

**Zeitschrift:** Archives des sciences [1948-1980]  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 17 (1964)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Étude statistique des méthodes de dénombrement planctonique  
**Autor:** Uehlinger, Verena  
**Kapitel:** VII: Méthodes optimales  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-739883>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 02.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

TABLEAUX 26.1 ET 26.2

Analyses de variance des dénombrements suivant différents modes d'échantillonnage : a) horizontal, b) horizontal + vertical, c) diagonales, d) au hasard (système A), e) au hasard (système B), f) dénombrement de la chambre entière

\* DL = 2, \*\* DL = 1464

Sédiment à répartition quasi-fortuite

Source de variance	DL	Variance					
		Système d'échantillonnage					
		a)	b)	c)	d)	e)	f)
Entre préparations . .	2	4,31	7,85	6,51	1,92	2,01	5,06 *
Entre carrés à l'intérieur des préparations . .	297	2,95	3,85	3,68	3,33	3,32	3,86 **

Sédiment à répartition non-fortuite

Entre préparations . .	2	2,92	3,07	2,03	1,57	1,56	4,15 *
Entre carrés à l'intérieur des préparations . .	297	3,27	5,33	4,82	7,25	7,06	7,55 **

variance qui est de moitié trop faible; la variance obtenue par l'échantillonnage au hasard est conforme.

## VII. MÉTHODES OPTIMALES

### VII. 1. L'EFFICACITÉ DU DÉNOMBREMENT

L'efficacité du dénombrement dépend des valeurs de précision et d'économie, fournies par un dénombrement quelconque. L'une et l'autre peuvent être augmentées empiriquement par la multiplication des essais, et théoriquement par l'établissement des valeurs de variance.

#### VII. 1.1. Calcul de l'efficacité

A l'intérieur d'une préparation, le dénombrement partiel donnera toujours des valeurs susceptibles de varier selon la répartition des organismes sur la surface de sédimentation. La variance entre carrés du réseau est une estimation de cette variabilité. A cette variabilité intérieure s'ajoute l'erreur de la préparation, ou « variance entre préparations ». Celle-ci peut être importante: en examinant plusieurs exemples

d'analyses de variance de dénombrements faits à partir d'un même échantillon, nous trouvons pour trois méthodes différentes de préparation que la variance entre préparations est plus grande que celle à l'intérieur des préparations (tableau 27):

TABLEAU 27

*Analyses de variance de dénombrements de Synedra ulna par différentes méthodes de dénombrement, et de préparation des chambres*

\* = Variance entre préparations significativement plus élevée qu'à l'intérieur des préparations.

Méthode de préparation de la chambre	Source de variance	DL	Variance	F	F <sub>0,05</sub>
Chambre combinée de 50 ml	Préparations	3	14,35	2,60*	2,61
	Intérieure aux préparations	414	5,52		
Chambre à plaques, Concentré par décantation	Préparations	3	9,03	6,1*	2,61
	Intérieure aux préparations	1121	1,48		
Chambre à plaques, Concentré par centrifugation	Préparations	3	34,7	16,8*	2,61
	Intérieure aux préparations	964	2,07		
Filtration par membrane (Ultrafiltration)	Préparations	3	5,45	1,86	2,61
	Intérieure aux préparations	646	2,93		

Des quatre modes différents de préparer le dénombrement, seule l'ultrafiltration n'ajoute qu'une erreur insignifiante à la variance intérieure.

Ces exemples montrent clairement qu'un résultat valable ne s'obtient que par le dénombrement de plusieurs chambres ou préparations différentes. Toutefois, il n'est pas utile de dénombrer dans chaque chambre le sédiment entier. Pour chercher le maximum de précision, il faut tenir compte de plusieurs facteurs:

- a) le temps disponible pour le dénombrement (= « frais du dénombrement »);  
 b) les dimensions de la fraction du sédiment nécessaire au dénombrement, par exemple le nombre de carrés à dénombrer;  
 c) le nombre de préparations à faire de la chambre.

La relation entre ces trois facteurs a été développée dans un travail antérieur (UEHLINGER & LINDER 1955), dont nous rappelons en bref les données essentielles:

Si

$$\begin{aligned}\sigma_p^2 &= \text{composante de la variance entre préparations,} \\ \sigma_c^2 &= \text{composante de la variance à l'intérieur des préparations,} \\ &\quad \text{entre les carrés du réseau,}\end{aligned}$$

et

$$\begin{aligned}N_p &= \text{nombre de chambres à préparer,} \\ N_c &= \text{nombre de carrés à dénombrer dans chaque chambre,}\end{aligned}$$

nous pouvons établir à l'aide d'une analyse de variance les relations suivantes:

$$\begin{aligned}CM \text{ à l'intérieur des préparations} &= \sigma_c^2 \\ CM \text{ entre préparations} &= N_c \cdot \sigma_p^2 + \sigma_c^2,\end{aligned}$$

donc

$$\sigma_p^2 = (CM \text{ entre préparations} - \sigma_c^2) / N_c. \quad (1)$$

La variance  $\sigma_{\bar{x}}^2$  de la moyenne totale  $\bar{x}$  est évaluée par

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = (\sigma_c^2 + N_c \cdot \sigma_p^2) / N_c N_p. \quad (2)$$

L'information, ou précision, est définie par l'inverse de cette variance:

$$1/\sigma_{\bar{x}}^2 = N_c N_p / (\sigma_c^2 + N_c \sigma_p^2) \quad (2a)$$

Si, d'autre part:

$$\begin{aligned}K_c &= \text{temps moyen pour le dénombrement d'un carré, et} \\ K_p &= \text{temps nécessaire pour la préparation d'une chambre à dénombrer,}\end{aligned}$$

le temps  $K$  utilisé pour le dénombrement complet est

$$K = N_p (K_p + N_c \cdot K_c). \quad (3)$$

L'information par unité de temps est égale à

$$\frac{1/\sigma_{\bar{x}}^2}{K} = N_c / (\sigma_c^2 + N_c \cdot \sigma_p^2) \cdot (K_p + N_c \cdot K_c) \quad (4)$$

Cette relation (4) nous montre que l'information par unité de temps dépend seulement du nombre de carrés dénombrés par chambre, pour des  $\sigma_c^2$  et  $\sigma_p^2$ , et des temps  $K_p$  et  $K_c$  donnés.

