, to a large extent, by obtaining a stratified implantation at random where the samples are taken.*

*This method may furthermore be improved thanks to a ponderation of the number of samples per stratum in function of the volume of this latter.*

Si, théoriquement, l'échantillonnage stratifié au hasard paraît indiscutablement être le seul capable d'apporter un résultat satisfaisant quant à la précision obtenue, l'échantillonnage systématique est, par contre, d'une application actuelle générale ; la question se pose donc de savoir dans quelle mesure on peut accepter une implantation systématique des prélèvements.

12. Afin de résoudre ce problème, nous avons étudié un lot de 287 tonnes d'un charbon maigre d'une granulométrie inférieure à 10 mm, répondant aux caractéristiques moyennes suivantes :

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| teneur en cendres            | 12,8 % |
| teneur en matières volatiles | 13,9 % |
| humidité totale              | 13,4 % |

Ce lot était contenu dans une allège à quatre compartiments A, B, C, D. Au moyen d'une sonde à glissière, cent prélèvements ont été implantés à raison de vingt-cinq par compartiment, répartis en cinq lignes de cinq prélèvements.

La sonde a été introduite de manière à recueillir des échantillons représentatifs de toute la hauteur de l'allège.

Nous avons estimé obtenir ainsi une image précise de l'hétérogénéité relative du lot ; en première approximation, nous admettrons que les lois de variation qui se dégagent de cet examen reflètent exactement les lois de variation du lot proprement dit.

## 2. ETUDE DU LOT A ECHANTILLONNER

21. Les résultats d'analyse des cent prélèvements effectués sont consignés dans le tableau I.

Nous en déduisons les caractéristiques générales du lot qui sont données au tableau II.

22. A quelle loi statistique correspond la dispersion de ces résultats ?

Si l'on détermine graphiquement la répartition proportionnelle cumulée des prélèvements de l'en-

semble de l'allège dont la teneur en cendres est inférieure à une teneur donnée, on constate, comme le montre la figure 1, l'impossibilité de tracer une droite moyenne qui, d'après Henry, est un test de vraisemblance de la loi normale.

23. Etudions la répartition proportionnelle des prélèvements au sein de chaque compartiment.

De l'examen de la figure 2, nous pouvons admettre que les prélèvements des compartiments A, B et D se répartissent suivant une loi normale : la répartition proportionnelle cumulée des prélèvements en fonction de la teneur en cendres est pratiquement linéaire dans une anamorphose galtonienne.

Le compartiment C demande une étude plus précise, elle est représentée à la figure 3 : en réalité, ce compartiment est constitué de deux produits différents dont la frontière est déterminée par une teneur en cendres de 12,6 %. Les prélèvements effectués dans chacun de ces produits suivent individuellement une loi de répartition normale.

24. En conclusion, nous ne croyons pas pouvoir rejeter l'hypothèse d'applicabilité de la loi normale de Laplace-Gauss pour l'étude de la répartition des prélèvements.

C'est en appliquant cette loi que nous étudierons diversés méthodes d'échantillonnage.

Tableau I. — Echantillon d'une allège.  
Répartition et résultats d'analyse des prélèvements.

| A     |       |       |       |       | B     |       |       |       |       | C     |       |       |       |       | D     |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 13,09 | 11,97 | 11,11 | 10,12 | 10,38 | 11,21 | 10,82 | 11,50 | 11,40 | 11,52 | 11,65 | 12,56 | 14,49 | 12,82 | 13,39 | 14,58 | 15,00 | 13,96 | 14,89 | 17,20 |
| 13,61 | 11,69 | 11,88 | 10,70 | 10,36 | 9,87  | 11,22 | 10,77 | 10,45 | 11,37 | 10,32 | 14,71 | 12,77 | 14,14 | 15,21 | 15,65 | 16,56 | 13,26 | 15,30 | 17,81 |
| 12,41 | 12,83 | 11,77 | 12,74 | 11,55 | 9,72  | 10,38 | 9,54  | 11,00 | 11,29 | 9,62  | 14,18 | 9,63  | 13,25 | 15,42 | 18,39 | 18,31 | 13,44 | 13,92 | 18,84 |
| 11,55 | 12,61 | 11,53 | 11,94 | 11,80 | 10,01 | 10,89 | 12,32 | 12,20 | 11,93 | 11,16 | 14,72 | 13,57 | 12,00 | 13,78 | 15,48 | 15,74 | 13,12 | 14,80 | 17,83 |
| 11,91 | 12,36 | 11,38 | 12,52 | 12,17 | 10,32 | 10,80 | 13,00 | 11,78 | 11,78 | 12,67 | 13,28 | 13,57 | 9,51  | 11,85 | 14,81 | 15,68 | 12,99 | 16,89 | 15,91 |

