

# Méthode d'estimation de la surface de pêche d'un casier à l'aide d'une filière expérimentale

Échantillonnage quantitatif  
Estimation de densité  
Casier appâté  
Gestion de stocks  
Buccin  
Quantitative sampling  
Density estimate  
Baited pot  
Stock assessment  
Whelk

Philippe GROS, Leonardo SANTARELLI\*

Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER), Centre de Brest, B.P. n° 337, 29273 Brest Cedex, France.

\* Adresse actuelle : ICML-UNAM, Apartado Postal 70-305, México D.F., Mexique.

Reçu le 20/5/85, révisé le 2/7/85, accepté le 5/7/85.

## RÉSUMÉ

Des estimations locales de la densité du buccin *Buccinum undatum* L. dans le golfe normano-breton (Manche Ouest) ont été obtenues en déterminant la superficie pêchée par un casier appâté. Cela a été réalisé à l'aide d'une filière expérimentale : le facteur contrôlé est la distance entre deux casiers consécutifs (6, 12, 24 ou 36 m), les différents intervalles étant aléatoirement ordonnés le long de la filière. Les variations de la capture par casier en fonction de la surface de recouvrement avec les aires de capture des casiers adjacents ont permis d'estimer la superficie de ces dernières, en considérant qu'elles sont de forme elliptique du fait de la circulation alternative engendrée par l'onde  $M_2$ . L'aire de capture effective du casier est évaluée à  $373 \text{ m}^2$  (erreur standard :  $98 \text{ m}^2$ ), et la densité des buccins dans le secteur étudié est de l'ordre de  $0.4$  individus  $\text{m}^{-2}$  (erreur standard  $0.1$  ind.  $\text{m}^{-2}$ ).

Le protocole proposé est aisément généralisable, à condition de disposer d'une connaissance minimale du régime des champs de courant dans les zones où il serait appliqué.

*Oceanol. Acta*, 1986, 9, 1, 81-87.

## ABSTRACT

Variable spacing of whelk pots on a ground line as a means of calibrating capture field areas of baited traps for a given soak time.

The experimental design of the capture field area of baited whelk-pots involves, as a controlled factor, four different spacings between pots (6, 12, 24 and 36 m), randomly distributed along a ground line. This spectrum of values is sufficiently broad to preclude overlap of capturing fields of some pots. Taking account of the patterns of the  $M_2$  tidal currents in the area studied, an ellipse was chosen as a geometrical model of the shape of the capture field. Semimajor and semiminor axes were estimated by least squares, the expected catch per pot being defined as a decreasing function of the area of overlap with adjacent capture fields.

Experimental fishing of *Buccinum undatum* L. was carried out in the Channel Isles region (Western Channel), and provided estimates of the area fished by a whelk-pot ( $373 \text{ m}^2$ ; S.E.  $98 \text{ m}^2$ ), and of the local density of the whelks (ca.  $0.4$  individuals  $\text{m}^{-2}$ ; S.E.  $0.1$  ind.  $\text{m}^{-2}$ ). The proposed design is easy to generalize, provided that some information concerning the advective and diffusive processes is available.

*Oceanol. Acta*, 1986, 9, 1, 81-87.

## INTRODUCTION

Pour entreprendre la gestion d'un stock exploité, il est nécessaire de disposer d'une information de base, incluant au minimum les quantités débarquées, l'effort de pêche déployé, et l'abondance du stock. L'objectif de cet article concerne précisément le troisième point. Une méthode est proposée pour estimer la densité de

l'espèce-cible des flottilles de caseyeurs. L'exemple traité est celui de la pêcherie du buccin *Buccinum undatum* (L.) de la côte ouest du Cotentin (Manche occidentale).

Le casier n'est généralement pas considéré comme un engin d'échantillonnage quantitatif, car il est difficile de rapporter l'abondance des animaux capturés à une surface connue. L'une des premières tentatives pour

pallier cette lacune est due à Miller (1975), qui a estimé indirectement la superficie de pêche du casier à crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*) en s'aidant de photographies sous-marines. Plus récemment, Ito *et al.* (1981) ont proposé d'évaluer l'aire soumise à l'influence de l'appât (« gathering area ») en lâchant des gastéropodes marqués (*Neptunea arthritica* dont la coquille avait été peinte) à des distances connues du point d'immersion d'un casier. Les résultats de ces derniers auteurs appellent toutefois plusieurs réserves, tenant entre autres au « stress » imposé aux mollusques, ainsi qu'à la longueur du délai écoulé entre le début de l'expérience et la fin des recaptures (13 jours).

Plus prometteuse nous a semblé l'approche de Eggers *et al.* (1982), qui postulent que le casier (ou bien encore l'hameçon d'une ligne de fond) exerce son attraction sur les animaux benthiques situés à l'intérieur d'un périmètre circulaire; le problème est alors d'en estimer le rayon. De cette idée s'inspire le protocole décrit ci-après.

### MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'objectif de l'étude est d'estimer la surface efficace couverte par le panache attractif du casier dans les conditions habituelles de son utilisation par les pêcheurs. Ce contexte a imposé deux contraintes, concernant notamment :

- le choix du matériel : casiers à bulots et appât double (crabe+poisson) employés par les professionnels;
- la durée d'immersion des filières : elle vaut en général 24 h, rarement 48 h ou plus (Santarelli-Chaurand, 1985), soit au moins deux périodes de l'onde de marée  $M_2$ . Dans le golfe normano-breton, la propagation de cette onde, associée au remplissage des baies, engendre une circulation périodique dont le caractère alternatif s'accroît avec la proximité de la côte (fig. 1; voir aussi les figures 12 à 14 de Pingree *et al.*, 1985).

### Choix du modèle

#### Aire d'influence chimique d'un casier

La géométrie de l'aire balayée par le panache attractif est déterminée par l'orientation préférentielle du balancement de la masse d'eau induit par la marée. En effet, pour un casier isolé immergé dans une eau immobile, la diffusion turbulente horizontale des molécules attractives émises par l'appât engendre sur le fond (supposé plat) une surface circulaire dont le périmètre correspond à un niveau donné de concentration. Dans une eau animée d'un mouvement de direction et de vitesse constantes, le panache d'influence s'étire sous le courant (Okubo, 1980); si la direction n'est plus constante, mais que le mouvement est giratoire, le panache aura balayé une zone circulaire après un cycle. Dans le golfe normano-breton, l'orientation du processus advectif engendré par la marée change en même temps que sa vitesse (fig. 1); le mouvement résultant présente en outre un caractère alternatif marqué. L'aire soumise à l'influence du casier pendant une période  $M_2$

s'allonge dans la direction des courants les plus intenses, et ne peut donc plus être assimilée à une surface circulaire comme dans le modèle de Eggers *et al.* (*op. cit.*). Une première hypothèse sera donc introduite ici : le périmètre de la zone d'influence du casier peut être décrit par une ellipse.

