

STRATEGIES D'ECHANTILLONNAGE POUR L'ESTIMATION DES
STOCKS DE MOULES SUR BOUCHOTS

(exemple dans le Pertuis Breton en 1988)

par J. MAZURIE. et
MJ. DARDIGNAC - CORBEIL

RESUME :

Une méthode d'évaluation de stock est ici proposée pour les élevages de moules sur bouchots. Cette méthode, mise au point en 1987 et 1988 dans le secteur mytilicole du Pertuis Breton (Côte atlantique française), repose sur des estimations de nombres de pieux par bouchot, hauteurs de pieux garnis de moules, sections de pieux et moules, et éventuellement densités de moules, selon un protocole et un plan d'échantillonnage destinés à obtenir le meilleur rapport coût/précision avec le prélèvement minimum de moules. Ce plan est comparé à d'autres stratégies, et la répartition de l'effort d'échantillonnage optimisée.

ABSTRACT :

A sampling strategy for the estimation of mussels stocks on "bouchots" was elaborated in 1987 and 1988 in the Pertuis Breton area, along the french atlantic coast. This strategy optimizes estimations of number of posts per bouchot, heights of posts wearing mussels, sections of posts and mussels, and eventually densities of mussels, from cost/precision and minimum uptake considerations.

The adopted plan is compared to others and the allocation of sampling efforts is optimized.

INTRODUCTION

Une gestion rationnelle des élevages de mollusques filtreurs, tant du point de vue biologique qu'économique, nécessite la connaissance des stocks. Sur le plan biologique, elle permet de rechercher une adéquation entre les densités d'élevage et le potentiel nutritif des sites. Sur le plan économique, une connaissance anticipée des quantités commercialisables peut aider notamment à la prévision des cours et à la régulation des marchés.

Une méthode d'évaluation a été développée par l'IFREMER pour les élevages d'huîtres à plat ou en surélevé sur estran (LATOIR 1983, BACHER 1984), et d'huîtres et moules en suspension sous les tables de l'étang de Thau (HAMON et al. 1981).

En revanche, aucune stratégie n'avait jusqu'à présent été définie pour les moules cultivées sur bouchots. Une méthode a donc été mise au point, comparée à d'autres méthodes possibles et son optimisation a permis de déterminer pour différentes précisions l'effort à consentir.

Ce travail a été effectué en 1987 et 1988 en Charente-Maritime, dans le Pertuis Breton. Après un bref rappel de la technique d'élevage sur bouchots, la stratégie utilisée sera décrite.

PRINCIPES DE LA METHODE

Les moules du Pertuis Breton sont cultivées sur des pieux de chêne disposés en rangées ou bouchots totalisant 373 km, et répartis sur 940 ha. Le niveau d'implantation des pieux entre les cotes - 0,70 m et + 1,50 m par rapport au zéro des cartes rend l'échantillonnage possible en bateau par basse mer de coefficient supérieur à 75. La période d'évaluation la plus favorable est celle de mai-juin, précédant la reprise des ventes interrompues au printemps.

La méthode d'estimation du stock la plus évidente consisterait à évaluer d'une part le nombre de pieux garnis de moules et d'autre part le poids moyen de moules par pieu.

Ce dernier paramètre peut être décomposé en hauteur du pieu que multiplie le poids par unité de hauteur. Mais cette méthode présente l'inconvénient de nécessiter un grand nombre de prélèvements de moules. Pour le diminuer on peut utiliser à la place du poids par unité de hauteur le produit de la section (ou volume par unité de hauteur) par la densité (ou poids par unité de volume). La densité des moules en place, seul paramètre nécessitant des prélèvements pour son estimation, devrait en effet peu varier d'un échantillon à l'autre.

Pour que l'estimation de la section nette de moules sur un pieu puisse être réalisée sans enlever les moules, il a été décidé de soustraire de la section totale (pieu + moules) une section moyenne de pieu sans moules estimée sur des pieux différents, non garnis au moment de l'évaluation.

Les paramètres à prendre compte pour l'estimation de la biomasse de moules sont donc au nombre de 6.

- le nombre de bouchots occupés (N dans les formules)
- le nombre moyen de pieux garnis par bouchot (M)
- la hauteur moyenne d'un pieu (H)
- la section moyenne de l'ensemble (moules + pieu) (St)
- la section moyenne des pieux nus (Sp)
- la densité des moules (D)

Le premier peut être déterminé sans erreur. Les cinq autres seront à estimer par sondage sur le terrain.

La stratégie d'échantillonnage représente le mode de sélection et le nombre des différentes unités d'échantillonnage.

Le domaine d'étude a été stratifié en zones d'élevages distinctes. L'application numérique est présentée pour une des strates du Pertuis Breton : les bouchots de Marsilly situés les plus au large.