### VII. 1.2. Recherche de la précision optimale

Pour trouver le nombre minimal de carrés à dénombrer  $N_{c, \min.}$ , minimum correspondant au maximum de précision obtenue par unité de temps, nous cherchons la valeur de  $N_c$  qui correspond au maximum de la fonction  $\frac{1/\sigma_{\bar{x}}^2}{K}$ . La figure 16 représente

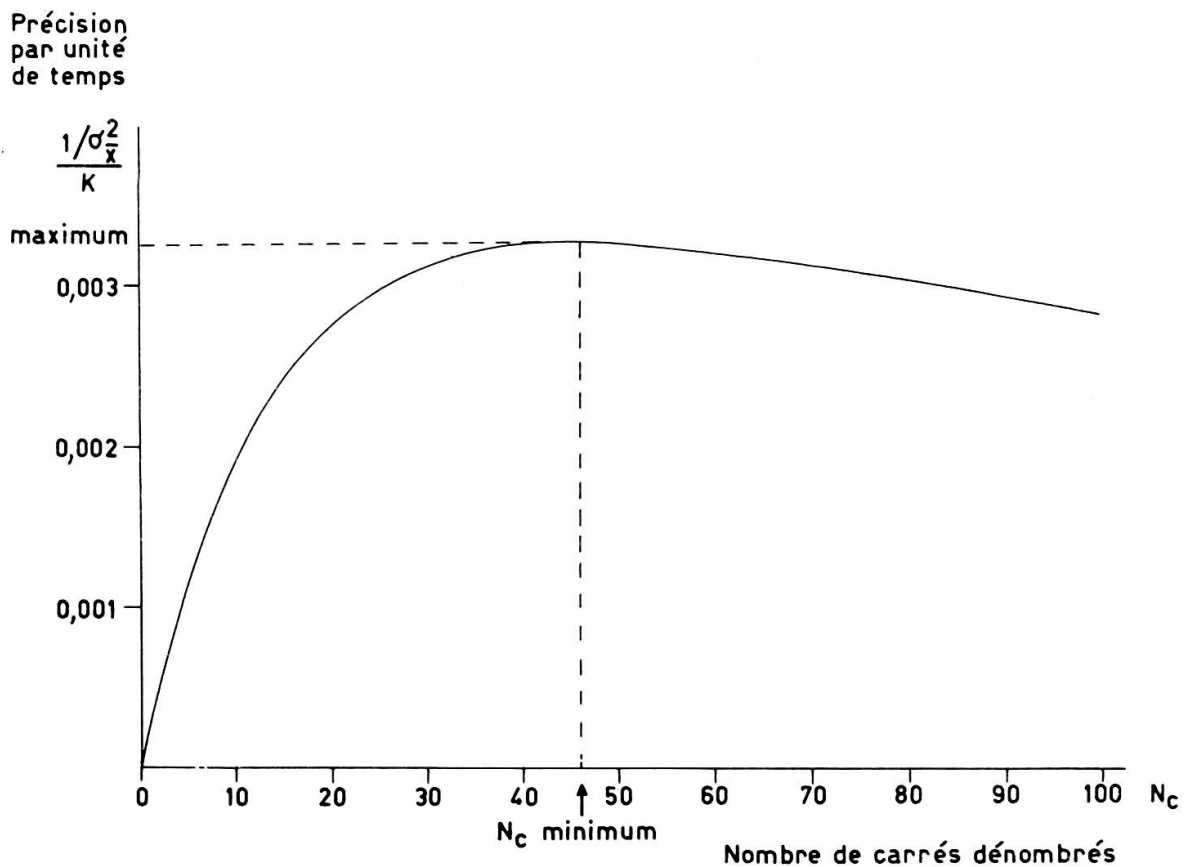


Fig. 16

Augmentation de la précision par unité de temps, en fonction du nombre de carrés dénombrés dans la chambre (formule 4).

$\sigma_{\bar{x}}^2$  = variance de la moyenne

$K$  = temps de dénombrement

$N_c$  = nombre de carrés dénombrés.

cette fonction (cf. formule 4), dans le cas où nous avons trouvé (dénombrement en chambre combinée) pour les composantes de la variance:

entre carrés d'une préparation:  $\sigma_c^2 = 5,758$

entre préparations:  $\sigma_p^2 = 0,164$

pour le temps moyen nécessaire à

$$\begin{aligned} \text{la préparation d'une chambre: } & K_p = 600 \text{ sec} \\ \text{dénombrement d'un carré: } & K_c = 10 \text{ sec.} \end{aligned}$$

Les temps  $K_p$  et  $K_c$  se déterminent par des mesures répétées et représentent des moyennes.

Au début, la courbe (fig. 16) s'élève rapidement par rapport au nombre de carrés dénombrés; le maximum ne s'atteint que très lentement. Peu avant le maximum, la précision n'augmente qu'avec une forte augmentation du nombre de carrés dénombrés  $N_c$ . En déterminant ainsi dans une préparation le nombre de carrés à dénombrer, il est indiqué de choisir une valeur  $N_c$  plutôt plus petite que celle qui correspond au maximum de la fonction. Dans l'exemple ci-dessus, la moitié de  $\frac{1/\sigma_{\bar{x}}^2}{K}$  est déjà atteinte avec  $N_c = 8$  carrés,  $3/4$  avec 16 carrés,  $7/8$  avec 29 carrés et le maximum seulement avec 46 carrés.

Algébriquement, la valeur du  $N_c$  qui correspond au maximum de précision  $\frac{1/\sigma_{\bar{x}}^2}{K}$ , et que nous désignons par  $N_{c, \text{minimum}}$ , s'obtient par la relation suivante:

$$\frac{d}{dN_c} \left( \frac{1/\sigma_{\bar{x}}^2}{K} \right) = 0,$$

ce qui donne, avec la relation (4),

$$N_{c, \text{min.}} = \sqrt{\frac{K_p \cdot \sigma_c^2}{K_c \cdot \sigma_p^2}}. \quad (5)$$

En dénombrant un plus grand nombre de carrés, l'information par unité de temps n'augmente plus.

