

## CHAPITRE 10

### LES VARIANTES DU MODÈLE GLOBAL

Francis Laloë  
Institut français de recherche scientifique  
pour le développement en coopération (ORSTOM)  
213, rue de la Fayette  
75480 Paris CEDEX 10  
France

#### 10.1 INTRODUCTION

Le présent chapitre est destiné aux lecteurs qui désirent approfondir les notions théoriques sur les modèles globaux.

Le chapitre 9 décrit un grand nombre d'adaptations des modèles globaux classiques. Ces adaptations ont en général pour objectif la prise en considération de particularités qui rendent ces modèles classiques peu efficaces, voire inutilisables.

Ces adaptations peuvent être classées en trois catégories principales.

- a) Prise en considération de plusieurs espèces de plusieurs méthodes de pêche (modèles plurispécifiques ou pluriengins).
- b) Modification de la formulation du modèle.
- c) Techniques d'estimation des paramètres.

#### 10.2 MODÈLES PLURISPÉCIFIQUES OU PLURIENGINS

Dans le chapitre 9, la ressource exploitée a été décrite par une quantité ( $B_i$ ). Lorsque cette ressource est constituée de plusieurs stocks, un tel résumé peut ne pas être réaliste.

Lorsque toutes les unités de pêche utilisent une méthode de pêche se traduisant par des capturabilités toutes égales sur les différents stocks, et que ces derniers ont des longévités semblables, on peut supposer que les quantités  $H_i B_i$ ,  $i = 1..p$ , sont égales pour les  $p$  stocks (rappelons qu'on peut relier la quantité  $H_i B_i$  à la mortalité naturelle), ainsi que les capturabilités  $q_i$ ,  $i = 1..p$ . Dans ces conditions, pour un niveau d'effort « $f$ » à l'équilibre et à partir de l'équation du modèle de Schaefer, on obtient:

$$B_i(f) = B_{i0} + \frac{qf}{H_i} = B_{i0} \left( 1 + \frac{qf}{H_{i0}} \right)$$

3 0 AOUT 1993

201 O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 37958, ex 1

Cpte : B

L'égalité des  $H_i B_i = K$  entraîne celle des termes

$$\left(1 + \frac{qf}{H_i B_i}\right) = \left(1 + \frac{qf}{K}\right)$$

et on peut donc sommer les biomasses:

$$\sum_{i=1}^p B_i(t) = \left(1 + \frac{qf}{K}\right) \sum_{i=1}^p B_{i0}$$

Ainsi on peut réunir tous les stocks en une seule biomasse totale. Les hypothèses faites à la fois sur la ressource (mêmes longévités) et sur l'exploitation (capturabilités) semblables, sont très restrictives et il convient d'aborder les situations où il devient nécessaire de décrire la ressource par plusieurs biomasses ( $B_i, i = 1 \dots p$ ) et l'effort de pêche par plusieurs mesures ( $f_j, j = 1 \dots m$ ) correspondant aux  $m$  différentes méthodes de pêche existantes.

Les capturabilités peuvent alors être notées  $q_{ij}$ , représentant l'effet de la méthode  $j$  sur le stock  $i$ . On peut alors écrire:

Dans le cas de deux stocks, et de deux méthodes de pêche, chacune ne pouvant capturer que des individus d'un des deux stocks, on aura, en introduisant des interactions biologiques:

$$\begin{aligned} \frac{dB_1}{dt} &= H_1 B_1 (B_1 + a_{12} B_2 - B_{v1}) - q_1 f_1 B_1 \\ \frac{dB_2}{dt} &= H_2 B_2 (B_2 + a_{21} B_1 - B_{v2}) - q_2 f_2 B_2 \end{aligned}$$

