

MODELES GLOBAUX DE DYNAMIQUE DES POPULATIONS MARINES EXPLOITÉES ET ASPECTS DE LA PECHE ARTISANALE SÉNÉGALAISE

Francis LALOE

I LE MODELE GLOBAL GÉNÉRALISÉ

L'approche globale de la dynamique d'une population marine exploitée consiste à décrire l'évolution de sa biomasse sous l'effet de l'activité de la pêche. Dans la mesure où les variations seront d'autant plus importantes que la biomasse l'est elle-même, on raisonne à partir du taux de variation de la biomasse.

Le modèle le plus classiquement utilisé, sous le nom de "modèle global généralisé" (Pella et Tomlinson, 1969) est défini par l'équation:

$$\frac{1}{B_t} \frac{dB_t}{dt} = H.(B_t^{m-1} - B_v^{m-1}) - q.f_t \quad (1)$$

B_t est la biomasse au temps t , f_t est l'effort "instantané" déployé au temps t

(la quantité d'effort déployée entre t_1 et t_2 est : $\int_{t_1}^{t_2} f_t \cdot dt$ et la capture réalisée est : $\int_{t_1}^{t_2} q \cdot f_t \cdot B_t \cdot dt$)

les paramètres du modèle sont:

- la capturabilité "q", probabilité qu'une unité de biomasse soit capturée lorsqu'une unité d'effort est déployée, la biomasse B_t est donc en fait la biomasse exploitée par la pêche.
- la biomasse vierge " B_v ", biomasse à l'équilibre lorsqu'il n'y a pas d'effort de pêche,
- les constantes "H" et "m".

Lorsque $m=2$, on obtient l'expression du modèle de Graham Schaefer (Graham 1935, Schaefer 1954, 1957) et lorsque $m \rightarrow 1$, on obtient le modèle "logarithmique" (Garrod 1969, Fox 1970) défini par l'expression:

$$\frac{1}{B_t} \cdot \frac{dB_t}{dt} = H \cdot (\text{Log}(B_t) - \text{Log}(B_v)) - q \cdot f_t.$$

Pour toute valeur d'effort appartenant à un intervalle $[0, f_{\max}]$, la valeur f_{\max} , éventuellement infinie, dépendant des paramètres du modèle, il existe une valeur B_f de biomasse positive telle que dB_t/dt est nulle, correspondant à une situation d'équilibre stable. La capture par unité d'effort (CPUE) est alors égale à $q \cdot B_f$ et la capture par unité de temps est égale à $q \cdot f \cdot B_f$.

Les représentations graphiques des relations à l'équilibre entre CPUE et effort et entre prise et effort sont présentées sur la figure 1 pour différentes valeurs du paramètre m . On observe qu'il existe une valeur notée f_{PME} d'effort conduisant à une prise maximale à l'équilibre (PME). Il est possible de modifier l'expression du modèle afin de faire apparaître directement ces deux quantités dans sa formulation (Fletcher 1978). La valeur f_{PME} a été par le passé considérée comme l'objectif à atteindre pour une "bonne" gestion de la population étudiée. A l'heure actuelle le

couple (PME, f_{PME}) n'est plus guère vu que comme donnée "importante" pour cette gestion (Larkin 1977, Sissenwine 1978).

Si la connaissance des relations à l'équilibre est un objectif dont l'intérêt est évident, disposer de plusieurs états d'équilibre dans l'histoire d'une pêcherie permettant d'ajuster directement les paramètres décrivant les relations à l'équilibre n'est que très exceptionnel. Les méthodes d'ajustement doivent donc tenir compte des situations de déséquilibre. Deux approches sont principalement utilisées.

- On peut intégrer l'équation différentielle et ainsi suivre l'évolution de la biomasse et en déduire les prises et CPUE théoriques. On cherche alors les valeurs des paramètres conduisant aux prises estimées les plus proches possibles des prises observées, selon un critère de "moindres carrés". Cette approche a été bien décrite par Rivard et Bledsoe (1978).