TABLEAU II.  
Caractéristiques générales du lot.

|            | A      | B      | C      | D      | Allège |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\bar{x}$  | 11,88  | 11,09  | 12,81  | 15,61  | 12,85  |
| $\sigma^2$ | 0,6607 | 0,7181 | 3,0101 | 3,3991 | 4,8163 |

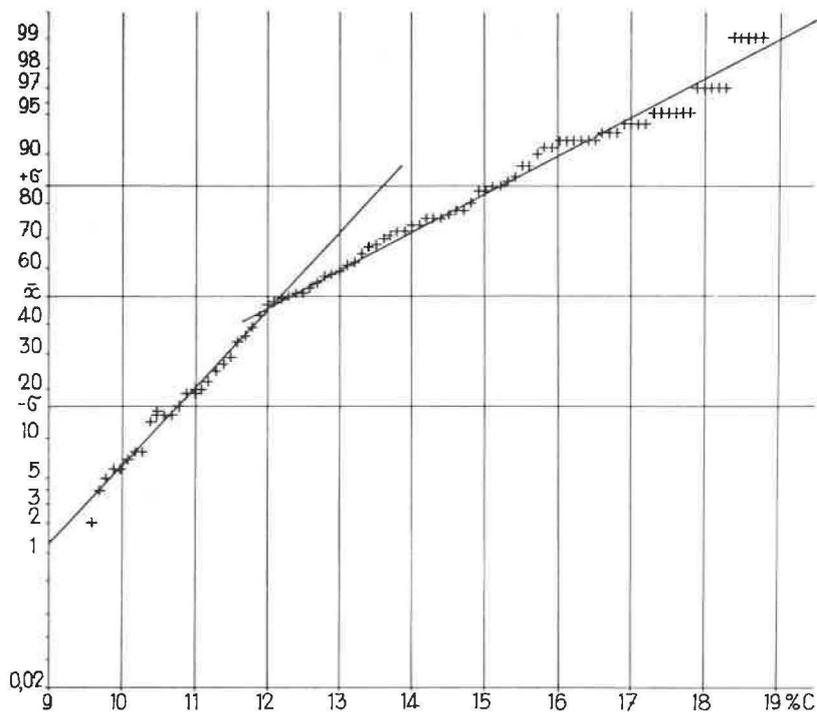


Fig. 1. — Echantillonnage d'une allège.  
Répartition proportionnelle des cent prélèvements.

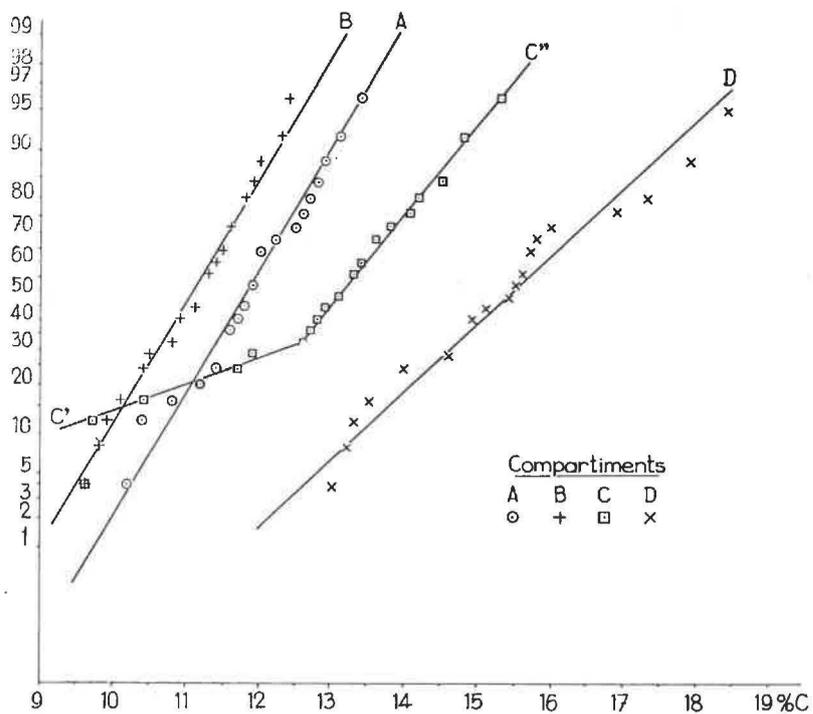


Fig. 2. — Echantillonnage d'une allège.  
Répartition proportionnelle des prélèvements par compartiment.

