

Quelques suggestions pour l'échantillonnage des pêcheries artisanales avec référence particulière à la pêche Sénégalaise

J.M. Hoenig et G.A. Chouinard.

RÉSUMÉ :

Cet article présente des options pour l'échantillonnage des pêcheries artisanales comme celles qui existent au Sénégal. Nous nous attardons sur les problèmes de sélection des unités d'échantillonnage primaires (dans ce cas les combinaisons plage x jour) plutôt que sur la façon de recueillir des sous-échantillons à l'intérieur d'une unité d'échantillonnage primaire. L'échantillonnage en treillis peut être préférable à l'échantillonnage aléatoire stratifié et à l'échantillonnage en deux étapes pour ses avantages pratiques et pour le contrôle qu'il offre pour arriver à un plan d'échantillonnage équilibré. Nous présentons une description et un exemple de l'échantillonnage avec probabilités non-uniformes ainsi que l'emploi d'un estimateur calculé par analyse de régression. Les méthodes d'étude développées pour estimer l'effort de la pêche sportive à partir des relevés de bateaux de pêche peuvent être adaptées aux pêcheries artisanales. Ces méthodes peuvent être mises en oeuvre conjointement avec des patrouilles aériennes.

ABSTRACT :

Options for sampling artisanal fisheries such as those that exist in Senegal are discussed. We focus on the problem of selecting primary sampling units (i.e., beach x day combinations) rather than on how to subsample within a primary sampling unit. Lattice sampling may be preferred over stratified random sampling and two-stage sampling for logistical convenience and for the control it affords in choosing a balanced sample of beaches. The use of sampling plans with non-uniform sampling probabilities is reviewed and illustrated, as is the use of a regression estimator. Survey methods developed for estimating sport fishing effort from counts of fishing boats can be adapted for use with artisanal fisheries. The counts of boats can be made during aerial surveys.

INTRODUCTION

La pêche artisanale au Sénégal est caractérisée par un parc piroguier maritime de près de 5000 unités opérationnelles qui débarquent leurs prises sur des dizaines de plages le long du littoral. L'échantillonnage des prises et des efforts à une plage donnée dans cette pêcherie artisanale pose plusieurs problèmes logistiques non-négligeables. Le nombre élevé de pirogues, la diversité des espèces et des types d'engins, l'étendue de la plage et les estimations des poids sont tous des facteurs qui rendent cette activité plus complexe. Plusieurs travaux ont été effectués pour palier à ces difficultés (e.g., Destanques, 1992). Laloë (1985) et Barry-Gérard (1990) présentent une description des méthodes d'échantillonnage en usage pour ces pêcheries. L'échantillonnage de la pêcherie artisanale au Sénégal est caractérisé par un niveau d'effort élevé. Pourtant, un problème avec la stratégie d'échantillonnage présente-ment utilisée est que seulement neuf des centres de débarquements, représentant environ 70% du parc piroguier, sont enquêtés (Ferraris et al., 1993). On suppose donc que les points de débarquement non-échantillonnés sont semblables ou comparables à ceux étudiés.

S'il n'y a pas de débarquements aux plages non-échantillonnées, cette méthode donnera une erreur dans l'estimé des prises de 43% ($3/7 = 0,43$). A l'autre extrême, si

la plupart des débarquements s'effectuent dans ces sites non-échantillonnés alors il n'y a pas, théoriquement, de limite à la sous-estimation des captures. Même si l'estimé des débarquements totaux est près de la valeur réelle, il est fort possible que les estimés des paramètres biologiques (par exemple, les fréquences de taille) soient biaisés. Il semble donc important d'échantillonner tous les points de débarquements même si l'intensité de l'échantillonnage à certains endroits est faible.

Ce document présente quelques options qui peuvent être mises en oeuvre pour échantillonner ces plages d'importance secondaire de façon efficace. Les méthodes traitées ici sont d'usage général pour échantillonner les pêcheries artisanales dans les pays tropicaux.

TROIS OPTIONS POUR L'ÉCHANTILLONNAGE DES PLAGES SECONDAIRES

L'unité d'échantillonnage est la combinaison plage-jour. Conséquemment, une liste des unités peut être écrite sous la forme d'un tableau:

Plage	Jour										
	1	2	3	4	5	6	7	8	.	.	.
A											
B											
C											
D											
E											
.											
.											
.											

