

# LES CHALUTAGES EXPÉRIMENTAUX : UTILISATION DE LA TEMPÉRATURE ET DE LA PROFONDEUR COMME VARIABLES AUXILIAIRES

Robert CHEVALIER

IFRI.MER - Centre de Nantes, B.P. 1049  
44037 Nantes Cedex 01, France.

## *Abstract*

GROUND FISH SURVEY : THE USE OF TEMPERATURE AND DEPTH AS AUXILIARY VARIABLES.

Very often stratification of bottom-trawl surveys is done by using a stratified random sampling scheme. If a survey is directed towards a group of species the sampling scheme has to be a compromise between these different interests. So the sampling scheme is not totally efficient for each of the species. The use of auxiliary variables, as depth or temperature, looks as if such supplementary informations could not improve neither the efficiency of the estimators nor the subsequent analysis (analysis of covariance).

## *Résumé*

Dans le but d'optimiser la précision des estimations d'indices d'abondance provenant des campagnes de chalutages expérimentaux on utilise très couramment une stratégie d'échantillonnage stratifié. Lorsque ces campagnes visent plusieurs espèces la stratification est le plus souvent le résultat d'un compromis, et donc n'est optimale pour aucune des espèces cibles. L'utilisation de variables auxiliaires, telles la profondeur ou la température, ne semble pas pouvoir déboucher sur une amélioration des estimateurs ou des analyses subséquentes (analyse de covariance).

## *Introduction.*

Les chalutages expérimentaux ont pour objectif principal de fournir des estimations d'indices d'abondance et des structures des populations de poissons. Ils fournissent également des renseignements précieux sur la distribution des espèces benthiques et démersales.

Ils sont le plus souvent effectués sur un domaine préalablement stratifié, c'est-à-dire divisé en secteurs ou strates dont les limites tiennent compte au mieux de la distribution des espèces. Cette parcellisation de la région étudiée peut se faire à partir de toutes les informations disponibles et notamment : données historiques sur la répartition des espèces et de leur densité, campagne préliminaire, connaissance du substrat et des facteurs d'environnement. Concrètement, ces limites sont identifiées par des frontières géographiques et des tracés bathymétriques. Lorsque les campagnes visent plusieurs espèces, la définition des strates résultera généralement d'un compromis.

L'échantillonnage aléatoire stratifié est celui pour lequel on réalise un échantillonnage aléatoire simple à l'intérieur de chaque strate. Les échantillons ainsi récoltés fourniront des estimations correctes des indices d'abondance et de leur variabilité. Pour un effort comparable, cette dernière est en général bien plus faible que celle que l'on aurait pu obtenir par un échantillonnage aléatoire simple effectué sur la même région non stratifiée.

Sans perdre cette efficacité due à la stratification, on peut échantillonner à l'intérieur des strates suivant d'autres types d'échantillonnage que l'aléatoire simple. On peut, et c'est une procédure souvent utilisée, faire un échantillonnage systématique par grille ou par radiale. Cette technique est en général très précise. L'inconvénient de l'échantillonnage systématique réside dans le fait qu'on ne sait pas toujours estimer correctement la variance des estimateurs. Toutefois dans le cas de variables régionalisées, et les densités de population en sont un exemple simple, il est possible d'utiliser les techniques de géostatistique appliquée pour lesquelles le variogramme est l'outil de base (MATHERON, 1965).

Avec cette note nous resterons dans le cadre de l'échantillonnage aléatoire stratifié. Nous l'avons souligné plus haut, la stratification conduit le plus souvent à des estimateurs plus efficaces. Est-il possible d'aller plus loin dans l'amélioration de cette efficacité en utilisant des informations supplémentaires ?

### **Les variables auxiliaires.**

L'intérêt des variables auxiliaires provient du fait que la connaissance de variables fortement corrélées avec celle objet de l'étude constitue une information précieuse pour l'élaboration du plan d'échantillonnage. En effet, elles peuvent être utilisées : pour définir des probabilités de sélection proportionnelle à la taille des unités échantillonnées (échantillonnage avec probabilités inégales), pour bâtir une stratification ou pour modifier la forme de l'estimateur dans le but d'en augmenter l'efficacité (parmi les plus classiques rappelons les estimateurs « rapport », « régression », « produit »). Or, au cours des campagnes de chalutage deux variables sont le plus souvent relevées : température et profondeur.