Seul est donc défini jusqu'à présent un modèle plausible de la forme de l'aire d'influence chimique du casier, déterminée par les phénomènes physiques d'advection et de dispersion. La frontière de cette zone correspond quant à elle au seuil de chémosensibilité de l'*osphradium* du buccin. En effet, malgré l'échec des tentatives d'enregistrement de l'activité des nerfs osphradiaux afférents (Bailey, Laverack, 1963), il est aujourd'hui admis que l'*osphradium* est essentiellement un chémorécepteur. Au surplus, celui du buccin représente la forme la plus élaborée du développement de cet organe chez les mollusques (Bailey, Benjamin, 1968). Il est situé dans une gouttière de la cavité palléale qui canalise le courant siphonal inhalant : cette disposition, jointe à la mobilité du siphon, confère au buccin une chémosensibilité directionnelle (Wells, 1968).

#### Aire de capture effective du casier

Le seuil de concentration des molécules attractives à partir duquel est stimulée l'activité des nerfs osphradiaux étant inconnu (*vide supra*), la portée du panache attractif de l'appât ne peut pas être déterminée. Toute-

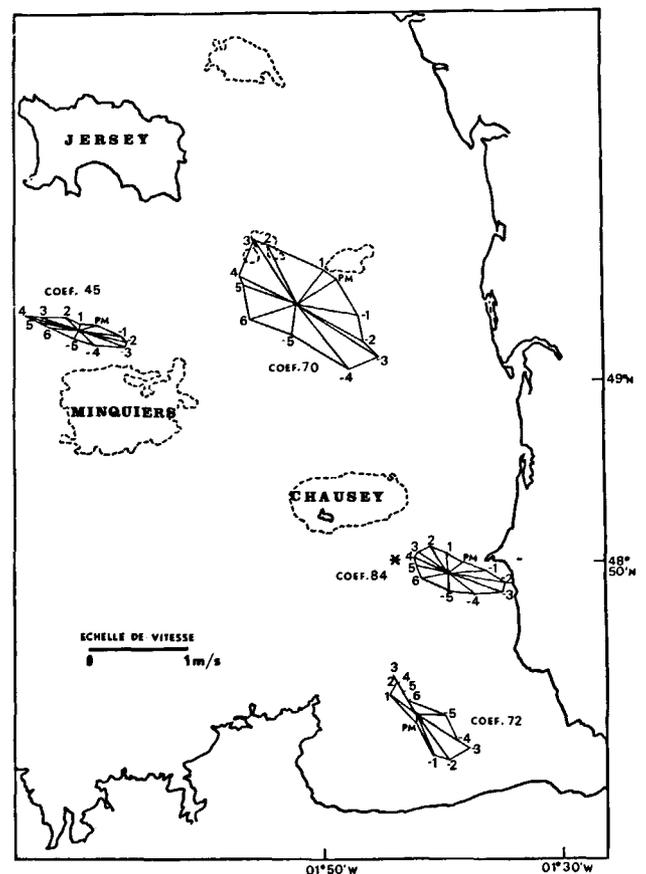


Figure 1  
Courants de marée dans le golfe normano-breton (Manche Ouest), et localisation (\*) de la filière expérimentale.  
 $M_2$  tidal currents in the Channel Isles region, and location of the experimental ground line (\*).

fois, le problème n'est pas ici de définir la zone soumise à l'influence chimique du casier, mais d'estimer son aire de capture effective : celle à l'intérieur de laquelle chaque buccin détecte l'appât pendant un temps suffisant pour pouvoir l'atteindre. Pour en estimer la surface, il est nécessaire d'ajouter une seconde hypothèse à celle précédemment émise : l'aire de capture effective est incluse dans l'aire d'influence chimique. En effet, compte tenu de l'éthologie du bulot, la sensibilité de ses chémorécepteurs ne constitue vraisemblablement pas ici le facteur limitant. Par conséquent, il sera admis que l'aire de capture effective est bornée par les capacités de déplacement du buccin, et non par le seuil (inconnu) de détection de l'appât. La progression du buccin sur le substrat est assurée par une onde de contraction de la sole pédieuse; l'animal se déplace ainsi à une vitesse qui a été évaluée de deux manières :

— d'abord très approximativement, par observation directe, à l'aide d'une caméra sous-marine placée à proximité d'un casier. Il a été vérifié que les buccins réagissent immédiatement à la présence de l'appât, vers lequel ils se dirigent sans écarts à contre-courant. La vitesse maximale ainsi estimée pour les plus gros individus (ca. 66 mm de hauteur de coquille) n'excéderait pas  $20 \text{ cm mn}^{-1}$ ;

— puis par des mesures effectuées au laboratoire sur un lot de 35 animaux de taille comprise entre 20 et 80 mm, recueillis en janvier 1985 sur la zone de pêche. Maintenus à jeun dans une eau à 6-9°C, puis attirés par un mélange de crabe et poisson, ils progressent sur le sable à la vitesse  $V$  :

$$V (\text{cm mn}^{-1}) = 0.083 H (\text{mm}) + 5.82,$$

où  $H$  désigne la hauteur de la coquille. A la valeur de la taille moyenne des captures ( $H = 50 \text{ mm}$ ) correspond donc une vitesse de l'ordre de  $10 \text{ cm mn}^{-1}$ .

### Protocole expérimental

La filière type utilisée dans la pêcherie du golfe normano-breton est grée de 50 à 60 casiers, l'intervalle séparant deux casiers consécutifs valant 12 m. Aux termes d'un accord conclu entre les différents partenaires de l'interprofession (dragueurs, chalutiers, caseyeurs), les filières sont toujours orientées nord-sud quand elles sont mises à l'eau, afin d'éviter qu'elles ne s'accrochent soit entre elles, soit avec les autres engins de pêche.

La filière expérimentale utilisée dans cette étude a été orientée de la même manière, c'est-à-dire à environ 70° de l'axe majeur de l'ellipse des courants de marée. Si l'on postule que la surface de capture effective est elliptique, que son grand axe forme avec la filière un même angle de 70°, le problème est alors d'estimer les longueurs des axes de cette ellipse. La question a été résolue en étudiant la variation de la capture par casier en fonction des variations des distances le séparant des deux casiers qui l'encadrent.