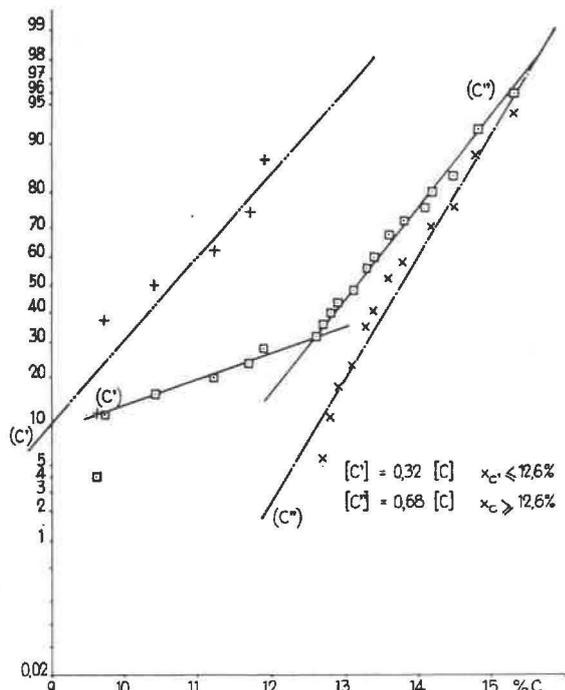


Fig. 3. — Etude particulière du compartiment C.

3. METHODES D'ECHANTILLONNAGE

31. Généralités.

311. Nous comparerons le bien-fondé des méthodes d'échantillonnage par implantation de prélèvements systématiques ou de prélèvements répartis suivant une stratification au hasard en suivant des règles précises qui sont définies dans chaque cas particulier.

312. Nous posons comme hypothèse de base que la détermination des caractéristiques du lot se déduit pratiquement de l'analyse d'un échantillon constitué de vingt prélèvements.

Nous comparerons la moyenne et la variance de chacun de ces échantillons : pour que l'échantillonnage soit correct, il faut en effet que non seulement la moyenne de l'échantillon soit comparable à la moyenne du lot, mais également que les dispersions de l'échantillon et du lot soient sensiblement analogues.

313. L'erreur d'échantillonnage comprendra donc en fait,

- une erreur sur la moyenne
- une erreur sur la variance.

Ces deux volets d'une même opération d'ensemble seront étudiés en détail.

32. Echantillonnage systématique.

321. Huit types d'échantillonnage par implantation systématique des prélèvements ont été étudiés.

Dans chaque cas, nous n'avons retenu que cinq prélèvements par compartiment de l'allège.

TABLEAU III.

| Type        | Caractéristique      |
|-------------|----------------------|
| I           | Croix de St-André    |
| II          | Croix romaine        |
| III et IV   | V alternés           |
| V et VI     | Diagonale unique     |
| VII et VIII | Diagonales alternées |

322. Le tableau IV montre le détail des implantations et les caractéristiques observées (moyenne et variance) résultant du dépouillement statistique des résultats.

33. Echantillonnage stratifié au hasard.

331. Nous avons considéré qu'une strate était constituée par un compartiment de l'allège.

332. L'implantation de cinq prélèvements au sein de chaque strate résulte de la consultation d'une table « de nombres de hasard ».

