

Des modèles de production appliqués à des fractions de stock dépendantes des vents d'upwelling

(pêche sardinière au Sénégal) (1)

Pierre FRÉON (2)

RÉSUMÉ

*Le plateau continental ouest-africain, de 11° N à 24° N, représente une zone très poissonneuse en raison des remontées d'eaux froides et fertiles qui s'y produisent (upwelling côtier). On y rencontre deux populations de sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) dont les individus adultes effectuent des migrations de grande amplitude, parfois sur toute l'étendue de la zone. L'exploitation est soutenue et diversifiée, mais en raison de l'insuffisance des statistiques de pêche, on n'est pas en mesure d'établir des modèles de production pour l'ensemble des populations.*

Deux nurseries principales abritent des sous-stocks importants de jeunes individus qui y demeurent jusqu'à leur première reproduction. L'une d'entre elles, située sur la Petite Côte du Sénégal, fait l'objet d'une exploitation intense et l'on dispose ici des séries statistiques de prises et d'efforts de pêche (pêche semi-industrielle et pêche artisanale). Sous certaines hypothèses, on peut considérer indépendamment ce « sous-stock ». Les données suggèrent que les rendements sont liés d'une part à l'effort de pêche local, d'autre part à l'intensité des vents responsables de l'upwelling côtier. A partir de régressions multiples entre les rendements, les efforts de pêche et l'intensité des vents, on a pu établir différents modèles de production. Les hypothèses de départ sont analysées et les résultats sont critiqués. Ce type d'approche peut être étendu à d'autres pêcheries.

La production maximale équilibrée de sardinelles sur la Petite Côte, dans les conditions actuelles d'exploitation, varierait de 56 000 à 90 000 tonnes par an, en fonction de l'intensité des vents. Le niveau actuel d'exploitation est proche de l'optimum, et l'on doit craindre les conséquences d'une diminution d'importance de l'upwelling ou d'une augmentation de l'effort de pêche. Toutefois, les données actuelles ne permettent pas de prévoir avec certitude l'évolution de la production pour des valeurs extrêmes d'intensité des vents ou de l'effort de pêche (en particulier au-delà de l'effort optimum). Les conséquences en matière d'aménagement des pêcheries sont analysées.

MOTS-CLÉS : Sardinelle — Modèle de production — Upwelling — Gestion des stocks — Sénégal.

ABSTRACT

**PRODUCTION MODELS AS APPLIED TO SUB-STOCKS DEPENDING ON UPWELLING FLUCTUATIONS.
(Senegalese sardine fisheries)**

*The west African continental shelf from 11° N to 24° N represents a rich fishing ground related to coastal upwelling. Two populations of sardines (*Sardinella aurita* and *Sardinella maderensis*) are present, the adults of which migrate over long distances, within the area described. Exploitation is intensive and varied, but due to inadequacy of fishing statistics, it is not possible to establish production models for the entire population of each species.*

(1) Ce travail a été présenté lors de la réunion d'experts tenue à San José, Costa-Rica, du 18 au 30 avril 1983, pour étudier les variations d'abondance et de composition spécifique des stocks néritiques. Un exposé plus succinct de certains points abordés ici doit être publié en anglais, par la F.A.O., en annexe au rapport de cette réunion.

(2) *Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye, B.P. 2241, Dakar, Sénégal.*

Two main nurseries receive important "sub-stocks" of young fish which remain present until their first spawning. One of the nurseries, located on the "Petite Côte" of Senegal, is intensively exploited and statistical catches and fishing effort series are available (semi-industrial and artisanal fisheries). It is the object of this paper.

Two principal hypotheses are discussed, one concerning the stability of exploitation rate outside the "Petite Côte", and the other, an internal source for part of the recruitment. Under these two hypotheses, each corresponding sub-stock can be considered separately. Collected data suggest that fishing yields are related on one hand to local fishing effort, and on the other hand to the wind intensity responsible for coastal upwelling.

Different production models have been established from a multi-linear regression analysis, including fishing yields, efforts and wind intensities, such as :

$$c.p.u.e. = a \exp(-a'f) + b\bar{V} + c + \varepsilon$$

Where *c.p.u.e.* is the yield (catches per unit of effort) for the year (*n*), *f* is fishing effort during the same year, \bar{V} the mean intensity of winds during years (*n*) and (*n-1*), *a*, *a'*, *b* and *c* are constants, and ε the residual. Preliminary hypotheses are indirectly confirmed and results are criticized. Such an approach can be extended to other fisheries.

Present exploitation conditions, the maximum sustained yield of *Sardinella* spp. on the "Petite Côte", should fluctuate between 56 000 and 90 000 metric tons for year. The present exploitation rate is close to its optimum and it is feared that a decrease of the upwelling intensity (e.g. wind velocity), and/or an increase of fishing effort will dangerously affect the stocks.

However, the present data do not allow a precise production evaluation for extremes of winds intensities and fishing effort values greater than optimal effort calculations.

Inferences for fisheries management are drawn from this results.

KEY WORDS : Sardine — Production models — Upwelling — Stock management — Senegal.

1. INTRODUCTION

Le plateau continental ouest-africain, de 11° N à 24° N (Sahara occidental à Guinée Bissau) est le siège d'un upwelling intense qui en fait l'une des zones les plus productives du globe (fig. 1). De nombreuses flottes y opèrent, battant divers pavillons, souvent étrangers à la zone. Les types d'exploitation sont extrêmement variés, allant de la simple pirogue au grand chalutier de 80 m des pays de l'Europe de l'Est. A partir des données disponibles et des campagnes de détection acoustique, on a pu évaluer la somme des potentiels des espèces commercialisables à près de 1,5 millions de tonnes par an, dont une majorité de poissons pélagiques côtiers. Parmi ceux-ci les sardinelles représentent environ 800 000 tonnes (MARCHAL et BOELY, 1977; BOELY et FRÉON, 1980). Elles constituent l'essentiel des captures des pêcheries pélagiques sénégalaises qui font l'objet de notre étude.

La modélisation de la production est difficile du fait de l'insuffisance des statistiques de pêche dans les pays limitrophes du Sénégal et de la complexité de la situation : hétérogénéité des engins de capture et des flottes, multispécificité des prises, migrations des poissons et formation de sous-stocks, modification fréquente de la réglementation et des accords de pêche par les pays riverains, etc. Malgré ces difficultés, ELWERTOWSKI *et al.* (1972) ont tenté d'utiliser un modèle de production global pour l'ensemble de la zone, concernant les principales espèces pélagiques côtières. La précision des résultats

était faible, d'autant que les statistiques relatives aux sardinelles ne portaient que sur 4 ans. Plus tard, BOELY et CHABANNE (1975) ont appliqué un modèle global aux seules données de la flotille de senneurs dakarois opérant sur la Petite Côte du Sénégal, toutes espèces confondues, au prix de certaines hypothèses dont la stabilité des autres pêcheries. Actuellement, cette dernière condition n'est plus respectée, en particulier du fait de l'expansion de la pêche artisanale.

Ceci nous a conduit à reprendre l'étude de la production sur la Petite Côte du Sénégal, qui assurait 93 % des mises à terre nationales en 1980 et qui représente la seule région de la zone où l'on dispose de séries de données suffisantes, bien qu'incomplètes, sur les pêcheries. Cette approche régionale implique un certain nombre d'hypothèses que nous émettrons au départ et que nous tenterons de vérifier par la suite. Il est certain que toute tentative de modélisation dans cette région souffre du manque de données précises. Cependant, sachant que cette situation prévaudra encore durant plusieurs années, nous avons jugé nécessaire d'effectuer une première approche, indispensable aux responsables du développement. Celle-ci pourrait servir de base pour l'étude d'autres pêcheries se trouvant dans une situation comparable.

2. LES STOCKS DE SARDINELLES ET LES PÊCHERIES SÉNÉGALAISES

Deux espèces de sardinelles se répartissent le long du plateau continental de la zone décrite,

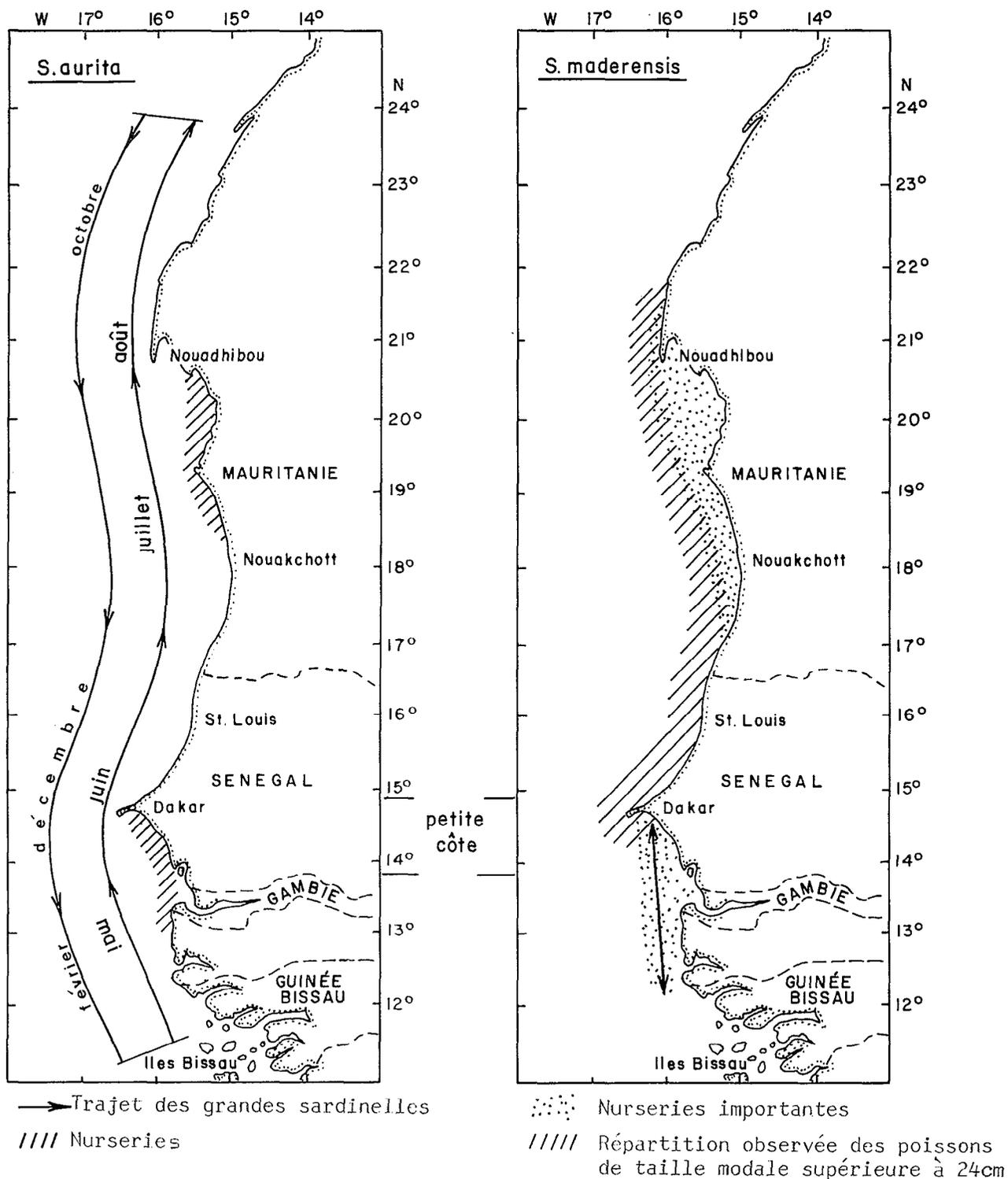


Fig. 1. — Répartition des stocks de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) et de la sardinelle plate (*Sardinella maderensis*) intéressant le Sénégal (BOELY *et al.*, 1979; modifié).

Sardinella aurita and *Sardinella maderensis* stock distribution concerning Senegal (BOELY *et al.*, 1979; modified).

souvent mélangées dans un même banc, bien que la seconde espèce présente une répartition plus côtière : il s'agit de *Sardinella aurita* ou sardinelle ronde et de *Sardinella maderensis* (anciennement *S. eba*) ou sardinelle plate. Leur biologie a fait l'objet de nombreuses études dont on trouvera les références dans le travail de synthèse de BOELY (1980).

Le cycle de vie de *Sardinella aurita* montre que cette espèce constitue un stock unique sur l'ensemble de la zone, que l'on peut subdiviser en trois composantes : deux sous-stocks de jeunes individus présents dans deux nurseries, et un sous-stock d'adultes migrateurs. Bien que la ponte ait lieu tout au long de la côte (CONAND, 1977), seules deux nurseries sont observées, l'une en Mauritanie au Sud du cap Blanc, l'autre au Sénégal au Sud de la presqu'île du cap Vert, le long de la Petite Côte (fig. 1). Ces deux sites présentent durant les périodes de reproduction un faible transport d'Ekman vers le large et une turbulence limitée. Ces deux facteurs étant favorables à la survie larvaire dans les quatre grands courants côtiers occidentaux du globe (BAKUN et PARRISH, 1981), il faut probablement voir là l'explication de la localisation des deux nurseries. Les juvéniles et les jeunes reproducteurs (longueur-fourche inférieure à 25 cm) restent dans ces nurseries jusqu'à leur première reproduction et alimentent ensuite un sous-stock commun d'adultes migrateurs qui se déplacent sur le plateau continental de 11° N à 24° N, sur des fonds supérieurs à 25 m, en suivant les mouvements des eaux froides (BOELY *et al.*, 1982). Il en résulte qu'au Sénégal, ces adultes ne sont disponibles que cinq ou six mois par an au maximum pour des flottes à rayons d'action suffisamment importants.

La localisation des nurseries de *S. maderensis* est proche de celle de la sardinelle ronde (fig. 1), mais ici les migrations des jeunes reproducteurs à l'intérieur de chaque nurserie sont prépondérantes et induisent des variations locales de disponibilité. Au contraire, le sous-stock d'adultes a une importance numérique très faible, tout au moins au Sénégal, et il semble que les échanges entre les deux nurseries, s'ils existent, soient négligeables. En conséquence, pour le Sénégal, le sous-stock situé dans la moitié sud du pays reste disponible toute l'année à condition de posséder des unités de pêche capables d'opérer sur toute son aire de répartition.

La limite sud des deux nurseries sénégalaises (correspondant aux deux espèces) n'a malheureusement pas pu être déterminée de façon très précise et l'on connaît mal les liaisons avec les concentrations présentes en Casamance. Cependant l'absence de juvéniles relevée lors des campagnes de prospection dans cette région suggère qu'au fur et à mesure de leur croissance, l'aire de répartition des jeunes sardiennes s'étendrait vers le sud.

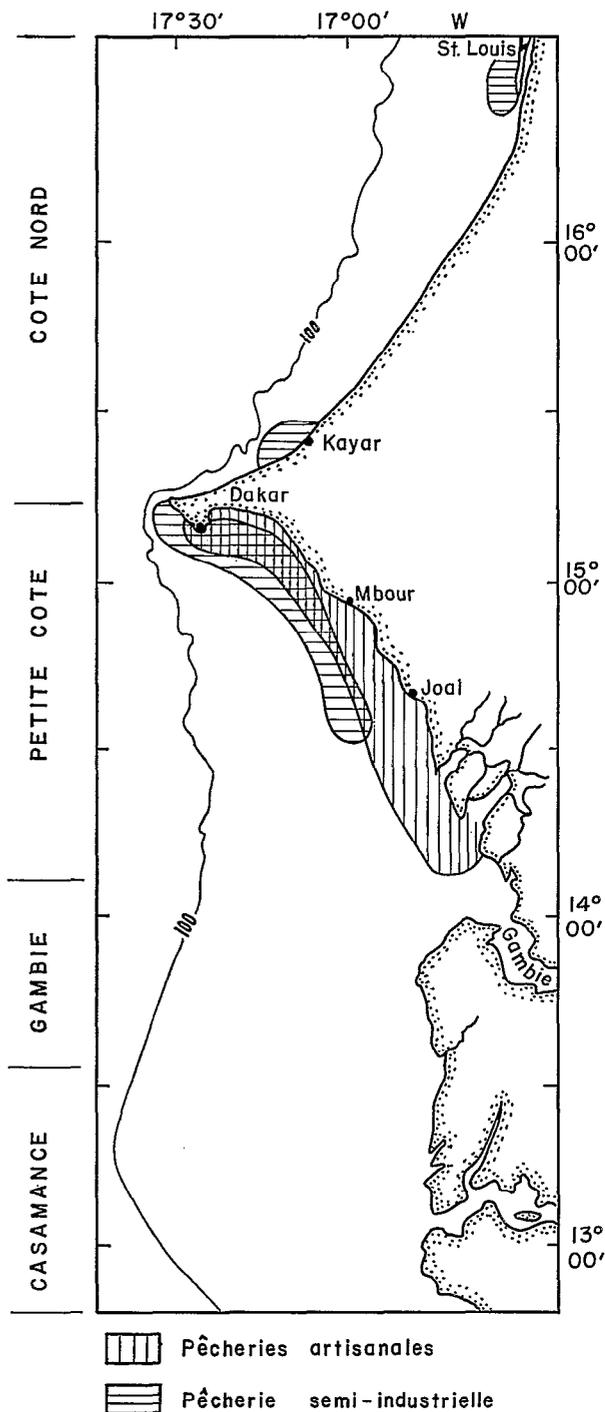


Fig. 2. — Localisation des pêcheries pélagiques côtières sénégalaises.

Coastal pelagic fisheries of Senegal.