Nous nous proposons par cette note de voir dans quelle mesure ces informations supplémentaires peuvent améliorer l'exploitation des données récoltées. Nous utilisons comme support les campagnes régulièrement effectuées depuis 1977 à partir de la Station de Saint-Pierre-et-Miquelon par le N.O. CRYOS sur la subdivision 3PS de la NAFO. Au cours de ces campagnes dont les procédures sont standardisées, la profondeur et la température sont systématiquement notées.

### **Analyse du problème : objectif.**

Sur la subdivision 3PS une quarantaine de strates ont été définies couvrant les sondes de 50 à 700 mètres environ. Pour cette étude nous avons sélectionné deux espèces : la morue (*Gadus morhua*), et le balai (*Hippoglossoides platessoides*), puis retenu les années et les strates pour lesquelles le nombre de traits de chalut était globalement le plus important.

Dans la mesure où, à l'intérieur des strates, il existe une relation entre la densité du poisson et la température et/ou la profondeur, deux voies peuvent être explorées : modifier la forme de l'estimateur ou bien utiliser ces informations supplémentaires pour une analyse globale des résultats, type analyse de variance. La première voie qui pourrait aboutir à un estimateur régression n'apporterait un plus que si le nombre d'observations sur les variables auxiliaires était supérieur au nombre de traits de chaluts. Cette approche nous paraît peu réaliste compte tenu de la nature du problème. La deuxième approche pourrait être plus intéressante. C'est celle que nous avons explorée dans cette note.

#### *Stratification et analyse de variance.*

Compte tenu de la stratégie d'échantillonnage adoptée lors des campagnes sur la subdivision 3PS, nous avons utilisé l'analyse de variance comme technique d'investigation.

L'analyse de variance, qui a de nombreuses applications dans divers domaines d'étude, se révèle un outil utile dans l'analyse des problèmes d'échantillonnage dans la mesure où il permet de mesurer les diverses sources de variabilité d'un matériel donné. C'est un premier type, descriptif, de l'utilisation du modèle. On peut par exemple, pour chaque espèce, évaluer l'efficacité de la stratification par la mesure de la variance interstrate et de la part de variance totale expliquée par la stratification. Ce type d'analyse trouve toute son utilité à l'issue d'une expérience-pilote.

Mais le modèle peut aussi servir de technique d'inférence statistique. C'est en ce sens que nous l'avons utilisé pour tester l'effet de l'inclusion des variables concomitantes, température et profondeur.

Comme nous l'avons rappelé au début de cette note, un des objectifs principaux des campagnes de chalutages expérimentaux est d'obtenir des indices d'abondance des espèces dont on suivra l'évolution dans le temps, indices qui seront utilisés pour initialiser ou recalibrer les modèles de dynamique de population. Toutefois, si l'on dispose de résultats de plusieurs campagnes annuelles on peut aussi étudier les variations de l'abondance en utilisant l'analyse de variance. Pour un secteur stratifié nous aurons un modèle à deux facteurs : les strates en tant que facteur contrôlé et le temps, facteur dont on désire mesurer les effets.

L'inclusion de variables concomitantes ne modifie pas la philosophie du modèle qui prend le nom d'analyse de covariance. L'écueil réside ici dans les conditions de validité du modèle : indépendance des erreurs, normalité des erreurs et homogénéité de la variance. La première condition doit être réalisée dans la mesure où l'on utilise un plan d'échantillonnage aléatoire stratifié. Il n'est pas toujours facile de vérifier la normalité des erreurs. Il est probable que cette condition n'est pas souvent vérifiée. Mais les risques de déviations importantes dus à cette cause sont en général faibles.

Par contre, le non homogénéité de la variance entraîne des conséquences plus graves quant à la validité des tests. Or les strates ont été constituées, théoriquement, de façon à isoler des densités de population aussi différentes que possible d'une strate à l'autre ; l'efficacité de la stratification dépend de ces différences. Mais densités différentes impliquent généralement variabilités différentes entre les résultats des traits de chalut, et donc antinomie entre les deux techniques.