À l'équilibre, pour les niveaux d'efforts  $f_1$  et  $f_2$ , ces équations s'écrivent (avec  $B_1$  et  $B_2$  non nuls):

$$\begin{aligned} 0 &= H_1 (B_1 + a_{12} B_2 - B_{v1}) - q_1 f_1 \\ 0 &= H_2 (B_2 + a_{21} B_1 - B_{v2}) - q_2 f_2 \end{aligned}$$

soit:

$$\begin{aligned} H_1 B_1 + H_1 a_{12} B_2 &= H_1 B_{v1} + q_1 f_1 \\ H_2 B_2 + H_2 a_{21} B_1 &= H_2 B_{v2} + q_2 f_2 \end{aligned} \quad [10.1]$$

Il s'agit d'un système de deux équations à deux inconnues  $B_1$  et  $B_2$  qui se résoud «aisément»:

et que les captures seront:

$$\begin{aligned} q_1 f_1 B_1 &= \alpha_1 q_1 f_1^2 + \beta_1 q_1 f_1 f_2 + \delta_1 q_1 f_1 \\ q_2 f_2 B_2 &= \alpha_2 q_2 f_2^2 + \beta_2 q_2 f_2 f_1 + \delta_2 q_2 f_2 \end{aligned} \quad [10.3]$$

La capture totale sera donc:

$$q_1 f_1 B_1 + q_2 f_2 B_2 = \alpha_1 q_1 f_1^2 + (\beta_1 q_1 + \beta_2 q_2) f_1 f_2 + \delta_1 q_1 f_1 + \alpha_2 q_2 f_2^2 + \delta_2 q_2 f_2 \quad [10.4]$$

On remarque qu'il y a cinq termes pour décrire l'impact des efforts, alors que dans le cas d'une étude monospécifique, il n'y en avait que deux. En présence d'un nombre généralement faible de données, ceci pose un problème délicat au niveau de l'ajustement.

L'exemple suivant (Pope, 1976) touche deux espèces 1 et 2 dont les biomasses à l'équilibre pour des mortalités:

$$F_1 = q_1 f_1 \quad \text{et} \quad F_2 = q_2 f_2$$

sont régies par les formules suivantes:

$$\begin{aligned} 0,43 - 0,000143 B_1 - 0,000118 B_2 - F_1 &= 0 \\ 1,10 - 0,001 B_2 - 0,0000 B_1 - F_2 &= 0 \end{aligned}$$

La figure 10.1 présente les prises totales à l'équilibre, en fonction des valeurs de  $F_1$  et  $F_2$ . On remarquera qu'il existe des «régions» dans lesquelles l'une des espèces (ou les deux) disparaît, ce qui est évidemment normal avec l'utilisation de modèles de Schaefer. Lorsque les deux espèces sont présentes, les isoplèthes de captures sont des ellipses dont les axes ne sont pas parallèles à ceux des mortalités. Ceci est la conséquence de la présence d'interactions biologiques.

Dans la réalité, si l'existence d'interactions biologiques est très probable, il est très difficile d'évaluer leur importance et même de «tester» leur présence, comme l'ont montré Sissenwine *et al.* (1982).

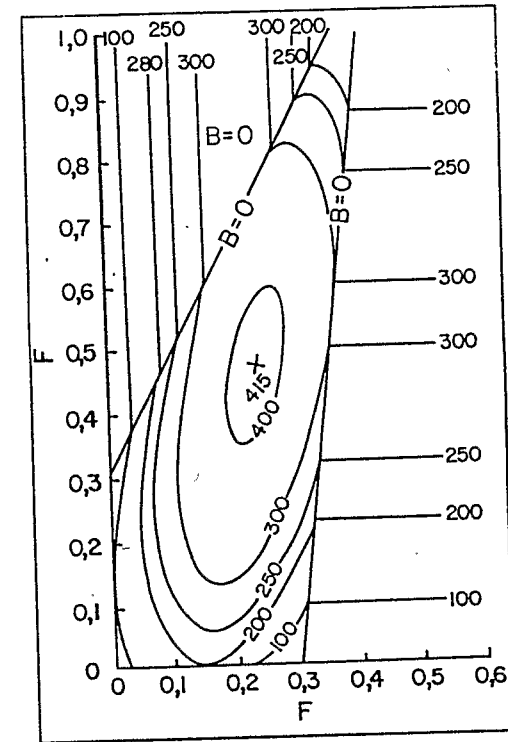


Figure 10.1 Captures en fonction des mortalités appliquées à deux espèces en présence d'interactions biologiques (Pope, 1976).