L'exploitation sénégalaise se subdivise en deux types : semi-industriel et artisanal. Le premier correspond à une flottille de senneurs de 25 m dont

le nombre a varié de 10 à 20 ces dernières années et qui a été décrite en détail (CHAMPAGNAT, 1966; BOELY et CHABANNE, 1975). L'exploitation artisanale basée sur l'utilisation de pirogues en bois est plus diversifiée : de 1966 (début de notre étude) à 1972 prédominaient les filets maillants encerclants spécialisés dans la capture des sardinelles plates et des ethmaloses (*Ethmalosa fimbriata*), tandis que par la suite l'introduction progressive des sennes tournantes sur les pirogues assurait des prises importantes des deux espèces de sardinelles. Un troisième engin, la senne de plage, a conservé son rôle secondaire tout au long de la période; il permet indifféremment la capture de diverses espèces pélagiques et démersales côtières (FRÉON *et al.*, 1979; STEQUERT *et al.*, 1979).

Les pêcheries sénégalaises de petits pélagiques sont caractérisées par le fait qu'elles exercent leur activité presque exclusivement sur la bande littorale de la Petite Côte et qu'elles y capturent une large majorité de jeunes reproducteurs (fig 2). Sur la côte nord du pays, jusqu'en 1976, seules quelques captures de grosses sardinelles étaient réalisées par des sennes de plage à grosse maille. Par la suite les pirogues à senne tournante sont venues travailler épisodiquement à Kayar (côte Nord); bien que cette tendance s'accroisse jusqu'en 1980, les captures de sardinelles n'y représentaient que 7 % du total national. Les sardiniers, quant à eux, ne sortent jamais au nord de la presqu'île du cap Vert, en revanche leur rayon d'action, supérieur à celui des pirogues, leur permet de capturer plus au large en saison froide des quantités non négligeables de sardinelles adultes en migration.

3. HYPOTHÈSES DE TRAVAIL

La Petite Côte du Sénégal abrite donc une nurserie exploitée par les flottes semi-industrielles et artisanales qui capturent essentiellement des jeunes reproducteurs (1 à 1,5 an) avant que ceux-ci ne quittent la zone de pêche pour alimenter la fraction du stock constituée d'adultes migrants.

Pour *Sardinella aurita*, le recrutement de ces jeunes poissons a deux origines : d'une part la ponte principale des individus adultes migrants en mai-juin au niveau de la Petite Côte, d'autre part la ponte secondaire des jeunes reproducteurs eux-mêmes, en octobre-novembre, avant leur départ de la nurserie (CONAND, 1977). Bien que l'importance relative des deux saisons de reproduction ait pu être chiffrée en terme de densité larvaire, on ignore actuellement leur contribution respective en terme de recrutement du fait que les conditions de survie larvaire et de développement peuvent être très différentes pour les deux cohortes. Quoi qu'il en soit, il

est évident que l'exploitation des sardinelles rondes dans les régions périphériques (sous-stock d'adulte ou sous-stock de la nurserie mauritanienne) ne pourra avoir d'incidence sur l'abondance au niveau de la Petite Côte qu'à travers la relation stock-recrutement (ici relation entre le sous-stock d'adultes et le recrutement sur la Petite Côte). Celle-ci n'est pas connue — les données d'abondance larvaire dont nous disposons étant trop fragmentaires — et l'on peut se poser la question de savoir si elle s'apparente à la première équation de BEVERTON et HOLT (1957) présentant un plateau, ou au contraire à celle de RICKER (1958), permettant un ajustement en forme de dôme, ajustement qui semble être indiqué dans le cas de certaines espèces pélagiques (CUSHING, 1978). La connaissance précise de cette relation est importante au plan théorique pour la prévision des réactions du sous-stock de la Petite Côte à de très fortes variations d'abondance du sous-stock d'adultes. En pratique, on peut cependant considérer que, quelle que soit la figure retenue, on se situe à l'intérieur d'une large plage d'abondance moyenne où la variabilité du recrutement expliquée par la taille du sous-stock d'adultes est négligeable par rapport à la variabilité résiduelle due aux autres facteurs, en particuliers à ceux de l'environnement (SHARP, 1981). En effet les fluctuations d'abondance du sous-stock d'adultes ont pu être estimées par l'indice que constitue la p.u.e. des individus supérieurs à 25 cm (fig. 4 in FRÉON *et al.*, 1979). Durant la période d'observation, les variations ont été d'un ordre de magnitude, exception faite de l'année 1975 où l'indice est fortement sous-estimé en raison d'un changement temporaire d'espèce cible (cf. chapitre 7). Les figures obtenues pour d'autres espèces pélagiques (CUSHING, 1978) indiquent des variations importantes du recrutement pour des changements d'abondance du stock parental de l'ordre de trois, ou plus, ordres de magnitude. On retiendra donc comme hypothèse de travail que, durant la période d'étude, l'exploitation à l'extérieur de la Petite Côte n'a pas eu d'incidence sur l'abondance au sein de la nurserie (FRÉON *et al.*, 1978).

Pour *Sardinella maderensis*, le schéma est plus simple puisque le recrutement de la Petite Côte ne semble provenir que de la ponte des jeunes reproducteurs. En effet, ceux-ci quittent la nurserie pour migrer vers le nord à partir de 24 cm de longueur à la fourche (soit probablement près de 1,5 an) et l'on ne retrouve des individus adultes en abondance qu'en Mauritanie et au nord de la presqu'île du cap Vert. Il est donc peu probable que leur reproduction soit à l'origine du recrutement sur la Petite Côte.

Si l'on retient ces hypothèses, on peut considérer que les rendements obtenus dans la nurserie de la Petite Côte dépendront essentiellement de l'effort de pêche que l'on y développera et éventuellement de

conditions de l'environnement favorisant le recrutement et/ou la survie et la croissance des jeunes individus.

4. LES DONNÉES DISPONIBLES

Les données détaillées sur la pêche sardinière semi-industrielle dakaroise sont disponibles depuis le début de la pêcherie, mais les p.u.e. (prises par unités d'effort) que l'on peut en tirer ne sont jugées représentatives de l'abondance qu'à partir de 1966, la période antérieure correspondant à une phase d'apprentissage (BOELY et CHABANNE, 1975). On a retenu comme unité d'effort le temps de pêche (temps total en mer moins temps de route), le temps de recherche aurait été préférable (FRÉON, 1979), mais les données ne sont pas disponibles pour toute la série historique. L'aire de pêche étant de surface réduite et le schéma d'exploitation n'ayant pas varié sensiblement dans le temps, on n'a pas effectué de stratification par zone. En revanche, on a calculé la moyenne non pondérée des 12 p.u.e. mensuelles pour obtenir un indice annuel.

Les données détaillées de pêche artisanale sont beaucoup plus fragmentaires : les premières observations remontent à 1972, puis elles ont cessé en 1973 pour ne reprendre qu'en 1977 et se poursuivre jusqu'à nos jours. Les données manquantes ont été estimées en prenant comme hypothèse que les fluctuations de rendement des sardinières dakaroises sont représentatives de celles de la pêche artisanale. Cette hypothèse est fondée sur la similitude des distributions de fréquences de tailles des individus capturés par les deux types de pêche (FRÉON *et al.*, 1979). L'évolution de l'effort de pêche artisanale a été estimée de la façon suivante.

Afin de compléter la série de 1973 à 1976, on a d'abord calculé pour les bornes de l'intervalle (1972 et 1977) un effort de pêche artisanale exprimé en unités « sardinières dakaroises ». Pour 1972 on a divisé la prise artisanale par la p.u.e. des sardinières dakaroises. Pour 1977, où l'on dispose des rendements des sennes tournantes piroguières et des prises totales, on a d'abord calculé un effort total artisanal (tous engins) en divisant la prise totale artisanale par la p.u.e. des sennes tournantes. On a ensuite converti cet effort artisanal en effort sardinières dakaroises, en le multipliant par un coefficient de conversion obtenu par le rapport des rendements moyens annuels des sennes tournantes piroguières aux rendements moyens annuels des sardinières dakaroises de 1977 à 1980. Muni des efforts en 1972 et 1977, on a considéré que dans l'intervalle l'effort de pêche s'était accru dans le temps de façon linéaire, du fait du remplacement progressif des filets maillants encerclants par des sennes tournantes. A partir de ces efforts estimés et

des p.u.e. des sardinières, on a calculé les prises annuelles artisanales de 1973 à 1976.

Pour la période antérieure à 1972, on a estimé que l'effort de pêche avait peu varié, du fait que les sennes tournantes n'avaient pas encore fait leur apparition et que la pêche aux filets maillants encerclants et aux sennes de plage était stabilisée. On a simplement introduit une légère croissance du vecteur d'effort, sachant que la motorisation s'était intensifiée (moteurs plus puissants) et que le nombre de pirogues avait légèrement augmenté. Pour ce faire, on a diminué de 5 % par an l'effort théorique calculé pour 1972, jusqu'à atteindre l'année retenue comme point de départ des calculs : 1966. L'estimation des captures artisanales correspondantes a ensuite été réalisée de la même façon que pour la période 1973 à 1976.

De 1977 à 1980, on a converti l'effort de pêche artisanal en effort de pêche sardinier en utilisant le coefficient déjà défini.

Ces estimations ont été réalisées, pour *Sardinella aurita* (tabl. I), pour *Sardinella maderensis* et pour les deux espèces réunies à partir de la p.u.e. globale (tabl. II). Les résultats montrent que pour *Sardinella maderensis* la part des captures et des efforts estimés en pêche artisanale constitue l'essentiel par rapport à l'ensemble des valeurs jusqu'en 1972, ceci en raison de la prédominance des filets maillants encerclants. De plus, cette espèce est moins prisée que *Sardinella aurita* par les sardinières dakaroises, et l'indice d'abondance que fournissent ces bateaux peut être faussé par des changements d'espèce cible. Pour ces deux raisons nous avons choisi de ne pas présenter ici le modèle de production obtenu sur cette espèce, bien qu'il semble cohérent, cette cohérence pouvant provenir des artifices des calculs d'estimation. En revanche, les estimations obtenues pour les deux espèces prises globalement sont intéressantes à considérer car elles offrent l'avantage de minimiser l'incidence des changements d'espèce cible, tout en ne s'éloignant pas trop des hypothèses de base des modèles de production globaux, car il s'agit d'espèces ayant le même biotope. On retiendra cependant qu'elles introduisent un certain biais du fait que la proportion des deux espèces a varié de façon différente dans la pêcherie sardinière semi-industrielle, qui a toujours utilisé le même engin de pêche, et dans la pêcherie artisanale, où l'apparition progressive des sennes tournantes à partir de 1973 a entraîné une augmentation relative des captures de *Sardinella aurita*.

Les estimations obtenues pour cette dernière espèce montrent que la part des captures et des efforts estimés reste modeste par rapport aux valeurs totales, et le vecteur d'effort obtenu correspond à ce que l'on sait de l'évolution des pêcheries.

TABLEAU I

Sardinelle ronde ; prises (tonnes), efforts (10 heures de pêche d'un sardinier standard), et p.u.e. (prises par unité d'effort) des différentes pêcheries sur la Petite Côte du Sénégal, et intensité moyenne du vent (\bar{V}) au cours des saisons d'alizés n et n-1 (m/s).
Sardinella aurita: catches (metric tons), fishing effort (10 hours' fishing of a standard semi-industrial purse seiner), catch per unit of effort (pue) of the fisheries on the Petite Côte of Senegal, and mean wind speed (\bar{V}) during the trade wind season of year n and n-1 (m/s).

| ANNEES | PRISES SARDINIERS (observées) | P.U.E. SARDINIERS (observés) | EFFORTS SARDINIERS (observés) | PRISES PIROGUES | EFFORTS PIROGUES | PRISES TOTALES | EFFORTS TOTAUX | P.U.E. TOTALES | INTENSITE DU VENT ($\frac{2V_n + V_{n-1}}{3}$) |
|--------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|--|
| 1966 | 4 250 | 13,54 | 314 | 3 970* | 293* | 8 220 | 607 | 13,54 | 4,93 |
| 1967 | 4 240 | 11,62 | 365 | 3 580* | 308* | 7 820 | 673 | 11,62 | 4,74 |
| 1968 | 7 060 | 12,70 | 556 | 4 110* | 324* | 11 190 | 880 | 12,70 | 4,53 |
| 1969 | 9 700 | 9,86 | 984 | 3 360* | 341* | 13 060 | 1 325 | 9,86 | 4,40 |
| 1970 | 8 390 | 7,56 | 1 110 | 2 710* | 359* | 11 100 | 1 469 | 7,56 | 4,32 |
| 1971 | 9 440 | 10,68 | 884 | 4 037* | 378* | 13 480 | 1 262 | 10,68 | 4,70 |
| 1972 | 17 250 | 16,32 | 1 057 | 6 500 | 398 | 23 750 | 1 455 | 16,32 | 5,63 |
| 1973 | 17 590 | 11,38 | 1 546 | 11 880* | 1 044* | 29 470 | 2 590 | 11,38 | 5,53 |
| 1974 | 17 790 | 9,75 | 1 819 | 16 530* | 1 690* | 34 320 | 3 509 | 9,75 | 5,76 |
| 1975 | 12 430 | 7,27 | 1 722 | 16 900* | 2 337* | 29 330 | 4 059 | 7,27 | 5,66 |
| 1976 | 14 800 | 8,06 | 1 536 | 24 050* | 2 964* | 38 850 | 4 820 | 8,06 | 5,79 |
| 1977 | 13 150 | 8,61 | 1 527 | 31 280 | 3 630 | 44 430 | 5 157 | 8,61 | 5,72 |
| 1978 | 12 660 | 9,15 | 1 354 | 32 280 | 3 356 | 44 940 | 4 740 | 9,48 | 5,21 |
| 1979 | 13 600 | 6,65 | 2 035 | 26 340 | 4 577 | 39 940 | 6 612 | 6,04 | 4,68 |
| 1980 | 14 560 | 7,01 | 2 120 | 28 620 | 3 837 | 43 480 | 5 957 | 7,29 | 4,96 |

* Estimations diverses (voir texte).

TABLEAU II

Sardinelle ronde et Sardinelle plate ; prises (tonnes), efforts (10 heures de pêche d'un sardinier standard) et p.u.e. (prises par unité d'effort) des différentes pêcheries sur la Petite Côte du Sénégal.

Sardinella spp.: catches (metric tons), fishing effort (10 hours' fishing of a standard semi-industrial purse seiner), catch per unit of effort (pue) of the fisheries on the Petite Côte of Senegal.

| ANNEES | PRISES SARDINIERS (observées) | P.U.E. SARDINIERS (observés) | EFFORTS SARDINIERS (observés) | PRISES PIROGUES | EFFORTS PIROGUES | PRISES TOTALES | EFFORTS TOTAUX | P.U.E. TOTALES |
|--------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1966 | 6 450 | 20,3 | 318 | 22 840* | 1 125* | 29 290 | 1 443 | 20,3 |
| 1967 | 5 410 | 17,7 | 306 | 20 960* | 1 184* | 26 370 | 1 490 | 17,7 |
| 1968 | 8 860 | 15,8 | 561 | 19 620* | 1 246* | 28 550 | 1 808 | 15,8 |
| 1969 | 14 450 | 14,3 | 1 012 | 18 760* | 1 312* | 33 240 | 2 324 | 14,3 |
| 1970 | 12 640 | 11,3 | 1 117 | 15 610* | 1 381* | 28 250 | 2 498 | 11,3 |
| 1971 | 11 430 | 13,2 | 870 | 19 190* | 1 454* | 30 670 | 2 324 | 13,2 |
| 1972 | 21 720 | 20,9 | 1 039 | 32 000 | 1 531 | 53 720 | 2 570 | 20,9 |
| 1973 | 26 200 | 16,3 | 1 608 | 33 740* | 2 070* | 59 940 | 3 678 | 16,3 |
| 1974 | 27 770 | 15,9 | 1 747 | 41 480* | 2 609* | 69 250 | 4 356 | 15,9 |
| 1975 | 21 930 | 12,5 | 1 754 | 39 360* | 3 149* | 61 290 | 4 903 | 12,5 |
| 1976 | 26 730 | 14,7 | 1 818 | 54 210* | 3 688* | 80 940 | 5 506 | 14,7 |
| 1977 | 22 400 | 14,8 | 1 513 | 55 200 | 4 227 | 77 600 | 5 740 | 13,5 |
| 1978 | 17 970 | 12,7 | 1 415 | 58 430 | 3 767 | 76 400 | 5 182 | 14,7 |
| 1979 | 22 310 | 10,7 | 2 085 | 47 160 | 4 415 | 69 470 | 6 500 | 10,7 |
| 1980 | 23 800 | 11,7 | 2 034 | 46 440 | 4 319 | 70 240 | 6 353 | 11,1 |

* Estimations diverses (voir texte).

Enfin, on fera les réserves d'usage quant à la représentativité de la p.u.e. en tant qu'indice d'abondance, en particulier à propos de la possibilité d'une variation du coefficient de capturabilité q en fonction de l'abondance (ULLTANG, 1976; FRÉON, 1980; SAVILLE, 1980).

Malgré quelques limitations, ces données nous semblent utilisables à des fins de modélisation de la production, d'autant que *Sardinella aurita* constitue l'espèce cible la plus importante des pêcheries à senne tournante, qu'elles soient artisanales ou semi-industrielles, ce qui permet de supposer que les p.u.e. sont relativement bien reliées à l'abondance du sous-stock.