La figure 2 représente les aires théoriques de capture effective de quatre casiers ( $P_1, \dots, P_4$ ) parmi les 50 qui constituent la filière expérimentale. Le casier  $P_1$  est isolé, et contient après 24 h d'immersion une capture

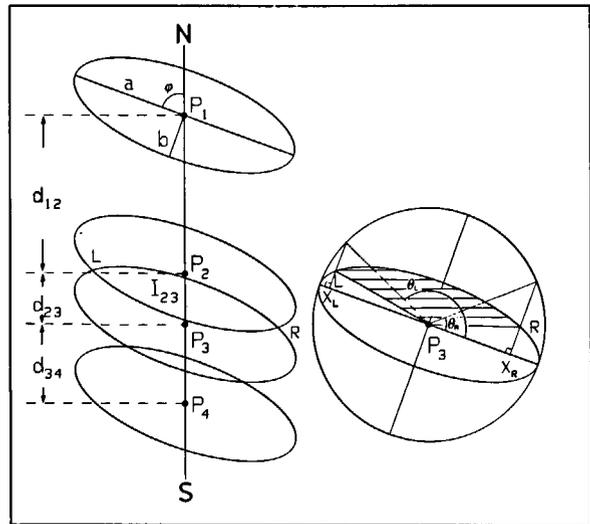


Figure 2

Modèle des aires de capture effective des casiers de la filière expérimentale, et définition des notations utilisées dans le texte. L'angle  $\Phi$  est celui que forment l'axe majeur de l'ellipse des courants de marée avec la direction nord-sud de la filière. Sur le schéma de droite sont précisés les éléments intervenant dans le calcul de la surface d'intersection  $I_{23}$  : l'aire  $A$  du secteur d'ellipse  $y$  est identifiée par des hachures (voir texte).

Left: model of the geometry of the elliptical capture fields of four whelk-pots,  $P_1, \dots, P_4$  from the experimental ground line;  $\Phi$  is the angle between the line and the major axis of the  $M_2$  tide. Right: definition of the features used in calculating the intersection area  $I_{23}$  between two adjacent fields; hatching: area of the sector  $A$  (see text).

maximale théorique  $C_{\max}$  provenant de la surface  $\pi \cdot a \cdot b$  couverte par l'ellipse. Au contraire, sur la zone de pêche du casier  $P_3$ , empiètent celles des casiers  $P_2$  et  $P_4$ . Soient  $I_{23}$  ( $d_{23}; a, b$ ) et  $I_{34}$  ( $d_{34}; a, b$ ) les surfaces de l'intersection des aires de capture des casiers  $P_2$  et  $P_3$ , et des casiers  $P_3$  et  $P_4$  respectivement. La capture théorique  $\tilde{C}_3$  du casier  $P_3$  vaut :

$$\tilde{C}_3 = \frac{C_{\max}}{\pi ab} \left[ \pi \cdot a \cdot b - \frac{1}{2} (I_{23} + I_{34}) \right].$$

Les surfaces  $I$  sont calculées comme suit : soit  $A$  l'aire du secteur limité par les segments  $P_3 L, P_3 R$ , et par le petit arc  $LR$  de l'ellipse entourant le casier  $P_3$  (fig. 2).

$$A = a \cdot b (\theta_L - \theta_R) / 2,$$

où les angles  $\theta_L$  et  $\theta_R$ , exprimés en radians, valent :

$$\theta_L = \text{Arc cos} (X_L / a), \quad \theta_R = \text{Arc cos} (X_R / a),$$

avec :

$$X_{L,R} = (-k_2 \mp \sqrt{(k_2^2 - 4k_1 k_3)}) / (2k_1)$$

$$k_1 = \left( \frac{b^2}{a^2} \cot^2 \Phi + 1 \right) a^2$$

$$k_2 = - \left( \frac{b^2}{a^2} \cot^2 \Phi + 1 \right) \left( \frac{d_{23} \cos \Phi}{a^2} \right)$$

$$k_3 = \frac{d_{23}^2 \cos^2 \Phi}{2} \left( \frac{b^2}{2a^4} \cot^2 \Phi + \frac{\text{tg}^2 \Phi}{2b^2} + \frac{1}{a^2} \right) - 1$$

De la surface  $A$  est ensuite retranchée celle du triangle  $P_3 LR$ , d'où la valeur de  $I_{23}/2$ .

Dans la définition des surfaces  $I$ , le facteur contrôlé est la distance inter-casiers  $d$  (fig. 2). Une gamme de

Tableau 1

Résultats des pêches réalisées avec la filière expérimentale les 22, 24 et 25 mai 1984. Première colonne : indice  $j$  du casier. Deuxième colonne : facteur contrôlé, distance au casier  $j+1$  (exprimée en mètres). Trois dernières colonnes : valeurs observées des prises par casier  $C_j$  (en kilogrammes); les données jugées aberrantes sont entre parenthèses.

Catches (kg/pot) obtained on 22, 24 and 25 May 1984 with the experimental ground line. First column: index  $j$  of the whelk-pot. Second column: controlled factor, distance (in metres) to the next pot. Last three columns: observed values of  $C_j$  (in kilograms); figures in brackets are outliers.