Dans cette situation, on emploie souvent un plan d'échantillonnage aléatoire stratifié dans le but de réduire la variabilité des estimés. Lorsque la stratification se fait selon les plages, certains problèmes pratiques peuvent survenir. Par exemple, s'il n'y a qu'une personne (équipe) pour effectuer l'échantillonnage, il est possible qu'on devra être à deux ou trois plages en même temps. En effet, cette stratégie suppose que les strates doivent être échantillonnées indépendamment les unes des autres, c'est à dire que le fait d'échantillonner une plage ne doit pas affecter la possibilité d'échantillonner une autre plage.

D'autre part, on peut utiliser un plan d'échantillonnage en deux étapes. La première phase consistera à choisir les journées à échantillonner. Ensuite, on choisira une plage à visiter pour chaque jour. Ceci préviendra la possibilité de choisir deux plages sur la même journée.

Il est à remarquer que si on ne visite qu'une plage par jour, il n'est pas possible

d'estimer la variation intra- et inter-journalière. Cependant, si on échantillonne pour quelques (n) jours, on pourra, quand même, estimer la variance de l'effort moyen par jour de façon conventionnelle:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2}{n(n-1)}$$

où f_i est l'estimation de l'effort de pêche pour l' $i^{\text{ème}}$ jour échantillonné (= observation obtenue à la plage échantillonnée x nombre de plages) et représente la moyenne des estimations d'effort pour les n jours. Ceci donne un estimé de la variance qui est conservateur (probablement trop élevé).

L'échantillonnage en deux étapes peut lui aussi présenter un problème. Il est possible d'obtenir un plan où il n'y aura qu'une plage visitée. Un moyen de contrôler un peu mieux l'échantillonnage est d'utiliser un plan en "treillis" ('lattice sampling') tel que décrit par Yates (1981) et développé en plus de détails par Jessen (1978). Pour ce faire, on peut choisir un certain nombre total de jours à échantillonner et puis assigner pour chacune des plages un nombre déterminé de jours de manière aléatoire. Par exemple, on pourrait décider d'échantillonner sur 27 jours et établir que chacune de neuf plages sera échantillonnée 3 fois (jours), ce qui nous donnera au total 27 jours d'échantillonnage. La théorie de l'échantillonnage en treillis peut être généralisée pour s'assurer de la balance (ou contrôle) par rapport à plusieurs facteurs. Par exemple, on peut s'assurer que chaque semaine et que chaque plage soient échantillonnées un certain nombre de fois.

En choisissant un plan d'échantillonnage, il est important de considérer quatre aspects: l'efficacité statistique (variance), la possibilité de mieux comprendre le système étudié (les caractéristiques de la pêcherie, distribution spatiale et temporelle, méthodes et engins de pêche, etc.), le degré de complexité du travail et la logistique associée. Le plan d'échantillonnage aléatoire stratifié est le plus simple et le plus familier. Il permet de prendre en compte l'hétérogénéité de la population inventoriée. Ce type de plan d'échantillonnage, utilisé au Sénégal pour échantillonner les plages principales, permet de tenir compte de la grande variabilité géographique et temporelle des débarquements. Ce type de plan peut cependant présenter des inconvénients, par exemple si deux plages doivent être échantillonnées simultanément. Le plan d'échantillonnage en deux étapes permet d'éviter certains problèmes logistiques mais peut donner un plan déséquilibré du point de vue de la couverture des plages. Le plan d'échantillonnage en treillis peut être utilisé pour assurer que chacune des plages soit visitée un certain nombre de fois au cours de la saison. Ceci permet de mieux connaître le nombre de pirogues et son évolution à chacune des plages ainsi que d'autres aspects de ces pêcheries artisanales.

Indépendamment du plan d'échantillonnage choisi parmi les trois plans, des problèmes logistiques peuvent se poser si les plages sont séparées par de longues distances. C'est à dire, qu'il est possible que selon le plan d'échantillonnage, il serait nécessaire de passer trop de temps à voyager d'une plage à l'autre par rapport au temps passé à échantillonner. Dans ce cas, une solution peut être de redéfinir l'unité

d'échantillonnage primaire comme étant la combinaison plage x période de 3 jours. Ainsi, quand une plage a été sélectionnée pour l'échantillonnage, on passera trois jours à cette plage.