5. RELATIONS APPARENTES ENTRE P.U.E., EFFORT DE PÊCHE ET VENT

Les valeurs obtenues de 1966 à 1980 pour *Sardinella aurita* et pour *Sardinella spp.* indiquent que la p.u.e. moyenne annuelle et l'effort de pêche varient en sens inverse, mais l'on constate que l'ajustement est médiocre pour l'ensemble des points, quelle que soit la relation mathématique appliquée entre les deux variables. En revanche, si l'on sépare les données en deux périodes, de part et d'autre du 1^{er} janvier 1972, il apparaît nettement que l'on peut tracer deux droites (ou deux courbes) décroissantes et légèrement divergentes (fig. 3 et 4). Ceci suggère que les variations de p.u.e. seraient expliquées par un deuxième facteur, indépendant de l'effort de pêche et qui aurait brutalement changé en 1972. Nos hypothèses de départ nous conduisent à rechercher ce

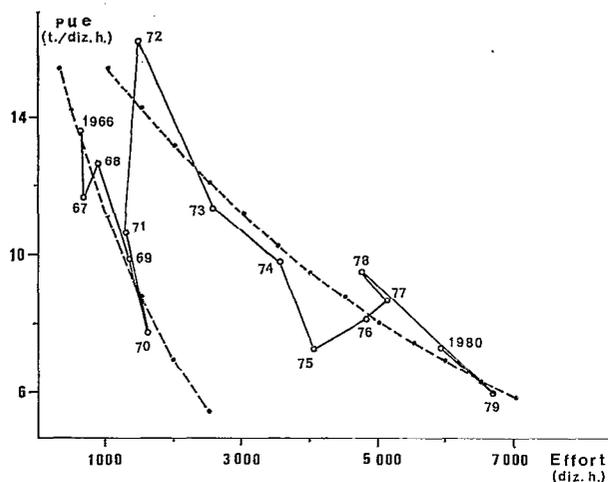


Fig. 3. — *Sardinella aurita* : relation apparente entre l'effort de pêche et les rendements sur la Petite Côte du Sénégal entre 1966 et 1980.

Sardinella aurita : apparent relationship between the fishing effort and yields (catch per unit of effort) on the Petite Côte of Senegal from 1966 to 1980.

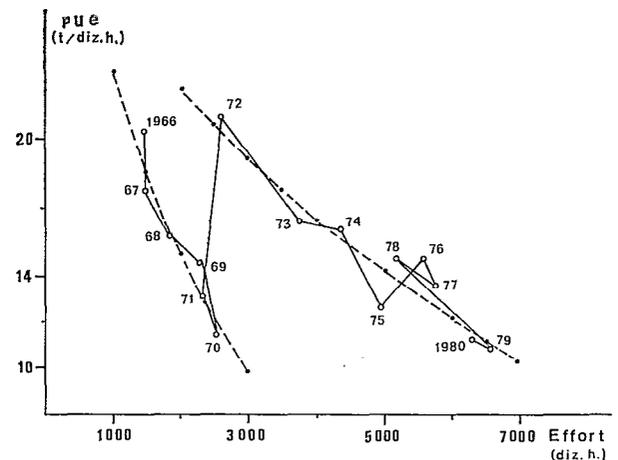


Fig. 4. — *Sardinella spp.* : relation apparente entre l'effort de pêche et les rendements sur la Petite Côte du Sénégal entre 1966 et 1980.

Sardinella spp. : apparent relationship between the fishing effort and yields (catch per unit of effort) on the Petite Côte of Senegal from 1966 to 1980.

facteur parmi les paramètres de l'environnement susceptibles d'agir sur l'abondance ou sur la disponibilité du sous-stock. Compte tenu du faible nombre de degrés de liberté dont on dispose, le risque habituel d'une telle recherche de variable explicative est celui d'analyser une multitude de variables et de ne retenir que celle(s) qui procure(nt) le meilleur ajustement, celui-ci pouvant alors être fortuit. Afin d'éviter au maximum ce travers, nous avons d'abord sélectionné deux variables sur un critère rationnel (cause-effet), puis testé le modèle à l'aide des outils statistiques. Une telle approche, à la fois rationnelle et empirique, a déjà été recommandée par BAKUN et PARRISH (1981).

On sait que les deux espèces de sardinelles se situent dans les premiers maillons de la chaîne trophique puisqu'elles sont phytoplanctophages au cours des premiers mois de leur vie, puis ont un régime alimentaire plus diversifié, mais restant très lié à la production primaire : phytoplancton, zooplancton et détritus. Ceci a été vérifié au Sénégal par les travaux ponctuels de NIELAND (1980) et confirmé par nos observations macroscopiques de contenus stomacaux sur un cycle annuel complet. Au niveau de la Petite Côte du Sénégal, l'enrichissement des eaux en sels minéraux, point de départ de la chaîne alimentaire, a lieu essentiellement grâce aux remontées d'eaux froides (ROSSIGNOL, 1973; REBERT, 1979; DOMAIN, 1980). Ce phénomène de résurgence, ou upwelling, est sans aucun doute à la base des variations de production primaire du milieu, comme l'ont montré divers travaux dont ceux

de SEDYK *et al.* (1979) en Mauritanie. Au Sénégal REBERT (1979) avait tenté sans succès de relier les anomalies mensuelles de p.u.e. des sardinelles rondes sur la Petite Côte aux anomalies d'intensité des vents dans la région (composante Nord-Sud). Aucune relation n'avait pu être mise en évidence avec les vents du Sénégal, même en introduisant un déphasage de quelques mois entre les deux séries. En fait, si la relation n'existe pas au niveau de l'échelle fine de temps retenu, il en va tout autrement si l'on considère l'échelle annuelle : lorsque l'on met en parallèle la relation entre p.u.e. et effort (pour *Sardinella aurita* ou pour *Sardinella spp.*) avec l'évolution annuelle de l'intensité moyenne des vents durant la saison d'alizés (de novembre à mai) entre 1966 et 1980, on constate que de 1966 à 1971, la

force du vent est inférieure à la moyenne, tandis qu'elle est supérieure ensuite, exception faite de l'année 1979 (fig. 5). Les mesures sont effectuées à Dakar-Yoff toutes les 3 heures et nous ont été communiquées sous la forme de moyennes mensuelles par l'ASECNA. Nous n'avons pas isolé ici de composante directionnelle, supposant que la direction moyenne des vents variait peu d'une année sur l'autre en saison d'alizés (PORTOLANO, sous presse). De même, par manque d'accessibilité aux données de base, on n'a pu utiliser la moyenne des carrés des mesures élémentaires, ce qui aurait été préférable (cf. chapitre 11).

En raison de l'existence d'un certain degré de corrélation ($r = 0,57$) entre l'intensité des vents des deux années successives, les données annuelles

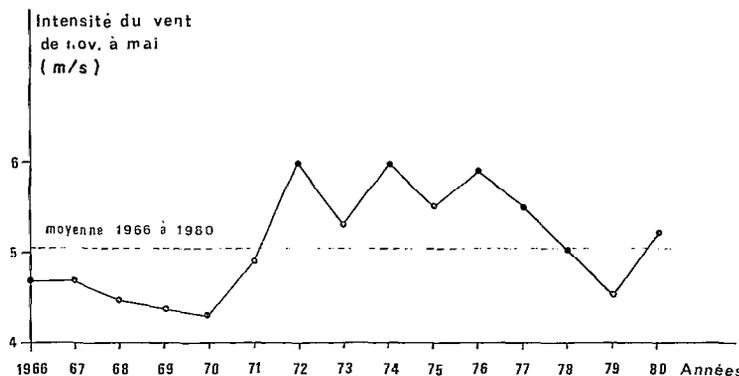


Fig. 5. — Évolution de l'intensité des vents de la saison d'alizés (de novembre de l'année n-1 à mai de l'année n) entre 1966 et 1980.
Time plot of the wind speed during the trade wind season (from November of year n-1 to May of year n) from 1966 to 1980.

permettent difficilement de déterminer si seul le vent de la saison d'alizés agit sur l'abondance durant l'année civile en cours ou si la saison précédente a également une influence, celle-ci étant prévisible du fait que la majorité des individus capturés sont âgés de 1 à 1,5 an. La comparaison de l'évolution mensuelle des p.u.e. et des vents reste également délicate. Il semble qu'en règle générale, une saison d'alizés prolongée entraîne la même année une saison de pêche étendue (années 71-72-74) et d'autant plus fructueuse que les vents auront été intenses. Cependant, certaines anomalies négatives de rendements ne peuvent être expliquées ni par des variations d'effort de pêche ni par la baisse d'intensité du vent durant la même saison (années 74 et 80); en revanche, il semble que les faibles vents de la saison d'alizés précédente puissent en être la cause. Nous verrons que l'analyse statistique des données apporte peu d'éclairage sur ce point.

Par ailleurs des travaux récents (I.O.C., 1981), ont montré que la turbulence de la couche superficielle du milieu (proportionnelle au cube du vent) et le

transport d'Ekman vers le large pouvaient avoir un effet dépressif sur la survie larvaire. Les individus capturés sont âgés de huit mois à un an et demi en majorité et la reproduction des deux espèces a lieu essentiellement durant la saison chaude. Aussi, dans une seconde étape, avons-nous introduit dans les modèles l'intensité moyenne du vent durant les mois de juin et octobre-novembre pour *Sardinella aurita* (ponte principale et ponte secondaire) et pour la période comprise entre juin et novembre inclus pour les deux espèces réunies (la période de ponte maximale de *Sardinella maderensis* ayant lieu durant toute la saison chaude). Ici encore nous n'avons pu calculer la composante du transport d'Ekman vers le large, ni calculé les moyennes des cubes des mesures élémentaires des vents.

6. MODÉLISATION DE LA PRODUCTION DES SARDINELLES

On a donc supposé, dans un premier temps, que les rendements moyens durant une année civile

dépendaient d'une part de l'effort de pêche au cours de la même année, d'autre part de l'intensité moyenne des vents durant la saison d'alizés de l'année précédente et de l'année en cours. On a effectué diverses régressions multiples entre les trois variables en faisant plusieurs hypothèses sur le type de relation pouvant exister entre les variables prises deux à deux.

Si l'on suppose d'une part une relation linéaire entre p.u.e. et l'effort de pêche, d'autre part une relation linéaire entre p.u.e. et intensité moyenne des vents, on obtient des relations du type :

$$\text{p.u.e.} = af + b\bar{V} + c + \varepsilon \quad (1)$$

$$\text{p.u.e.} = a + b\bar{V}f + \varepsilon \quad (2)$$

$$\text{p.u.e.} = (a + b\bar{V})f + c + \varepsilon \quad (3)$$

où p.u.e. est la capture par unité d'effort de l'année n , f l'effort de pêche de la même année, \bar{V} l'intensité du vent (on a essayé divers ajustements avec différentes moyennes pondérées entre les années n et $n-1$), a , b , c , des constantes déterminées par ajustement, et ε le résidu. La relation linéaire entre p.u.e. et effort suppose qu'au-delà d'un seuil d'effort de pêche les p.u.e. deviennent nulles (modèle de type SCHAEFFER, 1957), ce qui est en contradiction avec les hypothèses de base, tout au moins pour *Sardinella aurita* dont une partie du recrutement est indépendante de l'exploitation du sous-stock de la Petite Côte. Les modèles résultants semblent donc trop pessimistes et on leur préférera des ajustements de type exponentiel (Fox, 1970), où l'augmentation de l'effort de pêche provoque une décroissance plus progressive des rendements. En combinant les deux relations suivantes :

$$\log(\text{p.u.e.}) = a_1f + b_1 + \varepsilon_1 \quad (4)$$

$$\text{p.u.e.} = a^2\bar{V} + b_2 + \varepsilon_2 \quad (5)$$

on obtient des relations du type :

$$\text{p.u.e.} = a \exp(-a'f) + b\bar{V} + c + \varepsilon \quad (6)$$

$$\text{p.u.e.} = (a + b\bar{V}) \exp(-a'f) + \varepsilon \quad (7)$$

$$\text{p.u.e.} = (a + b\bar{V}) \exp(-a'f) + c + \varepsilon \quad (8)$$

Les équations (7) et (8) aboutissent à une famille de modèles de production présentant un même effort optimal et un même point d'extinction du stock (pour un effort infini), quelle que soit l'intensité du vent; seul le niveau des captures varie. En raison des connaissances actuelles de la biologie des espèces considérées et des exemples d'effondrement d'autres stocks pélagiques sous l'action combinée de la surexploitation et des conditions défavorables de l'environnement, on a préféré utiliser la relation (6) qui génère une famille de modèles où les risques de surexploitation du stock augmentent lorsque diminue la force des alizés. Le développement des diverses formules utilisables en fonction d'autres types de stocks fera l'objet d'une autre étude.

L'ajustement des points observés à la courbe théorique doit se faire par itération. Les données ont été traitées d'abord à l'aide d'une calculatrice programmable en utilisant la régression linéaire multiple. On a considéré alors $\exp(-a'f)$ comme une variable et l'on a recherché la valeur de a' qui minimisait les carrés des écarts (on a utilisé comme valeur initiale de a' le coefficient a_1 de la relation (4) obtenu par ajustement des valeurs relevées de 1972 à 1980).

Les résultats indiquent que les différentes pondérations entre les intensités de vent des saisons n et $n-1$ n'amènent pas de changements très importants de la qualité de l'ajustement. Nous avons retenu la formule :

$$\bar{V} = (2Vn + V_{n-1})/3 \quad (9)$$

Elle procure un meilleur ajustement pour *Sardinella spp.* (alors que pour *Sardinella aurita* le gain est négligeable), mais on ne peut prétendre qu'il s'agit là du choix le plus conforme à la réalité des faits. De la même manière, les calculs par itération indiquent que la qualité de l'ajustement est relativement peu sensible à des variations de a' , en revanche la valeur de ce dernier paramètre hypothèque lourdement la forme de la courbe de production au-delà des valeurs d'effort observées. Ainsi, la valeur optimale de a' , d'un point de vue strictement mathématique, ne peut être retenue car, appliquée à la relation entre captures (C), effort et vent (découlant de l'équation 6), on observe que la prise tend vers l'infini lorsque l'effort augmente et que le vent moyen reste stable (fig. 6) :

$$C = (a \exp(-a'f) + b\bar{V} + c) f + \varepsilon \quad (10)$$

Ceci indique qu'en l'occurrence, le meilleur ajustement mathématique n'est pas forcément le plus conforme à la réalité et que le choix des constantes doit également tenir compte des hypothèses de base (on retrouve ici les mêmes contingences que pour le choix du paramètre m dans le modèle généralisé de Fox (1975)). De façon quelque peu arbitraire, nous avons donc retenu des valeurs de a' qui assurent une stabilisation des prises lorsque l'effort augmente, dans un intervalle compatible avec la réalité, et que les vents sont stabilisés à un niveau élevé.

L'un des problèmes des modèles globaux de production étant la non indépendance entre les variables p.u.e. et effort de pêche (SISSEWINE, 1978; ROFF et FAIRBAIRN, 1980), on a ensuite effectué l'ajustement à partir de la relation (10). On a utilisé l'algorithme de MARQUART (1963), implanté sur un ordinateur de bureau, pour effectuer la régression non linéaire. Ceci a pour avantage de permettre le calcul des limites de confiance des paramètres. Aucun n'est significatif au seuil de 90%, en raison du faible nombre de degré de liberté dont on dispose (4 paramètres et 15 observations) et surtout de

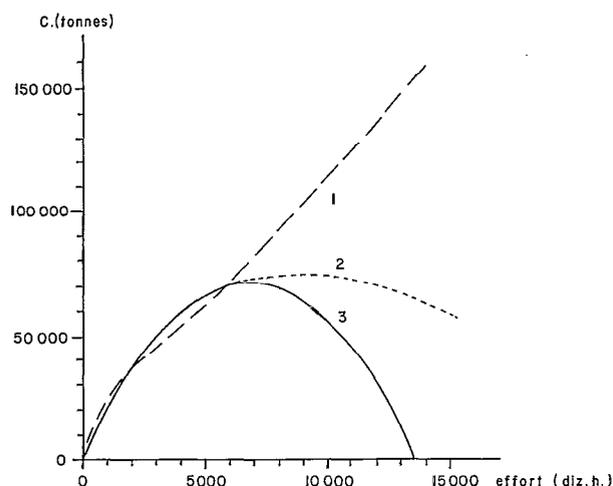


Fig. 6. — *Sardinella spp.* : incidence de la valeur de a' , dans la relation (6), sur les prédictions de production (C) lorsque l'effort de pêche dépasse les valeurs observées, pour un vent moyen constant ($\bar{V} = 5.15$). 1 — Optimum statistique (voir texte et tabl. VI). 2 — Optimum biologique retenu (voir texte et tabl. VI). 3 — Relation (1) du texte.

Sardinella spp. : consequences of a' value, in equation (6), on the production forecasts (C) when fishing effort exceed the observed values, with a constant wind speed ($\bar{V} = 5.15$). 1 — Statistical optimum (see text and tabl. VI). 2 — Biological optimum (see text and tabl. VI). 3 — Equation (1) of the text.

l'incertitude déjà mentionnée concernant la valeur de a' . Cependant il est satisfaisant de noter que lorsque l'on fixe a' à sa valeur biologique optimale dans la relation (10), la régression non linéaire indique que les trois paramètres restants (a , b , et c) présentent des valeurs significativement différentes de zéro pour *Sardinella spp.* Cela tend à montrer que l'effort de pêche et l'intensité des alizés auraient une influence certaine sur les prises, bien que la forme de la courbe soit incertaine au-delà des valeurs d'effort observées. En fait, on doit tout de même interpréter avec prudence ce résultat, car les valeurs successives de prises (et de p.u.e.) observées ne sont pas totalement indépendantes et présentent un certain degré d'auto-corrélation. Ceci vient diminuer le nombre réel (et déjà faible) de degrés de liberté. En résumé, tant que l'on ne disposera pas de plus de données et que le sous-stock n'aura pas été surexploité sous diverses intensités de vent, la valeur du paramètre a' devra être prédéterminée, selon des hypothèses, avant de rechercher par régression les valeurs des autres paramètres.