Indice $j$ du casier	Distance au casier $j+1$	Captures par casier		
		22 mai	24 mai	25 mai
1	23.8	3.15	3.80	2.25
2	11.9	2.50	2.30	1.65
3	6.0	2.50	2.25	1.40
4	23.8	2.30	2.50	1.35
5	23.8	2.30	2.75	1.40
6	6.0	1.35	1.65	1.50
7	11.9	2.10	1.10	1.45
8	23.8	1.95	1.95	1.05
9	35.7	1.65	3.25	2.50
10	35.7	2.45	2.95	2.70
11	23.8	2.80	2.25	1.30
12	11.9	2.95	2.00	1.95
13	6.0	2.15	1.25	1.65
14	6.0	1.95	1.45	1.60
15	23.8	2.40	1.30	1.40
16	35.7	(1.65)	(2.55)	(0.95)
17	6.0	2.30	1.95	1.40
18	35.7	2.30	1.65	1.20
19	6.0	1.80	2.05	1.60
20	11.9	1.75	2.15	1.00
21	6.0	1.80	2.20	1.15
22	31.5	1.30	2.40	1.65
23	35.7	3.55	2.65	2.05
24	11.9	1.60	2.85	1.25
25	35.7	2.35	2.80	1.75
26	11.9	1.55	(1.15)	1.95
27	23.8	1.75	2.60	1.90
28	35.7	2.10	2.85	1.20
29	23.8	2.65	3.05	1.65
30	23.8	2.00	3.00	1.85
31	23.8	2.20	3.15	2.15
32	23.8	2.60	3.10	2.25
33	11.9	2.60	2.60	2.55
34	23.8	2.10	2.45	2.30
35	35.7	2.00	2.85	3.35
36	23.8	0.40	3.35	(1.35)
37	6.0	2.60	2.45	1.65
38	6.0	0.70	2.85	2.60
39	11.9	1.15	2.10	2.30
40	35.7	1.45	2.85	3.15
41	6.0	2.00	3.90	2.65
42	35.7	1.45	3.35	2.30
43	11.9	1.70	2.85	2.75
44	11.9	1.75	2.25	2.20
45	6.0	1.75	3.25	1.65
46	11.9	1.65	3.10	1.85
47	6.0	1.60	3.65	2.05
48	6.0	1.45	2.75	2.05
49	11.9	1.70	2.75	2.05
50	—	1.05	2.60	2.45

quatre valeurs a été fixée *a priori* pour disposer les 50 casiers sur la filière expérimentale : 6, 11,9, 23,8 et 35,7 m (tab. 1). La seconde (11,9 m) est celle qu'utilisent habituellement les pêcheurs. Une fois gréée, la filière mesure 935 m de long. Afin d'éviter le biais que pourraient induire les variations locales de la densité des buccins, les distances inter-casiers ont été aléatoirement distribuées le long de la filière (tab. 1).

Les expériences ont eu lieu à environ 4 milles au large de Granville par 48°50'N et 1°43'W (fig. 1). La filière a été immergée trois fois pour une durée de 24 h cha-

cune les 22, 24 et 25 mai 1984, en période de morte-eau (coefficient 40).

### Critère d'optimalité et identification des paramètres

Soient trois casiers consécutifs  $P_i, P_j, P_k$  ( $i=1, 2, \dots, 48; k=3, 4, \dots, 50$ ), et soit  $\tilde{C}_j$  la capture théorique du casier  $j$ . D'après ce qui précède :

$$\tilde{C}_j = \psi(d_{ij}, d_{jk}; a, b, C_{max}).$$

A la relève de la filière est observée dans le  $j$ -ième casier une capture  $C_j$ . Les 3 paramètres  $a$  (demi grand axe),  $b$  (demi petit axe) et  $C_{max}$  (capture d'un casier isolé) sont identifiés en minimisant l'écart quadratique total  $S$  entre les captures observées  $C_j$  et les captures théoriques  $\tilde{C}_j$  :

$$S(a, b, C_{max}) = \sum_{j=1}^{50} (C_j - \tilde{C}_j)^2.$$

Les valeurs optimales  $a^*, b^*, C_{max}^*$  retenues pour calculer l'aire de capture effective du casier et estimer la densité des bulots vérifient donc :

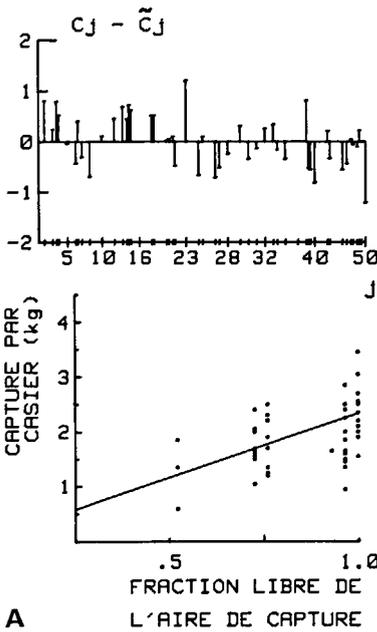
$$S(a^*, b^*, C_{max}^*) = \min \left\{ s(a, b, C_{max}) \right\}$$

Le minimum de la fonction-objectif  $S$  a été atteint à l'aide d'un algorithme d'exploration directe (Simplex de Nelder et Mead, 1965). La précision de l'estimation des paramètres a été évaluée par la technique du jackknife (cf. Efron, 1982) employée sous la forme la plus usuelle, c'est-à-dire en calculant une pseudo-valeur pour chaque observation  $C_j$ . Il faut cependant souligner que les variances de Quenouille-Tukey ainsi obtenues supposent un échantillonnage aléatoire simple des observations. Or, dans la présente étude, les casiers n'ont pas été posés « au hasard » sur les gisements de buccins; seules les distances entre casiers ont fait l'objet d'une aléatisation. En toute rigueur, les variances d'échantillonnage ainsi estimées sont d'interprétation délicate. Elles permettent néanmoins d'apprécier le degré de confiance que l'on peut accorder aux résultats; d'autre part, le jackknife fournit un moyen efficace de détection des valeurs aberrantes (Huber, 1972).

### RÉSULTATS

Les résultats de l'ajustement du modèle aux captures  $C_j$  sont représentés par la figure 3 a, b, c.

Les écarts à l'ajustement des captures observés le 22 mai 1984 apparaissent à la figure 3 a (graphe supérieur). L'échelle des abscisses reproduit la disposition physique des casiers sur la filière, et montre l'aléatisation des quatre valeurs choisies pour la distance entre casiers. Les écarts  $C_j - \tilde{C}_j$  ne manifestent pas de tendance structurée. Deux casiers qui avaient roulé sur le fond (n°s 16 et 36), et fourni des valeurs aberrantes (tab. 10), ont été éliminés. Les variations des prises par casier en fonction du pourcentage de la surface de capture effective non contaminée par les casiers adjacents, sont présentées à la figure 3 a (graphe inférieur). Les valeurs