Lorsque les individus des deux stocks peuvent être capturés par au moins une des méthodes de pêche, on parle d'interaction «technologique». Dans ce cas, les équations 10.1 peuvent s'écrire:

$$H R + H_{1,2} B_2 = H_1 B_1 + q_{11} f_1 + q_{12} f_2 \quad [10.5]$$

Lorsqu'il y a des interactions technologiques, les termes  $\beta_1 f_2$  et  $\beta_2 f_1$  apparaissent même en l'absence d'interactions biologiques, et les captures totales s'expriment à nouveau selon des polynômes de degré 2 en fonction des efforts. Cependant, il n'est généralement pas possible de trouver une combinaison d'efforts conduisant à des captures correspondant à la PME de chacun des stocks.

D'une manière générale, les modèles plurispécifiques et pluriengins peuvent difficilement être traités sans recourir à l'utilisation du calcul matriciel. On trouvera des descriptions plus complètes des développements résumés ici dans Pope (1979) et Kirkwood (1982).

Les formules décrites précédemment l'ont été pour des situations d'équilibre et à partir de modèles de Schaefer, ce qui réduit beaucoup leur intérêt. L'utilisation du modèle généralisé de Pella et Tomlinson est difficile (Kirkwood, 1982). De plus, lorsque certaines unités de pêche peuvent choisir entre plusieurs tactiques en fonction des circonstances, la mortalité par pêche devient fonction de la ressource et de sa disponibilité. Ceci rend délicat le recours à l'approche globale en général et peut conduire à des situations de déséquilibre permanent (voir, par exemple, Garrod, 1973).

### 10.3 MODIFICATION DE LA FORMULATION DU MODÈLE

Les modifications de la formulation du modèle peuvent être introduites pour tenir compte de la non-validité de certaines hypothèses. Parmi celles-ci, on abordera:

- l'absence de proportionnalité entre biomasse exploitée et biomasse productive;
- l'absence de proportionnalité entre prises et efforts;
- l'introduction d'informations supplémentaires dans la formulation du modèle;
- la volonté d'intégrer des connaissances sur la structure démographique des populations et sur la croissance des poissons.

#### 10.3.1 La non-proportionnalité entre biomasse exploitée et biomasse productive

La non-proportionnalité entre biomasses exploitée et productrice peut être attribuable à de nombreuses raisons.

La biomasse de reproducteurs à un moment donné peut avoir un impact sur le nombre de poissons qui naîtront. Lorsque ces derniers atteindront l'âge de la première capture l'augmentation de biomasse qui

Les modèles «avec délai» de Walter (1973) et de Marchesseault *et al.* (1976) supposent que la production de biomasse à un instant  $t$  est fonction de la biomasse  $B_t$  et aussi de  $B_{t-1}$ , biomasse existante lorsque sont nés les poissons recrutés au temps  $t$  ( $t$ , est l'âge au recrutement).

Dans certains cas, en particulier pour les pêches à rayon d'action limité, il est possible qu'une part de la biomasse d'un stock reste inaccessible et constitue une «réserve» de production. On peut rendre compte d'un tel phénomène en remplaçant le terme « $qf(B-\alpha B_0)$ » où  $\alpha B_0$  représente une quantité de biomasse inaccessible à la pêche, exprimée comme une fraction de la biomasse vierge, mais participant à la production de biomasse. On écrit alors:

$$\begin{aligned} \frac{dB_t}{dt} &= HB_t(B_t - B_0) - qf_t(B_t - \alpha B_0) \\ \text{soit } \frac{dB_t}{dt} &= aB_t^2 + bB_t + \gamma \end{aligned} \quad [10.7]$$

Cette formule correspond à l'équation 9.2 (Chapitre 9), à laquelle on a adjoint la constante  $\gamma$ .