L'ÉCHANTILLONNAGE PPP (PROBABILITÉ PROPORTIONNELLE À LA PRÉDICTION)

Supposons qu'il y ait cinq plages pour lesquelles il faut développer un plan d'échantillonnage et, de plus, supposons que le nombre de pirogues varie grandement selon les plages (voir ci-dessous).

Plage	Nombre de pirogues basées à la plage
A	20
B	80
C	20
D	40
E	40
Total	200

Un plan très simple est de choisir une plage de façon aléatoire, de déterminer le nombre de sorties et les débarquements pour la journée à cet endroit, et ensuite de multiplier par 5 pour obtenir un estimé du nombre de sorties et des débarquements pour les cinq plages. Il est presque certain que si on avait choisi la plage A, on obtiendrait un estimé trop bas, par contre, si on avait choisi la plage B, on obtiendrait probablement un estimé trop élevé. Si on possède de l'information sur le nombre de pirogues à chaque plage, on peut se servir de cette information pour améliorer nos estimés si le nombre de pirogues est un indicateur de l'effort et des débarquements relatifs.

La probabilité de sélectionner une plage pour l'échantillonnage ne doit pas être la même pour toutes les plages. On peut attribuer à chaque plage une Probabilité d'échantillonnage Proportionnelle à la Prédiction (PPP).

Exemple:

Plage	Nombre de pirogues	%	Nombres aléatoires
A	20	10	01 - 10
B	80	40	11 - 50
C	20	10	51 - 60
D	40	20	61 - 80
E	40	20	81 - 99 + 00
Total	200	100	

On peut imaginer qu'à la plage A, où il y a 20 pirogues (10% du total), il y aurait aussi environ 10% de l'effort total. De même, à la plage B où il y a 80 pirogues, c'est-à-dire 40% du total, on pourrait prédire que 40% de l'effort total proviendrait de cette plage. Donc, on assigne une probabilité de faire l'échantillonnage à la plage A de 10% (0,1), à la plage B de 40% (0,4) et ainsi de suite.

On peut ensuite utiliser les probabilités développées ci-dessus afin de choisir la plage à visiter durant la journée. Une manière de choisir est d'utiliser un tableau de nombres aléatoires. On choisit 2 chiffres au hasard, et si le nombre se trouve entre 01 et 10 (inclusivement) alors on visite la plage A; si c'est entre 11 et 50, on visite la plage B, etc.

L'estimé de l'effort total est:

$$\hat{f}_{\text{total}} = \frac{\text{effort à la plage choisie}}{\text{probabilité de choisir cette plage}}$$

Logiquement, si on pense qu'une certaine plage compte pour 10% du total, on peut estimer le total en multipliant ce qu'on observe à cette plage par 10. Il est intéressant de noter que cet estimateur est non-biaisé même si les probabilités ne reflètent pas adéquatement les efforts relatifs actuels pour chacune des plages. La preuve est simple; la valeur attendue de l'estimateur étant par définition:

$$\begin{aligned} E(\hat{f}_{\text{total}}) &= \sum_{\text{plages}} \text{estimé} \times \text{probabilité de l'estimé} \\ &= \sum_{\text{plages}} \frac{\text{effort à la plage}}{\text{probabilité de choisir la plage}} \times \text{probabilité de choisir la plage} \\ &= \sum_{\text{plages}} (\text{effort à la plage}) = \text{effort total} \end{aligned}$$

Il faut noter:

- a) Cette méthode peut donner une variance très basse si on peut bien faire les prédictions des pourcentages de l'effort et des débarquements pour chacune des plages. Par contre, si ces prédictions sont erronées, la variance peut être énorme.
- b) La méthode peut être généralisée pour visiter plus d'une plage par jour d'échantillonnage. Dans ce cas, on fait la sélection en utilisant une stratégie d'échantillonnage avec remplacement pour simplifier les calculs.
- c) Si on visite une seule plage lors d'une journée, on ne peut pas estimer la variance pour ce jour. Mais, comme pour l'échantillonnage en deux étapes, on peut calculer un estimé conservateur de la variance de l'effort moyen par jour en calculant la variance de la moyenne des estimations journalières à partir de la formule habituelle.
- d) Un autre nom pour l'échantillonnage PPP est l'échantillonnage PPZ (voir Cochran, 1977)

ESTIMATEUR DE RÉGRESSION

Supposons qu'on recueille des échantillons aux plages principales pendant 30 jours et que, sur 5 de ces trente jours, on prélève des échantillons aussi aux plages secondaires.