**A**  
Figure 3a

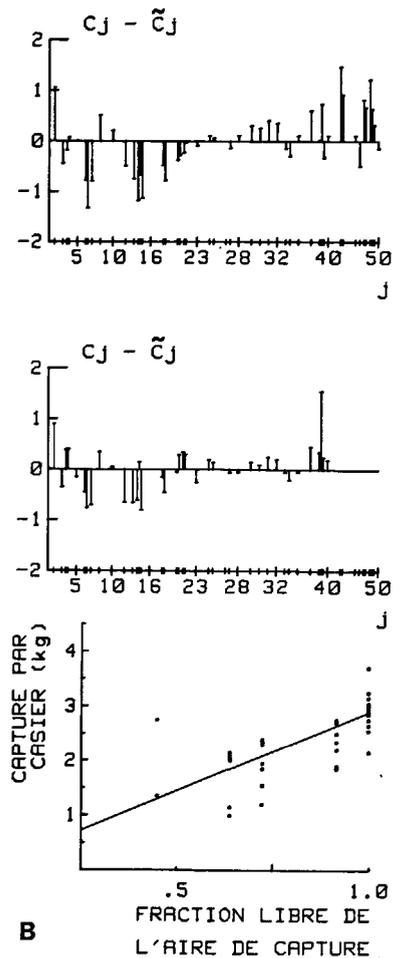
Expérience du 22 mai 1984. Graphe supérieur, échelle des abscisses : positions relatives des casiers de la filière expérimentale ( $j=1, \dots, 50$ ); ordonnées : écarts à l'ajustement. Graphe inférieur : variations de la capture par casier en fonction de la proportion de la surface de pêche non soumise à l'influence des casiers adjacents.

Experiment of 22 May 1984. Upper graph, abscissa scale: relative positions of the whelk-pots on the ground line, showing the randomization of the four selected values of between-pots distances. Ordinates: differences between observed and expected catches per pot (in kilograms). Lower graph: Variations of catches per pot as a function of the non-overlapping proportion of the capture field.

Figure 3b

Expérience du 24 mai 1984. Le graphe du haut représente les écarts à l'ajustement pour l'ensemble des casiers de la filière. Le graphe du milieu et celui du bas illustrent les résultats obtenus après élimination des captures  $C_{41}$  à  $C_{50}$ .

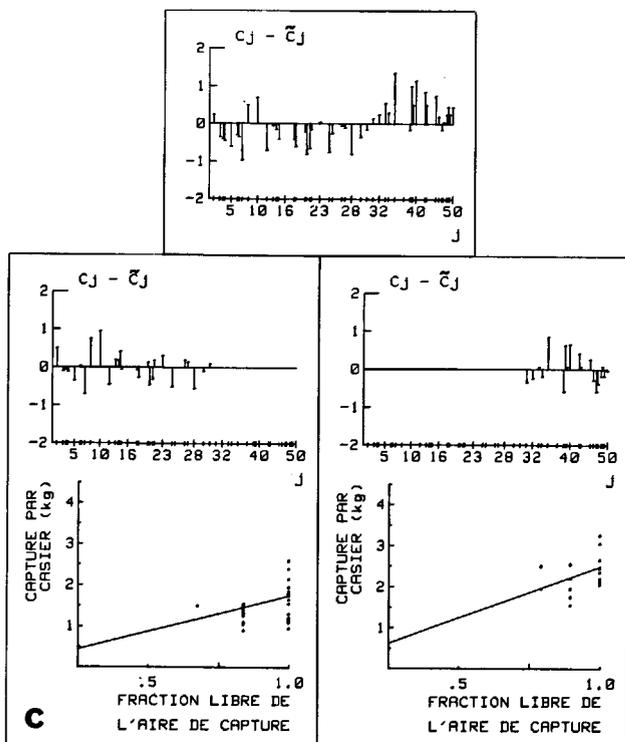
Experiment of 24 May 1984. Upper graph: plot of residuals of the LS fit (to the whole data set  $C_1, \dots, C_{50}$ ) of the theoretical relation between catch per pot and pot spacing. Two lower graphs: results of fitting the model to the observed catches  $C_{41}, \dots, C_{50}$ .



**B**

optimales  $a^*$ ,  $b^*$ , et  $C_{max}^*$  sont inscrites dans la première colonne du tableau 2.

Pour les expériences des 24 et 25 mai, les phénomènes de microrépartition des bulots ont compliqué l'identification des paramètres. Ainsi, les écarts à l'ajustement du modèle à l'ensemble des captures réalisées le 24 mai (fig. 3 b, graphe supérieur) montrent une nette tendance spatiale. De plus, les dix derniers casiers contiennent à



**C**  
Figure 3c

Expérience du 25 mai 1984. Graphe supérieur : écarts  $C_j - \tilde{C}_j$  pour  $j=1, \dots, 50$ . Graphes médians et inférieurs : résultats de l'ajustement du modèle aux captures  $C_1$  à  $C_{30}$  (à gauche), et  $C_{31}$  à  $C_{50}$  (à droite).

Experiment of 25 May 1984. Upper graph: plot of residuals of the fit to the whole data set  $C_1, \dots, C_{50}$ . Lower graphs: results of fitting the model to observed catches  $C_1, \dots, C_{30}$  (left), and  $C_{31}, \dots, C_{50}$  (right).

Tableau 2

Résultats de l'ajustement aux captures par casier de la filière expérimentale. Lignes 1 à 3 : valeurs optimales  $a^*$ ,  $b^*$  et  $C_{max}^*$  des paramètres du modèle, et erreurs-standard (entre parenthèses) estimées par la technique du jackknife. Ligne 4 : surface de capture effective (estimée) d'un casier. Ligne 5 : estimations de la densité des buccins.

Results of the fit of the capture field model to data obtained on 22, 24 and 25 May 1984. First three rows: LS parameter estimates (with Quenouille-Tukey standard errors in brackets) of semimajor and semiminor axes  $a^*$  and  $b^*$  (in metres), and of  $C_{max}^*$  catch of an isolated pot (in kilograms). 4th row: estimated area ( $m^2$ ) of the capture field of the whelk-pot. 5th row: whelk density estimates ( $individuals.m^{-2}$ ).

	22 mai	24 mai	25 mai	
	$C_1 - C_{50}$	$C_1 - C_{40}$	$C_1 - C_{30}$	$C_{31} - C_{50}$
$a^*$ (m)	17.54 (5.93)	20.40 (3.55)	19.57 (5.76)	17.90 (4.23)
$b^*$ (m)	6.65 (3.79)	7.80 (1.26)	5.00 (2.19)	4.13 (0.90)
$C_{max}^*$ (kg)	2.34 (0.33)	2.90 (0.11)	1.75 (0.14)	2.49 (0.14)
Surface de capture effective d'un casier ( $m^2$ )	366.4 (258.3)	500.1 (89.4)	307.2 (86.9)	232.3 (64.0)
Densité des buccins ( $individus/m^2$ )	0.351 (0.247)	0.349 (0.062)	0.313 (0.150)	0.590 (0.159)

peu près tous la capture maximale ( $C_{41}$ – $C_{50}$ , tab. 1, 2<sup>e</sup> colonne), indépendamment des modifications de la distance les séparant des casiers voisins. Cela est interprété comme résultant de la pose de l'extrémité de la filière (environ 100 m) dans une « tache » de forte densité. Les prises des dix derniers casiers, qui n'apportent aucune information sur les paramètres  $a$  et  $b$ , ont donc été supprimées de l'ajustement (fig. 3 b, graphe du milieu). Les résultats du modèle appliqué à la série d'observations  $C_1, \dots, C_{40}$  sont illustrés par la figure 3 b (graphe inférieur); les valeurs numériques correspondantes sont consignées dans la deuxième colonne du tableau 2. Bien qu'elles n'aient pas participé à l'ajustement, les captures  $C_{41}, \dots, C_{50}$  ont évidemment été employées pour estimer l'abondance des buccins.