- La CPUE est supposée proportionnelle à la biomasse. En période de déséquilibre, cette biomasse B_t n'est pas la biomasse à l'équilibre B_f . On peut rechercher quel serait l'effort f tel que $B_t = B_{f_t}$. Bien estimer ces efforts "à l'équilibre" permet alors d'estimer directement les paramètres régissant les relations à l'équilibre. Les méthodes existantes pour l'estimation de ces efforts consistent à effectuer une moyenne éventuellement pondérée de l'effort au temps t et des efforts exercés au cours de périodes antérieures, le nombre de période étant choisi en fonction de la longévité de l'espèce étudiée (Gulland 1971, Fox 1975).

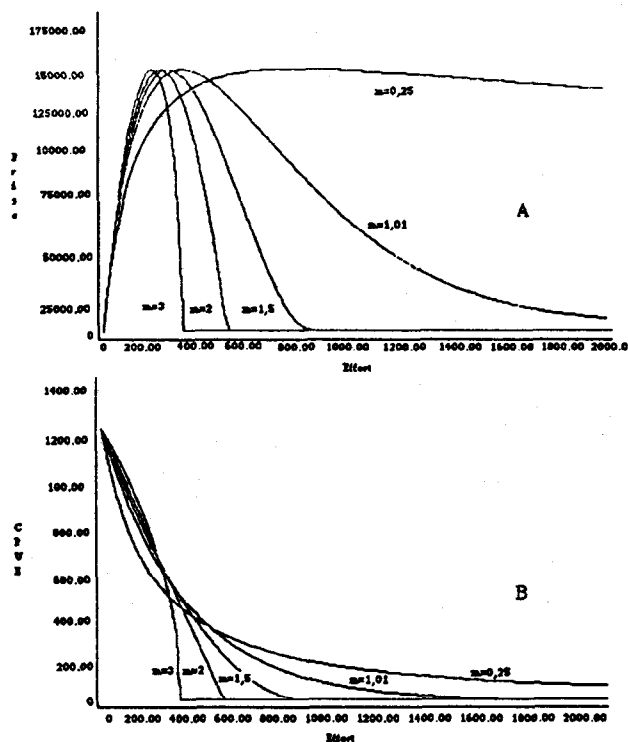


Figure 1 Relations à l'équilibre pour différentes valeurs du paramètre "m" avec un modèle global généralisé. A: Prise-Effort B: CPUE -Effort

De nombreuses adaptations ont été proposées pour tenir compte de caractéristiques biologiques des populations étudiées. le renouvellement de la biomasse exploitée au temps t est ainsi en partie assuré par l'arrivée de poissons en âge d'être pêchés. Le nombre de ces poissons peut dépendre de la biomasse présente au temps $t-t_r$ de leur naissance. Des formulations incluant cette biomasse ont été proposées (Marchesseault et al., 1976, Walter 1973). Il est également possible que la capturabilité dépende de la biomasse exploitée. Elle sera fonction croissante de la biomasse si son aire de répartition diminue avec sa valeur, ou décroissante dans le cas contraire. La formulation:

$q=q_0 \cdot B^\alpha$ a ainsi été proposée (Fox 1974, Mac Call, 1976), et Tsoa et al.

(1985) ont "compliqué" cette relation en écrivant: $q=q_0 \cdot B^\alpha f^\beta$

Deriso (1980) a proposé une formulation générale, incluant les phénomènes de recrutement (biomasse de poissons parvenant en âge d'être pêchés) et des paramètres décrivant la croissance et la mortalité naturelle des poissons. Schnute (1985) a présentée une théorie générale incluant la plupart des modèles existants comme cas particuliers.

Malgré leur indéniable intérêt théorique, ces adaptations n'ont pas, dans la pratique, connu beaucoup de succès. Ceci peut être dû au fait que, en tant que boîte noire, le modèle global généralisé présente une très grande souplesse pour décrire des relations décroissantes entre CPUE et effort (cf. fig. 1) mais que l'interprétation biologique des paramètres du modèle peut être quasi impossible comme l'indique l'exemple suivant, obtenu en étudiant une adaptation de la formulation.