Avec ce  $N_{c, \text{minimum}}$  de carrés à dénombrer dans une chambre, nous pouvons calculer le nombre de répétitions possibles dans un temps  $K$  donné d'avance, pour le dénombrement complet (cf. form. 3):

$$N_{p, \text{min.}} = K / (K_p + K_c N_{c, \text{min.}}) \quad (6)$$

La formule (5) montre à l'évidence que le nombre de carrés à dénombrer dans une préparation et, ensuite, le nombre de chambres à préparer, dépendent de deux rapports:

1° si le rapport  $\sigma_c^2/\sigma_p^2$  augmente, c'est-à-dire si la variance entre carrés  $\sigma_c^2$  augmente, ou si la variance entre préparations  $\sigma_p^2$  diminue, le nombre de carrés à dénombrer dans une chambre augmentera également;

2° si le rapport  $K_p/K_c$  augmente, c'est-à-dire si le temps nécessaire pour le dénombrement d'un carré diminue, ou si le temps que nécessite la préparation d'une chambre augmente, le nombre de carrés à dénombrer augmente aussi. Il importe de se rendre compte que le temps nécessaire pour le dénombrement d'un carré dépend de la densité des organismes dans le sédiment; le temps nécessaire pour dénombrer  $2n$  organismes sera légèrement supérieur à celui nécessaire pour dénombrer deux fois  $1n$  organismes, en raison du retard apporté par l'enchevêtrement.

La fonction (5) peut être représentée graphiquement sous forme d'un nomogramme qui permet ensuite de déterminer rapidement le nombre le plus favorable de carrés à dénombrer. La planche III donne les valeurs de  $N_{c, \min.}$  variant de 10 à 400 pour des  $K_c/K_p$  allant de 0,01 à 10.000 et des  $\sigma_c^2/\sigma_p^2$  allant de 10 à 10.000.

Exemple:

L'estimation de la densité de *Synedra ulna* dans un échantillon a été faite par le dénombrement complet de quatre chambres combinées de 50 ml. L'analyse de variance (tabl. 28) fournit les valeurs de  $\sigma_c^2$  et de  $\sigma_p^2$  selon formule (1):

TABLEAU 28

*Analyse de variance de quatre comptages de Synedra ulna*

Source de variance	DL	SC	CM = variance	Estimation de
Préparations . . . . .	3	258,16	86,053	$\sigma_c^2 + 489 \sigma_p^2$
Carrés du réseau . . . . .	1952	11239,84	5,758	
Total . . . . .	1955	11498,0		

La variance entre carrés à l'intérieur des chambres  $\sigma_c^2 = 5,758$ .

La variance due aux préparations  $\sigma_p^2 = 0,164$  (cf. form. 1).

Les temps nécessaires pour préparer une chambre à dénombrer et le temps moyen pour dénombrer un carré du réseau, ont été mesurés chronométriquement:

$$K_p = 15 \text{ min.} = 900 \text{ secondes}$$

$$K_c = 6 \text{ sec.}$$

Les quatre chambres à 489 carrés représentent donc un temps total de

$$K = 4 (489 \cdot 6 + 900) = 15.336 \text{ secondes.}$$

Ces valeurs donnent les rapports suivants:

$$\begin{aligned} K_p/K_c &= 150 \\ \sigma_c^2/\sigma_p^2 &= 35,1 \end{aligned}$$

Selon la formule (5), on calcule le nombre minimum de carrés à dénombrer:

$$N_{c,\min.} = 72,6 \text{ carrés/chambre.}$$

Au lieu de faire ce dernier calcul, on peut trouver la valeur de  $N_{c,\min.}$  à l'aide du nomogramme planche III.

Dans le temps  $K$ , utilisé pour préparer les quatre chambres et pour les dénombrer complètement, on aurait pu préparer

$$K/(K_c \cdot N_{c,\min.} + K_p) = 11,5 \text{ chambres}$$

en ne dénombrant que 72,6 carrés dans chaque chambre. Pratiquement l'on choisit les valeurs entières: 12 chambres avec 70 carrés chacune.

Cette seconde modalité apporte, pour une même durée, une forte augmentation de la précision. Elle peut être mise en évidence par la comparaison des variances de la moyenne:

$$\text{Moyenne d'organismes/carré} = \bar{x} = 4,50.$$

a) 4 chambres avec 489 carrés:

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{CM \text{ entre préparations}}{\text{total des carrés}} = 86,05/1956 = 0,044 ;$$

b) 12 chambres avec 70 carrés:

$$\sigma_{\bar{x},\min.}^2 = 17,238/840 = 0,021 .$$

Il se trouve que dans la deuxième disposition, la variance de la moyenne totale est moins que la moitié de la première, de sorte que la précision a plus que doublé, sans qu'on ait augmenté le temps utilisé pour le dénombrement total.

La condition de base de ces considérations est la répartition au hasard des individus dans le sédiment. Dès que des facteurs externes peuvent influencer la structure du sédiment, il est indispensable de choisir au hasard sur toute la surface du sédiment, les carrés dont le nombre minimum  $N_{c,\min.}$  vient d'être déterminé.

### VII. 1.3. Recherche de l'économie optimale

Il se peut que la précision fournie par un procédé quelconque de dénombrement ait été jugée suffisante et qu'une augmentation de la précision ne soit pas recherchée.

L'augmentation de précision obtenue par la détermination du  $N_{c.min.}$  peut alors être transformée en une économie de temps.