Les variations locales (à l'échelle du kilomètre) de la densité des buccins ont également contraint à découper la série des  $C_j$  observés le 25 mai : les écarts à l'ajustement global (fig. 3 c, graphe supérieur) montrent une augmentation des captures à partir du trentième casier. Néanmoins, à la différence du cas précédent, les quantités atteintes ne sont jamais telles qu'elles occultent l'influence des distances entre casiers sur les prises. Les paramètres  $a$ ,  $b$  et  $C_{\max}$  ont donc été identifiés en ajustant le modèle à la série  $C_1, \dots, C_{30}$  d'une part, et à la série  $C_{31}, \dots, C_{50}$  d'autre part (fig. 3 c, graphes médian et inférieur à gauche et à droite respectivement; tab. 2, 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> colonnes).

## DISCUSSION ET CONCLUSION

Il doit être préalablement rappelé que la définition du modèle géométrique de l'aire de capture s'appuie sur deux hypothèses, à savoir :

- la frontière de détection de l'appât est elliptique;
- l'aire de capture effective du casier est incluse dans son aire d'influence chimique.

Pour vraisemblable que soit la première hypothèse (induite par la connaissance de l'hydrologie du lieu où se sont déroulées les expériences), elle demeure cependant trop schématique pour rendre compte des interactions complexes entre casiers d'une même filière : ainsi, deux casiers voisins agissent en synergie à distance (par « cumul » de leurs panaches attractifs), mais entrent progressivement en concurrence au fur et à mesure que les bulots s'en approchent. Quant à la seconde hypothèse, elle est sans doute vraie pour la durée d'immersion retenue (24 h), mais il n'est pas certain qu'elle soit valide au-delà : en théorie, si le pouvoir attractif de l'appât restait constant, l'aire de capture effective tendrait à se confondre avec l'aire d'influence chimique quand le temps d'immersion augmente. De surcroît, plusieurs phénomènes interviennent de façon déterminante en cas d'immersion prolongée; ce sont principalement :

- l'échappement, dont l'importance a été quantifiée par Munro (1974) pour des nasses à poissons immergées jusqu'à 2 semaines;
- la saturation de l'engin, qui dépend non seulement du comportement de l'espèce-cible (en particulier sa capacité à s'échapper du piège), mais aussi des caracté-

ristiques du casier et de la stratégie de pêche (Miller, 1979);

- l'immigration éventuelle d'animaux initialement hors de portée du panache attractif, et qui rencontrent celui-ci au cours de leurs déplacements;

- l'atténuation des effluves émis par l'appât, ainsi que la consommation de ce dernier par les captures.

Ces problèmes, qui deviennent cruciaux dans les pêcheries où les casiers restent au fond pendant plusieurs jours, impliquent la mise au point de protocoles aptes à identifier les composantes de la variabilité multifactorielle des prises par casier (Miller, 1983). Leur impact a été considéré comme mineur dans le cas de la présente étude, consacrée à une pêcherie où la relève des filières est quasi quotidienne (Santarelli-Chaurand, 1985), et où l'espèce-cible est un gastéropode à déplacements lents. Cela a permis d'estimer la surface de capture du casier. En contrepartie, les résultats ne valent que rapportés au cadre précis du protocole, et plus spécialement au temps d'immersion de la filière (fixé à 24 h), et au type d'appât (celui usuellement employé dans la pêcherie).

Dans ce contexte, qui reproduit les habitudes de la profession, les valeurs optimales  $a^*$  et  $b^*$  déterminées à partir des trois expériences apparaissent cohérentes entre elles. Les rapports  $b^*/a^*$  sont de plus compatibles avec la valeur de l'ellipticité des courants de marée, prévue entre 20 et 40% par le modèle de Pingree *et al.* (1985, fig. 14 b) dans la zone étudiée. Enfin, si les bulots se déplacent vers le casier à la vitesse moyenne de  $6 \text{ m h}^{-1}$  (*vide supra*), et qu'ils se trouvent dans le panache attractif pendant 3 à 4 h lorsque l'orientation du courant est proche soit de l'W-NW, soit de l'E-SE (fig. 1), ils peuvent alors parcourir une distance correspondant précisément à la longueur  $a^*$  du demi grand axe de l'ellipse.

La surface de capture effective du casier vaut donc en moyenne  $371,5 \text{ m}^2$  (erreur standard :  $98,2 \text{ m}^2$ ); la variabilité provient vraisemblablement de la simplicité du modèle choisi : outre le fait que l'ellipse ne constitue qu'une approximation de la zone de capture, il n'est pas sûr que l'emprise de la filière soit assimilable à la simple somme des emprises de chaque casier; cette possible synergie n'a pas été prise en compte. Quant aux variations de la capture maximale théorique  $C_{\max}$  (de 1,75 à 2,90 kg, toujours inférieure à la contenance maximale du casier), elle est essentiellement attribuable à l'hétérogénéité spatiale de la répartition des buccins. Ayant préalablement établi qu'à 1 kg de buccins correspondent 55 individus, leur densité moyenne en nombre dans le secteur prospecté est estimée à  $0,374 \text{ individus.m}^{-2}$  (erreur standard :  $0,098 \text{ individus.m}^{-2}$ ); il est difficile de valider cette évaluation en la comparant aux résultats d'autres auteurs, étant donnée la rareté des références disponibles. Au mieux peut-on signaler que cette valeur est du même ordre que celles trouvées au Danemark par Petersen (1911), ou en Manche par Holme (1966). Deux sources d'imprécision peuvent néanmoins intervenir :

- S'il est admis que le facteur qui limite la portée du panache attractif est la capacité de déplacement du buccin, et sachant que cette dernière augmente avec la

taille de l'animal, alors la vulnérabilité des plus grands individus est supérieure à celle des plus petits. Il s'ensuit que l'aire de capture effective est plus restreinte pour ceux-ci que pour ceux-là, et que les prises par casier offrent une image déformée de la structure démographique des buccins qui détectent l'appât.