Supposons maintenant, que pour les cinq journées où les plages principales et les plages secondaires ont été échantillonnées, le nombre moyen de sorties par jour soit de 25 pour les plages secondaires et de 300 pour les plages principales. Sur la période entière, le nombre moyen de sorties aux plages principales est de 400. On peut donc supposer que les 5 jours choisis pour visiter les plages secondaires n'étaient pas de très bons jours pour la pêche (météo, rareté des poissons, etc) et de même pour les plages principales. L'hypothèse de base (qu'on peut vérifier) est qu'il existe une corrélation élevée entre l'effort sur les plages principales et les plages secondaires. On peut employer cette corrélation pour réduire la variance de l'estimé du nombre de sorties (ou des débarquements) pour les plages secondaires en employant la méthode de l'estimation de régression.

L'estimateur à la forme (Cochran, 1977):

$$f_{\text{reg}} = f_{5s} - b(f_{5p} - f_{30p})$$

où

- f_{reg} = estimé de l'effort moyen (par jour) des plages secondaires prédit par la méthode de régression
- f_{5s} = moyenne des 5 estimés du nombre de sorties à partir des plages secondaires
- f_{5p} = moyenne des 5 estimés du nombre de sorties à partir des plages principales
- f_{30p} = moyenne des 30 estimés du nombre de sorties à partir des plages principales
- b = pente de la régression reliant l'effort des plages principales (X) et l'effort des plages secondaires (Y).

Il est à noter que cette méthode peut être appliquée *a posteriori* pour réduire la variance des estimés pour les plages secondaires.

Un exemple de l'emploi de l'estimateur de régression afin d'estimer l'effort de pêche a été présenté par Hoenig et Heywood (1990). Ils ont développé un modèle qui permet de prédire l'effort de pêche en fonction de la période de l'année et ils ont utilisé les prédictions du modèle comme variable auxiliaire (au lieu d'utiliser directement les observations des plages principales). Donc, si les prédictions du modèle pour les jours où les plages ont été échantillonnées est moindre que la moyenne des prédictions du modèle pour toute la saison, alors l'estimation de la moyenne dans l'échantillon est probablement plus faible que l'effort moyen réel sur toute la saison. Le modèle possède également une valeur intrinsèque car il produit une description détaillée de la pêcherie (Hoenig et Heywood, 1985).

APPLICATION DE LA THÉORIE DE BASE D'ÉCHANTILLONNAGE DE LA PÊCHE SPORTIVE

Il existe des cas où on connaît le nombre de bateaux dont la base d'opération est localisée à une certaine plage. S'il existe un moment de la journée où tous les bateaux qui vont aller pêcher ce jour-là sont en mer, il suffit de compter, à ce moment, les bateaux qui sont restés sur la plage et de soustraire ce nombre du nombre total de bateaux qui fréquentent cette plage. Ceci donne un effort de pêche exprimé en nombre de voyages. Cette technique a déjà été utilisée au Sénégal pour la pêche artisanale (Ferraris *et al.*, 1993).

D'autre part, il est possible que les bateaux partent et arrivent à la plage à tous temps de la journée. Dans ce cas, il n'existe pas de moment dans la journée où un relevé des bateaux donnerait une indication du nombre de bateaux actifs ce jour là. Il existe, cependant, une façon d'estimer l'effort en effectuant le décompte des bateaux.

Supposons qu'un moment soit choisi de façon aléatoire durant la journée de pêche et que le nombre de bateaux qui pêchent à ce moment soit déterminé en comptant les bateaux restés sur la plage. Ceci représente une estimation du nombre moyen de bateaux qui pêchent pendant cette journée; estimation basée sur un échantillon dont la taille est égale à un. (Bien sûr, on peut obtenir une meilleure estimation de la moyenne en prenant plusieurs relevés au cours de la journée.) Le nombre de bateaux comptés (ou la moyenne de plusieurs relevés) multiplié par la longueur de la journée de pêche (en heures) est une estimation de l'effort de pêche pendant la journée mesuré en bateaux-heures. Cette méthode d'estimation de l'effort de pêche est connue sous le terme de "relevé instantané".

Souvent, le temps nécessaire pour faire le relevé n'est pas négligeable. Par exemple, il peut prendre une heure pour parcourir la plage. Ce type de relevé est mieux connu sous le terme de "relevé progressif". Théoriquement, chaque point le long de la plage n'est observé que pour un instant. Donc, le nombre de bateaux comptés multiplié par la longueur de la journée de pêche est une estimation de l'effort de pêche en bateaux-heures. Hoenig *et al.* (1993) font un compte-rendu de ces méthodes.