Nous avons vu que la variance de la moyenne s'exprime par

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = (\sigma_c^2 + N_c \cdot \sigma_p^2) / N_c N_p.$$

Variance de  
la moyenne

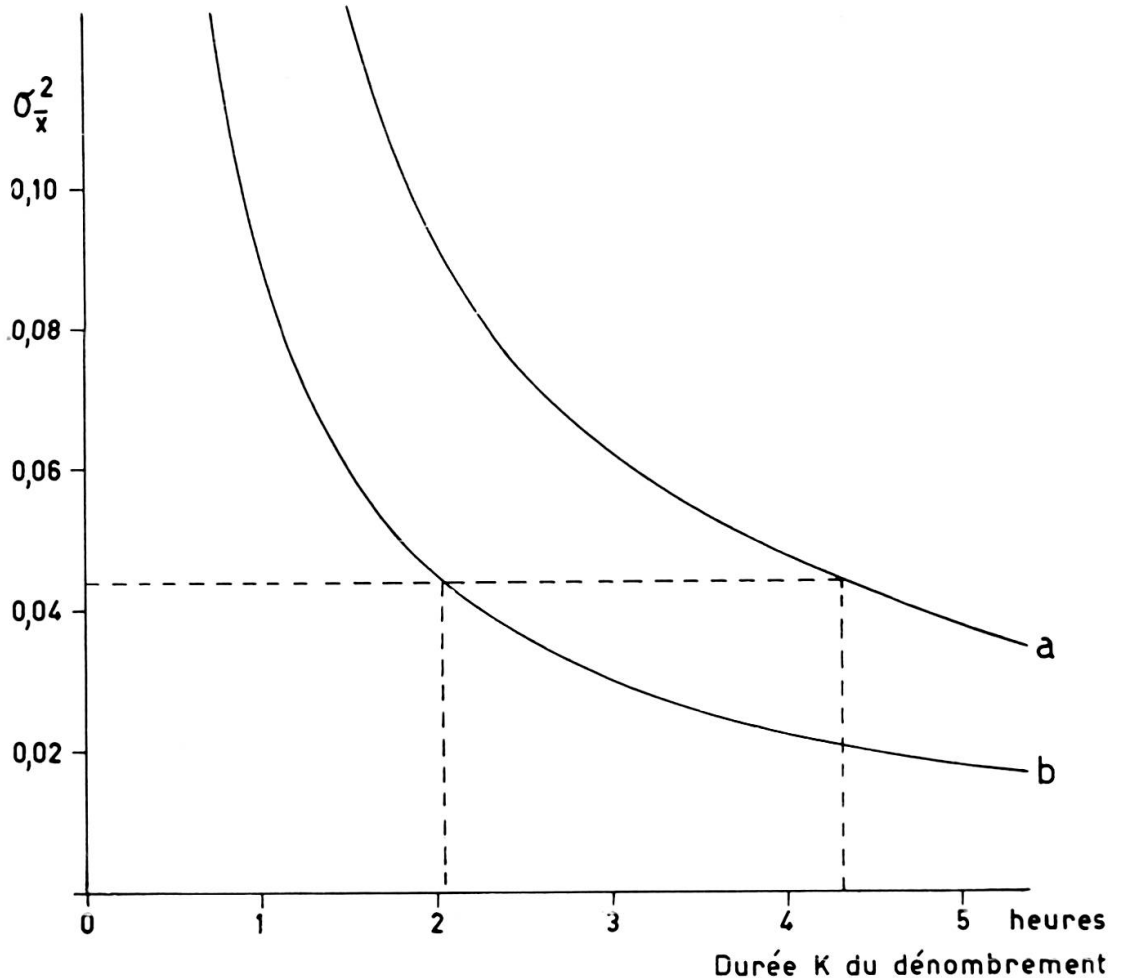


Fig. 17

Diminution de la variance  $\sigma_{\bar{x}}^2$  de la moyenne, en fonction du temps utilisé pour le dénombrement entier:

- a)  $\sigma_{\bar{x}}^2$  pour le dénombrement complet de quatre chambres en 4,26 heures
- b)  $\sigma_{\bar{x}}^2$  pour les conditions optimales, en 2,05 heures.

Le nombre de préparations à examiner,  $N_p$  dépend du temps mis pour le dénombrement par la relation

$$N_p = K / (K_p + N_c K_c).$$

En remplaçant le  $N_p$  dans la première relation, on obtient comme temps total nécessaire au dénombrement:

$$K = (\sigma_c^2 + N_c \cdot \sigma_p^2)(K_p/N_c + K_c)/\sigma_{\bar{x}}^2.$$

La figure 17 représente cette fonction pour l'exemple du § VII. 1. 1, comprenant les valeurs suivantes:

$$\begin{aligned} \sigma_c^2 &= 5,758 & K_p &= 900 \text{ sec.} \\ \sigma_p^2 &= 0,164 & K_c &= 6 \text{ sec.} \end{aligned}$$

Deux courbes sont dessinées:

- a) En dénombrant quatre chambres en entier avec 489 carrés: la précision  $\bar{x} = 0,044$  est obtenue en 15.336 sec. = 4,26 heures (courbe a);
- b) En dénombrant les chambres avec 72 carrés chacune: la précision  $\bar{x} = 0,044$  est obtenue en 7.386 secondes = 2,05 heures (courbe b); ce temps permet de faire cinq à six préparations de chambres à dénombrer.

La même précision peut ainsi être obtenue dans la moitié du temps. Cet exemple montre combien il est important de connaître la qualité des préparations ainsi que la variabilité à l'intérieur de chaque préparation. Pour des dénombrements répétés, il vaut toujours la peine de consacrer quelques heures ou même quelques jours à la détermination des différentes variances, pour pouvoir ensuite travailler dans les conditions minimales de temps, ou maximales de précision.

#### VII. 1.4. *Application des données précédentes à différentes méthodes de dénombrement.*

Appliquons les procédés des paragraphes précédents à l'expérience décrite au § V. 3 (différentes méthodes de concentration et différentes chambres à dénombrer, utilisées pour examiner une même suspension). On peut alors chercher les valeurs optimum pour chaque méthode du tableau 19. 1.