Une des caractéristiques de la pêche artisanale sénégalaise est d'être constituée d'unités ayant un rayon d'action limité, ne leur permettant pas d'exercer leur effort sur l'ensemble de l'aire de répartition des stocks exploités. Ceci n'est pas sans conséquence et dans certains cas on a conclu (Fréon 1986) à des phénomènes de surexploitation locale. Dans ces conditions, la formulation (1) du modèle peut être inadaptée puisque la même quantité B_t de biomasse est considérée comme biomasse "exploitée" et biomasse "productrice". Pour mieux décrire cette situation,

nous avons adapté la formulation du modèle en supposant qu'il existe une certaine quantité de biomasse inaccessible à la pêche et pouvant s'exprimer comme une fraction $\alpha \cdot B_v$ de la biomasse vierge. Nous avons supposé $m=2$, nous rapprochant ainsi du modèle de Graham Schaefer, on a donc l'expression:

$$\frac{dB_t}{dt} = H \cdot B_t \cdot (B_t - B_v) - q \cdot f_t \cdot (B_t - \alpha \cdot B_v) \quad (2)$$

En fait les ajustement tentés avec cette expression, à partir de données pourtant susceptibles d'en "bénéficier", ont conduit à des estimations du paramètre α affectés de coefficients de variation généralement supérieurs à 100% et donc sans aucun intérêt. En fait on rencontre le même problème lorsqu'on essaie d'estimer le paramètre "m" du modèle global généralisé, et en observant (fig.2) les relations à l'équilibre entre prises et effort obtenues avec des modèles issus de l'équation (2) pour différentes valeurs de α , on constate une forte analogie avec celles obtenues avec la formule (1) pour différentes valeurs de m.

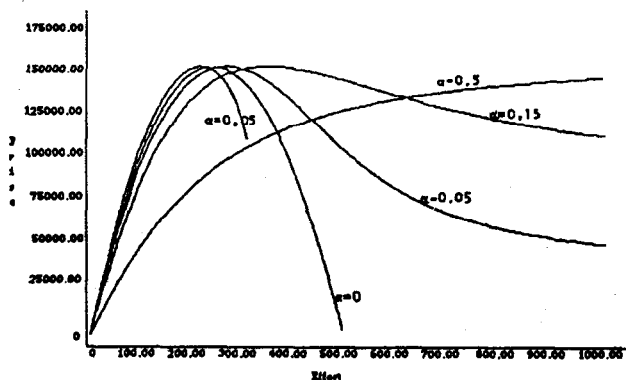


Figure 2 Relations "Prise-Effort" à l'équilibre pour différentes valeurs du paramètre "α" avec un modèle global supposant l'existence d'une quantité $\alpha \cdot B_v$ de biomasse inaccessible.

Nous avons simulé une pêcherie exerçant son effort au cours de 15 périodes sur un stock dont la dynamique est régie par le modèle:

$$\frac{dB_t}{dt} = H \cdot B_t \cdot (B_t - B_v) - q \cdot f_t \cdot (B_t - \alpha \cdot B_v)$$

en supposant la biomasse B_0 , au début de la première période égale à 2100, et avec $\alpha = 0.1$, $B_v = 2400$, $PME = 500$, $f_{PME} = 188$

Les valeurs d'efforts et les captures réalisées au cours de chaque période sont présentées dans le tableau suivant:

Effort	Prise
100	486
120	525
150	590
450	1185
450	667
550	527
350	298
180	213
150	259
100	236
100	299
150	487
180	564
150	463
100	334

Nous avons ensuite recherché à ajuster ces données à l'aide d'un modèle généralisé. Nous avons obtenu un ajustement tout à fait excellent avec

$$1 - \left| \frac{\sum_{i=1}^{15} (P_i - \hat{P}_i)^2}{\sum_{i=1}^{15} (P_i - \bar{P})^2} \right| > 0.99$$

Les représentations graphiques des modèles sont données sur la figure 3. Les valeurs vraies des paramètres et les valeurs estimées par l'ajustement sont présentées dans le tableau ci-dessous

paramètre	B0	Bv	PME	fpme	m ou α
vraies valeurs	2100	2400	500	188	α=0.1
valeurs estimées	1810	2400	498	197	m=1.05

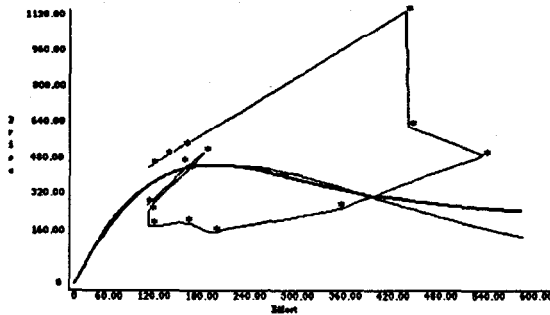


Figure 3 Résultats (Prises et efforts) d'une pêcherie et ajustée par un modèle généralisé (trait fin).