Un choix important, est celui de l'indépendance entre les estimations, lié à l'indépendance des tirages : faut-il mesurer les hauteurs de pieux sur les bouchots tirés pour le dénombrement, les sections de moules + pieux sur les pieux ayant servi aux mesures de hauteurs, ...etc.?

Dans le cas présent deux estimations nous paraissent devoir être faites indépendamment des autres :

- les sections de pieux nus, (cf. plus haut)
- les densités, échantillonnées sur peu d'unités car peu variantes, et optionnelles si l'on se contente d'une estimation de stock en volume.

Pour les trois autres estimations, il est indispensable de les lier au maximum dans le premier échantillonnage (ou le pré-échantillon) si l'on veut pouvoir comparer par calcul les deux solutions (dépendance/indépendance). En effet, si l'on a fait d'abord le choix d'indépendance, il n'est plus possible de le comparer au choix de tirages liés, les covariances n'étant pas calculables.

Nous avons donc réalisé un pré-échantillonnage en adoptant la stratégie suivante :

- . un échantillon aléatoire simple (EAS) de sections de pieux nus,
- . un EAS de prélèvements pour densités,
- . un tirage à plusieurs degrés pour le nombre de pieux, la hauteur de moules et la section totale (E.A.S. de bouchots pour le comptage de pieux ; E.A.S. de deux pieux dans chacun des bouchots tirés pour mesure de la hauteur ; sur chacun de ces pieux mesure de deux sections totales choisies au hasard)

L'estimateur de biomasse résultant est :

$$\hat{B} = N (\overline{M H \overline{St}} - \overline{M} \overline{H} \cdot \overline{Sp}) \overline{D}$$

(Cette notation très synthétique est destinée à simplifier l'écriture et la lecture des formules. Les barres symbolisent les moyennes. Leur imbrication hiérarchisée correspond à l'échantillonnage par degrés).

Ce premier échantillon permet de tester, sans avoir à la réaliser, la stratégie d'indépendance complète représentée par 5 EAS indépendants pour les 5 paramètres, et traduite par l'estimateur.

$$\hat{B} = N \overline{M} \overline{H} (\overline{St} - \overline{Sp}) \overline{D}$$

Notons que la représentation $\overline{M H \overline{St}}$ est remplacée ici par $\overline{M} \cdot \overline{H} \cdot \overline{St}$ du fait de l'indépendance des estimations (l'espérance d'un produit de variables n'est égal au produit des espérances que si ces variables sont indépendantes. Dans le cas contraire, la covariance est à rajouter).

METHODES PRATIQUES DE MESURES

Les estimations de terrain ont été faites à marée basse, à partir d'une petite embarcation rapide et de faible tirant d'eau, portant 3 personnes : un pilote, un "mesureur" et un notateur. Durant l'opération, 25 % à 75 % de la hauteur des bouchots émergeait.

Le nombre de bouchots occupés peut être déterminé sans erreur à partir de photos aériennes au 1/10000 complétées par un parcours exhaustif sur le terrain pour retrancher les bouchots inoccupés ou garnis de cordes de captage. Les photos aériennes présentent aussi l'avantage de permettre un tirage à l'avance des bouchots et une planification des trajets.

Les hauteurs de pieux garnis de moules sont estimées à l'aide d'un rateau à manche gradué, la griffe du rateau servant à repérer la limite inférieure des moules, à la base immergée du pieu.

Les sections de moules + pieux ou de pieux nus sont estimées à partir du périmètre mesuré au mètre ruban, et assimilé à une circonférence.

La densité d'un prélèvement de moules sur une hauteur d'une vingtaine de centimètres est le rapport du poids du prélèvement sur son volume. Ce dernier est calculé par différence entre le volume de l'ensemble moules + pieu (hauteur moyenne du prélèvement X section moyenne) et le volume du pieu (hauteur précédente X section moyenne du même pieu dégarni).

OPTIMISATION DES TIRAGES LIES (3 DEGRES)

Par souci de simplification, nous chercherons à optimiser l'estimation du seul volume total moules + pieux (les estimations de volumes de pieux nus et de densités pouvant être faites indépendamment).

$$V_t = N \overline{M H St}$$

L'optimisation vise à obtenir la meilleure précision pour un coût donné, ou le moindre coût pour une précision donnée. Elle se propose ici de définir la meilleure allocation de l'effort d'échantillonnage entre les différents niveaux : nombre de sections par pieu et nombre de pieux par bouchot. Les données de base nécessaires sont l'équation de variance et l'équation de coût.