En supposant trois heures disponibles (10.800 sec.) pour le dénombrement complet, les nombres de chambres à préparer sont calculés à l'aide des  $N_{c, \min.}$  déterminés auparavant. Pratiquement, certaines combinaisons sont irréalisables: pour le cas des chambres tubulaires, par exemple, il faudrait disposer de douze chambres tubulaires pour une seule expérience. Par ailleurs, la précision, exprimée par le coefficient de variation de la moyenne, serait inutilement grande ( $CV_{\bar{x}} = 3,62\%$ ).  $CV_{\bar{x}} = 20\%$  de précision suffiraient et permettraient d'effectuer le dénombrement de deux chambres chacune avec 95 carrés en un peu plus d'une demi-heure. Il est intéressant de noter qu'en général le nombre optimum  $N_c$  se trouve autour de 100 carrés ( $\text{mm}^2$ ), c'est-à-dire un cinquième de la surface totale. La détermination des conditions optimales montre que la précision fournie par la combinaison des méthodes Utermoehl avec les méthodes de décantation est du même ordre pour les autres combinaisons de comptage. La centrifugation, par contre, ne fournit que la moitié de cette précision, même dans les meilleures conditions de dénombrement.

TABLEAU 29

Nombre optimum de carrés à dénombrer dans différentes chambres préparées avec différentes méthodes de concentration

- $K_p$  = temps nécessaire à la préparation d'une chambre  
 $K_c$  = temps nécessaire au dénombrement d'un carré du réseau  
 $N_c$  = nombre optimum de carrés à compter  
 $N_p$  = nombre de préparations possibles en 3 heures  
 $CV_{\bar{x}}$  = coefficient de variation de la moyenne dans les conditions optimales

Méthode de concentration	Utermoehl	Décantation	Centrifugation
Chambre tubulaire, Microscope renversé	$\sigma_c^2/\sigma_p^2 = 46,556$ $K_p = 600$ sec. $K_c = 3$ sec. $K_p/K_c = 200$ $N_c = 95$ $N_p = 12$ $CV_{\bar{x}} = 3,62\%$	—	—
Chambre combinée ou à plaques, Microscope renversé	$\sigma_c^2/\sigma_p^2 = 35,1$ $K_p = 900$ sec. $K_c = 6$ sec. $K_p/K_c = 150$ $N_c = 70$ $N_p = 12$ $CV_{\bar{x}} = 3,69\%$	$\sigma_c^2/\sigma_p^2 = 42,9$ $K_p = 900$ sec. $K_c = 3$ sec. $K_p/K_c = 300$ $N_c = 120$ $N_p = 9$ $CV_{\bar{x}} = 4,72\%$	$\sigma_c^2/\sigma_p^2 = 15,36$ $K_p = 1200$ sec. $K_c = 3$ sec. $K_p/K_c = 600$ $N_c = 95$ $N_p = 7$ $CV_{\bar{x}} = 8,98\%$
Chambre combinée ou à plaques, Microscope normal	$\sigma_c^2/\sigma_p^2 = 35,76$ $K_p = 900$ sec. $K_c = 6$ sec. $K_p/K_c = 150$ $N_c = 70$ $N_p = 8$ $CV_{\bar{x}} = 2,02\%$	$\sigma_c^2/\sigma_p^2 = 116,32$ $K_p = 900$ sec. $K_c = 3$ sec. $K_p/K_c = 300$ $N_c = 180$ $N_p = 8$ $CV_{\bar{x}} = 3,29\%$	$\sigma_c^2/\sigma_p^2 = 12,65$ $K_p = 1200$ sec. $K_c = 3$ sec. $K_p/K_c = 600$ $N_c = 85$ $N_p = 7$ $CV_{\bar{x}} = 8,56\%$
Chambre *) Sedgewick-Rafter, Microscope normal	$\sigma_c^2/\sigma_p^2 = 4,153$ $K_p = 900$ sec. $K_c = 45$ sec. $K_p/K_c = 20$ $N_c = 10$ $N_p = 8$ $CV_{\bar{x}} = 3,90\%$	$\sigma_c^2/\sigma_p^2 = 16,74$ $K_p = 600$ sec. $K_c = 30$ sec. $K_p/K_c = 20$ $N_c = 18$ $N_p = 9$ $CV_{\bar{x}} = 2,79\%$	$\sigma_c^2/\sigma_p^2 = 2,24$ $K_p = 1200$ sec. $K_c = 30$ sec. $K_p/K_c = 40$ $N_c = 10$ $N_p = 7$ $CV_{\bar{x}} = 5,03\%$
Ultrafiltration Comptage sur mem- brane	$\sigma_c^2/\sigma_p^2 = 189,03$ $K_p = 3600$ sec. $K_c = 4$ sec. $K_p/K_c = 900$ $N_c = 300$ $N_p = 2$ $CV_{\bar{x}} = 4,25\%$	—	—

\*) Dans la chambre Sedgewick-Rafter, la densité des organismes est comparativement plus faible par unité de surface; au lieu de carrés de 1 mm<sup>2</sup>, des lignes de 10 mm<sup>2</sup> furent dénombrées.

## VII. 2. LIMITATION DU NOMBRE D'ORGANISMES A DÉNOMBRER

Par la détermination de l'efficacité du dénombrement (§ VII. 1), on peut trouver, pour une espèce donnée, le nombre optimal d'aires à dénombrer. Ces considérations ne sont valables que dans le cas d'une densité limitée à 0-10 individus/unité de surface en moyenne. La nécessité de dénombrer plusieurs espèces différentes dans le même échantillon, pose le problème de la limitation du nombre d'individus à dénombrer dans chaque espèce. On cherchera donc le nombre minimum d'individus à dénombrer au lieu du nombre minimum de carrés à dénombrer.

On connaît, pour la répartition selon Poisson, les limites fiduciaires pour n'importe quel nombre d'organismes dénombrés, ces valeurs étant indépendantes des dimensions de la surface examinée: voir planche *Ib*. En supposant une répartition selon Poisson dans le sédiment, le nombre d'individus à dénombrer peut être choisi selon la précision désirée. La transformation du nombre obtenu en nombre d'organismes par unité de volume est possible grâce à l'enregistrement de la surface correspondant au nombre d'individus dénombrés.

JAVORNICKY (1958), à l'aide de la formule

$$z = 4/k^2$$

où  $z$  = nombre d'organismes à dénombrer, et

$k$  = limite de précision choisie, exprimée en fractions (p. ex. 10% = 0,1 =  $k$ )

se limite à dénombrer 400 individus pour obtenir une précision de  $\pm 10\%$ .