Une telle adaptation ne semble pas donc susceptible d'apporter un progrès significatif par rapport aux formulations existantes, mais elle fait apparaître qu'un bon ajustement ne permet guère d'interpréter quoique ce soit. Il apparaît aussi que le modèle généralisé possède une souplesse lui permettant de rendre compte de situations non prévues ce qui lui confère donc une bonne qualité de "boîte noire", en particulier il est possible de décrire des situations où l'hypothèse de constance de la capturabilité n'est pas satisfaite.

Le modèle défini par l'expression (2) peut présenter un intérêt non négligeable s'il existe des informations annexes permettant décrire d'éventuelles variations de la quantité de biomasse inaccessible. Ce peut être le cas lorsque l'aire fréquentée par les unités de pêche s'accroît régulièrement. On peut alors modéliser certains changements de modèles relativement facilement (Laloë 1987). D'une manière générale, il semble que les adaptations du modèle global généralisé n'aient d'intérêt pratique que dans la mesure où elles intègrent des informations supplémentaires. Ainsi Fréon (1983, 1986) a-t-il amélioré la modélisation de la pêche de petits pélagiques côtiers au Sénégal en introduisant une relation entre la production de biomasse et l'intensité des vents responsables de l'upwelling et donc de l'enrichissement du milieu.

L'hypothèse de constance de la capturabilité "q" est souvent présentée comme la plus importantes pour la validité du modèle généralisé et pour l'estimation de ses paramètres. En effet si cette hypothèse est satisfaite, la capture par unité d'effort (CPUE) est une quantité proportionnelle à la biomasse et son évolution permet de suivre celle de la biomasse étudiée. Les utilisateurs sont donc amenés, par des opérations parfois lourdes de standardisation, à "corriger" les données d'efforts des différents "métiers" et des différentes unités de pêche afin de tenir compte de leurs efficacités respectives (puissances de pêche).

Si on s'intéresse à une pêcherie constituée d'unités de pêche utilisant toutes la même méthode, adaptée à la recherche d'individus d'une population cible bien précise, on peut espérer que les hypothèses nécessaires à la validité du modèle pourront être satisfaites. Lorsqu'on aborde l'étude d'une pêcherie dont les unités peuvent mettre en oeuvre de nombreuses tactiques, et peuvent rechercher plusieurs espèces cibles, l'utilisation du modèle sera probablement plus délicate. En effet les unités de pêches pourront rechercher systématiquement les espèces les plus disponibles et ainsi avoir tendance à "accentuer" les variations naturelles de ces disponibilités. On peut alors se poser la question de la nature de la standardisation à opérer.

Les recherches pour l'application de l'approche globale aux ressources multi-spécifiques ont initialement porté sur la prise en compte des interactions "biologiques", relations de compétition ou relations "prédateurs-proies" (Pope 1976, Horwood 1976). Si de telles relations existent, leur description et leur mise en évidence est très difficile (Sissenwine et al. 1982) et on s'intéresse plus actuellement à la prise en compte des interactions "technologiques" (présence de plusieurs espèces dans les captures résultant de mêmes opérations de pêche) et à la dynamique des flottilles, c'est-à-dire à la capacité des unités de pêches à générer des mortalités variables sur les différents stocks exploités par leur aptitude à changer de tactique ou de méthode de pêche.

Nous terminerons cette présentation en indiquant, comment peut être prise en compte la dynamique de la flottille dans un exemple caricatural.