Toutefois la non homogénéité de la variance des données brutes peut être le plus souvent corrigée par une transformation des données. La transformation à effectuer dépendra de la relation existant entre moyenne et variance observées sur l'ensemble des strates. Nous avons utilisé une transformation logarithmique qui s'est révélée souvent efficace sur le type de données que nous avons à traiter.

### Traitement-résultats.

Nous avons soumis les données des strates et années retenues à deux types d'analyse : une analyse de covariance en introduisant comme covariable soit la température, soit la profondeur et une analyse de variance sans variables auxiliaires, et nous avons mesuré l'efficacité relative de ces deux techniques.

#### Température.

Les analyses ont été effectuées sur la morue et le balai à partir des données obtenues sur 8 strates pour les années 1979, 1981 et 1983. Les résultats sont reportés sur le tableau 1. Pour l'une et l'autre espèce, les résultats des deux analyses sont sensiblement les mêmes. C'est dire que l'inclusion de la température n'a eu pratiquement aucun effet bénéfique.

On peut d'ailleurs évaluer l'efficacité relative de l'analyse de covariance par rapport à l'analyse de variance en utilisant la formule due à FISHER (LISON, 1958) :

$$RE = \frac{(n_1 + 1) (n_2 + 3) S_2^2}{(n_2 + 1) (n_1 + 3) S_1^2}$$

$S_2$  désignant la variance de l'erreur,  $n$  son degré de liberté.

Pour la morue  $RE = 1$  ; pour le balai  $RE = 0,99$ .

La perte d'un degré de liberté de l'erreur dans l'analyse de covariance n'est pas compensée par la réduction de la somme des carrés.

#### Profondeur.

Les traitements ont été réalisés uniquement sur la morue et portent sur les données obtenues sur 6 strates au cours des années 1981, 1982 et 1983. Les résultats, reportés dans le tableau 1, sont ici encore très voisins pour les deux modèles. La prise en compte de la profondeur n'a pas modifié l'efficacité de l'analyse ( $RE = 1$ ).

### Discussion.

Il est probable que la distribution des populations est liée, entre autres, à la profondeur et à la température, lesquelles doivent participer à l'efficacité de la stratification qui explique 27 à 53 % de la variance totale dans nos exemples. Cependant l'expression mathématique de ces relations n'est sans doute pas simple. Nous avons toutefois supposé que dans les limites d'une strate l'amplitude des variations était suffisamment faible pour justifier une approximation linéaire. D'autre part, l'analyse de covariance est construite sur l'hypothèse d'une même valeur du coefficient de régression par strate. L'estimation de cette valeur moyenne figure sur les tableaux.

Le fait que l'hypothèse de l'égalité des coefficients de régression par strate n'ait dans aucun cas été contredite par les tests inclus dans le programme laissait entrevoir les résultats finaux. En effet, dans la mesure où il existerait des relations perceptibles entre l'abondance et la profondeur ou la température à

TEMPÉRATURE - Balai

Analyse	Source	Somme des carrés	DL	Carré moyen	F
COVARIANCES	Total	460.1064	84	5.4775	
	Interaction	25.4708	14	1.8193	0.6667
	Effet « années »	1.2450	2	0.6225	0.2281
	Effet « strates »	235.3661	7	33.6237	12.3211
	Résiduel	163.7369	60	2.7289	
	$\beta = 0,0089$				
VARIANCES	Total	460.1064	84	5.4775	
	Interaction	30.3005	14	2.1643	0.8063
	Effet « années »	0.8167	2	0.4084	0.1521
	Effet « strates »	246.1164	7	35.1595	13.0979
	Résiduel	163.7456	61	2.6844	

TEMPÉRATURE - Morue

Analyse	Source	Somme des carrés	DL	Carré moyen	F
COVARIANCES	Total	233.5646	87	2.6847	
	Interaction	25.0786	14	1.7913	0.8640
	Effet « années »	13.5492	2	6.7746	3.2677
	Effet « strates »	62.1025	7	8.8718	4.2793
	Résiduel	130.6115	63	2.0732	
	$\beta = 0,0484$				
VARIANCES	Total	233.5646	87	2.6847	
	Interaction	27.0767	14	1.9340	0.9457
	Effet « années »	15.3490	2	7.6745	3.7526
	Effet « strates »	62.7830	7	8.9690	4.3856
	Résiduel	130.8865	64	2.0451	