$$\begin{aligned} \text{var}(V_t) &= N^2 \frac{1-f}{n} \text{var}(VB) \\ &+ \frac{N}{n} \sum_i \frac{M_i^2}{n_h} (1-f_{2i}) \text{var}_i(VP) \\ &+ \frac{N}{n} \sum_i \frac{M_i}{n_h} \sum_j \frac{H_{ij}^2}{n_s} (1-f_{3ij}) \text{var}_{ij}(St) \end{aligned}$$

- N Nombre de bouchots
- n Nombre de bouchots échantillonnés
- n_h Nombre de hauteurs de pieux mesurées par bouchot
- n_s Nombre de sections de moules + pieux mesurées par pieu
- f^s Fréquence d'échantillonnage des bouchots
- M_i Nombre de pieux dans le bouchot n°i
- H_{ij} Hauteur du pieu ij
- f_{ij}^{1j} Fréquence d'échantillonnage des pieux/bouchot n°i
- f_{2i}^{2i} Fréquence d'échantillonnage des sections
- f_{3ij}^{3ij} Fréquence d'échantillonnage des sections
- $\text{var}^j(VB)$ variance des volumes de bouchots
- $\text{var}(VP)$ variance des volumes de pieux
- $\text{var}(St)$ variance des sections

Le biais de cet estimateur devient négligeable quand le nombre de bouchots échantillonnés est grand.

Dans le secteur considéré, les valeurs numériques donnent

$$\text{var } (V_t) = \frac{N^2}{n} \left(8,9 + \frac{0,8}{n_h} + \frac{0,003}{n_h n_s} \right) \quad (1)$$

Le coût en temps de travail, (hormis les parcours entre bouchots qui demeurent constants quels que soient n , n_h , n_s) pour cette stratégie s'écrit :

$$C = n (C_1 + n_h (C_2 + n_s C_3)) \quad (2)$$

avec $C_1 = 90$ secondes (temps de trajet le long du bouchot pour inventaire et repérage des pieux)
 $C_2 = 50$ secondes (30 sec. amarrage + 20 sec. mesure de la hauteur)
 $C_3 = 10$ secondes (mesure du périmètre).

Pour un objectif de coût donné, on obtient ainsi n en fonction de n_h et n_s . Si on reporte cette valeur dans l'équation (1), la variance prend la forme d'une fonction de 2 variables n_h et n_s . L'étude des variations de cette fonction montre qu'elle est croissante en n_h et n_s . Par conséquent, la précision est la meilleure pour $\underline{n_h = 1}$ et $\underline{n_s = 1}$.

Le mieux est donc de tirer un seul pieu par bouchot choisi, et de mesurer sur ce pieu une seule circonférence.

Pour un temps de travail $C = 120$ minutes correspondant à 1 marée, on trouve $n = 48$ et $\text{var } (V_t) \approx 98\ 000$. Nous comparerons plus loin cette variance à celle obtenue pour un même temps de travail avec une stratégie de tirages indépendants.

OPTIMISATION DE TIRAGES INDEPENDANTS

- L'estimateur du volume total (moules + pieu) est :

$$V_t = N \cdot \bar{M} \cdot \bar{H} \cdot \bar{S}_t$$

- L'estimateur de la variance s'écrit :

$$\begin{aligned} \text{var } (V_t) &= (N \bar{H} \bar{S}_t)^2 \text{ var } (M)/n_M \\ &+ (N \bar{M} \bar{S}_t)^2 \text{ var } (H)/n_H \\ &+ (N \bar{M} \bar{H})^2 \text{ var } (S_t)/n_S \end{aligned}$$

Les termes en produit de variance peuvent être négligés, les coefficients de variation des 3 variables étant faibles,

Le coût de ces estimations s'écrit :

$$C = n_M C_M + n_H C_H + n_S C_S$$

avec

$$\begin{aligned} C_M &= 1,5 \text{ mn} \\ C_H &= 1,4 \text{ mn} \\ C_S &= 1,24 \text{ mn} \end{aligned}$$

L'optimisation, rappelons le, vise à minimiser le coût pour un objectif de variance ou de précision donné ou minimiser la variance pour un coût donné. Ce double objectif est atteint quand la fonction

$L = \text{Coût} + \lambda (\text{variance} - \text{variance objectif})$ est minimale. (λ : multiplicateur de Lagrange). (MARTEL 1979).

$$\begin{aligned} L = & n_M C_M + n_H C_H + n_S C_S + \lambda (N \bar{H} \bar{S}_t)^2 \text{ var } (M)/n_M \\ & + \lambda (N \bar{M} \bar{S}_t)^2 \text{ var } (H)/n_H + \lambda (N \bar{M} \bar{H})^2 \text{ var } (S_t) / n_S \\ & - \lambda \text{ var. obj.} \end{aligned}$$

Les valeurs de n_M , n_H , n_S et λ qui minimisent cette fonction s'obtiennent en annulant les dérivées partielles de L par rapport à ces variables. Ce système de 4 équations à 4 inconnues présente une solution calculable.