Supposons qu'une pêcherie soit constituée de N unités de pêche chacune d'elles pouvant mettre en oeuvre deux tactiques de pêche possibles. La première tactique ne permet de capturer que des poissons d'un stock \mathcal{A} , et la seconde ne permet de capturer que des poissons d'un stock \mathcal{B} . On suppose que la dynamique du stock est régie par un modèle de Graham-Schaefer, et que celle du stock \mathcal{A} est régie par un modèle avec une fraction inaccessible égale à 20% de sa biomasse vierge. On peut définir que pour un nombre donné d'unités de pêche l'équilibre sera atteint lorsque les efforts se répartiront de telle sorte que les rendements (CPUE tenant compte des coûts engendrés par la pêche et valeur de chaque espèce) issus de la mise en application de chaque tactique seront égaux. Il y aura alors en moyenne N_1 unités qui utiliseront la première tactique et N_2 unités qui utiliseront la seconde.

Si, par des opérations de standardisation d'effort, on parvient à connaître la dynamique du stock \mathcal{A} , on mettra en évidence, puisqu'elle est régie par un modèle de Graham-Schaefer une relation linéaire décroissante entre CPUE et effort (cf. Fig. 1). On pourra alors chercher à prévoir l'impact d'un accroissement de l'effort. En fait cette opération sera rendue délicate par la présence du second stock dont la dynamique ne correspond pas au même modèle. Pour le stock \mathcal{B} en effet, la décroissance des CPUE en fonction des efforts n'est pas une fonction linéaire de l'effort, et en particulier, elle reste toujours strictement positive (si on ne prend pas en compte les coûts), quelque soit l'effort appliqué. En conséquence lorsque le nombre N d'unités de pêche change, les modifications des efforts à l'équilibre N_1 et N_2 ($N_1 + N_2 = N$) sur chacun des stocks ne se font pas dans les mêmes proportions. Nous avons recherché à décrire (fig.4) ces relations pour dans le cas de deux stocks dont les dynamiques sont régies par les équations:

$$\frac{dB_{\mathcal{A}t}}{dt} = B_{\mathcal{A}t} \cdot H_{\mathcal{A}} \cdot (B_{\mathcal{A}t} - Bv) - q_1 \cdot N_1 \cdot B_{\mathcal{A}t}$$

$$\frac{dB_{\mathcal{B}t}}{dt} = B_{\mathcal{B}t} \cdot H_{\mathcal{B}} \cdot (B_{\mathcal{B}t} - Bv) - q_2 \cdot N_2 \cdot (B_{\mathcal{B}t} - \alpha \cdot Bv)$$

$$\text{avec } Bv_{\mathcal{A}} = Bv_{\mathcal{B}} = 1000, \quad H_{\mathcal{A}} = -0.001, \quad H_{\mathcal{B}} = -0.0005$$

$$q_1 = q_2 = 0.01 \quad \alpha = 0.2$$

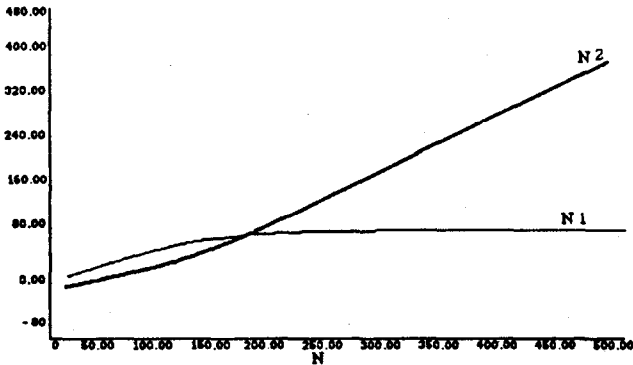


Figure 4 Répartition des efforts sur deux stocks en fonction du nombre d'unités de pêche. Le trait fin présente le nombre d'unités recherchant le stock et le trait gras celui concernant le stock A.

Il existe donc une cohérence entre le nombre d'unités de pêche et l'effort, mais celle-ci est largement dictée par l'existence d'un second stock. Dans l'exemple traité il n'y a pas d'interaction biologique ni de co-occurrence de captures de représentants des deux stocks pour une même opération de pêche. C'est la dynamique de la flottille qui introduit l'interaction.