— Pour des raisons pratiques, les expériences ont eu lieu par faible coefficient de marée. Les variations de ce facteur ne seraient *a priori* susceptibles que de modifier l'aire d'influence chimique, mais pas l'aire de capture effective si l'augmentation de la vitesse du courant ne ralentit pas la progression des bulots (qui se dirigent vers l'appât à contre-courant). Ce point mériterait cependant d'être vérifié.

A cet égard, le protocole proposé pourrait faire l'objet de quelques améliorations :

— en augmentant la plage des variations du facteur contrôlé (la distance entre casiers), spécialement dans la gamme des faibles valeurs. Il s'est en effet révélé *a posteriori* que la proportion de l'aire de capture d'un casier non soumise à la contamination des deux casiers adjacents est toujours supérieure à 50%, le plus souvent à 75% (fig. 3 a, b, c). Ce résultat montre que les pêcheurs ont empiriquement établi un compromis performant entre l'efficacité de la filière (la proportion de recouvrement correspondant à la distance de 12 m est de l'ordre de 10%) et les contraintes imposées par sa manœuvre (et aussi par son coût);

— en associant un courantomètre à la filière expérimentale, afin de connaître plus précisément, entre autres, l'orientation de l'axe majeur du courant oscillant à la période  $M_2$ ;

— en examinant la stabilité des résultats lorsque les casiers ne sont immergés que pendant une période  $M_2$  (au lieu de deux). En effet, la capture théorique  $\tilde{C}_3$  du casier  $P_3$  (cf. fig. 2) serait alors calculée comme suit :

$$\tilde{C}_3 = [1 - I_{23}/(\pi \cdot a \cdot b)]$$

ou bien :

$$\tilde{C}_3 = [1 - I_{34}/(\pi \cdot a \cdot b)],$$

le choix de l'expression adéquate étant dicté par l'heure de pose de la filière et par le sens de rotation du courant. Dans la présente étude, la durée d'immersion vaut 24 h. Aucune des deux formules précédentes n'est donc adaptée au calcul de  $\tilde{C}_3$ , et il a été décidé de comptabiliser dans l'aire de capture effective d'un casier la moitié de chacune des surfaces d'intersections avec les aires des deux casiers adjacents (dans la gamme des distances retenues, les intersections ne font jamais intervenir plus de deux ellipses).

Bien que dépourvue des aménagements inventoriés ci-dessus, la méthode employée conduit à des résultats qui démontrent la possibilité d'échantillonner quantitativement la macrofaune benthique vagile à l'aide d'un engin de capture dormant associé à un attractant organique. L'option choisie a été ici l'identification des paramètres permettant de calculer les aires de capture, en contrôlant les variations de leurs surfaces de recouvrement mutuel; il est donc nécessaire d'utiliser conjointement plusieurs casiers. Cela n'est pas toujours réalisable, particulièrement lorsqu'il faut immerger en milieu profond un matériel coûteux; ainsi, l'évaluation de la densité de l'épibenthos abyssal procède-t-elle de l'utilisation de nasses autonomes (Desbruyères *et al.*, 1985). Pour définir la zone balayée par les effluves de l'appât, ces auteurs ont décrit le panache attractif à l'aide d'un modèle numérique d'advection-dispersion autour de la source émettrice. Il est à noter que les deux démarches ne sont nullement incompatibles, et qu'appliquées simultanément ou non, elles offrent une solution spécialement intéressante quand la nature du substrat et/ou l'éthologie de l'espèce-cible interdisent le recours à d'autres techniques d'échantillonnage (par exemple bennes, chaluts).

## RÉFÉRENCES

- Bailey D.F., Laverack M.S., 1963. Central nervous responses to chemical stimulation of a Gastropod osphradium, *Nature*, **200**, 1122-1123.
- Bailey D.F., Benjamin P.R., 1968. Anatomical and electrophysiological studies on the Gastropod osphradium, *Symp. Zool. Soc. Lond.*, **23**, 263-268.
- Desbruyères D., Geistdoerfer P., Ingram C.L., Khripounoff A., Lagardère J.P., 1985. Répartition des populations de l'épibenthos carnivore, in : *Peuplements profonds du Golfe de Gascogne, Actes Colloques IFREMER*, 233-252.
- Efron B., 1982. *The jackknife, the bootstrap and other resampling plans*, CBMS-NSF, Regional conference series in applied mathematics No. 38, SIAM Ed., Philadelphia, Pennsylvania, 92 p.
- Eggers D.M., Rickard N.A., Chapman D.G., Whitney R.R., 1982. A methodology for estimating area fished for baited hooks and traps along a ground line, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **39**, 448-453.
- Holme N.A., 1966. The bottom fauna of the English Channel, *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, **46**, 401-423.
- Huber P.J., 1972. The 1972 Wald Lecture. Robust statistics: a review, *Ann. Math. Stat.*, **43**, 1041-1067.
- Ito H., Wakui T., Tateuchi Y., Tachizawa S., 1981. Observations on the behaviour of the sea-snail *Neptunea arthritica* towards a trap, *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.*, **46**, 97-111.
- Miller R.J., 1975. Density of the commercial Spider Crab, *Chionoectes opilio*, and calibration of effective area fished per trap using bottom topography, *J. Fish. Res. Board Can.*, **32**, 6, 761-768.

- Miller R.J., 1979. Saturation of crab traps: reduced entry and escapement, *J. Cons. Int. Explor. Mer*, **38**, 3, 338-345.
- Miller R.J., 1983. Considerations for conducting field experiments with baited traps, *Fisheries*, **8**, 5, 14-17.
- Munro J.L., 1974. The mode of operation of Antillean fish traps and the relationship between ingress, escapement, catch and soak, *J. Cons. Int. Explor. Mer*, **35**, 3, 337-350.
- Nelder J.A., Mead R., 1965. A simplex method for function minimization, *The Comput. J.*, **7**, 308-313.
- Okubo A., 1980. *Diffusion and ecological problems: mathematical models*, Biomathematics, Vol. 10, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 254 p.
- Petersen C.G.J., 1911. Some experiments on the possibility of combating the harmful animals of the fisheries, especially the whelks in the Limfjord, *Report of the Danish Biological Station*, Vol. **19**, 248-259.
- Pingree R.D., Mardell G.T., Maddock L., 1985. Tidal mixing in the Channel Isles region derived from the results of remote sensing and measurements at sea, *Estuarine, Coastal Shelf Sci.*, **20**, 1, 1-18.
- Santarelli-Chaurand L., 1985. Les pêcheries de buccin (*Buccinum undatum* L. : *Gastropoda*) du golfe normano-breton. Éléments de gestion de la ressource, *Thèse Doct., Univ. Aix-Marseille II*, 194 p.
- Wells M., 1968. *Les animaux inférieurs*, l'Univers des connaissances n° 35, Hachette éd., Paris, 254 p.