Six types d'échantillonnage ont été étudiés répondant aux caractéristiques suivantes :

TABLEAU V.

| Type | Caractéristiques  |
|------|---|
| 1    | Numérotation des endroits de prélèvements de 1 à 100 ; choix au hasard des prélèvements en limitant à 5 par compartiment.   |
| 2    | Id. mais dans chaque strate les prélèvements ne sont implantés qu'en des endroits où il n'y a pas de prélèvements dans les autres compartiments.  |
| 3    | Numérotation des endroits de prélèvements de 1 à 25 dans chaque compartiment ; choix au hasard des prélèvements.  |
| 4    | Id. mais dans chaque strate les prélèvements ne sont implantés qu'en des endroits où il n'y a pas de prélèvements dans les autres compartiments.  |
| 5    | Numérotation des endroits de prélèvements de 1 à 25 dans chaque compartiment ; choix au hasard des prélèvements, mais en ne retenant qu'un prélèvement par ligne et un prélèvement par colonne. |
| 6    | Id. mais dans chaque strate les prélèvements ne sont implantés qu'en des endroits où il n'y a pas de prélèvements dans les autres compartiments.  |

TABLEAU IV.

*Echantillonnage systématique d'une allège.*

| Type | Répartition des prélèvements |   |   |   | Caractéristiques | A      | B      | C      | D      | Ensemble |
|------|------------------------------|---|---|---|------------------|--------|--------|--------|--------|----------|
|      | A                            | B | C | D |                  |        |        |        |        |          |
| I    |                              |   |   |   | $\bar{x}$        | 11,86  | 10,87  | 11,84  | 15,19  | 12,44    |
|      |                              |   |   |   | $\sigma^2$       | 0,9525 | 0,8594 | 2,0027 | 2,0308 | 4,0443   |
| II   |                              |   |   |   | $\bar{x}$        | 11,64  | 11,01  | 12,55  | 15,54  | 12,68    |
|      |                              |   |   |   | $\sigma^2$       | 0,2421 | 2,0259 | 7,5380 | 8,1053 | 6,9155   |
| III  |                              |   |   |   | $\bar{x}$        | 12,08  | 10,11  | 13,21  | 15,38  | 12,92    |
|      |                              |   |   |   | $\sigma^2$       | 1,3367 | 0,4263 | 0,8845 | 3,3347 | 4,0380   |
| IV   |                              |   |   |   | $\bar{x}$        | 12,15  | 11,42  | 13,29  | 15,40  | 13,06    |
|      |                              |   |   |   | $\sigma^2$       | 0,4875 | 0,9521 | 1,1729 | 5,3648 | 4,0997   |
| V    |                              |   |   |   | $\bar{x}$        | 12,13  | 11,19  | 11,97  | 15,06  | 12,59    |
|      |                              |   |   |   | $\sigma^2$       | 0,3862 | 1,2255 | 3,2752 | 1,4737 | 3,7382   |
| VI   |                              |   |   |   | $\bar{x}$        | 11,47  | 10,54  | 12,91  | 15,29  | 12,55    |
|      |                              |   |   |   | $\sigma^2$       | 1,0435 | 0,5548 | 3,2752 | 1,8759 | 4,1493   |
| VII  |                              |   |   |   | $\bar{x}$        | 12,13  | 10,54  | 11,97  | 15,29  | 12,48    |
|      |                              |   |   |   | $\sigma^2$       | 0,3262 | 0,5548 | 3,2752 | 1,8759 | 4,1493   |
| VIII |                              |   |   |   | $\bar{x}$        | 11,47  | 11,19  | 12,91  | 15,06  | 12,65    |
|      |                              |   |   |   | $\sigma^2$       | 1,0435 | 1,2255 | 2,6860 | 1,4737 | 3,8722   |

*Domaine des variations  
des caractéristiques expérimentales.*

|            | Min.   | Moyenne | Max.   |
|------------|--------|---------|--------|
| $\bar{x}$  | 12,44  | 12,52   | 13,06  |
| $\sigma^2$ | 3,7382 | 4,4557  | 6,9955 |
| $\sigma$   | 1,93   | 2,11    | 2,65   |

TABLEAU VI.  
Echantillonnage stratifié au hasard d'une allège.