Les deux manières de déterminer le nombre d'individus à dénombrer dépendent de certaines conditions:

- 1° de la distribution du sédiment dans la chambre (fortuite ou non),
- 2° de la manière de choisir les aires dans lesquelles les individus sont dénombrés,
- 3° de la représentativité d'une préparation, c'est-à-dire de la variabilité entre chambres.

VII. 2.1. *Choix dans des sédiments répartis au hasard*

Si la variance à l'intérieur du sédiment excède la moyenne ( $s^2 \bar{x}$ ), contrôlé au moyen du critère du  $\chi^2_{\text{variance}}$  les limites théoriques sont trop faibles. Comme nous avons vu au § VI. 2.1, la répartition des organismes dans le sédiment est rarement fortuite. Si la préparation est faite avec soin, la déviation n'est toutefois pas excessive; par exemple, dans la comparaison des chambres préparées soit avec un échantillon tempéré, soit avec un échantillon froid, le dénombrement des *Synedra ulna* donne le tableau suivant:

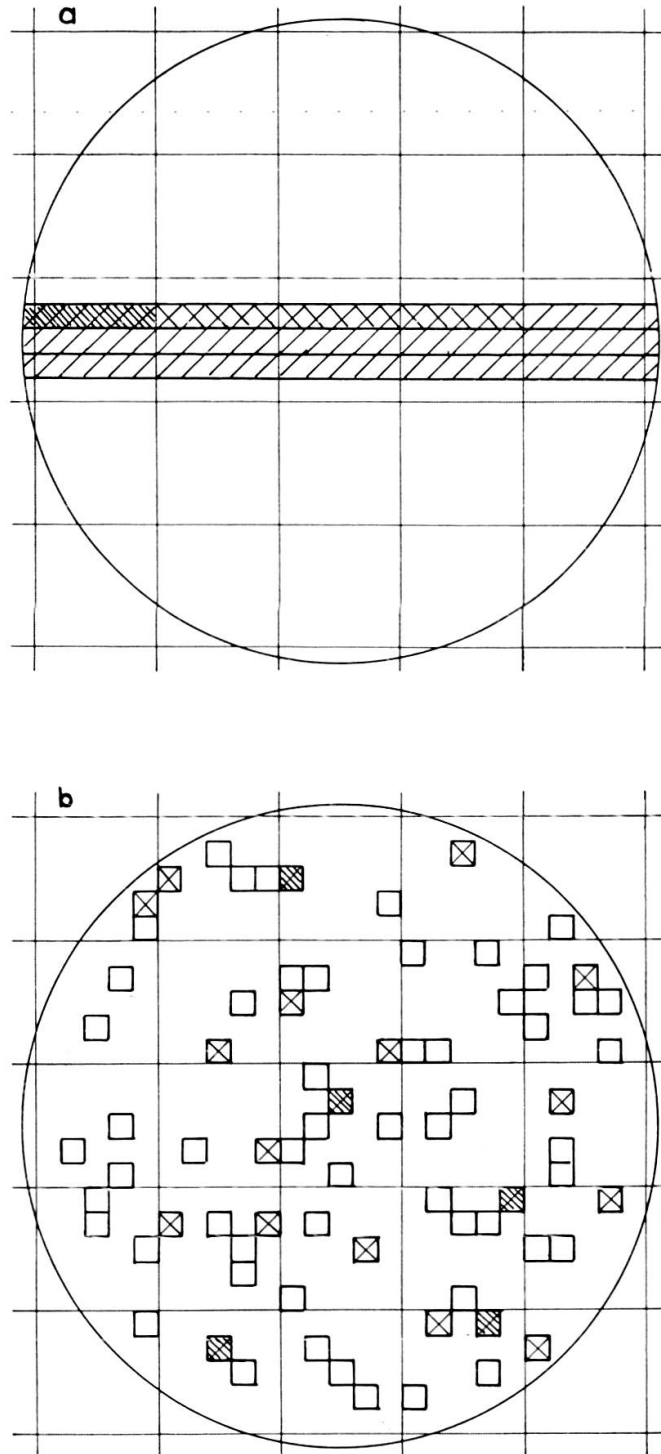


Fig. 18

Dénombrement partiel jusqu'à un nombre limite:

18 a: procédé systématique

18 b: procédé au hasard.

- ▨ espèce fréquente
- ⊠ espèce moins fréquente
- espèce peu fréquente

TABLEAU 31

*Variance à l'intérieur des chambres à répartition fortuite ou non,  
pour un dénombrement de Synedra ulna*

Préparation n°	Nombre d'individus dénombés	Individus/mm <sup>2</sup>	s <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>
Sédiment à répartition presque fortuite:				
1 . . . . .	1328	2,72	3,48	624
2 . . . . .	1426	2,92	4,13	691
3 . . . . .	1362	2,79	3,98	697
Sédiment à répartition non fortuite:				
1 . . . . .	1178	2,41	8,72	1736
2 . . . . .	1268	2,59	8,46	1592
3 . . . . .	1219	2,49	5,46	970

Avec une mauvaise répartition, la variance  $s^2$  atteint le double ou même le triple de la moyenne. Dans un cas semblable, le choix d'un nombre limite selon les principes de Poisson est impossible. Dans le cas d'une répartition presque fortuite, le nombre choisi suivant les limites de Poisson peut indiquer un minimum, au-dessous duquel la précision sera insuffisante.