RELEVÉS AÉRIENS

Un des moyens utilisés pour la protection des ressources consiste à faire des patrouilles aériennes pour vérifier les opérations de la pêche industrielle. Ceci pourrait constituer un moyen efficace de déterminer avec précision les zones d'opération, les engins déployés et autres caractéristiques de la pêche artisanale (orientation des filets, taille des pirogues en fonction de la proximité de la côte, etc.). En même temps, on peut accumuler des informations sur le nombre et la taille des bancs de poissons pélagiques (Squire, 1983). Ces relevés pourraient être combinés avec les opérations normales des missions de protection ce qui n'entraînerait que des coûts additionnels minimales. Ces informations pourraient être utilisées pour optimiser les opérations d'échantillonnage. D'autre part, on peut accumuler des données selon un plan statis-

tique en vue de produire des estimations appropriées sur l'effort de pêche à l'aide des méthodes décrites dans la section précédente.

CONCLUSIONS

Les contraintes logistiques parfois rencontrées dans l'échantillonnage des pêcheries artisanales peuvent rendre difficile l'application d'un plan d'échantillonnage respectant une méthodologie statistique rigoureuse. Les méthodes proposées dans cet article ne peuvent régler tous les problèmes d'échantillonnage des pêcheries artisanales, cependant elles peuvent servir à pallier à certaines lacunes. En particulier, l'échantillonnage des plages secondaires permettrait de détecter des changements dans ces pêcheries au fur et à mesure qu'ils se produisent. Les méthodes décrites ont l'avantage d'être simples et peuvent être adaptées à une multitude de situations.

Remerciements

Nous remercions J. Ferraris et A. Fonteneau pour nous avoir montré la plage de Kayar et nous avoir expliqué les conditions d'échantillonnage. N. Hoenig a offert des commentaires utiles.

RÉFÉRENCES

- Barry-Gérard, M. 1990. L'échantillonnage des pêches commerciales. p. 45-75 Dans Brêthes, J.C. et R.N. O'Boyle (eds.). *Méthodes d'évaluation des stocks halieutiques. Projet CIEO-860060, Centre International d'Exploitation des Océans, Halifax.*
- Cochran, W.G. 1977. *Sampling techniques*, third ed. John Wiley & Sons., New York.
- Destanques, C. 1982. Étude de la qualité des estimations à vue des poids des prises débarquées par les pêcheurs artisans Sénégalais. *Rapport Interne Centre de Recherche Océanographiques Dakar-Thiaroye. Multig., 19p. + fig.*
- Ferraris, J., B. Samb et M. Thiam. 1993. Les statistiques de pêche au CRODT -Description des systèmes de collecte et de traitement des données. *Symposium Évaluation des ressources exploitées par la pêche artisanale au Sénégal, Dakar, 8 au 13 février 1993, Doc. # 7.*
- Hoenig, J.M. et C.M. Heywood. 1989. Model-based sampling methods for effort and catch estimation. *Amer. Fish. Soc. Sympos. 6:181-189.*
- Hoenig, J.M. et C.M. Heywood. 1991. Use of model predictions as an auxiliary variable to reduce variance in a creel survey. *Amer. Fish. Soc. Sympos. 12:292-297.*
- Hoenig, J.M., D.S. Robson, C.M. Jones et K.H. Pollock. 1993. Scheduling counts in the instantaneous and progressive count methods for estimating sport fishing effort. *North Amer. J. Fish. Manage. 13:723-736.*
- Laloë, F. 1985. Étude de la précision des estimations de captures et prises par unité obtenues à l'aide du système d'enquête de la section "pêche artisanale" du CRODT au Sénégal. *Document scientifique du Centre de recherche océanographique de Dakar-Thiaroye, 100:36p.*
- Jessen, R.J. 1978. *Statistical survey techniques.* John Wiley & Sons, New York.
- Squire, J.L. 1983. Abundance of pelagic resources off California, 1963-78, as measured by an airborne fish monitoring program. *U.S. Dep. Comm. NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-762: 75 p.*
- Yates, F. 1981. *Sampling methods for censuses and surveys, fourth edition.* Oxford University Press, New York.