| Répartition des prélèvements |   |   |   |   | Caractéristiques | A      | B      | C      | D      | Ensemble |
|------------------------------|---|---|---|---|------------------|--------|--------|--------|--------|----------|
| Type                         | A | B | C | D |                  |        |        |        |        |          |
| 1                            |   |   |   |   | $\bar{x}$        | 11,31  | 11,07  | 13,76  | 16,17  | 13,08    |
|                              |   |   |   |   | $\sigma^2$       | 1,0234 | 2,5176 | 1,2672 | 4,7124 | 6,4687   |
| 2                            |   |   |   |   | $\bar{x}$        | 11,31  | 11,15  | 12,88  | 15,98  | 12,83    |
|                              |   |   |   |   | $\sigma^2$       | 1,0234 | 0,8873 | 4,6871 | 1,1472 | 5,4656   |
| 3                            |   |   |   |   | $\bar{x}$        | 11,41  | 11,18  | 12,03  | 15,70  | 12,59    |
|                              |   |   |   |   | $\sigma^2$       | 1,4777 | 0,2792 | 5,3846 | 0,9166 | 5,5688   |
| 4                            |   |   |   |   | $\bar{x}$        | 12,21  | 11,16  | 12,25  | 15,74  | 12,84    |
|                              |   |   |   |   | $\sigma^2$       | 0,2946 | 0,3703 | 4,8438 | 3,8716 | 4,7700   |
| 5                            |   |   |   |   | $\bar{x}$        | 11,83  | 11,05  | 13,08  | 16,00  | 13,00    |
|                              |   |   |   |   | $\sigma^2$       | 0,3895 | 0,6581 | 3,4502 | 4,5463 | 5,5917   |
| 6                            |   |   |   |   | $\bar{x}$        | 12,38  | 11,07  | 13,45  | 14,86  | 13,11    |
|                              |   |   |   |   | $\sigma^2$       | 0,2986 | 0,5524 | 1,1381 | 4,1232 | 4,5343   |

Domaine des variations  
des caractéristiques expérimentales.

|            | Min.   | Moyenne | Max.   |
|------------|--------|---------|--------|
| $\bar{x}$  | 12,59  | 12,92   | 13,11  |
| $\sigma^2$ | 4,5343 | 5,3998  | 6,4687 |
| $\sigma$   | 2,13   | 2,32    | 2,54   |

333. Le tableau VI montre le détail des implantations et les caractéristiques observées (moyenne et variance) résultant du dépouillement statistique des résultats.

#### 34. Echantillonnage stratifié au hasard pondéré.

341. A la suite des travaux de l'Institut Belge de Normalisation, A. Leclercq a introduit la notion de « hasard pondéré ».

En principe, il y a lieu de diviser chaque strate en une série de zones concentriques et d'y implanter les échantillons dans chaque zone en nombre proportionnel à leur surface propre.

342. Dans le cas présent, l'implantation dans chaque strate résultera de la division en deux zones concentriques suivant la figure 4.

On s'efforcera également de ne retenir, après consultation d'une table de nombres de hasard, qu'un prélèvement par ligne et par colonne (analogie avec le type 5 décrit ci-dessus).

Quatre schémas ont été établis.

343. Le tableau VII montre le détail des implantations et les caractéristiques observées (moyenne et variance) résultant du dépouillement statistique des résultats.

TABLEAU VII.  
Echantillonnage stratifié au hasard pondéré d'une allège.

| Répartition des prélèvements |  | Caractéristiques |        |        |        |          |         |
|------------------------------|--|------------------|--------|--------|--------|----------|---------|
| Type                         |  | A                | B      | C      | D      | Ensemble |         |
| A                            |  | $\bar{x}$        | 12,17  | 11,25  | 11,68  | 15,77    | 12,72   |
|                              |  | $\sigma^2$       | 0,3966 | 0,3577 | 4,2574 | 1,6813   | 0,1980  |
| B                            |  | $\bar{x}$        | 12,17  | 11,21  | 13,84  | 15,35    | 13,15   |
|                              |  | $\sigma^2$       | 0,8775 | 0,4865 | 1,7495 | 1,6372   | 3,5004  |
| C                            |  | $\bar{x}$        | 11,71  | 11,10  | 13,09  | 15,92    | 12,96   |
|                              |  | $\sigma^2$       | 3,4988 | 0,7999 | 2,0269 | 8,5264   | 11,2728 |
| D                            |  | $\bar{x}$        | 12,40  | 10,96  | 13,09  | 15,18    | 12,91   |
|                              |  | $\sigma^2$       | 3,3011 | 0,8411 | 3,1718 | 3,0127   | 4,8291  |

Domaine des variations  
des caractéristiques expérimentales.

|            | Min.   | Moyenne | Max.    |
|------------|--------|---------|---------|
| $\bar{x}$  | 12,72  | 12,93   | 13,15   |
| $\sigma^2$ | 0,1980 | 2,8182  | 11,2728 |
| $\sigma$   | 0,445  | 1,679   | 3,351   |