Pour présenter plus simplement les formules de départ et les résultats de l'optimisation par cette méthode, nous pouvons remplacer

M, H, S_t par X_i

$\text{var } (M), \text{var } (H), \text{var } (S_t)$ par V_i ou s_i^2

n_M, n_H, n_S par n_i

Les équations de base deviennent :

$$V_t = N \prod_i (\bar{X}_i) \quad \prod_i = \text{produit des...}$$

$$\text{var}(V_t) = \sum_i \frac{V_t^2}{\bar{X}_i^2} \cdot \frac{V_i}{n_i} = V_t^2 \sum_i \frac{V_i}{\bar{X}_i^2 n_i}$$

$$C = \sum_i n_i c_i$$

Les solutions du système d'optimisation sont :

$$n_i = \frac{V_t^2}{V_o} \cdot \frac{s_i}{\bar{X}_i \sqrt{c_i}} \cdot \sum_i s_i \sqrt{c_i} / \bar{X}_i \quad \text{en fonction de la variance objectif } V_o$$

$$n_i = \frac{C_o}{\sum_i s_i \sqrt{c_i} / \bar{X}_i} \cdot \frac{s_i}{\bar{X}_i \sqrt{c_i}} \quad \text{en fonction d'un objectif de Coût } C_o$$

L'application numérique avec les valeurs de la strate à la mer de Marsilly en 1988 et pour un coût $C = 120$ minutes (1 marée) aboutit à :

$$\begin{aligned} n_M &= 26 \\ n_H &= 27 \\ n_S &= 35 \end{aligned}$$

Pour ces valeurs, la variance prend la valeur de 260 000, supérieure à la variance obtenue au moyen des tirages liés, par degrés (98000).

Même optimisée, la stratégie de tirages indépendants aboutit à une moins bonne précision d'estimation, pour un même effort.

DISCUSSION

Une autre méthode d'estimation de stock de moules en élevage sur bouchots a été appliquée par P. GROS et D. HAMON (1989) en Bretagne Nord, différant par le choix des unités d'échantillonnage. Cette différence s'explique essentiellement par l'accessibilité à pied, à marée basse, des bouchots de ce secteur.

Cette estimation de stock est une estimation instantanée, représentative de la période d'échantillonnage. M.J. DARDIGNAC (1990) a mis en évidence une variation très rapide de cette biomasse au printemps (76 % d'augmentation de volume en 2 mois). En conséquence, si l'objectif est de caractériser l'évolution d'un stock d'une année à l'autre, il est préférable de choisir une période d'estimation durant laquelle le stock varie peu. En France le mois de février, où les pêches cessent et où la croissance est lente, répond à ce critère.

CONCLUSION

La stratégie proposée minimise les quantités de moules à prélever. On peut même se contenter d'estimer le stock de moules en volume et ne faire alors aucun prélèvement.

La meilleure stratégie d'estimation des 3 composantes de ce volume (nombre de pieux, hauteurs garnies, sections) est un tirage à 3 niveaux ou degrés, réalisant des estimations non indépendantes.

La meilleure répartition de l'effort par niveau consiste à mesurer une seule hauteur de pieu par bouchot, et une seule section sur ce pieu.

Le tirage de bouchots réalisé ici par échantillonnage aléatoire simple doit pouvoir être remplacé par un tirage systématique (un bouchot sur 10 par exemple) sans inconvénient statistique important.

Cette méthode d'échantillonnage peut s'appliquer à d'autres systèmes d'élevage tel que l'élevage en suspension sous filières.

BIBLIOGRAPHIE

BACHER C., 1984. - Echantillonnage du stock d'huîtres du bassin de Marennes-Oléron. Rapport de DEA, Univ. de Paris, 38 p.

COCHRAN, 1977. - Sampling techniques - 3 rd Edition, WILEY AND SONS, New York, 413 p.

DARDIGNAC - CORBEIL M.J. et MAZURIE J, 1988. - Estimation des stocks de moules dans le Pertuis Breton en 1988. - Rapport interne IFREMER DRV - 89 018 RA/L'HOUMEAU.

HAMON P.Y. et TOURNIER H., 1981 - Estimation de la biomasse en culture dans l'étang de Thau (été 1980). - Science et Pêche n° 313, 23 p.

LATOURE, 1983. - Mise au point d'une méthode d'estimation de la biomasse d'huîtres en élevage dans un site test du bassin de Marennes-Oléron. - Mémoire de DAA, ENSA de Rennes.

MARTEL A., 1979. - Techniques et Application de la recherche opérationnelle, 2 nd Edition, Gaetan Morin.