L'observation (figure 10.2) des relations l'équilibre entre prises et effort obtenus en faisant varier le paramètre  $\alpha$  dans l'équation 10.7 est intéressante, car il apparaît que ces courbes ont des formes semblables à celles issues du modèle généralisé de Pella et Tomlinson en faisant varier le paramètre  $m$ . Ceci indique la difficulté qu'il y a d'interpréter les résultats issus de l'ajustement de modèles globaux puisque des formes analogues peuvent être obtenues, à partir d'un modèle de Schaefer, soit en modifiant la description de la production de biomasse, soit en modifiant celle de la capture.

#### 10.3.2 L'absence de proportionnalité entre prises et efforts

La relation entre mortalité et effort peut n'être pas linéaire et une non-linéarité peut être introduite en supposant l'existence d'une relation entre capturabilité et biomasse pouvant par exemple s'écrire (Fox, 1974):

$$q(B) = q_0 B^\beta$$

Lorsque  $\beta$  est nul, la capturabilité est bien constante. Lorsque la biomasse augmente, la capturabilité diminue ou augmente selon que  $\beta$  est négatif ou positif. Ici encore, la forme des relations à l'équilibre obtenues en faisant varier le paramètre  $\beta$  peut ressembler aux relations qu'on peut obtenir avec un modèle généralisé classique (Fox, 1974). Il est en fait pratiquement impossible de déterminer, à partir du seul outil mathématique, que tel modèle est meilleur que tel autre. Les connaissances disponibles sur l'espèce et le mode d'exploitation doivent impérativement être utilisées pour le choix des modèles et la discussion des résultats auxquels ils conduisent.

#### 10.3.3 L'introduction d'informations supplémentaires dans la formulation du modèle

Certains paramètres du modèle, sinon tous, dépendent de l'environnement. Une augmentation de la productivité du milieu peut entraîner un accroissement de la biomasse vierge. Fréon (1983) a ainsi utilisé, pour des espèces de petits pélagiques du Sénégal, un mode relation entre force des vents (responsables de l'intensité de l'upwelling) et biomasse vierge. Un travail analogue a été réalisé à partir de la pêche de petits pélagiques côtiers de la Côte-d'Ivoire (Cury et Roy, 1987 et Chapitre 11 du présent manuel).



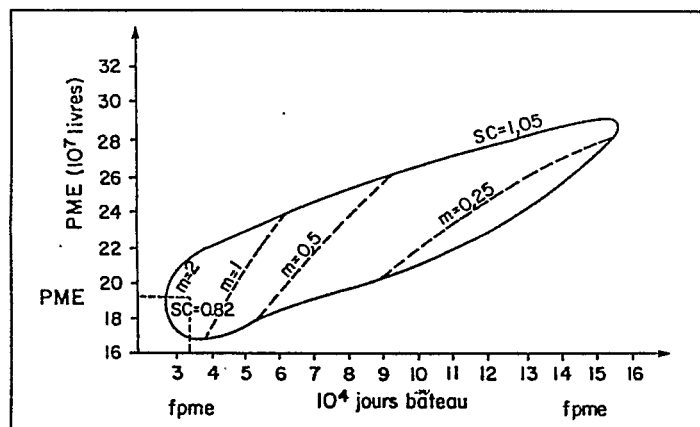


Figure 10.3 Forme possible de la région de confiance à 95 p. 100 sur les paramètres PME et  $f_{PME}$  déduite des données utilisées par Pella et Tomlinson (1969) sur l'albacore (Laloë, 1986).

## 10.5 RÉFÉRENCES

Seules sont données ici les références non citées au chapitre 9.

Caddy, J.F. et S. Garcia, 1983. *Production modelling without long data series*. ACMRR working party on the management of living resources in near shore tropical waters. Rome, Italie, 28 février au 4 mars 1983, (miméo).

CIEM, 1987. *Report of the working group on methods of fish assessment*, Copenhague, 2-16 juin 1987, (miméo).