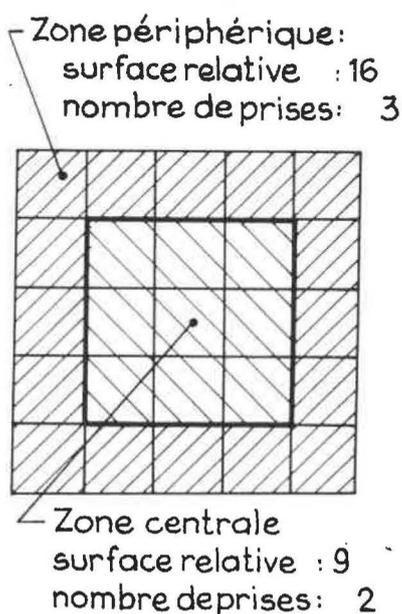


Fig. 4.

#### 4. ETUDE COMPARATIVE DES METHODES D'ECHANTILLONNAGE

##### 41. Précision de l'échantillonnage.

411. Coordonnons les résultats obtenus dans chaque cas particulier (tableau VIII).

La figure 5 représente graphiquement les résultats.

D'une façon générale, on constate que l'implantation systématique des prélèvements a conduit, dans la majorité des cas, à des caractéristiques (moyenne, variance ou écart-type) sensiblement inférieures aux caractéristiques du lot, et qu'il en est inversement, mais d'une manière moins prononcée, dans le cas d'une stratification au hasard.

La raison peut en être déterminée et l'on constate que, par superposition des points d'implantation des 4 cales, dans les différents types d'échantillonnage systématique étudiés, les régions centrales de cha-

que compartiment font l'objet d'un prélèvement nettement préférentiel ; de ce fait, l'échantillon paraît à première vue ne pas être parfaitement représentatif du lot dont il est issu.

412. Comment définir la précision d'échantillonnage ?

Elle peut se mesurer par l'écart, en valeur absolue, entre le résultat obtenu par le type d'échantillonnage réalisé et la caractéristique réelle du lot ; nous avons toutefois adopté les paramètres suivants :

$$\text{précision sur la moyenne} \frac{|\bar{x}_0 - \bar{x}_i|}{x_0}$$

$$\text{précision sur la variance} \frac{|\sigma_0^2 - \sigma_i^2|}{\sigma_0^2}$$

(Les indices  $0$  et  $i$  caractérisent respectivement le lot et un échantillon quelconque).

D'après la figure 6, nous constatons que, d'une manière générale, la stratification au hasard des prélèvements conduit à des précisions d'échantillonnage supérieures et que, de plus, la pondération au hasard permet d'améliorer encore ce résultat.

Nous sommes conduits à constater la supériorité d'un échantillonnage stratifié au hasard pondéré.

42. Comparaison des moyennes et des variances.

421. Nous pouvons examiner le problème sous un aspect plus classique : étant données les diverses estimations de moyennes et de variances calculées chacune à partir d'un des types d'échantillonnage différents définis ci-dessus, pouvons-nous considérer que la valeur de la caractéristique estimée (moyenne et variance) est la même dans toutes les populations totales correspondantes ?

Nous devons donc comparer les moyennes et variances :

TABLEAU VIII.