II. DISCUSSION EN RELATION AVEC LA PECHE ARTISANALE SÉNÉGALAISE

La pêche artisanale sénégalaise est constituée d'un très grand nombre d'unités de pêche ayant pour la plupart d'entre elles la possibilité de choisir entre diverses "tactiques" de pêche. La dynamique de la flottille est donc un thème majeur d'étude.

Décrire cette pêcherie implique la définition d'unités d'observation pouvant être différentes selon qu'on s'intéresse aux aspects socio-économiques de la pêche ou à la dynamique des stocks exploités. Dans un cas, on cherchera par exemple à décrire l'activité de personnes travaillant habituellement ensemble, dans l'autre, on cherchera à évaluer la mortalité subie par les stocks exploités en observant les captures réalisées au cours d'opérations de pêche.

Lorsqu'on aborde l'étude de l'impact des modifications de la pêcherie sur la dynamique des stocks, il convient de relier ces descriptions et donc les unités d'observation qui leurs sont associées.

On donnera ainsi deux définitions d'unités d'observation avec, pour chacune, une relation d'équivalence permettant la réalisation d'une classification.

- Les unités de pêche, identifiées par une pirogue, ce qui permet, au moins pour la pêche en mer, de respecter une définition d'unité de production. Deux unités seront considérées équivalentes si elles peuvent mettre en oeuvre les mêmes tactiques de pêche.

- Les sorties en mer, décrites à partir des observations réalisables à leur retour à terre.

On considère équivalentes deux sorties si la même tactique de pêche a été utilisée, une tactique étant définie par les mortalités par pêche exercées sur chaque stock pour une sortie. Ces mortalités peuvent dépendre de la date et du lieu de pêche.

On peut alors définir une matrice M de "possibilités" avec un nombre de lignes égal au nombre t_p de types d'unités de pêche, et un nombre de colonnes égal au nombre t_c de tactiques existantes. Le terme général m_{ij} de la matrice M est égal à 1 ou 0 selon que le $i^{\text{ème}}$ type d'unité de pêche a ou non à sa disposition la $j^{\text{ème}}$ tactique de pêche.

Au temps t , chaque unité de pêche a une probabilité $p_{ij t}$ de mettre en oeuvre la $j^{\text{ème}}$ tactique, $p_{ij t}$ étant nul si m_{ij} l'est.

La somme $\sum_{j=1}^{t_c} p_{ij t}$ est égale à 1.

Les unités de pêche peuvent évaluer au temps t les rendements qu'elles peuvent espérer avec chacune des tactiques dont elles disposent, rendements qu'on peut par ailleurs définir par:

$$r_{ij t} = \left(\sum_{h=1}^p m_{ij} \cdot q_{jht} \cdot v_{ht} \cdot B_{ht} \right) \cdot c_j$$

où q_{jht} est la capturabilité de la biomasse exploitée B_{ht} du $h^{\text{ème}}$ stock, v_{ht} une "valeur" au temps t de l'unité de biomasse

de ce stock, et c_j un "coût" de mise en œuvre de la tactique j .

Les valeurs $p_{ij,t+1}$ peuvent être recherchées à partir des valeurs $p_{ij,t}$ et rendements $r_{ij,t}$. A partir du nombre d'unités de pêche de chaque type, et en utilisant une approche globale pour la description de la dynamique des stocks exploités, on peut réaliser des simulations de pêcherie, décrivant à la fois les résultats et les efforts déployés. La prise en compte de la variabilité réelle ou supposée des conditions d'environnement en amont et en aval de la pêche peut se faire en introduisant des variables stochastiques à divers niveaux. L'efficacité de ces simulations peut être évaluée par l'analogie entre les résultats et l'activité de la pêcherie simulée avec ceux de la pêcherie étudiée.

Si une bonne analogie est obtenue, on peut discuter des modifications de la pêcherie s'exprimant bien sûr en termes de nombre d'unités de pêche de chaque type, mais aussi, et peut-être surtout, en termes de modification de la nature de ces unités.