On remarque que les valeurs des différents paramètres d'un même modèle fluctuent largement selon le mode de régression utilisé (tabl. III). Cependant, dans l'intervalle des données observées, les différentes figures obtenues sont pratiquement identiques. Ces

dernières peuvent être réalisées en trois dimensions (fig. 7), ce qui visualise bien la relation, mais les échelles sont peu lisibles. On a retenu une représentation plane (fig. 8 et 9) et figuré des courbes pour quatre intensités de vents caractéristiques : 4,55 et 5,55 m/s qui correspondent aux moyennes des deux périodes distinguées dans nos observations (1966 à 1971; 1972 à 1980), 4,00 et 6,00 m/s qui sont les intensités extrêmes des moyennes saisonnières relevées depuis 1951. Afin de visualiser l'ajustement du modèle aux données, on a comparé l'évolution inter-annuelle des p.u.e. observées et calculées, de 1966 à 1980 (fig. 10 et 11).

L'introduction dans le modèle de l'intensité moyenne du vent durant la saison chaude précédant la prise (W) n'apporte qu'une légère amélioration de

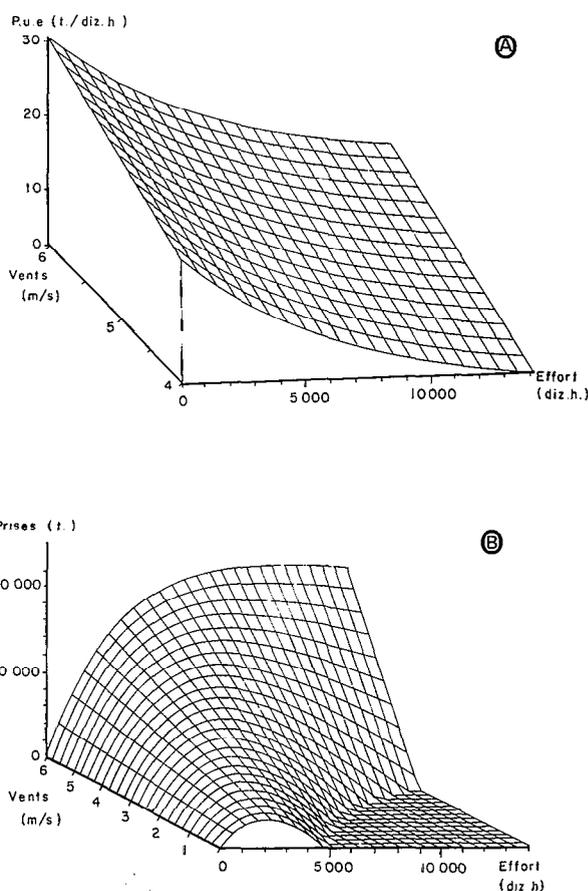


FIG. 7. — *Sardinella spp.* : représentation graphique en trois dimensions de l'évolution des rendements (pue; fig. 8 A) ou des prises (fig. 8 B) en fonction de l'effort de pêche et de l'intensité des vents sur la Petite Côte du Sénégal.

Sardinella spp. : tridimensional plot of the yields (pue; fig. 8 A) or the catches (prises; fig. 8 B) against fishing effort and wind speed on the Petite Côte of Senegal.

TABLEAU III

Valeurs des paramètres et intervalles de confiance à 90 % des régressions multiples entre la prise par unité d'effort (pue) ou la prise (C), et l'effort de pêche (f), la vitesse des vents durant la saison d'alizés (\bar{V}) et la vitesse du vent durant la période de reproduction (W), pour les espèces pélagiques de la Petite Côte.

Parameters values and confidence intervals at 90 % calculated from various multi-regressions between catch per unit of effort (pue) or catch (C) and fishing effort (f), wind speed during the trade wind season (\bar{V}), and wind speed during the spawning season (W), for coastal pelagic species of the Petite Côte of Senegal.

| ESP. | Type de régression et équation | Par. | Valeur | Limite inf. | Limite sup. |
|-------|--------------------------------|------|----------|-------------|-------------|
| S | LINEAIRE | a | 14.60 | 10.06 * | 19.14 * |
| A | | a' | .00013 B | - | - |
| R | pue = a EXP-a'f + b \bar{V} | b | 2.49 | .973 * | 4.00 * |
| D | + c + ϵ (1) | c | -12.89 | -22.5 * | -3.25 * |
| I | | | | | |
| N | NON-LINEAIRE | a | 11.75 | 6.61 | 16.9 |
| E | | a' | .00013 B | - | - |
| L | C = (a EXP-a'f + b \bar{V} | b | .911 | -.141 | 1.96 |
| L | + c) f + ϵ | c | -2.946 | -8.20 | 2.31 |
| A | | | | | |
| | NON-LINEAIRE | a | 9.42 | 2.23 | 16.61 |
| A | | a' | .00024 M | -.0007 | .0011 |
| U | C = (a EXP-a'f + b \bar{V} | b | 1.16 | -1.11 | 3.44 |
| R. | + c) f + ϵ | c | -1.01 | -8.10 | 6.08 |
| ===== | | | | | |
| S | LINEAIRE | a | 23.55 | 16.70 | 30.40 |
| A | | a' | .00010 B | - | - |
| R | pue = a EXP-a'f + b \bar{V} | b | 4.13 | 2.55 * | 5.72 * |
| D | + c + ϵ (1) | c | -22.63 | -33.91 * | -11.36 * |
| I | | | | | |
| N | NON-LINEAIRE | a | 14.63 | 2.58 | 26.7 |
| E | | a' | .00035 M | -.0004 | .0011 |
| L | C = (a EXP-a'f + b \bar{V} | b | 3.23 | 1.43 | 5.03 |
| L | + c) f + ϵ | c | -6.27 | -13.9 | 1.34 |
| A | | | | | |
| | NON-LINEAIRE | a | 18.60 | 11.5 | 25.7 |
| S | | a' | .00010 B | - | - |
| P | C = (a EXP-a'f + b \bar{V} | b | 2.80 | 1.48 | 4.11 |
| P | + c) f + ϵ | c | -12.5 | -20.8 | -4.18 |
| | | | | | |
| | NON-LINEAIRE | a | 19.86 | 12.2 | 27.5 |
| | | a' | .00010 B | - | - |
| | C = (a EXP-a'f + b \bar{V} | b | 3.84 | 1.40 | 6.28 |
| | + dW + c) f + ϵ | c | -12.4 | -20.9 | -4.00 |
| | | d | -1.65 | -4.87 | 1.59 |
| ===== | | | | | |
| T | LINEAIRE | a | 32.03 | 23.8 * | 40.3 * |
| O | | a' | .00015 B | - | - |
| U | pue = a EXP-a'f + b \bar{V} | b | 3.50 | 1.16 * | 5.85 * |
| T | + c + ϵ (1) | c | -16.9 | -31.9 * | -2.17 * |
| E | | | | | |
| S | NON-LINEAIRE | a | 26.75 | 20.20 | 33.3 |
| E | | a' | .00012 B | - | - |
| S | C = (a EXP-a'f + b \bar{V} | b | 2.14 | .72 | 3.56 |
| P | + c) f + ϵ | c | -9.18 | -17.3 | -1.07 |
| E | | | | | |
| | NON-LINEAIRE | a | 50.50 | 12.0 | 89.0 |
| C | | a' | .00071 M | .0004 | .0011 |
| E | C = (a EXP-a'f + b \bar{V} | b | 3.92 | 2.54 | 5.29 |
| S | + c) f + ϵ | c | -6.45 | -13.4 | .492 |

B : Valeur de a' optimale biologiquement (fixée avant régression).

M : Valeur optimale statistiquement (déterminée par la régression).

(1) : Résultats présentés sur les figures.

* : Limites non strictement valides (en raison de la non indépendance entre pue et f).

B : Optimal biological value of a' (fixed before computation).

M : Optimal statistical value of a' (determined by the regression).

(1) : Results presented on the figures.

* : Not strictly valid limits (due to the correlation between pue and f).

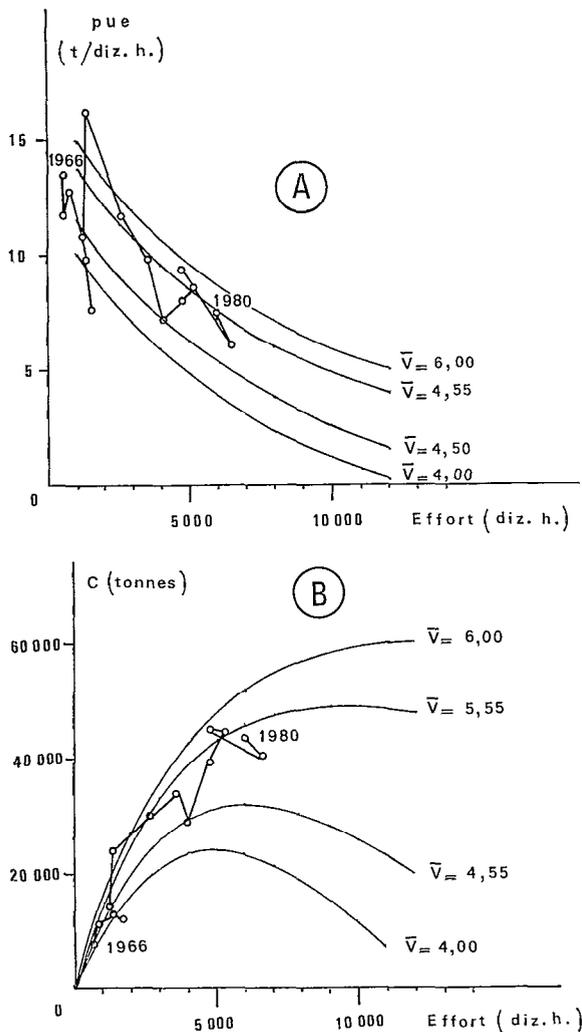


FIG. 8. — *Sardinella aurita* : modèle de production indiquant l'évolution des rendements (pue; fig. 9 A) ou des prises (C; fig. 9 B) en fonction de l'effort de pêche et de l'intensité moyenne des vents (quatre valeurs caractéristiques de \bar{V}), pour la Petite Côte du Sénégal. En surimpression, valeurs observées de 1966 à 1980.

Sardinella aurita : production model showing the variation of the yields (pue; fig. 9 A) or of the catches (C; fig. 9 B) according to the fishing effort and to the mean wind speed (four characteristic values of \bar{V}) on the Petite Côte of Senegal. Overprinted, observed values from 1966 to 1980.

l'ajustement et seulement dans le cas du modèle concernant *Sardinella* spp. (tabl. III) :

$$C = (a \exp(-a'f) + b \bar{V} + d W + c) f + \varepsilon \quad (11)$$

Le coefficient de régression d correspondant est négatif, conformément à ce que l'on pouvait attendre, mais sa valeur n'est pas significativement différente de zéro, au seuil de sécurité de 90 % calculé selon

la méthode précédemment exposée. Cependant ce résultat reste intéressant, car la relation est probablement partiellement masquée par l'existence d'une corrélation positive entre les vitesses des vents durant la saison froide (effet positif) et la saison chaude (effet négatif). Dans l'attente de plus de données pour confirmer cette hypothèse, seules les relations (6) et (10) ont été considérées dans la suite du texte.

7. ANALYSE DES RÉSULTATS

Les paramètres retenus procurent un ajustement satisfaisant des points, considérés dans leur ensemble, à la courbe théorique. Cependant, certaines années, les écarts entre les valeurs observées et les valeurs prévues par le modèle (résidus) ne sont pas négligeables, aussi bien pour *Sardinella aurita* que pour les deux espèces de sardinelles réunies. Deux causes majeures peuvent expliquer cette situation. En premier lieu, la précision des données de prise et d'effort, en partie estimées, n'est probablement pas très grande et introduit un certain bruit de fond. En second lieu, il est évident que l'effort de pêche et l'intensité des vents ne sont pas les deux seuls paramètres intervenant sur les rendements, et qu'une partie de la variance non expliquée par le modèle provient d'une multitude d'autres facteurs.

Parmi ceux-ci certains pourraient intervenir en contradiction avec les hypothèses de base (relation sous-stock d'adulte-recrutement, immigrations dans la zone de pêche, etc.) que nous tenterons de vérifier ultérieurement.

D'autres sources de variation peuvent se situer au niveau des fluctuations du recrutement, qui seraient indépendantes de l'intensité du vent durant la période de reproduction, de l'enrichissement trophique du milieu ou de la taille du stock parental. De même il est établi que le vent a un effet défavorable immédiat sur la capturabilité du poisson du fait que la détection des bancs est difficile par mer agitée, ainsi que les manœuvres du filet. Là encore, il semble que l'effet favorable soit globalement prépondérant, tout au moins sur les rendements calculés par heure de pêche effective (on envisagera ultérieurement l'incidence du vent sur rendements exprimés en temps de pêche potentiel). Enfin, pour clore cette liste non exhaustive de facteurs parasites du modèle, citons l'incidence des autres espèces, puisque la pêcherie est multispécifique, laissant place à des relations prédateurs-proie et surtout à des changements d'espèce cible à petite échelle, en fonction de l'abondance relative des différentes espèces et des conditions de marché (BOELY et CHABANNE, 1975). C'est dans cette dernière direction que nous avons recherché l'explication des résidus des valeurs annuelles de p.u.e. observées pour les deux espèces de sardinelles regroupées.

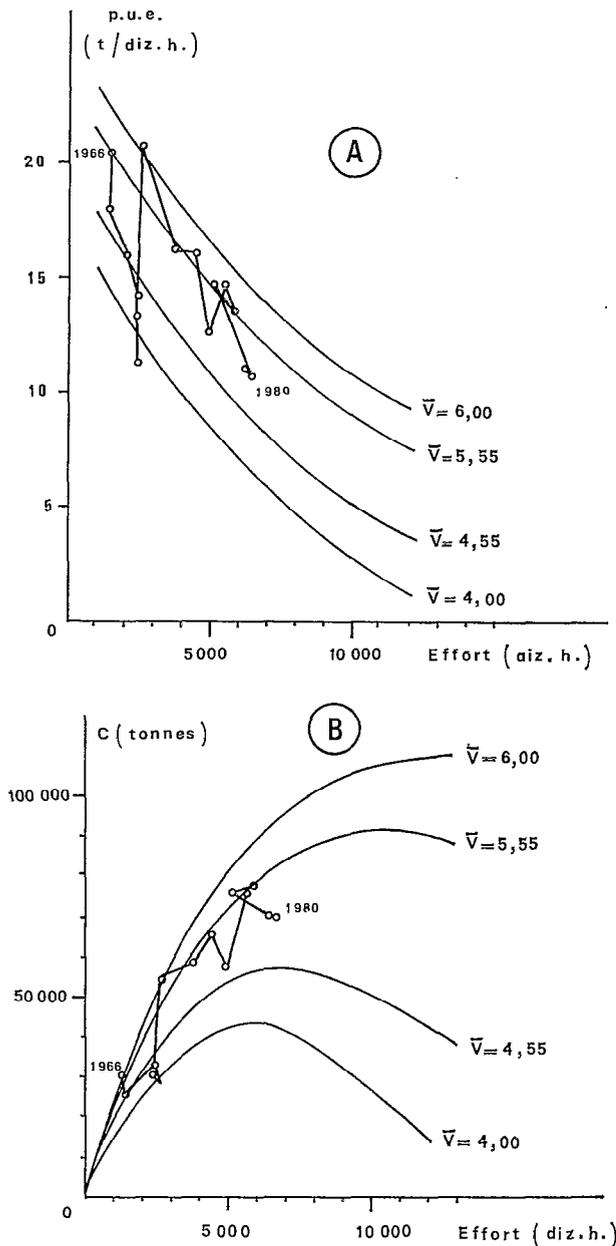


FIG. 9. — *Sardinella* spp. : modèle de production indiquant l'évolution des rendements (pue ; fig. 10 A) ou des prises (C ; fig. 10 B) en fonction de l'effort de pêche et de l'intensité moyenne des vents (quatre valeurs caractéristiques de \bar{V}), pour la Petite Côte du Sénégal. En surimpression, valeurs observées de 1966 à 1980.

Sardinella spp. : production model showing the variation of the yields (pue ; fig. 10 A) or of the catches (C ; fig. 10 B) according to the fishing effort or to the mean wind speed (four characteristic values of \bar{V}), on the Petite Côte of Senegal. Overprinted, observed values from 1966 to 1980.

Les résidus de p.u.e. présentent en effet une corrélation négative avec les anomalies annuelles du pourcentage des espèces autres que les sardinelles

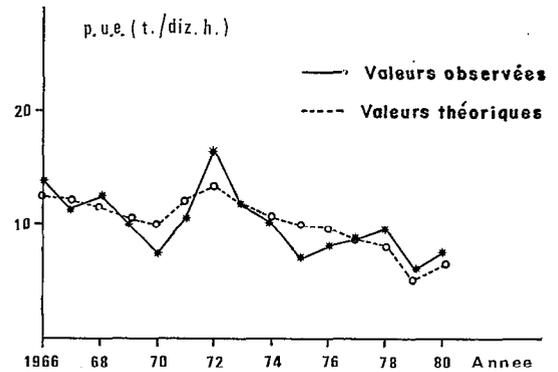


FIG. 10. — *Sardinella aurita* : comparaison des valeurs de prise par unité d'effort observées aux valeurs prédites par le modèle (pue), de 1966 à 1980.