| Type   | Allège      |              |            | $\frac{ \sigma_0^2 - \sigma_i^2 }{\sigma_0^2}$ | $\frac{ \bar{x}_0 - \bar{x}_i }{\bar{x}_0}$ |
|--|-------------|--------------|------------|--|---|
|  | $\bar{x}_i$ | $\sigma_i^2$ | $\sigma_i$ |  |   |
| <i>Caractéristiques de référence</i>               |             |              |            |  |   |
| —  | 12,85       | 4,8163       | 2,19       | —  | —   |
| <i>Echantillonnage systématique</i>                |             |              |            |  |   |
| I  | 12,44       | 4,0443       | 2,01       | $1,60 \cdot 10^{-1}$                           | $3,19 \cdot 10^{-2}$                        |
| II   | 12,68       | 6,9955       | 2,65       | 4,63   | 1,32  |
| III  | 12,92       | 4,0380       | 2,01       | 1,62   | 1,33  |
| IV   | 13,06       | 4,0997       | 2,02       | 1,49   | 1,63  |
| V  | 12,59       | 3,7382       | 1,93       | 2,23   | 2,02  |
| VI   | 12,55       | 4,7081       | 2,17       | 0,22   | 2,33  |
| VII  | 12,48       | 4,1493       | 2,03       | 1,39   | 2,88  |
| VIII   | 12,67       | 3,8722       | 1,97       | 1,96   | 1,40  |
| <i>Echantillonnage stratifié au hasard</i>         |             |              |            |  |   |
| 1  | 13,08       | 6,4687       | 2,54       | $3,43 \cdot 10^{-1}$                           | $1,79 \cdot 10^{-2}$                        |
| 2  | 12,83       | 5,4656       | 2,34       | 1,35   | 0,15  |
| 3  | 12,59       | 5,5688       | 2,36       | 1,56   | 2,02  |
| 4  | 12,84       | 4,7700       | 2,18       | 0,10   | 0,08  |
| 5  | 13,00       | 5,5917       | 2,37       | 1,61   | 1,17  |
| 6  | 13,19       | 4,5343       | 2,13       | 0,59   | 2,65  |
| <i>Echantillonnage stratifié au hasard pondéré</i> |             |              |            |  |   |
| A  | 12,72       | 4,9804       | 2,22       | $0,34 \cdot 10^{-1}$                           | $1,01 \cdot 10^{-2}$                        |
| B  | 13,15       | 3,5004       | 1,87       | 2,73   | 2,33  |
| C  | 12,96       | 4,2728       | 2,06       | 1,12   | 0,86  |
| D  | 12,91       | 4,8291       | 2,20       | 0,03   | 0,47  |

- 1°) dans le cas d'un échantillonnage systématique ;
- 2°) dans le cas d'un échantillonnage stratifié au hasard ;
- 3°) dans le cas d'un échantillonnage stratifié au hasard pondéré,

afin de déterminer si, dans chacune de ces classes, les caractéristiques estimées sont ou non significativement différentes ; de plus, nous devons comparer chaque moyenne et variance à la moyenne et la variance du lot afin d'en déduire la même conclusion.

422. La méthode classique consiste à définir une fonction des estimations des caractéristiques (moyenne et variance) des populations totales dont la loi de probabilité n'est pas la même selon que ces caractéristiques sont ou non égales et est connue quand l'égalité (« hypothèse nulle ») a lieu.

423. Si l'on compare les variances observées au moyen du test statistique de Snedecor, on peut constater que, tant entre elle que par rapport à la variance du lot, les différences observées ne sont pas significatives et que dès lors, on *admettrait l'équivalence des variances*.

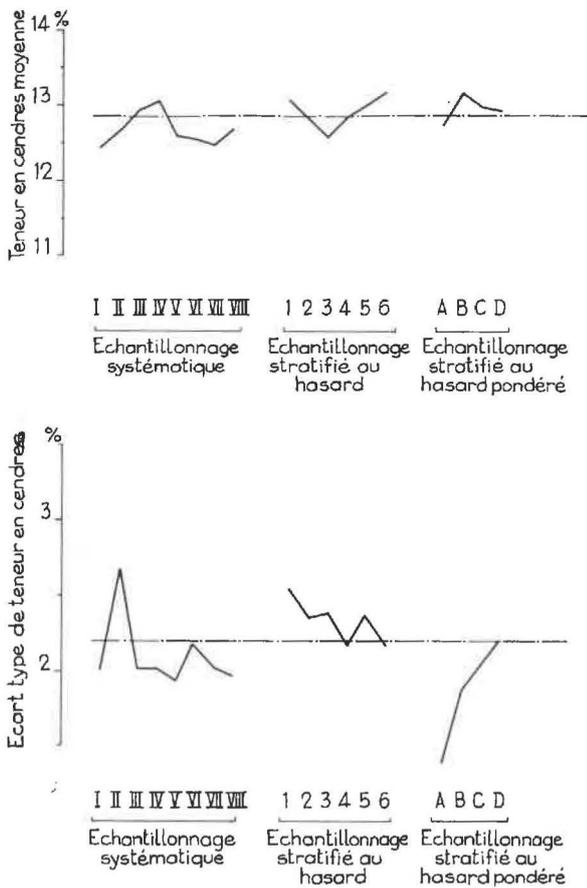


Fig. 5. — Comparaison des méthodes d'échantillonnage d'une allège.