#### VII. 2.2. *Choix des aires de surface à dénombrer dans des répartitions non fortuites*

Après avoir choisi un nombre d'individus minimum à dénombrer, il faut choisir les aires de surface de sédimentation à l'intérieur de la chambre, de façon à permettre l'interruption du comptage au moment où le nombre fixé est atteint; dans un système d'échantillonnage systématique dans le sédiment, le procédé illustré par la figure 18 est utilisé: dans une bande horizontale traversant la chambre, l'on commence à dénombrer les individus par unité de surface (millimètres carrés, par exemple). Le dénombrement d'une espèce est interrompu quand le minimum est atteint; le dénombrement des autres espèces continue jusqu'au nombre limite imposé. En déterminant le nombre d'unités de surface sur laquelle se trouvait ce nombre limite d'individus, on en calcule la densité dans la chambre entière. Comme nous avons constaté au § VI. 3.1, le dénombrement suivant un système systématique comprend quelques risques d'erreurs de principe. L'échantillonnage selon un système de choix des carrés au hasard diminue ces erreurs. Toutefois, pour pouvoir interrompre le dénombrement à n'importe quel moment, il ne suffit pas d'établir une grille de carrés disposés au hasard et de la remplir ensuite de haut en bas, mais il faut établir l'ordre chronologique suivant lequel les carrés sont à dénombrer (figure 13d, p. ...).

Pratiquement, l'on prépare plusieurs grilles contenant chacune 10 ou 20 carrés numérotés, que l'on applique l'une après l'autre (cf. annexe II).

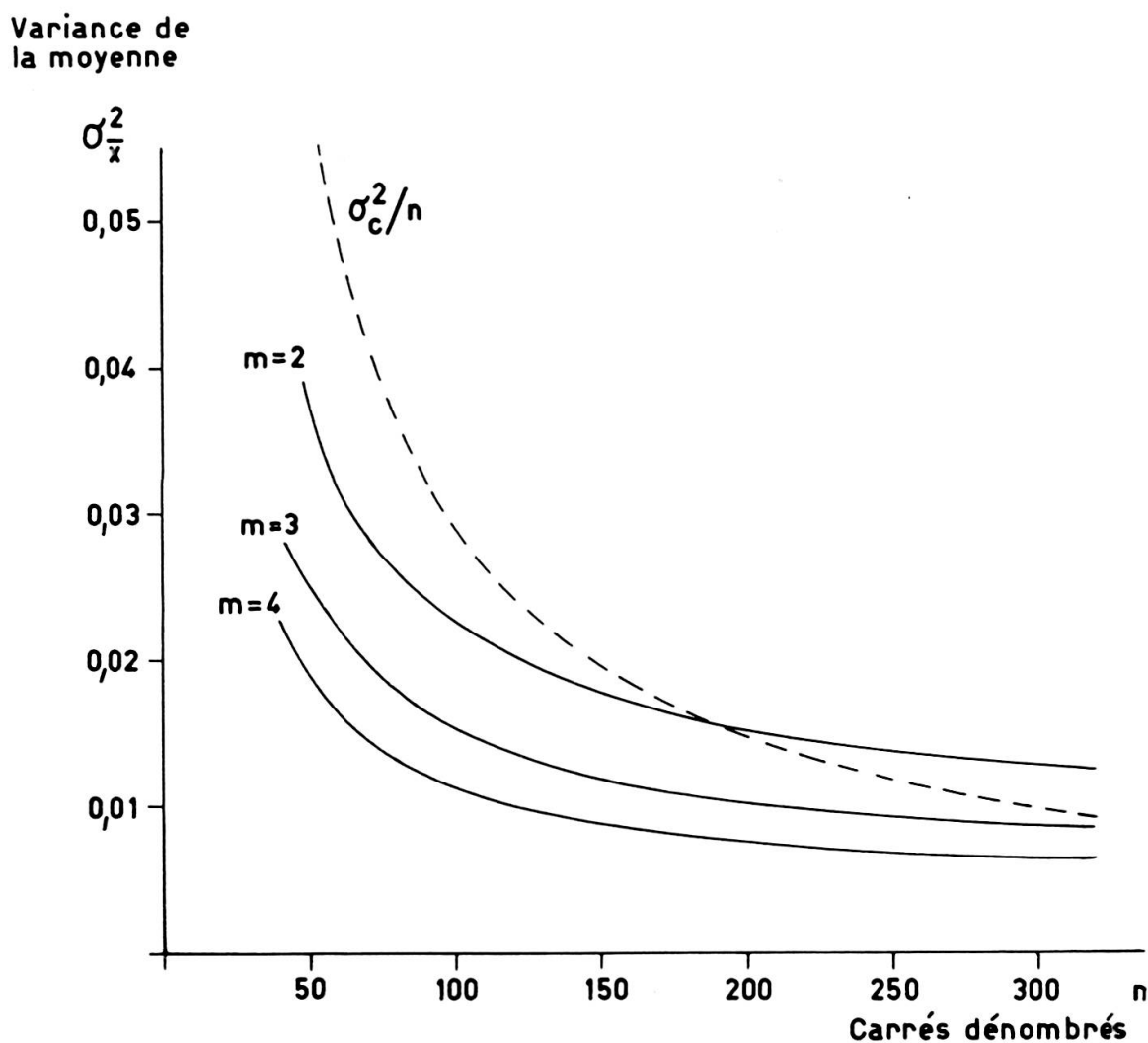


Fig. 19

Variance de la moyenne

- — — — estimée à partir de la variance entre carrés
- estimée à partir de la variance entre préparations.
- $n$  = nombre de carrés dénombrés
- $m$  = nombre de préparations de chambres.

Fig. 19 a

La variance entre préparations n'excède pas la variance entre carrés du réseau.

### VII. 2.3. Variabilité entre chambres, avec plusieurs préparations

La recherche de la meilleure estimation à l'intérieur d'une chambre n'est utile que si la chambre représente réellement l'échantillon à examiner. Les analyses de variance du § VII. 1 montrent clairement que, par rapport à la variance à l'intérieur

de la chambre, la variance entre préparations répétées est très importante, significativement plus élevée. La variance de la moyenne devient ainsi plus élevée si elle est