Sardinella aurita : comparison between observed and predicted values of catch per unit of effort (pue), from 1966 to 1980.

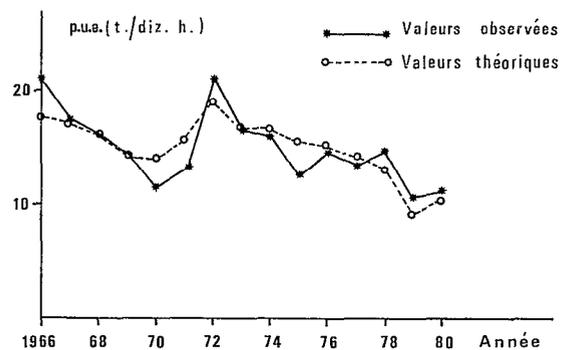


FIG. 11. — *Sardinella* spp. : comparaison des valeurs de prise par unité d'effort observées aux valeurs prédites par le modèle (pue), de 1966 à 1980.

Sardinella spp. : comparison between observed and predicted values of catch per unit of effort (pue), from 1966 to 1980.

dans les captures totales des sardinières dakarais à partir de 1970. Ceci permet de supposer que les années où les rendements observés sur les sardinelles sont plus faibles que ceux attendus d'après le modèle, d'autres espèces ont été pêchées plus que de coutume, et vice-versa. Ce fut le cas en 1970 où la baisse des p.u.e. sur les sardinelles, prévue par le modèle, a été accentuée par un report d'effort sur diverses espèces. En revanche la surabondance des Clupéidés en 1972, liée à l'intensification de l'upwelling, a entraîné un délaissement des autres familles de poisson. En 1975, le maquereau (*Scomber japonicus*) et d'autres espèces de saison froide étaient particulièrement abondants et disponibles dans la pêcherie, atteignant le chiffre record de 28 % des captures totales annuelles et provoquant un certain désintérêt pour les sardinelles de moins forte valeur commerciale (la cause biologique du phénomène reste toujours à élucider). Enfin, ces dernières années les sardinelles ont été préférées aux autres espèces, pour des

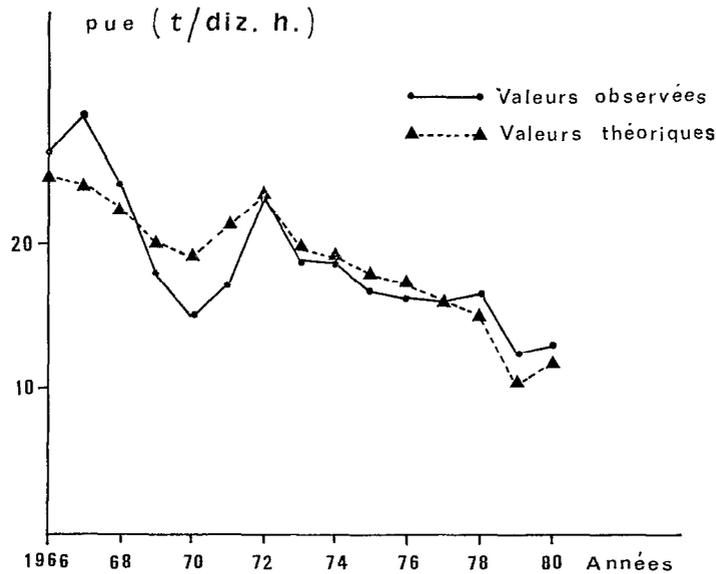


FIG. 12. — Toutes espèces pélagiques côtières regroupées : comparaison des valeurs de prise par unité d'effort observées aux valeurs prédites par le modèle (pue), de 1966 à 1980.

All coastal pelagic species regrouped: comparison between observed and predicted values of catch per unit or effort (pue), from 1966 to 1980.

raisons pas toujours évidentes, si ce n'est dans le cas des Pomadasydés qui ont été l'objet d'une surexploitation entraînant la baisse des rendements. Il est donc évident que l'indice d'abondance des sardinelles, que représente la p.u.e., amplifie les fluctuations de l'abondance effective.

8. MODÈLE REGROUPANT L'ENSEMBLE DES ESPÈCES PÉLAGIQUES

Ces considérations nous conduisent à envisager un modèle englobant l'ensemble des espèces pélagiques côtières capturées sur la Petite Côte dans le but de réduire les biais liés aux interactions entre espèces. Un tel modèle est éminemment critiquable d'un point de vue scientifique comme nous le verrons, mais il reste un outil précieux pour les responsables de la gestion des pêcheries, auxquels on se doit d'expliquer les limites d'application. Cette nécessité était déjà apparue clairement à BOELY et CHABANNE (1975) qui avaient établi un modèle de production global à partir d'un ajustement linéaire des données de rendement et d'efforts de pêche des seuls sardiniens dakarois, toutes espèces confondues. Ils aboutissaient à une prise maximale équilibrée de 25 000 tonnes pour la seule pêcherie industrielle, indépendante des facteurs de l'environnement et supposant la stabilité des conditions d'exploitation sur la Petite Côte et à l'extérieur de celle-ci. Leurs calculs ne prenaient pas en compte la pêche artisanale.

Leurs hypothèses de départ différaient des nôtres par le fait qu'ils admettaient l'existence d'échanges

importants entre la pêcherie et l'ensemble de la région. En effet, si l'on peut supposer, comme nous l'avons fait, que les jeunes reproducteurs de sardinelles ne sont exploités à l'extérieur de la Petite Côte qu'après avoir quitté cette zone, mais jamais avant, il en va tout autrement des individus adultes migrateurs de saison chaude, et surtout de saison froide, appartenant à diverses espèces. Ces poissons migrent à travers toute la région, de la Mauritanie à la Guinée Bissau, et subissent donc une exploitation indépendante de celle de la Petite Côte. Aussi, BOELY et CHABANNE ont-ils supposé que les conditions d'exploitation à l'extérieur de la pêcherie dakaroise restaient stables à partir de la première année étudiée (1966), et qu'aucun des stocks n'était en rupture d'équilibre. Nous en ferons notre hypothèse de travail, bien que l'effort de la pêche étrangère ne soit pas toujours resté constant, comme nous le verrons. On tentera d'évaluer ensuite le biais que cela peut introduire. On intégrera dans le nouveau modèle l'ensemble des données de pêche artisanale sur la Petite Côte comme précédemment, ce qui permet de nous affranchir de l'hypothèse de stabilité de cette pêcherie. Enfin, on prendra en compte ici aussi la variable des alizés qui influe, non seulement sur l'abondance des jeunes sardinelles, mais probablement sur celle des autres espèces migratrices de saison froide.

Les résultats obtenus procurent un bon ajustement (fig. 12; tabl. III et IV), mais les valeurs des paramètres du modèle indiquent que celui-ci est légèrement moins sensible que les précédents aux variations d'intensité des alizés. Les fortes anomalies de rendement de 1972 et 1975 ont disparu, comme le

TABLEAU IV

Toutes espèces regroupées : prises (tonnes), efforts (10 heures de pêche d'un sardinier standard) et p.u.e. (prise par unité d'effort) de différentes pêcheries sur la Petite Côte du Sénégal.

All coastal pelagic species regrouped: catches (metric tons), effort (10 hours' fishing of a standard purse seiner) and catch per unit of effort (pue) of the fisheries on the Petite Côte of Senegal.

| | Prises (Sardiniers (observ.)) | P.U.E. (Sardiniers (observ.)) | Efforts (Sardiniers (observ.)) | Prises (Pirogues) | Efforts (Pirogues) | Prises (Totales) | Efforts (Totaux) | P.U.E. (Tot.) |
|----|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| 66 | 8 830 | 26,9 | 328 | 37 010 | 1 376 | 45 840 | 1 704 | 26,9 |
| 67 | 8 500 | 29,1 | 292 | 42 130 | 1 448 | 50 630 | 1 740 | 29,1 |
| 68 | 14 000 | 24,2 | 578 | 36 880 | 1 524 | 50 880 | 2 102 | 24,2 |
| 69 | 18 330 | 17,9 | 1 024 | 28 710 | 1 604 | 47 040 | 2 628 | 17,9 |
| 70 | 17 200 | 15,3 | 1 125 | 25 840 | 1 689 | 43 040 | 2 814 | 15,3 |
| 71 | 14 350 | 17,4 | 827 | 30 940 | 1 778 | 45 290 | 2 605 | 17,4 |
| 72 | 24 980 | 23,5 | 1 064 | 44 000 | 1 872 | 68 980 | 2 936 | 23,5 |
| 73 | 31 640 | 18,8 | 1 679 | 44 350 | 2 359 | 75 990 | 4 038 | 18,8 |
| 74 | 33 920 | 18,7 | 1 813 | 53 200 | 2 845 | 87 120 | 4 658 | 18,7 |
| 75 | 30 450 | 16,8 | 1 809 | 55 980 | 3 332 | 86 430 | 5 141 | 16,8 |
| 76 | 31 010 | 16,3 | 1 900 | 62 250 | 3 819 | 93 260 | 5 719 | 16,3 |
| 77 | 26 380 | 17,5 | 1 509 | 65 800 | 4 306 | 92 180 | 5 815 | 17,5 |
| 78 | 20 900 | 14,8 | 1 413 | 72 300 | 4 176 | 93 200 | 5 589 | 14,8 |
| 79 | 25 010 | 12,6 | 1 983 | 66 200 | 5 248 | 91 210 | 7 231 | 12,6 |
| 80 | 27 510 | 13,0 | 2 121 | 62 210 | 4 902 | 89 720 | 7 023 | 13,0 |

laissait prévoir l'analyse de la composition des captures. En revanche, les prédictions demeurent moins satisfaisantes pour les années antérieures à 1972. On interprétera ces résultats au niveau de la critique des modèles et de la vérification des hypothèses de base.

9. ANALYSE DES HYPOTHÈSES ET CRITIQUES DES MODÈLES

9.1. Analyse des hypothèses pour l'estimation des données

La série des données sur la pêche semi-industrielle est complète et peut être considérée comme relative-

ment fiable. Seules quelques estimations ont dû être faites en 1967 et en 1973. En revanche, nous avons vu que les données de pêche artisanale n'avaient été obtenues qu'au prix de trois hypothèses majeures. La première stipule que les rendements des sardinières dakaroises sont proportionnels à ceux de la pêche artisanale dans son ensemble. On ne dispose que de quatre années de données concomitantes sur les deux pêcheries et elles indiquent que les p.u.e. des sennes tournantes piroguières diminuent plus vite que celle des sardinières. Il est difficile de tirer des conclusions à partir d'aussi peu d'information, d'autant que ces dernières années l'effort de

pêche s'est concentré au niveau de la partie sud de la Petite Côte, là où opèrent les unités artisanales enquêtées à partir de Mbour et Joal, tandis que l'activité de pêche restait plus stable dans la partie nord, là où exercent les sardiniers dakarois. Ceci pourrait expliquer l'accentuation de la baisse des rendements des piroguiers (FRÉON et WEBER, sous presse). Quoi qu'il en soit, il paraît logique de supposer une évolution parallèle des p.u.e. des senneurs semi-industriels et des senneurs artisans, qui capturent les mêmes espèces au même âge, dans des proportions très voisines et dans des zones très proches, voire communes à certaines périodes de l'année. Les sennes de plage artisanales, bien qu'opérant à la côte et sur des individus plus jeunes de quelques mois, peuvent également satisfaire à notre hypothèse.

Le cas des filets maillants encerclants des piroguiers appelle à plus de réserves : en effet, ces engins sont très sélectifs et capturent selon leur maillage, soit une majorité de *Sardinella maderensis*, de taille identique à celle des sennes tournantes, soit des ethmaloses (FRÉON *et al.*, 1978). Les données estimées pour *Sardinella aurita* sont donc de ce point de vue relativement fiables puisque l'essentiel des captures artisanales provient des sennes tournantes ou des sennes de plage. En revanche, les estimations concernant l'ensemble des deux espèces de sardinelles restent critiquables : le mode de calcul employé revient à utiliser une part des rendements de *Sardinella aurita*, observés sur les sardiniers, pour estimer les captures de *Sardinella maderensis*. Les dernières évaluations de captures, réalisées pour l'ensemble des espèces, sont encore plus pernicieuses puisque les senneurs semi-industriels ne capturent que de très faibles quantités d'*Ethmalosa fimbriata*, alors que la part de cette espèce dans les débarquements des pêcheurs artisans est de 7 à 20 %. Ceci incite à utiliser avec encore plus de prudence le modèle de production correspondant.

La deuxième hypothèse concerne l'évolution de l'effort de pêche artisanal de 1972 à 1977, que nous avons supposée linéaire dans le temps (l'effort de pêche réel durant cette période est fonction non seulement du nombre d'engins en activité, mais aussi du degré d'apprentissage). On ne dispose pas d'éléments permettant de vérifier cette hypothèse, mais il est évident que l'apparition des sennes tournantes, en remplacement partiel des filets maillants encerclants moins performants, n'a pu que provoquer une croissance continue de la pression de pêche exercée sur le sous-stock de *Sardinella aurita*, ainsi que sur les autres espèces considérées globalement, ceci malgré les variations dans la composition spécifique des captures. La linéarité de cette croissance demeure une approximation, mais les conséquences d'une erreur à ce niveau sont minimales.

La troisième hypothèse suppose une croissance lente de l'effort de pêche artisanal de 1966 à 1972. Ici encore, il est difficile d'étayer cette supposition par des chiffres, mais il est certain que l'effort de pêche n'a pu que s'accroître au cours de cette période. Le faible taux de croissance retenu reste cependant discutable. L'incidence de ce choix est minimale pour les données concernant *Sardinella aurita*, en revanche il est déterminant pour les autres modèles, et l'on a testé la sensibilité de ceux-ci à différentes hypothèses du taux d'augmentation de l'effort de 1966 à 1972. La valeur retenue au départ (décroissance de 5 % par an à partir de 1972) peut être considérée comme une hypothèse basse, et l'on a testé l'effet d'une décroissance moyenne (— 10 % par an) et d'une décroissance très forte (— 20 % par an). Les nouvelles estimations ainsi obtenues procurent un ajustement du modèle légèrement meilleur, ce qui ne signifie pas pour autant qu'elles soient plus exactes que les précédentes : on ne cherche pas ici à ajuster des données au modèle ! On notera que les optima biologiques (MSY) d'effort et de p.u.e. sont relativement peu sensibles à ces différentes hypothèses. Cependant, on gardera à l'esprit que ceci peut aussi provenir du mode d'estimation des données.

9.2. Analyse de l'hypothèse d'indépendance des sous-stocks de la Petite Côte

L'hypothèse la plus fondamentale est l'indépendance des sous-stocks vis-à-vis des différentes exploitations à l'extérieur de la Petite Côte. On peut tenter de la vérifier en recherchant l'impact de l'évolution des pêcheries voisines sur les rendements relevés sur la Petite Côte. On ne dispose malheureusement que d'informations partielles sur les variations d'effort de pêche pour l'ensemble de la région, cependant, il est certain que celui-ci a très fortement augmenté de 1966 à 1970, puis qu'il s'est stabilisé pour diminuer légèrement ces dernières années en raison des réglementations successives des différents pays côtiers (BOELY et FRÉON, 1979). L'évolution interannuelle des captures totales suit bien ce schéma, même si elle intègre, en supplément, les variations de rendement (fig. 13). On remarque d'une part que l'effort de pêche sur l'ensemble de la région n'est pas corrélé avec celui déployé sur la Petite Côte, ce qui permet de s'affranchir d'une confusion possible entre l'effet des deux variables sur les rendements. D'autre part, dans l'intervalle de temps de notre étude, il est évident que les forts changements de niveau de rendements sur la Petite Côte ne peuvent être expliqués par les variations de l'intensité de pêche sur l'ensemble de la région : en particulier, on remarquera que c'est au moment où cette intensité de pêche devient culminante que les rendements des sardiniers dakarois augmentent

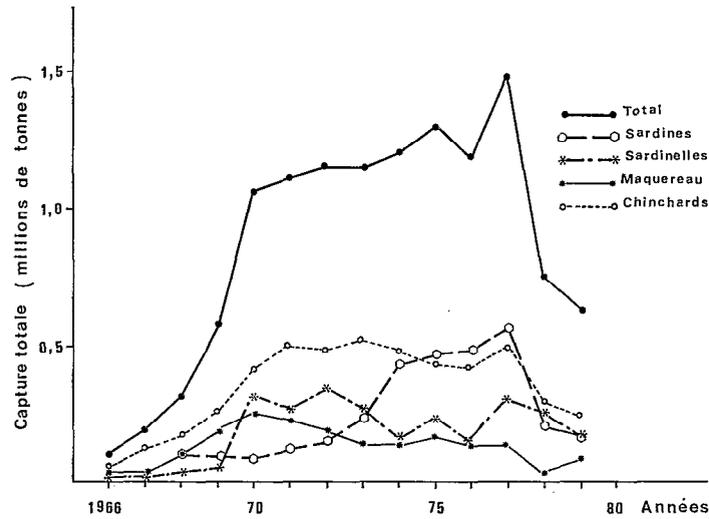


FIG. 13. — Évolution des captures des principales espèces pélagiques côtières dans la région sénégal-mauritanienne, en excluant la Petite Côte du Sénégal (1966 à 1980).