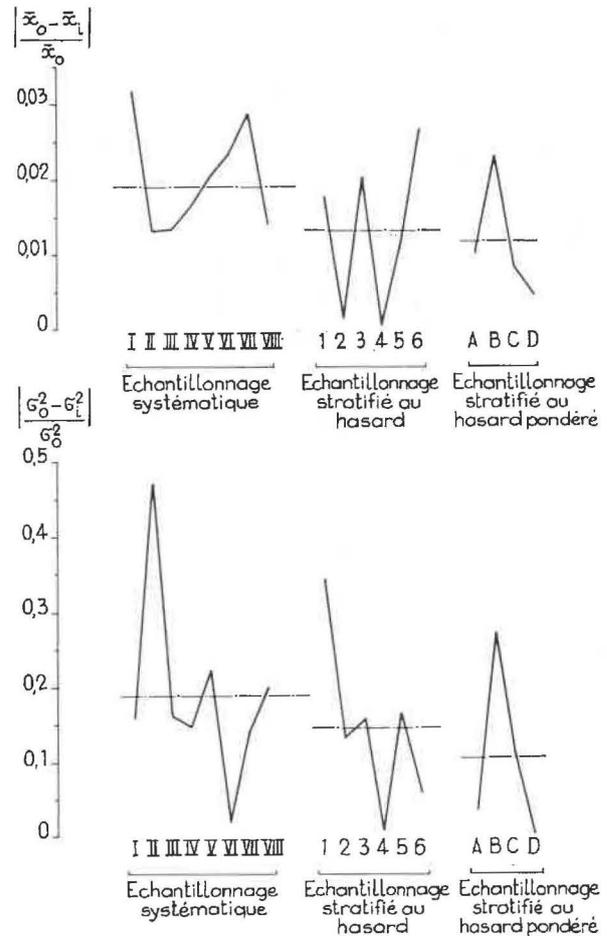


Fig. 6. — Estimation comparée de la précision de l'échantillonnage d'une allège.

Rappelons toutefois que la variance obtenue par stratification au hasard est en moyenne plus vraisemblable que la variance par échantillonnage systématique.

424. La comparaison des moyennes observées au moyen du test statistique de Student montre également que, tant entre elles que par rapport à la moyenne du lot, les différences observées ne sont pas, non plus, significatives ; dès lors, on *admettrait l'équivalence des moyennes*.

Rappelons toutefois que la moyenne obtenue par stratification au hasard est plus vraisemblable que la moyenne obtenue par échantillonnage systématique.

### 5. CONCLUSIONS

51. D'une façon strictement formelle, les tests statistiques classiques ne permettent pas d'affirmer que, dans le cas étudié, les méthodes d'implantation systématique et d'implantation au hasard ou au hasard pondéré ont conduit à des résultats sta-

tistiquement différents des caractéristiques (moyenne et variances) du lot.

52. Cependant, une étude complète montre que l'échantillonnage par stratification au hasard pondéré des points de prélèvements conduit à des moyennes et des variances dont les valeurs se rapprochent le plus des mêmes caractéristiques du lot.

53. Dans le cas particulier de l'étude d'une allège, une implantation stratifiée au hasard pondéré des prélèvements n'est pas d'une mise en œuvre trop compliquée une fois que le personnel a été initié à cette méthode ; aussi, estimons-nous qu'il devrait être recommandé d'introduire cette méthode qui apporte, en définitive, et d'une façon générale, une vision plus réelle du lot.

54. Enfin, l'attention de chacun devrait être attirée sur la notion d'erreur d'échantillonnage : si un lot

est caractérisé par un écart-type  $\sigma_0$  ; on ne pourra admettre comme dispersion totale  $\sigma$ , une valeur inférieure à  $\sigma_0$  ; cette dispersion totale, que l'on mesure par une analyse de variance, sera en fait déduite de la relation :

$$\sigma^2 = \sigma_0^2 + \sigma_e^2$$

Seule, la variance  $\sigma^2$  — qui est l'expression de l'erreur — peut être normalisée ; et l'on doit tendre à la réduire le plus possible.

L'implantation stratifiée au hasard pondéré des points de prélèvements permet de répondre mieux que toute autre à cette question.

55. Si l'étude se base sur l'analyse d'une allège, il est bien évident que les conclusions peuvent être généralisées à l'échantillonnage de charbons disposés en wagons.