Csirke, J. et J.F. Caddy, 1983. Production modeling using mortality estimates. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 43-51.

Curry, P. et C. Roy, 1987. Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de Côte d'Ivoire: une approche globale. *Oceanologica Acta* 10 (3): 347-357.

DeCrso, R.B., 1980. Harvesting strategies and parameter estimation for an age structured model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 268-282.

Fréon, P., 1983. Production models as applied to substocks depending on upwelling fluctuations. In: *Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources*, San Jose, Costa Rica, 18-29 avril 1983. *FAO Fish. Rep.* 291 (3): 1047-1066.

Garrod, D.J., 1973. Management of multiple resources. *J. Fish. Res. Board Can.* 30: 1977-1985.

Horwood, J.W., 1976. Interactive fisheries. A two species Schaefer model. *ICNAF selected paper* 1: 151-155.

Kirkwood, G.P., 1982. Simple models for multispecies fisheries, p. 83-98. In: Pauly D. et G.I. Murphy (éds), *Theory and management of tropical fisheries*. *ICLARM conf. proc.* 9: 360 p.

Laloë, F., 1986. Contribution à l'étude du modèle global pour la dynamique des populations marines exploitées. Formulation, ajustement et sensibilité à certaines sources d'erreurs. Communication aux journées françaises de statistiques, Université de Lille, 24-29 mai 1986. (À paraître dans la série «actes de colloques» publiée par l'IFREMER).

Laloë, F., 1987. *A simple production model with unaccessed quantity of biomass*. Working Paper no 2, Working group on methods on fish stock assessment, CIEM, Copenhague, 9-16 juin 1987, (miméo).

Larkin, P.A., 1963. Interspecific competition and exploitation. *J. Fish. Res. Board Can.* 20 (3): 647-678.

Mac Call, A.D., 1976. Density dependence of catchability coefficient in the California Pacific sardine (*Sardinops caerulea*) purse seine fishery. *Calif. Coop. Ocean Fish. Invest. Rep.* 18: 136-148.

Marchesseault, G.D., S.D. Saïla et W.J. Palm, 1976. Delayed recruitment models and their application to the american lobster (*Homarus americanus*) fishery. *J. Fish. Res. Board Can.* 33 (8): 1779-1787.

Munro, J.L., 1979. Stocks assessment models: applicability and utility in tropical small-scale fisheries. In: *Proceedings of the International Workshop*, University of Rhode Island, septembre 1979. Univ. of Rhode Island Press, Kingston: 35-47.

Pope, J.G., 1976. The effect of biological interactions on the theory of mixed fisheries. *ICNAF selected papers* 1: 157-162.

Pope, J.G., 1979. *Stock assessment in multispecies fisheries with special reference to the trawl fisheries in the Gulf of Thailand*. SCS/DEV/79/19: 106 p.

Rivard, D. et L.J. Bledsoc, 1978. Parameter estimation for the Pella-Tomlinson stock production model under non equilibrium conditions. *Fish. Bull. US* 76 (3): 523-534.