Time plot of the catches of the main coastal pelagic species in the Senegal-Mauritania area, except the Petite Côte of Senegal (1966 to 1980).

(1971 et 1972), et ceci avant même que l'apparition massive de *Sardina pilchardus* dans les pêcheries de Mauritanie ne provoque un changement d'espèce cible susceptible d'être bénéfique aux autres espèces (DOMANEVSKI et BARKOVA, 1979; FRÉON et STEQUERT, 1979).

Si l'on considère maintenant l'évolution de l'effort de pêche sur les poissons pélagiques côtiers, non plus à l'échelle de toute la région, mais à celle des différentes zones de pêche du Sénégal, on constate qu'il présente ici aussi de grandes variations dans le temps. Jusqu'au début 1973, date de l'extension à 200 milles des eaux sous juridiction sénégalaise, l'effort de pêche exercé au Sénégal par les flottes étrangères a suivi la même évolution que pour l'ensemble de la région, c'est-à-dire une augmentation brutale en 1970-71. La pêche pouvait même s'exercer partiellement en concurrence avec les pêcheries nationales côtières, l'interdiction d'exercer en dedans des 12 milles côtiers étant probablement peu respectée à cette époque. Ceci peut signifier que l'effort de pêche sur la frange côtière de la Petite Côte a été sous-estimé dans nos données, ce qui pourrait expliquer que de 1966 à 1970 la tendance à la baisse des p.u.e. soit plus brutale que ne le prévoit le modèle pour *Sardinella aurita*, ainsi que les autres modèles multispécifiques (pour ces derniers, une autre explication a été proposée, relative à l'estimation des données). De 1973 à 1976, l'effort de pêche des nations étrangères était pratiquement nul au Sénégal, seuls quelques senneurs ivoiriens opéraient irrégulièrement en Casamance. De 1977 à 1980, les chalutiers pélagiques polonais ont travaillé sous licence

au Sénégal, à l'extérieur des 12 milles côtiers, et concentré leur activité de pêche en Casamance. L'effort de pêche a donc brutalement augmenté, les captures atteignant 70 000 tonnes par an, sans pour autant provoquer de diminution notable des rendements sur la Petite Côte, alors que la composition spécifique des captures est sensiblement la même pour les deux pêcheries. En définitive, notre principale hypothèse de base se vérifie sur la période étudiée, malgré certaines lacunes dans les données.

Ces observations ne signifient pas pour autant que l'indépendance du recrutement par rapport au stock parental adulte restera toujours vraie dans l'avenir. Il est certain qu'au-delà d'un certain taux de prélèvement sur le stock (considéré dans son ensemble), la biomasse des géniteurs sera trop faible pour maintenir l'équilibre et qu'un effondrement peut apparaître de façon très brutale, comme cela est souvent le cas pour les poissons pélagiques côtiers (SAVILLE, 1980).

Les quelques connaissances biologiques exposées précédemment indiquent que, pour *Sardinella aurita*, on peut envisager deux cas théoriques extrêmes. Dans le premier, si l'essentiel du recrutement sur la Petite Côte a pour origine la reproduction du sous-stock d'individus adultes migrants (ponte principale), on conçoit que l'abondance de ce dernier dépendra à court terme de son exploitation sur l'ensemble de la région, et à moyen terme de celle des deux sous-stocks de jeunes reproducteurs qui lui procurent son propre recrutement. Il en sera de même du recrutement sur la Petite Côte si la relation stock-recrutement est prépondérante et présente un dôme prononcé. Dans ces conditions notre modèle

nécessiterait, sinon la stabilité de l'effort de pêche à l'extérieur de la Petite Côte, tout au moins l'absence de surexploitation. Ceci garantirait au sous-stock de la Petite Côte un recrutement relativement constant (pour une intensité des vents stable) et une grande résistance à la surexploitation.

Le deuxième cas théorique opposé serait que la ponte secondaire des jeunes reproducteurs de la nurserie sénégalaise assure en fait la majorité du recrutement du sous-stock correspondant. Bien que peu probable, cette hypothèse extrême permettrait de considérer cette fraction du stock comme étant totalement indépendante des autres composantes de la population. On se trouverait alors dans une situation équivalente à celle d'un stock unique à vie courte ayant une mortalité infinie (émigration totale) au cours de la deuxième année de vie des individus. Dans ces conditions ce stock serait très sensible à l'effort de pêche déployé sur la Petite Côte, d'autant qu'une certaine proportion d'individus sont capturés avant d'avoir effectué une première ponte. Ce deuxième cas justifierait probablement l'utilisation d'un ajustement linéaire entre p.u.e. et effort de pêche, tandis qu'au premier cas correspondrait mieux un ajustement curviligne, assurant une faible sensibilité de la production aux niveaux d'efforts intenses (type $m = 0,5$ du modèle généralisé de Fox (1975)). La réalité se situe probablement entre ces deux cas extrêmes, puisque l'on observe tout au long de l'année un recrutement quasiment continu dans la pêcherie sénégalaise, ce qui laisse à penser que les deux pontes interviennent de façon significative pour assurer le renouvellement du sous-stock. En définitive le stock de *Sardinella aurita*, grâce à ses trois composantes réparties dans différents pays, offre probablement une certaine résistance à la surexploitation locale, et des mécanismes complexes de régulation doivent jouer. Le modèle établi pour cette espèce semble donc tolérant vis-à-vis de l'hypothèse de base concernant la stabilité du taux d'exploitation à l'extérieur de la Petite Côte. Cependant le stock n'a jamais subi dans le passé de fortes exploitations au niveau des trois sous-stocks en même temps (malgré l'absence de concertation entre les différents pays côtiers lors de l'octroi d'accords de pêche aux flottes étrangères à la région). Si cette situation survenait, nos connaissances actuelles ne nous permettraient pas de prévoir l'évolution des rendements, mais on devrait redouter un effondrement de l'ensemble du stock.

Le sous-stock de jeunes reproducteurs de *Sardinella maderensis* (qui n'a pas été modélisé individuellement) offre des caractéristiques différentes, puisqu'ici on est pratiquement certain que le sous-stock d'adultes n'alimente pas la nurserie sénégalaise (bien que pour certaines années cela reste à vérifier). En associant les deux espèces dans un même modèle

de production, on s'affranchit donc un peu plus de l'hypothèse de base principale.

Toutefois, on notera que pour les deux espèces, la zone littorale de la Petite Côte ne constitue probablement pas une nurserie parfaite où toutes les sardinelles de la région sénégalaise effectueraient leur croissance. En effet, lors du réchauffement des eaux superficielles, les juvéniles de *Sardinella aurita* s'enfoncent vers le large (BOELY *et al.*, 1982) et il n'est pas exclu qu'ils effectuent également des migrations de direction Nord-Sud en eau profonde. Ces juvéniles ne font l'objet d'aucune exploitation, ce qui répond à nos hypothèses, en revanche on ne peut affirmer qu'il n'y a pas d'échange avec la nurserie mauritanienne. De plus, les jeunes reproducteurs effectuent des migrations de moyenne amplitude qui dépassent parfois les limites de la Petite Côte. Ainsi, il est certain que des échanges ont lieu avec la pêcherie gambienne, dont les débarquements sont de l'ordre de 10 000 tonnes par an, et peut-être avec celle de Casamance. Rappelons enfin que l'hypothèse d'un stock guinéen de *Sardinella aurita*, remontant jusqu'au cap Vert en fin de saison chaude, avait été avancée par BOELY *et al.* (1979). Bien que cette idée ait ensuite été abandonnée, on ne peut la rejeter définitivement.

Le dernier modèle présenté, regroupant toutes les espèces, est sans aucun doute celui pour lequel l'hypothèse de stabilité des exploitations à l'extérieur de la Petite Côte doit être le plus strictement respectée, compte tenu du fort taux d'échange des autres espèces avec les zones périphériques. Notons de plus que, par principe, la validité scientifique d'un tel modèle est difficilement défendable, car il regroupe diverses espèces, appartenant à différents maillons de la chaîne trophique, et dont les stocks ne présentent pas nécessairement la même résilience.

9.3. Analyse de l'hypothèse de l'effet du vent sur la production

La dernière hypothèse de base importante concerne l'effet de l'intensité des alizés sur l'abondance des poissons. C'est essentiellement la brusque remontée des rendements de 1970 à 1972 qui a motivé l'introduction de ce paramètre dans les modèles de production. On peut en fait supposer que cette remontée n'est due qu'à la variabilité du milieu, indépendamment du phénomène d'upwelling, ou encore à l'existence d'un biais dans les données, tel qu'une augmentation de la puissance de pêche de la flottille. Pour tenter de vérifier cette dernière éventualité, on a calculé séparément les p.u.e. annuelles de trois sardiniens ayant exercé depuis les débuts de la pêcherie, et dont les caractéristiques n'ont pas varié.

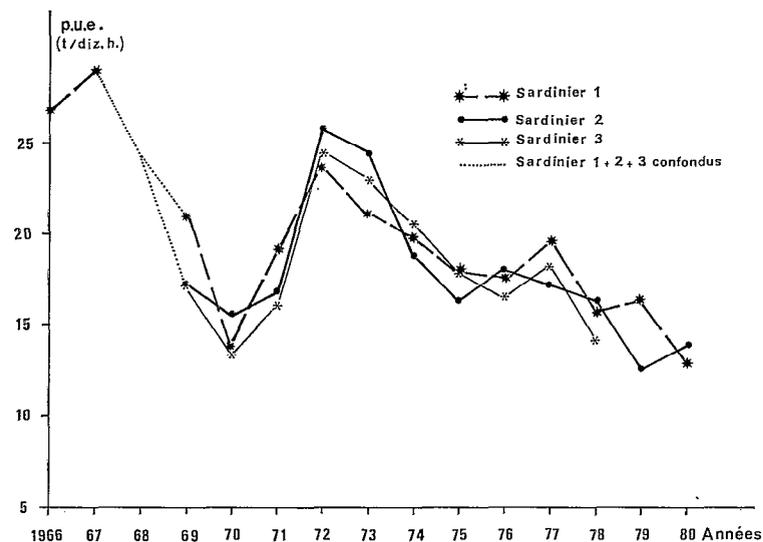


FIG. 14. — Évolution des rendements nominaux de trois sardiniers entre 1966 et 1980 (toutes espèces pélagiques côtières confondues).
Time plot of the nominal yields of three purse seiners from 1966 to 1980 (all coastal pelagic species regrouped).

On constate que l'on retrouve un schéma d'évolution des rendements identiques à celui obtenu pour l'ensemble de la flotille (fig. 14). De plus, il est intéressant de souligner que durant l'année 1972 d'autres anomalies sont apparues dans diverses régions de l'Atlantique Tropical Est : apparition de *Sardina pilchardus* en quantité exploitable en Mauritanie (SEDYKH *et al.*, 1979); FRÉON et STEQUERT, 1979), explosion démographique de *Sardinella aurita* en Côte d'Ivoire et au Ghana accompagnée du début de l'apparition de *Balistes carolinensis* (O.R.S.T.O.M., 1976; FAO, 1980).

Un point faible de l'hypothèse concernant les effets des alizés réside dans le fait que la baisse importante de l'intensité des vents en 1979 n'a pas eu sur les rendements un effet dépressif aussi important que ne le prévoient nos modèles. Pour cette raison, on observe que des modèles de production exponentiels classiques (Fox, 1970), procurent de meilleurs ajustements, aux données de ces dernières années, que les modèles à trois variables proposés ici. Ces derniers décrivent mieux l'ensemble des changements sur toute la période d'observation : ceci est net pour les modèles sur les sardinelles (fig. 10 et 11), en revanche, pour le dernier modèle incluant toutes les espèces, l'avantage de notre ajustement multivariable est minime. Aussi a-t-on appliqué le modèle de production généralisé de Fox (1975) à l'aide du programme PRODFIT. Les résultats indiquent que l'optimum de production serait de l'ordre de 96 000 tonnes par an, ce qui correspond à la valeur prédite par le modèle multivariable pour un vent stabilisé à 5,6 m/s. Mais, ici comme précédemment, le modèle

n'est d'aucun secours pour les prédictions au-delà de l'effort optimal : la valeur du paramètre m , obtenue par ajustement, tend vers zéro, ce qui conduit à des figures peu réalistes, et l'on est conduit à imposer une valeur de m choisie uniquement en fonction d'hypothèses (fig. 15, tabl V). De plus, ces modèles multispécifiques restent très sensibles aux changements des coefficients de capturabilité par espèce.

En définitive, il semble que les sous-stocks de sardinelles réagissent aux variations d'intensité de l'upwelling, ce qui engendre des changements importants dans les rendements correspondants des flottilles côtières, et que celles-ci compensent la diminution d'abondance des sardinelles par un report d'effort sur les autres espèces pélagiques.

Nos données suggèrent l'existence d'une relation linéaire entre les variables p.u.e. des sardinelles et intensité des vents. Cependant, des tentatives d'ajustement avec d'autres relations (logarithmique, élévation au carré, etc.) procurent des résultats très voisins et rien ne prouve, qu'au-delà de l'intervalle de variation observé, la relation reste linéaire. Ceci impose de considérer avec encore plus de prudence les prédictions du modèle pour des valeurs de vents moyens extrêmes (supérieur à 6 m/s ou inférieur à 4,5 m/s). La critique de notre hypothèse peut être poussée plus loin : le facteur déterminant pourrait ne pas être l'intensité des alizés et le phénomène d'enrichissement qu'il engendre, mais un autre facteur présentant une bonne corrélation avec le précédent. Parmi les variables pour lesquelles des données sont disponibles, la mieux reliée à la force des vents est la température de surface, puisque

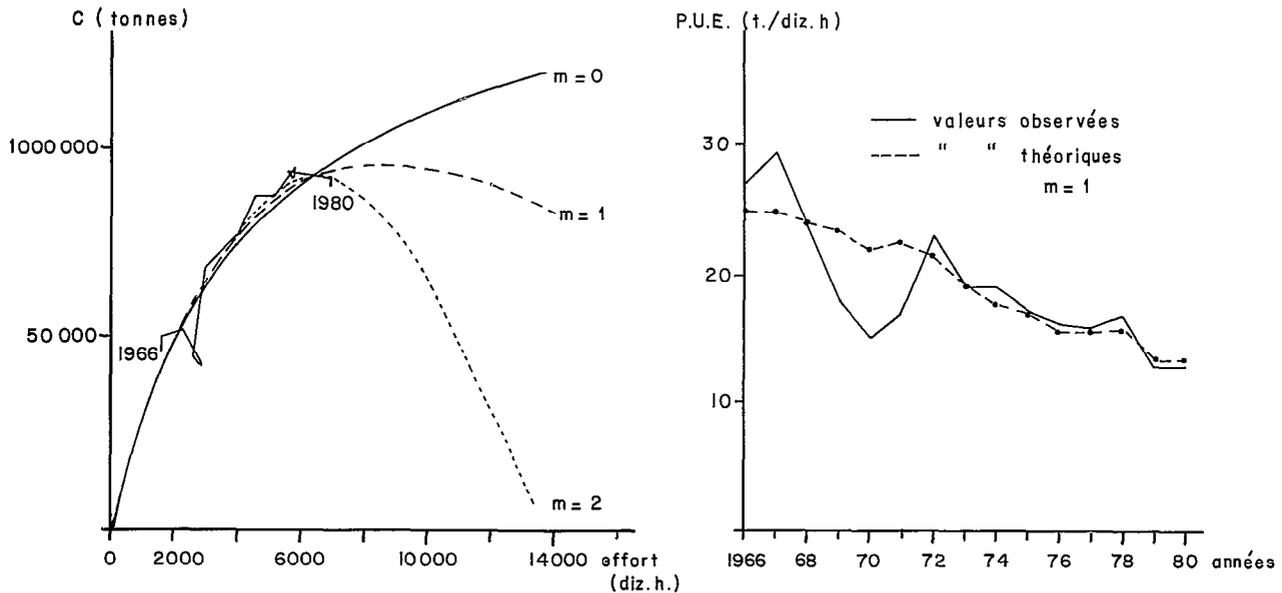


FIG. 15. — Toutes espèces pélagiques côtières regroupées : évolution des captures (C) en fonction de l'effort de pêche sur la Petite Côte du Sénégal, d'après le modèle de production généralisé (Fox, 1975), et comparaison des valeurs de rendement observées aux valeurs prédites par ce modèle (pue), de 1966 à 1980.

All coastal pelagic species regrouped: variation of the yields (C) according to the fishing effort on the Petite Côte of Senegal, from the generalized production model (Fox, 1975), and comparison between observed and predicted values of yields (pue), from 1966 to 1980.

TABLEAU V

Toutes espèces pélagiques de la Petite Côte : résultats du programme PRODFIT. Production = $(A+B \times F)^{(1)/(M-1)}$.
All coastal pelagic species of the Petite Côte: results of the PRODFIT program. Yield = $(A+B \times F)^{(1)/(M-1)}$

| COEFFICIENTS | M = 0 | M = 1 | M = 2 |
|-----------------------------------|-----------|------------|------------|
| A | 2.835 E-2 | 1.003 E0 | 2.801 E-1 |
| B | 6.361 E-6 | -1.180 E-7 | -2.137 E-4 |
| M.S.Y. (tonnes) | 157 000 | 95 200 | 91 000 |
| EFFORT OPTIMUM (diz. heure) | ∞ | 8 490 | 6 550 |

M.S.Y. = Production maximale équilibrée.