Variance de  
la moyenne

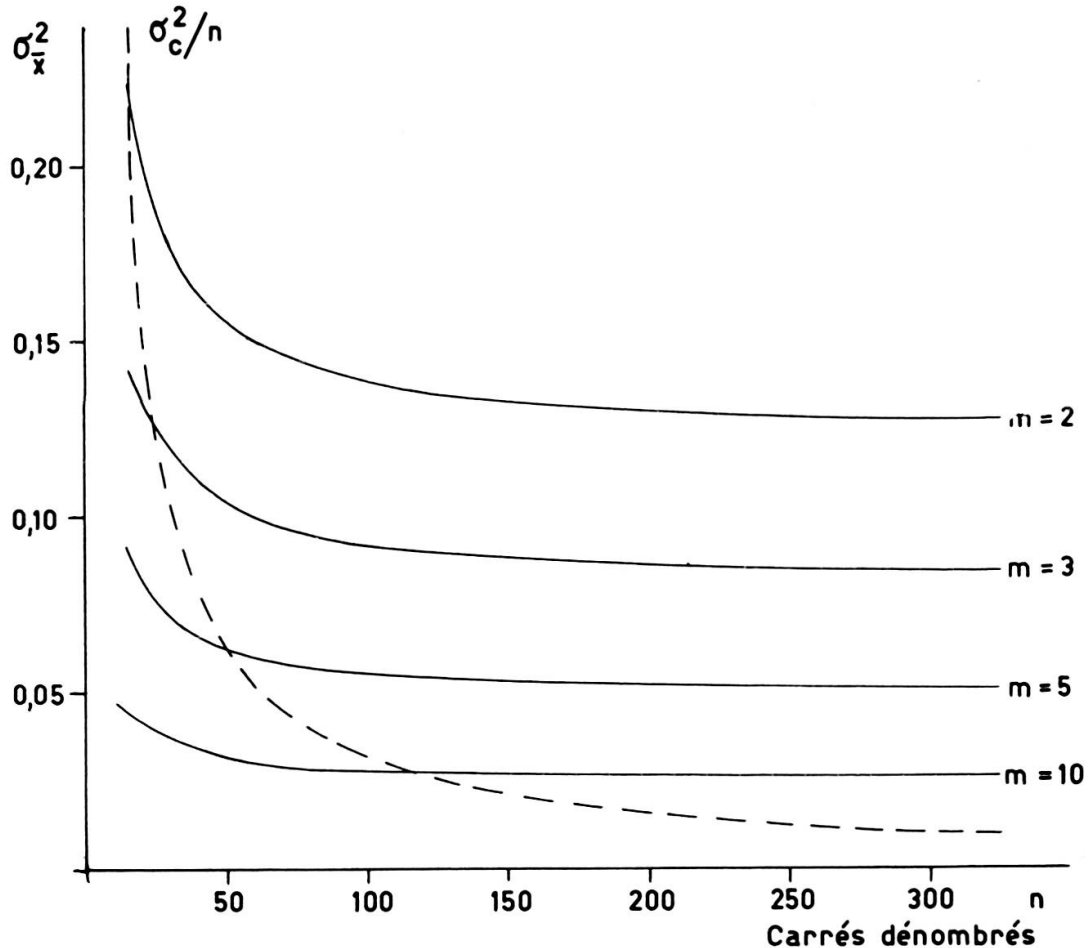


Fig. 19 b

La variance entre préparations est beaucoup plus élevée que la variance entre carrés du réseau.

calculée sur la base de plusieurs préparations, que si elle est estimée à partir d'une seule préparation:

a) variance de la moyenne dans une préparation:

$$s'_{\bar{x}}{}^2 = s_c^2/n$$

où  $n$  = nombre de carrés dénombrés dans l'échantillon;

b) variance de la moyenne sur plusieurs préparations:

$$s''_{\bar{x}}{}^2 = (s_c^2 + n \cdot s_p^2)/m \cdot n$$

où  $m$  = nombre de chambres préparées.

L'erreur de la préparation des chambres est incluse dans la deuxième variance.

Les figures 19a, b illustrent des exemples où l'erreur introduite par la préparation, c'est-à-dire la variance entre préparations, devient toujours plus importante par rapport à la variance entre carrés à l'intérieur des chambres.

Il est évident qu'en choisissant un nombre fixe d'individus à dénombrer, la précision du résultat est beaucoup moins grande si plusieurs préparations sont examinées, mais la moyenne se rapproche davantage de sa vraie valeur. Par exemple, dans la figure 19a, 400 individus ont été trouvés sur 162 carrés d'une préparation. Une précision égale serait obtenue par le dénombrement de  $2 \times 140$  carrés, ou de  $3 \times 80$  carrés ou de  $4 \times 50$  carrés. Dans le cas où la variance entre préparations dépasse fortement la variance à l'intérieur d'une préparation (fig. 19b) on est forcé de se contenter d'une précision inférieure à celle obtenue à l'intérieur d'une chambre, le travail devenant trop considérable par rapport au gain de précision.

Il en résulte que la vraie moyenne se trouve avec d'autant plus de précision que le nombre de préparations répétées de chambres est grand. Il est donc indispensable d'examiner deux, sinon trois préparations différentes.

### VIII. 1. RÉSUMÉ

La recherche d'une méthode efficace d'énumération du plancton d'eau douce — c'est-à-dire d'une méthode qui donne un maximum d'information d'une précision donnée, avec un minimum de temps et de travail —, conduit à l'analyse statistique des diverses techniques de dénombrement planctonique. L'étude des différentes étapes de la préparation, du comptage et de l'évaluation des résultats, ainsi que la comparaison des méthodes d'Utermoehl, Kolkwitz, Sedgewick-Rafter et de l'ultrafiltration, a permis de mettre en évidence les conclusions suivantes.

#### *Echantillonnage et concentration*

Les prélèvements effectués avec la bouteille Friedinger de un litre sont représentatifs pour le milieu environnant l'endroit de la pêche; les pêches ont été effectuées dans le lac Léman, plus particulièrement dans l'eau légèrement courante du bassin du Petit-Lac, pendant quarante minutes consécutives.

Un échantillon non fixé, prélevé sur le volume d'un litre, est représentatif pour le contenu de la bouteille.

Une conservation prolongée favorise la dislocation des espèces coloniales; cependant, ces espèces présentent une résistance spécifique à cette dislocation.

La mésofiltration fournit des valeurs reproductibles.

L'ultrafiltration, avec comptage direct sur la membrane filtrante, est une méthode très précise; elle est toutefois limitée aux Diatomées seules, qui résistent à la dessiccation.