PROFONDEUR - Morue

Analyse	Source	Somme des carrés	DL	Carré moyen	F
COVARIANCES	Total	128.7651	59	2.1825	
	Interaction	17.1723	10	1.7172	1.2822
	Effet « années »	8.4308	2	4.2154	3.1476
	Effet « strates »	48.8995	5	9.7799	7.3026
	Résiduel	54.9087	41	1.3392	
	$\beta = 0,0078$				
VARIANCES	Total	128.7651	59	2.1825	
	Interaction	17.4494	10	1.7449	1.3006
	Effet « années »	8.0623	2	4.0311	3.0046
	Effet « strates »	47.9470	5	9.5894	7.1475
	Résiduel	56.3489	42	1.3416	

TABL. 1. — Résultats des analyses de covariances et de variances avec et sans prise en compte des variables auxiliaires.

l'intérieur des strates, il serait plutôt étonnant qu'elles soient représentées par une même expression pour chacune d'elles. En fait, il ressort que les estimations des coefficients de régression sont très faibles et statistiquement non significatives. Ce résultat peut être la conséquence : d'une absence réelle de relation à cette échelle et/ou de la grande variabilité enregistrée entre les résultats des traicts de chaluts conjuguée au petit nombre d'observations dont on dispose dans ce type d'étude.

Quoi qu'il en soit, il ne semble pas que les deux variables considérées soient susceptibles d'améliorer la sensibilité des analyses quantitatives, l'essentiel de leur effet potentiel étant pris en compte au niveau de la stratification.

Comme nous l'avons souligné, l'efficacité de la stratification pour chacune des espèces pourrait être mesurée par une analyse de variance, en utilisant, bien sûr, toutes les strates. Si l'on se réfère à nos exemples, limités, on peut s'attendre à une plus grande efficacité pour les espèces les plus inféodées au fond.

On peut remarquer que l'effet « années » apparaît significatif pour la morue. On ne peut y attacher trop d'importance compte tenu de la sélection que nous avons faite.

### Conclusion.

Les chalutages expérimentaux visent l'estimation d'un certain nombre de paramètres sur un large éventail d'espèces. Celles-ci n'ayant pas en général le même schéma de répartition la constitution des strates est en fait un compromis aboutissant à une stratification relativement simple reposant sur des critères géographiques et bathymétriques. L'utilisation de variables auxiliaires aurait pu permettre, pour chaque espèce, d'utiliser au mieux ces informations supplémentaires. Toutefois ceci paraît exclu en ce qui concerne la profondeur et la température. La variabilité entre traicts de chalut reste trop importante pour qu'une relation intra-strate, si elle existe, puisse être mise en évidence.

### BIBLIOGRAPHIE

- COCHRAN (W.G.), 1977. — Sampling techniques. 3<sup>e</sup> édition. — John Wiley : New York, 428 p.
- FREUND (R.J.) and MINTON (P.D.), 1979. — Regression methods. — New York, Basel : M. Dekker.
- GROSSEIN (M.D.), 1974. — Bottom trawl survey methods of the North East : Fisheries Center, Woodshole, Mass. U.S.A. — Res. Doc. ICNAF, 74-96 : 27 p.
- LISON (I.), 1958. — Statistique appliquée à la Biologie expérimentale, la planification de l'expérience et l'analyse des résultats. — Paris : Gauthier-Villars, 346 p.
- MATHERON (G.), 1965. — Les variables régionalisées et leur estimation. — Paris : Masson.
- PENNINGTON (M.R.) et GROSSEIN (M.D.), 1978. — Accuracy of abundance indices based on stratified random trawl surveys. — Res. Doc. ICNAF, 78-VI-77.
- YATES (F.), 1981. — Sampling methods for censuses and surveys. 4<sup>e</sup> édition. — Londres : C. Griffin and Co., 458 p.

*Manuscrit soumis le 18-6-86. accepté le 8-9-1986.*