M.S.Y. = maximum sustainable yield.

l'intensité des remontées d'eaux froides dépend du vent (fig. 16). Seul le couple de valeurs relevées en 1968 présente une anomalie qui n'est toujours pas expliquée (ondes internes, erreur de mesure?). Les deux variables étant étroitement dépendantes, le choix de l'une ou de l'autre, pour établir notre modèle, n'est pas déterminant sur les résultats. Cependant, ceci pose le problème de la connaissance du mécanisme fondamental d'intervention de l'upwelling sur les résultats de la pêche : nous avons supposé que

c'était l'enrichissement du milieu qui régissait les variations d'abondance, mais il n'est pas exclu que la baisse de température, en elle-même, n'ait pas un effet immédiat sur la disponibilité des sous-stocks. L'analyse statistique, bien que difficilement interprétable, montre la prédominance apparente de l'influence de l'intensité du vent durant la saison n (comparativement à la saison $n-1$) sur la p.u.e. de la même année. Ceci suggère l'existence d'une action immédiate du vent sur la disponibilité. Cependant, une action indirecte et décalée dans le temps reste possible à envisager, au sein d'une même année car, d'une part ce que nous appelons saison n s'étend de novembre de l'année $n-1$ à mai de l'année n , d'autre part les individus capturés sont souvent âgés de moins d'un an. Par ailleurs, l'intérêt des travaux de REBERT (1979 b), basés sur des données mensuelles, est d'indiquer l'inévidence de relation directe. Quoi qu'il en soit, la possibilité d'une action combinée de l'intensité des vents (sur la production et sur la disponibilité) au niveau annuel est difficile à éliminer (ne serait-ce que pour la fraction d'individus adultes qui viennent « parasiter » nos modèles). Dans ce cas l'expression « modèle de production » devrait être remplacée par « modèle de prise » ou « modèle de p.u.e. », ce qui réduirait d'autant le champ d'application.

D'autres paramètres de l'environnement peuvent intervenir et fausser notre analyse. Cependant, si

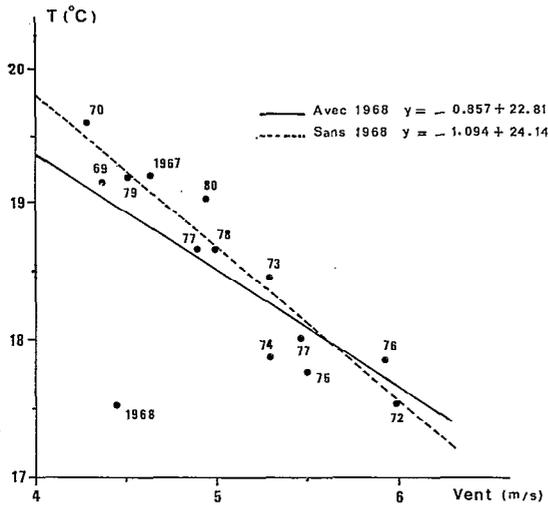


FIG. 16. — Relation entre l'intensité moyenne des alizés, relevée à Yoff de novembre de l'année $n-1$ à mai de l'année n , et la température moyenne de surface relevée à Thiaroye au cours des mêmes mois (1967 à 1980).

Relationship between the mean speed of trade winds, observed at Yoff from November of year $n-1$ to May of year n , and the mean surface temperature observed in Thiaroye during the same months (1967 to 1980).

ceux-ci sont reliés à l'intensité du vent par un mécanisme physique (cas de la pluie par exemple), l'erreur restera au niveau de l'interprétation des phénomènes, mais les modèles de production établis demeureront fonctionnels. En revanche, si les variations d'abondance et/ou de disponibilité des espèces proviennent de facteurs totalement indépendants de l'intensité des vents, mais étant par hasard corrélés avec celle-ci au cours de notre période d'étude, les modèles seraient inutilisables. Cette dernière supposition nous semble cependant peu probable.

10. LES MODÈLES SONT-ILS PRÉDICTIFS ?

Il découle de ce qui précède que les trois modèles de production doivent être maniés avec prudence, même s'ils semblent bien décrire le passé des pêcheries de la Petite Côte. En effet, nous avons vu que l'évolution de la production totale, lorsque l'on a dépassé l'effort optimum pour une intensité des vents donnée, dépend uniquement des hypothèses de base et du choix de la constante (a') correspondant à ces hypothèses. En aucun cas les données relevées ne fournissent une réponse puisqu'on se situe au-delà du domaine d'observation. De même, il est difficile de prévoir avec précision les effets de périodes d'alizés extrêmement faibles, ou au contraire très intenses.

Si l'on envisage les cas où l'effort de pêche et l'intensité des vents varieront dans des intervalles proches de ceux observés, on pourrait prédire les captures totales et les rendements à condition d'être capable de prévoir comment évolueront les deux variables du modèle. L'effort de pêche des bateaux et des pirogues peut être grossièrement prédit un an à l'avance en effectuant une étude de tendance, compte tenu de l'évolution progressive du nombre d'unités de pêche. Une autre méthode peut consister à estimer quel sera le nombre d'unités de pêche en activité l'année suivante (par exemple en fonction de plan de développement pour la pêche semi-industrielle) et d'évaluer le temps de pêche moyen d'une unité, sachant qu'il s'agit là d'une approximation. On pourrait craindre que cet effort effectif par bateau varie en fonction de l'intensité du vent, puisque l'on observe que les pêcheurs ne sortent pas en mer les jours de mauvais temps. L'existence de cette relation aurait pu engendrer une distorsion entre l'effort de pêche effectif, utilisé dans nos modèles, et l'effort de pêche potentiel représenté par le nombre de bateaux en état de fonctionnement. En pratique, on observe que si l'intensité des vents a bien un effet instantané sur l'activité des unités de pêche, en revanche, sur l'année entière, le nombre d'heures de pêche par bateau est indépendant de la force des vents.

L'évolution de la variable intensité du vent est beaucoup plus difficile à prévoir. Les données disponibles de 1947 à 1981 indiquent une tendance générale à la baisse avec une périodicité apparente de l'ordre de 15 à 20 ans (fig. 17). Cependant la série est trop courte pour pouvoir accorder une signification précise à une analyse spectrale. De plus il est probable qu'il existe une périodicité de plus grande longueur d'onde, responsable de tendance actuellement observée et qui pourrait inverser celle-ci à un instant qu'il nous est impossible de prévoir. Afin de pouvoir effectuer une prévision à très court terme, on a recherché si l'intensité du vent en novembre ou en décembre était représentative de l'intensité moyenne de la saison d'alizés en cours. Cela se vérifie pour le mois de décembre seulement où les vents sont déjà bien établis et permettent de préjuger de l'intensité des mois suivants (fig. 18). Cependant la prédiction demeure très imprécise en raison de l'importance des résidus qui ne diminuent que faiblement lorsque l'on intègre d'autres variables (vent de la saison d'alizés précédente et vent de la saison chaude précédente) à l'aide d'une régression multiple. Ainsi, au début du mois de janvier de chaque année on ne sera en mesure d'estimer que très grossièrement la production et le rendement moyen annuel et ceci sous trois conditions :

— l'intensité des vents doit varier dans les limites déjà observées depuis 1966, soit de 4 à 6 m/s ;

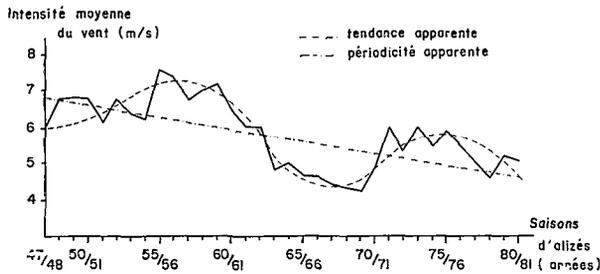


FIG. 17. — Évolution de l'intensité moyenne des vents durant la saison d'alizés (novembre de l'année $n-1$ à mai de l'année n) de 1947-48 à 1980-81 ; données de l'ASECNA de Dakar-Yoff compilées par C. TEISSON.

Time plot of the mean wind speed during the trade wind season (from November of year $n-1$ to May of year n), from 1947-48 to 1980-81 ; data from ASECNA of Dakar-Yoff processed by C. TEISSON.

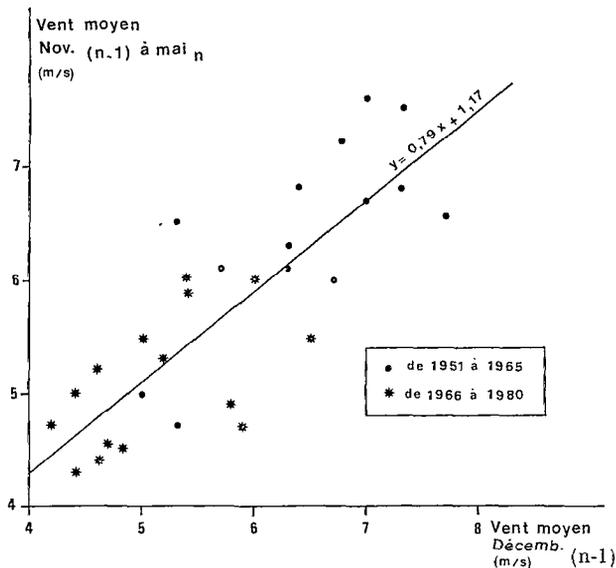


FIG. 18. — Relation entre l'intensité moyenne du vent en décembre (année $n-1$) et l'intensité moyenne durant toute la saison d'alizés (novembre de l'année $n-1$ à mai de l'année n), de 1951 à 1980.

Relationship between the mean wind speed in December (year $n-1$) and the mean wind speed during the whole trade wind season (from November of year $n-1$ to May of year n), from 1951 to 1980.

— l'effort de pêche ne doit pas dépasser trop largement l'optimum pour l'intensité des vents relevés ;

— les principaux stocks ne devront pas être trop surexploités à l'extérieur de la Petite Côte du Sénégal, en particulier ceux de *Sardinella aurita* pour les deux modèles concernant les sardinelles et ceux de

Pomadasys spp., *Chloroscombrus chrysurus* et *Garanx rhonchus* pour le modèle englobant toutes les espèces.

Une quatrième condition s'impose : le mode d'exploitation ne doit pas varier, en particulier les limites de la zone de pêche (très côtière), ainsi que la hiérarchie de l'attrait économique pour les différentes espèces recherchées.

11. AMÉLIORATIONS POSSIBLES DES MODÈLES

Les critiques précédentes, et la contrainte des hypothèses de base, appellent à rechercher certaines améliorations aux modèles de production établis. Pour s'affranchir de la nécessité de n'avoir pas de surexploitation à l'extérieur de la Petite Côte, il faudrait pouvoir déterminer avec précision l'effet qu'elle pourrait avoir, c'est-à-dire connaître les relations stock-recrutement, les biomasses des différents sous-stocks, ainsi que les efforts de pêche et les rendements dans les pays voisins. Dans ces conditions, on pourrait tenter d'établir des modèles concernant l'ensemble des fractions de stocks sur la totalité de la région. Les données nécessaires ne seront pas disponibles avant plusieurs années, mais dès maintenant on doit s'attacher à les obtenir par la généralisation et l'harmonisation de la collecte des statistiques de pêche et par le développement de la technique d'écho-intégration.

Pour établir les deux modèles sur les sardinelles on a supposé que les pêcheries de la Petite Côte n'exploitaient que les sous-stocks de jeunes reproducteurs. Cela est pratiquement exact pour les deux espèces de sardinelles dans la pêche artisanale, et pour *Sardinella maderensis* dans la pêche semi-industrielle. En revanche, nous avons vu qu'en saison froide les sardiniers dakarois capturaient une certaine proportion de *Sardinella aurita* adultes, ce qui peut fausser les indices d'abondance obtenus. Des données précises de structure de taille des captures existent et permettent de séparer les prises d'individus adultes de celles de jeunes reproducteurs, et donc de calculer une p.u.e. pour ces derniers uniquement (FRÉON *et al.*, 1979). Les modèles en résultant seraient plus rigoureux, bien que l'on puisse craindre des interactions dues à l'abondance relative des deux sous-stocks et à des changements de « cohortes-cibles ».

Nous avons vu que l'unité d'effort de pêche retenue (temps de pêche) n'était pas théoriquement la meilleure. On pourrait employer à sa place le temps de recherche des bancs, à condition de faire des estimations pour la période antérieure à 1970, où n'a pas toujours été enregistré le nombre de lancers de senne nuls permettant d'obtenir l'estimation de cette unité d'effort.

Il serait également intéressant d'affiner le choix de la variable « intensité du vent » en prenant non plus l'intensité moyenne, mais celle de la composante d'upwelling élevée au carré. REBERT (1979 b) avait utilisé la composante Nord-Sud pour l'ensemble de la région sans tenir compte des changements d'orientation de la côte. Le problème est complexe pour la Petite Côte du Sénégal qui présente un tracé curviligne et des faibles profondeurs. De plus, on peut aussi imaginer que c'est au niveau de l'ensemble de la région que les alizés de la saison n-1 interviennent sur la fécondité du sous-stock de *Sardinella aurita* adultes, et par conséquent sur le recrutement du sous-stock de la Petite Côte.

On soulignera également le danger que représente l'établissement de modèles de production à partir des variables trop sophistiquées (LAUREC et LE GUEN, 1977). En effet, dans notre cas, on pourrait probablement obtenir des résultats plus rigoureux scientifiquement en utilisant des données plus élaborées, mais après une telle approche, le retour à des variables plus concrètes resterait nécessaire.

12. CONSÉQUENCES EN MATIÈRE D'AMÉNAGEMENT

Nos résultats tendent à montrer que la prise maximale (qui n'est peut-être pas exactement une production maximale équilibrée, MSY, comme nous l'avons vu) dépendrait de l'intensité des vents. Pour \bar{V} variant de 4,5 à 5,55 m/s, on obtient les prises maximales suivantes :

Sardinelle ronde : 31 000 à 49 000 tonnes.
Sardinelle ronde et plate : 56 000 à 90 000 tonnes.
Toutes espèces pélagiques : 73 000 à 97 000 tonnes.

Cependant, on se rappellera d'une part que l'insuffisance de données nous oblige à considérer l'influence de l'intensité des alizés comme une hypothèse, d'autre part que ces résultats sont fortement reliés à la valeur du paramètre a' , laquelle a été arbitrairement définie. Ces chiffres sont du même ordre que ceux obtenus en utilisant une régression linéaire multiple entre effort de pêche, p.u.e. et vitesse du vent (relation (1)), c'est-à-dire une famille de modèles de SCHAEFER (1957). Toutefois, aussi longtemps qu'un stock n'a pas été surexploité, il est notoire que la courbe de production de ce type de modèle tend à culminer au niveau des valeurs maximales de prises observées. Bien que les chiffres précédents restent indicatifs, les modèles obtenus permettent d'envisager trois cas de figure dans l'évolution de la pêcherie, si l'on retient l'hypothèse de l'influence effective des alizés :

1. si la force des alizés se maintient au niveau actuel, tout accroissement de l'effort de pêche

(artisanal ou semi-industriel) n'augmentera pas la prise totale de l'ensemble des pêcheries de la Petite Côte, mais diminuera les rendements unitaires;

2. si l'intensité du vent augmente (ce qui semble peu probable), la p.u.e. et les captures augmenteront, le taux d'exploitation ($f/fMSY$) diminuera et les profits augmenteront, même si l'effort de pêche augmente légèrement;

3. si l'intensité du vent diminue significativement, ce qui est à craindre, la p.u.e. et les captures diminueront, alors que le taux d'exploitation s'élèvera (sans qu'une augmentation de l'effort soit nécessaire à cela), d'où un risque élevé de sur exploitation intense.

L'effort de pêche sur la Petite Côte semble donc avoir atteint un niveau critique en terme de production biologique, compte tenu des conditions climatiques actuelles. De plus l'apparition en 1980 d'une tendance nouvelle à capturer de très jeunes individus est alarmante. D'autre part, des études économiques ont montré que les pêcheurs artisans à la senne tournante, qui assurent l'essentiel des mises à terre, avaient des profits extrêmement bas, compte tenu des conditions de commercialisation et des rendements actuels. Malgré cela, le mode traditionnel de partage des bénéfices revient à privilégier les propriétaires des moyens d'exploitation, et donc à favoriser l'augmentation du nombre d'engin de pêche (WEBER et FRÉON, sous presse). Ainsi, l'effort de pêche artisanal présente pour l'instant peu de tendance à l'auto-régulation et l'on doit redouter une nouvelle intensification de la pêche sur la Petite Côte, ce qui pourrait devenir dramatique si l'intensité des alizés diminuait. De plus, on notera qu'en raison des formules retenues, les modèles indiquent que la marge de manœuvre pour obtenir la production maximale serait d'autant plus grande que le vent serait intense. Cependant, même si elle était confirmée, cette tolérance accrue des modèles vis-à-vis de l'effort, en terme de production pondérale maximale, ne devrait pas faire oublier que l'optimum économique, quant à lui, se situera toujours dans un intervalle étroit d'effort de pêche, et pas nécessairement au même niveau que l'optimum de production pondérale.