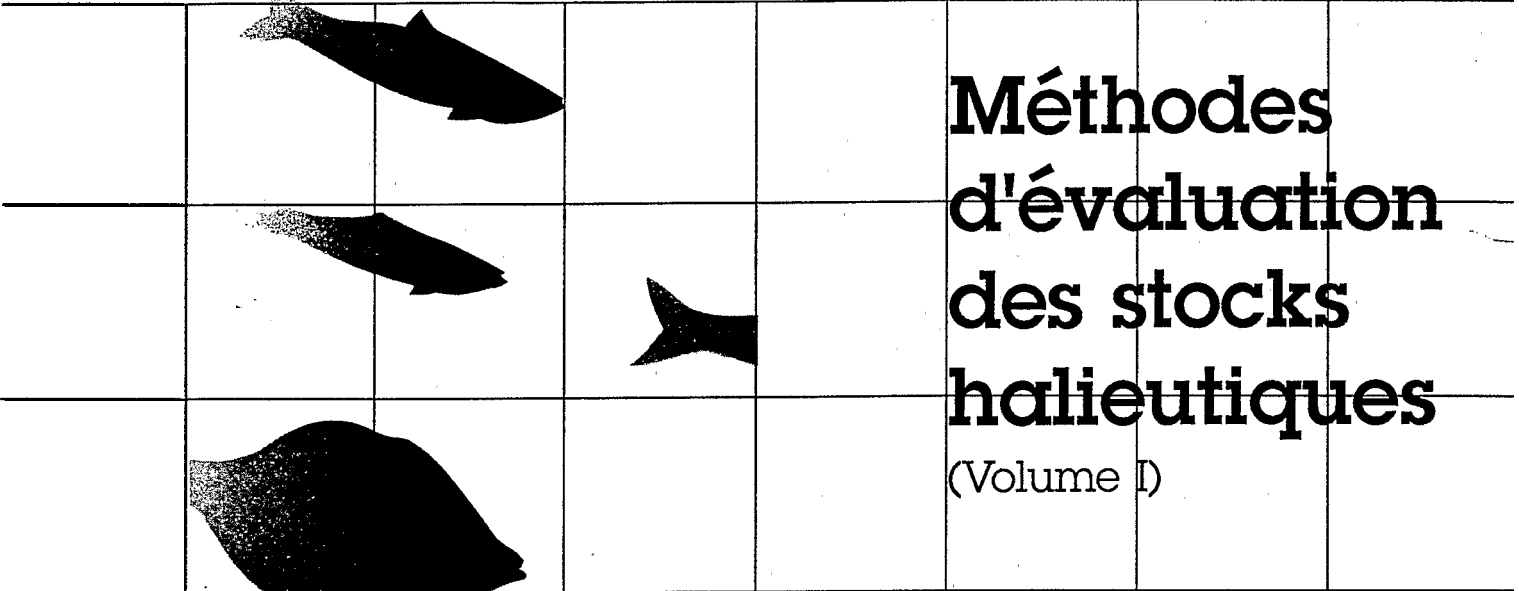
Sissenwine, M.P., B.E. Brown, J.E. Palmer, R.J. Essig et W. Smith, 1982. Empirical Examination of Population Interaction for the Fisheries Resources off the Northeastern USA. In: M.C. Mercer (éd), *Multispecies to fisheries management advice*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59: 82-94.

Walter, G.G., 1973. Delay differential equation models for fisheries. *J. Fish. Res. Board Can.* 30: 939-945.



Centre international d'exploitation des océans  
International Centre for Ocean Development

Canada



# Méthodes d'évaluation des stocks halieutiques

(Volume I)

J.-C. Brêthes  
et R. N. O'Boyle  
(Éditeurs)

B 37958, ex 1

Centre international d'exploitation des océans (Canada)

**MÉTHODES D'ÉVALUATION DES  
STOCKS HALIEUTIQUES**

**(Volume I)**

*Édité par*

**Jean-Claude Brêthes<sup>1</sup>**

*Centre international d'exploitation des océans  
5670, Chemin Spring Garden, 9<sup>ème</sup> Étage  
Halifax, Nouvelle-Écosse  
Canada B3J 1H6*

*et*

**Robert N. O'Boyle**

*Division des poissons de mer  
Ministère des Pêches et des Océans du Canada  
Institut océanographique de Bedford  
C.P. 1006  
Dartmouth, Nouvelle-Écosse  
Canada B2Y 4A2*

*Avec la collaboration de*

**Maryama Barry-Gérard, Michael Chadwick, Ghislain Chouinard,  
Lynn Cleary, Philippe Cury, Abdelouahed Idelhaj, Mustapha Kébé,  
Francis Laloë, Jean-Jacques Lévênez, Ian McQuinn,  
Jose Pereiro, Djiby Thiam.**

---

<sup>1</sup> - Adresse actuelle: Université du Québec à Rimouski, 300, Allée des Ursulines, Rimouski, Québec, Canada G5L 3A1.