III. BIBLIOGRAPHIE

- BINET D. 1982. Influence des variations climatiques sur la pêche de *Sardinella aurita* ivoiro-ghanéennes : relation sécheresse-sur-pêche. *Océanologica Acta* 1982 vol.5 N°4 pp. 443-452.
- DERISO R.B. 1980. Harvesting strategies and parameters estimation for an age structured model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 268-282.
- FLETCHER R.J. (1978). On the restructuring of the Pella- Tomlinson system. *Fish Bull US*.76,pp. 515-521.
- FOX W.W., 1970. An exponential surplus yield model for optimizing exploited fish population. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 99(1),pp 80-88.
- FOX W.W., 1974. An overview of production modeling. ICCAT workshop on tuna population dynamics, Nantes, France, 1974. *Rec Doc Scient CICTA*, III, pp 142-156.
- FOX W.W. 1975. Fitting the generalized stock-production model by least square and equilibrium approximation. *Fish Bull, U.S.*, 73(1), pp. 23-37.
- FREON 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 april 1983. *FAO fish rep* 291 vol. 3.
- FREON P. 1986. Réponses et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'Ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation. Analyse et réflexion à partir de l'exemple d Sénégal. Thèse doct. état, Univ. Aix Marseille.
- GARROD D.J. 1969. Empirical assessments of catch effort relationship in the North Atlantic cod stocks. *Res Bull ICNAF*, 6, pp 26-34.
- GRAHAM M. 1935. Modern theory of exploiting a fishery, and application to North Sea rawling. *J. Cons. perm. int. Explor Mer*, 10(2), pp. 264-274.
- GULLAND J.A. 1969. Manuel d'évaluation des stocks d'animaux aquatiques. Première partie: analyse des populations. *Man FAO Sci Halicut* 4, 160 p.
- GULLAND J.A. 1971. The fish resources of the oceans *FAO/fishing news (books), Ltd*, Surrey. 255 pages.
- HORWOOD J.W. 1976. Interactive fisheries: a two species Schaefer model. *ICNAF sel pap* 1, pp 151-155.
- LALOE F. 1987. A simple production model with unaccessed quantity of biomass. *ICES* 9-16 june 1987.
- LARKIN P.A. 1977. An Epitaph for the Concept of Maximum Sustainable Yield. *Trans. Am. Fish. Soc.* 106(1): 1-11.

LAUREC A., LE GUEN J.C. 1981. Dynamique des populations marines exploitées. CNEXO. Rapports scientifiques et techniques. 45, 117 p.

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, pp. 136-148.

MARCHESSAULT G.D., SAILAS.D. and PALM W.J. 1976. Delayed recruitment models and their application to the American lobster (*Homarus americanus*) fishery. J Fish Res Board Can, 33 (8), pp. 1779-1787.

PELLA J.J., TOMLINSON P.K. 1969. A generalized stock production model. Bull IATTC, 13 pp.419-496.

POPE J.G. 1976. The effect of biological interactions on the theory of mixed fisheries. ICNAF sci pap 1, pp. 157-162.

RIVARD D., BLEDSOE L.J. 1978. Parameter estimation for the Pella-Tomlinson stock production model under non equilibrium conditions. Fish Bull U S 76 (3), pp. 523-534.

SCHAEFER M.B. 1954. Some aspects of the dynamics of population important to the management of the commercial marine fisheries. Bull Int Amer trop tuna comm , 1 (2), pp. 26-56.

SCHAEFER M.B. 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the Eastern Tropical Pacific. Ocean. Bull. Int. Amer; Trop. Tuna Comm. 2(6), pp; 247-285.

SCHNUTE J. 1985. A general theory for analysis of catch and effort data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 414-429.

SISSEWINE M.P. 1978. Is MSY an adequate foundation for Optimum Yield. 1978. Fisheries vol 3 n°6, 22-24 et 37-42.

SISSEWINE M.P., BROWN B.E., PALMER J.E., ESSIG R.J. and SMITH W. 1982. Empirical examination of population interaction for the fishery off the northeastern U.S.A. In Mercer (ed.): Multispecies approaches to fisheries management advice. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 59: 82-94.

TSOA E, W.E. SCHRANK, and N. ROY. 1985. Generalizing fisheries models: an extension of the Schaeffer analysis. Can J Fish Aquat Sci. 42: 44-50.

WALTER G.G. 1973. Delay differential equation models for fisheries. J Fish Res Board Can. 30, pp. 939-945.