Il est donc impératif de prendre des mesures d'aménagement pour limiter la croissance de l'effort de pêche sur la Petite Côte, aussi bien semi-industriel qu'artisanal, ce qui pourrait se réaliser en diminuant les subventions accordées pour les équipements et le carburant. On pourrait également tenter de modifier le système actuel de partage des bénéfices qui profite à une minorité de propriétaires au détriment des pêcheurs, mais la dynamique sociale est complexe, solidement ancrée et probablement très difficile à atteindre. Une solution plus réaliste réside dans

l'extension de la zone de pêche, actuellement confinée à la partie littorale de la Petite Côte, alors que les autres régions du Sénégal sont très riches toute l'année (Casamance) ou saisonnièrement (côte Nord). Les freins actuels à cette extension sont la faible autonomie des pirogues et des sardiniers ainsi que l'absence de points de débarquement importants, en Casamance notamment. Il conviendrait donc d'augmenter le rayon d'action des pirogues (moteur diesel, conservation du poisson), d'améliorer les circuits de distribution vers l'intérieur du pays, de rénover la flotte sardinière et de créer de petits ports de pêche adaptés aux besoins de ces flottilles. Les essais de remplacement des pirogues par de petits senneurs artisanaux ne paraissent pas économiquement concluants pour l'instant (WEBER et FRÉON, sous presse).

Compte tenu de la forte variabilité de la production en fonction des conditions hydroclimatiques, il serait souhaitable de pouvoir ajuster rapidement l'effort de pêche aux disponibilités du moment. Cela suppose que l'on dispose de moyens d'exploitation peu onéreux et flexibles. Dans cette optique la pêche artisanale offre des possibilités d'adaptation certainement plus grandes que la pêche semi-industrielle, bien qu'elle soit certainement beaucoup plus difficile à maîtriser. En conséquence, on devrait maintenir la dualité actuelle de l'exploitation par les deux types de flottille.

Enfin, on ne devra pas perdre de vue que nos modèles partent d'une hypothèse de base qu'on ne pourra pas toujours confondre avec la réalité. La relative indépendance des « sous-stocks » de la Petite Côte durera tant que les régions périphériques ne seront pas surexploitées. Dans le cas contraire, il est inévitable qu'à un certain niveau la relation entre l'abondance du stock d'adultes et le recrutement sur la Petite Côte aura un effet dépressif sur ce dernier et rendra inapplicables les modèles relativement optimistes décrits ici. La politique des pêches du Sénégal doit donc être menée en concertation avec les pays limitrophes.

13. CONCLUSION

L'exploitation des stocks de poissons pélagiques côtiers de la région sénégal-mauritanienne semble difficile à modéliser dans son ensemble, compte tenu de la complexité de la structure des populations et de l'insuffisance des données concernant les pays limitrophes du Sénégal. Cependant, il semble que sous certaines hypothèses on soit en mesure d'établir des modèles de production pour une fraction des stocks (juvéniles essentiellement) dans une zone déterminée et faisant l'objet d'une exploitation intense : la partie littorale de la Petite Côte du Sénégal.

Les jeunes sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) constituent l'essentiel des captures des flottes semi-industrielles et artisanales qui opèrent sur la Petite Côte et débarquent jusqu'à 90 000 tonnes par an. Les rendements de la pêche concernant ces individus semblent dépendre essentiellement de l'effort de pêche déployé localement et de l'intensité de l'upwelling, mais semblent très peu sensibles à l'exploitation dans les zones périphériques, tout au moins dans les conditions actuelles. Ceci permet d'établir des modèles de production à trois variables résultant d'une régression multiple entre la prise par unité d'effort des flottilles, l'effort de pêche et l'intensité des alizés qui sont à la base du phénomène d'upwelling.

Les données disponibles sont incomplètes et n'ont permis des calculs qu'au prix d'estimations parfois grossières, afin de compléter les séries historiques des pêcheries artisanales. Trois modèles de production ont été proposés : l'un pour *Sardinella aurita* uniquement, l'autre pour les deux espèces de sardinelles regroupées et le troisième concernant l'ensemble des espèces pélagiques côtières. Les résultats obtenus expliquent relativement bien l'évolution des pêcheries de la Petite Côte au cours des 15 dernières années; cependant, la validité des données de base et le nombre relativement restreint d'observations incitent à beaucoup de prudence pour l'utilisation prédictive des modèles. A l'heure actuelle, on se situerait à un niveau d'exploitation optimum (en terme de production pondérale), compte tenu de l'intensité relativement élevée des vents au cours de ces dernières années. Dans cette situation toute augmentation de l'effort de pêche est improductive et n'aboutit qu'à la baisse des rendements unitaires. Si la force des alizés venait à diminuer, la production totale serait probablement réduite, ainsi que les rendements, en particulier pour les sardinelles. La situation serait vraisemblablement moins dramatique pour l'ensemble des espèces en raison de l'aspect multispécifique de la pêcherie qui lui permet de s'adapter, en reportant son effort de pêche vers les espèces secondaires, à condition que ces dernières ne soient pas surexploitées dans les régions périphériques. Une intensification de la force des vents serait bien sûr très favorable à la pêcherie et pourrait permettre sans danger un accroissement de l'effort de pêche. Bien qu'il soit difficile de faire des prédictions à long terme à ce sujet, cette situation semble bien moins probable que la précédente.

L'aménagement des pêcheries doit donc se faire dans le sens d'une limitation de la prolifération actuelle des unités de pêche sur la Petite Côte, dans le secteur artisanal en particulier. Cet objectif peut être atteint à court terme en assurant l'élargissement de la zone de pêche en latitude et vers le large. Ceci pourrait se réaliser en modifiant les unités

de pêche et en créant de nouveaux points de débarquement. Rappelons enfin que la politique sénégalaise des pêches ne saurait se concevoir sans harmonisation avec celles des pays limitrophes qui partagent les mêmes ressources. En effet, dans nos modèles, apparaissent seulement deux des causes éventuelles d'effondrement du sous-stock (sur-pêche locale et diminution des alizés), la dernière, mais non la moindre, est malheureusement dissimulée dans les hypothèses de base : il s'agit de la surexploitation à l'extérieur de la Petite Côte, ce qui ne garantirait plus un niveau suffisant de recrutement.

Les modèles de production utilisés ici présentent deux originalités : ils ne concernent que la fraction jeune des stocks étudiés et ils intègrent une composante hydro-climatique, en supplément de l'effort de pêche. Une telle approche est probablement appli-

cable à d'autres stocks, même si la variable climatique retenue était autre que le vent d'upwelling (température, pluviométrie, turbulence, débit des cours d'eau, etc.). Les formules alors utilisables peuvent être identiques à celles présentées ici ou en dériver. Ce dernier thème fait l'objet de recherches en cours.

REMERCIEMENTS

Je remercie M^{lle} LOPEZ et MM. POTTIER, I. SOW et A. SOW, du CRODT, qui ont collaboré au traitement des données, ainsi que mes collègues de l'O.R.S.T.O.M., et plus particulièrement S. GARCIA, qui ont bien voulu me faire part de leurs commentaires.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 14 février 1984*

BIBLIOGRAPHIE

- BAKUN (A.) and PARRISH (R.), 1981. — Environmental inputs to fishery population models for eastern boundary current. *In*: Workshop on the effect of environmental variations on the survival of larval pelagic fishes, Lima, 20 April-5 May 1980. IOC/UNESCO/FAO, Workshop report 28 : 323.
- BEVERTON (R. J. H.) and HOLT (S. J.), 1957. — On the dynamics of exploited fish population. *Fish Invest. Lond. Ser.*, 2 (19) : 533.
- BOELY (T.), 1980. — Biologie des deux espèces de sardinelles : *Sardinella aurita* Valenciennes 1847 et *Sardinella maderensis* (Lowe 1841) des côtes sénégalaises. Thèse Doc. d'état, Université de Paris VI : 286.
- BOELY (T.) et CHABANNE (J.), 1975. — Les poissons pélagiques côtiers au Sénégal. La pêche sardinière à Dakar : état actuel et perspectives. *Bull. IFAN*, 37 (Sér. A4) : 859-886.
- BOELY (T.), CHABANNE (J.) et FRÉON (P.), 1979. — Schéma migratoire, aire de concentration et période de reproduction des principales espèces de poissons pélagiques côtiers dans la région sénégal-mauritanienne. *In*: Rapport du Groupe de travail *ad hoc* sur les poissons pélagiques côtiers ouest-africains de la Mauritanie au Liberia (26° N à 5° N). Dakar, Sénégal, 19-24 juin 1978. *COPACE/PACE Sér.* (78/10) : 63-70.
- BOELY (T.), CHABANNE (J.), FRÉON (P.) et STEQUERT (B.), 1982. — Cycle sexuel et migrations de *Sardinella aurita* sur le plateau continental ouest-africain, des îles Bissagos à la Mauritanie. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, 180 : 350-355.
- BOELY (T.), CHAMPAGNAT (C.) et CONAND (F.), 1969. — Reproduction et cycle biologique de *Sardinella aurita* (C. et V.) des côtes sénégalaises. *Doc. scient. Provis. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye* (21) : 13.
- BOELY (T.) et FRÉON (P.), 1979. — Les ressources pélagiques côtières. *In*: TROADEC (J.-P.) et GARCIA (S.) : Les ressources halieutiques de l'Atlantique centre-est. Première partie : les ressources du Golfe de Guinée de l'Angola à la Mauritanie. *FAO. Doc. Tech. Pêches* (186.1) : 13-78.
- BOELY (T.), FRÉON (P.) et STEQUERT (B.), 1982. — La croissance de *Sardinella aurita* (Val. 1847) au Sénégal. *Océanogr. trop.*, 17 (2) : 103-119.
- CHAMPAGNAT (C.), 1966. — Indice relatif d'abondance saisonnière des sardinelles de la Petite Côte du Sénégal. *Doc. Scient. Provis. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye* (1) : 5.
- CONAND (F.), 1977. — Œufs et larves de la sardinelle ronde *Sardinella aurita* au Sénégal : distribution, croissance, mortalité, variations d'abondance de 1971 à 1976. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XV, n° 3 : 201-214.
- CUSHING (D. H.), 1978. — The problems of stock and recruitment. *In*: *Fish Population Dynamics*, Gulland J. A. (Ed.); John Wiley and Sons Ltd : 372.
- DOMAIN (F.), 1980. — Contribution à la connaissance de l'écologie des poissons démersaux du plateau continental sénégal-mauritanien. Les ressources démersales dans le contexte général du golfe de Guinée. Thèse Doc. État Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI et Mus. Nat. Hist. Nat., 2 vol. : 342 et 68.
- DOMANEVSKI (L. N.) et BARKOVA (N. A.), 1979. — Particularité de la répartition et état des stocks de la sardine (*Sardina pilchardus*) dans la région au large de l'Afrique nord-occidentale. *In*: Rapport du Groupe de travail *ad hoc* sur les poissons pélagiques côtiers ouest-africains de la Mauritanie au Liberia (26° N à 5° N). Dakar, Sénégal, 19-24, juin 1978. *COPACE/PACE Sér.* (78/10) : 86-91.

- ELWERTOWSKI (J.), GONZALEZ ALBERDI (P.), GHABANNE (J.) et BOELY (T.), 1972. — Première estimation des ressources pélagiques du plateau continental nord-ouest africain (zone de transition nord de l'Atlantique centre-est). *Doc. Sci. Provis. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye* (42) : 34.
- FAO, 1980. — Rapport du groupe de travail *ad hoc* sur les sardinelles de côte d'Ivoire-Ghana-Togo. Tema, Ghana 2-7 juillet 1979. Abidjan, Côte d'Ivoire 24, 28 septembre 1979. *COPACE/PACE Séries*, 80/21 (Fa) : 73.
- FRÉON (P.), 1980. — Choix d'une unité d'effort pour les flottilles sardinières semi-industrielle et artisanale du Sénégal, *Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Abidjan*, 11 (1) : 1-35.
- FRÉON (P.), BOELY (T.) et STEQUERT (B.), 1978. — La pêche des poissons pélagiques côtiers en Afrique de l'Ouest des îles Bissagos au nord de la Mauritanie : description des types d'exploitation. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XVI, n° 3/4 : 209-228.
- FRÉON (P.), BOELY (T.) et STEQUERT (B.), 1979. — Les pêches sénégalaises : description et analyse des captures et des rendements des principales espèces pélagiques côtières. In: Rapport du groupe de travail *ad hoc* sur les poissons pélagiques côtiers ouest-africains de la Mauritanie au Liberia (26° N à 5° N). Dakar, Sénégal, 19-24 juin 1978. *COPACE/PACE Sér.* (78/10) : 27-62.
- FRÉON (P.) et STEQUERT (B.), 1979. — Note sur la présence de *Sardina pilchardus* (Walb.) au Sénégal. Étude de la biométrie et interprétation. *Cybiurn* (3^e Sér.) (6) : 65-90.
- FRÉON (P.) et WEBER (J.) (sous presse). — Djifère au Sénégal : La pêche artisanale en mutation dans un contexte industriel. 1^{re} partie : le milieu, la senne tournante, son impact naturel. *FAO Doc. Tech. Pêches*.
- FOX (W.), 1970. — An experimental surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 99 (1) : 80-88.
- FOX (W.), 1975. — Fitting the generalized stock production model by least-squares and equilibrium approximation. *Fish. Bull.*, 73 (1) : 23-36.
- I.O.C., 1981. — Workshop on the effects of environmental variations on the survival of larval pelagic fishes, Lima, 20 April - 5 May 1980. IOC/UNESCO/FAO, Workshop report, 28 : 323.
- LAUREC (A.) et LE GUEN (J.-C.), 1977. — C. p.u.e. des senneurs et abondance ; impact des structures fines. *Rec. doc. Scient. ICCAT*, 7 : 30-54.
- NIELAND (H.), 1980. — Die Nahurung von Sardinien, Sardinellen, und Maifische vor der westküste Afrikas. Bericht aus dem Institut für Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universität, Kiel, 75 : 137.
- MARCHAL (E.) et BOELY (T.), 1977. — Évaluation acoustique des ressources en poissons du plateau continental ouest-africain des îles Bissagos (11° N) à la pointe Stafford (28° N). *Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Océanogr.*, vol. XV, n° 2 : 139-159.
- MARQUART (D.), 1963. — An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters. *J. Soc. Indust. Appl. Math.*, 11 (2) : 15.
- O.R.S.T.O.M., 1976. — Rapport du groupe de travail sur la sardinelle (*S. aurita*) des côtes ivoiro-ghanéennes. Abidjan, O.R.S.T.O.M., Centre de recherches océanographiques, 28 juin - 3 juillet 1976 : 63.
- PORTOLANO (P.) (sous presse). — Contribution à l'étude de l'hydroclimat des côtes sénégalaises. *Arch. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye*.
- REBERT (J.-P.), 1979 a. — Aperçu sur l'hydrologie du plateau continental ouest-africain, de la Mauritanie à la Guinée. In: Rapport du groupe de travail *ad hoc* sur les poissons pélagiques côtiers ouest-africains de la Mauritanie au Liberia (26° N à 5° N). Dakar, Sénégal, 19-24 juin 1978. *COPACE/PACE Sér.* (78/10) : 92-97.
- REBERT (J.-P.), 1979 b. — Un essai d'interprétation de l'influence des conditions de milieu sur les rendements de la pêche industrielle dakaroise de *Sardinella aurita*. In: Rapport du groupe de travail *ad hoc* sur les poissons pélagiques côtiers ouest-africains de la Mauritanie au Liberia (26° à 5° N). Dakar, Sénégal, 19-24 juin 1978. *COPACE/PACE Sér.* (78/10) : 105-108.
- RICKER (W. E.), 1958. — Handbook of computation of fish production. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 119 : 300.
- ROFF (D. A.) and FAIRBAIRN (D. J.), 1980. — An evaluation of Gulland's method for fitting the Schaefer model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37 : 1229-1235.
- ROSSIGNOL (M.), 1973. — Contribution à l'étude du complexe guinéen. O.R.S.T.O.M., 142.
- SAVILLE (A.), 1980. — The assessment and management of pelagic fish stocks. A symposium held in Aberdeen 3-7/7/1978. *Rapp. Proc. Verb. Réunions CIEM*, 177 : 517.
- SCHAEFER (W. J.), 1957. — A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean. *Bull. IATTC*, 2 (6) : 85-245.
- SEDYKH (K. A.) *et al.*, 1979. — Étude de l'upwelling près de la côte de l'Afrique nord-occidentale par l'Institut Atlantique de Recherches Scientifiques de l'Industrie de la Pêche et de l'Océanographie. In: Rapport du groupe de travail *ad hoc* sur les poissons pélagiques côtiers ouest-africains de la Mauritanie au Liberia (25° N à 5° N). Dakar, Sénégal, 19-24 juin 1978. *COPACE/PACE Sér.* (78/10) : 98-104.
- SHARP (G. D.), 1981. — Report of the workshop on effects of environmental variation on survival of larval pelagic fishes. In: Workshop on effects of environmental variation on survival of larval pelagic fishes. IOC/UNESCO/FAO, Workshop report, 28 : 15-63.

- SISSEWINE (M. P.), 1978. — Is MSY an adequate foundation for optimum yield? *Fisheries*, 3 (6) : 22-24 et 37-42.
- STEUERT (B.), BRUGGE (W. J.), BERGERARD (P.), FRÉON (P.) et SAMBA (A.), 1979. — La pêche artisanale maritime au Sénégal : étude des résultats de la pêche en 1976 et 1977, aspects biologiques et économiques. *Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye*, 73 : 45.
- ULLTANG (Ø.), 1976. — Catch per unit of effort in norwegian purse seine fishery for atlanto-scandian (norwegian spring spawning) herring. *FAO Fish. Tech. Paper* (155) : 91-101.
- WEBER (J.) et FRÉON (P.). — Djifère au Sénégal : la pêche artisanale en mutation dans un contexte industriel. 2^e partie : conséquences d'une innovation technique sur l'organisation économique artisanale, ou les excès d'une réussite (sous presse *FAO Doc. Tech. Pêches*).