## Krakatau 1883. The volcanic eruption and its effects

par Tom Simkin et Richard S. Fiske  
Smithsonian Institution Press, 1983.

L'année 1983 a marqué le centenaire d'une des plus grandes catastrophes d'origine volcanique dont l'homme ait été le témoin. Il s'agit du Krakatau dont les débris du cratère effondré émergent entre Java et Sumatra. A cette occasion, la Smithsonian Institution de Washington a réuni toutes les données connues sur cet événement exceptionnel pour réaliser un livre de 450 pages qui intéressera un très large public. On connaît l'intérêt très ancien que porte cette glorieuse institution aux phénomènes volcaniques. Il se traduit aujourd'hui encore par l'édition mensuelle du bulletin SEAN (Smithsonian Institution's Scientific Event Alert Network) qui permet la publication rapide des informations concernant séismes et volcans envoyés par des observateurs scientifiques du monde entier.

Revenons à ce magnifique ouvrage à couverture rouge feu, très richement illustré de nombreuses reproductions dont une quinzaine de planches en couleurs d'excellente qualité. Il relate les explosions qui se sont succédées du 26 au 27 août 1883, accompagnées d'émissions de laves, de cendres et de nuées qui obscurcissent le ciel, ainsi que de vagues gigantesques qui inondèrent les régions côtières. Les 4 explosions les plus dévastatrices se succédèrent le 27 entre 5 h 30 et 10 h. Des vagues de 40 m détruisirent villes et villages du détroit (Anjer, Tjurin-gin, Mérak et Telok Betong). 36 417 personnes y périrent. L'édifice volcanique du Krakatau s'effondra dans la fin de la matinée sur plusieurs centaines de mètres de hauteur. En 1927, une nouvelle éruption édifia au centre de l'ancien cratère l'île de Anak Krakatau.

Chaque page révèle l'incroyable ampleur de ce cataclysme (que l'on compare à celui du Santorin). L'explosion principale fut entendue de l'île Rodriguez lointaine de 4 600 km; les cendres retombèrent à plus de 6 000 km de distance; un cargo fut retrouvé plus de 2 km plus loin. L'obscurité régna pendant 24 heures dans le détroit et des phénomènes lumineux atmosphériques dus aux gaz émis furent observés pendant 3 ans. Des blocs énormes de ponces dérivèrent dans l'Océan Indien pendant 10 mois. La température moyenne de l'atmosphère s'abaissa de 0,5° durant l'année qui suivit.

Les auteurs ont largement puisé dans le vaste ouvrage édité en 1888 par la Royal Society, mais consultèrent de nombreux documents d'archives non publiés. De même, ils reprirent le rapport officiel dressé par R. D. M. Verbeek en 1885 sur demande du gouvernement hollandais, dont les 3 premiers chapitres avaient seuls été publiés. Les auteurs rassemblèrent encore de nombreux témoignages dispersés dans des publications scientifiques ou non afin de faire revivre dans le détail cet événement exceptionnel. La réussite est totale et la lecture captivante.

Bien structuré, ce livre comprend une longue introduction où sont consignés chronologiquement les événements rapportés par les observateurs proches ou lointains. Puis trois chapitres constituent l'ossature de l'œuvre. Le premier comprend la relation de témoignages précis et passionnants, émanant souvent d'officiers de marine. Ensuite vient la première traduction en anglais d'une partie importante du rapport de Verbeek. Quelques magnifiques chronolithographies, reproduites en fin d'ouvrage, montrent l'infinie variation de coloration du ciel, due aux émissions gazeuses.

La troisième partie est une synthèse des articles scientifiques traitant des problèmes océanographiques, biologiques, atmosphériques, pétrographiques et autres, attachés à cette éruption. Leur relation est impossible ici, mais on mettra cependant l'accent sur la génération et la propagation d'ondes océaniques qui ont intrigué les dynamiciens. On sait que l'effondrement du cratère, suivi d'un glissement sous-marin et d'une expulsion explosive de vapeur d'eau engendrèrent des tsunamis qui engloutirent 165 villages et s'étendirent, avec une amplitude dégressive, à 450 milles autour du cratère. Mais la variation accidentelle de niveau fut également enregistrée en de nombreux points du globe, en Angleterre par exemple. La vitesse de propagation dans l'eau est trop nettement supérieure à la valeur  $\sqrt{gh}$  généralement observée. Il fallut donc trouver une autre explication. La plus séduisante a été proposée par Ewing et Press. La prodigieuse explosion du cratère (100 à 150 mégatonnes) engendra une onde atmosphérique qui put recréer des ondes marines au-delà des continents traversés, expliquant ainsi leur extension mondiale et la rapidité apparente de propagation. Selon Press et Harkrider (1966), des vitesses de phases atteignant 220 m/s en domaine atmosphérique sont possibles et compatibles avec des ondes marines induites ayant des vitesses comparables. Le dossier n'est sans doute pas clos, et les auteurs du livre appellent les océanographes à de nouveaux examens de cet étonnant phénomène.

On pourrait dire beaucoup d'autres choses sur ce magnifique ouvrage qui est autant un livre d'histoire qu'un livre scientifique. Il concerne tous les gens curieux des grands événements qui frappent notre globe, *a fortiori* les scientifiques spécialisés qui y trouvent une abondance et une richesse de données incomparables.

Signalons encore sur ce sujet un catalogue de 240 pages publié en 1981 par le même organisme, *Volcanoes of the world*, qui fournit une liste exhaustive des volcans en activité et leurs caractéristiques (T. Simkin *et al.*, distribué par Academic Press).

Maurice Genesseeux,  
Laboratoire de Géologie dynamique,  
Université Pierre-et-Marie-Curie,  
4, place Jussieu,  
75230 Paris Cedex 05.