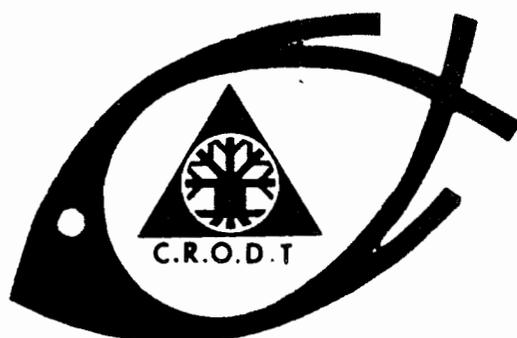


DES MODÈLES DE PRODUCTION
APPLIQUÉS À DES FRACTIONS
DE STOCK DÉPENDANTES
DES VENTS D'UPWELLING

P. FREON



CENTRE DE RECHERCHES Océanographiques DE DAKAR - THIAROYE

* INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES *

ARCHIVE

N° 125

N O T E

Ce travail a été présenté lors de la Réunion d'Experts, pour examiner les variations d'abondance et de composition spécifique des stocks pélagiques ; San José, Costa Rica, 18 - 30 avril 1983. Une version plus succincte sera publiée en anglais par la FAO dans le rapport de cette réunion.

MOTS CLES : Sardinelle, modèle de production, upwelling, gestion des stocks, Sénégal

DES MODÈLES DE PRODUCTION
APPLIQUÉS A DES FRACTIONS
DE STOCK DÉPENDANTES
DES VENTS D'UPWELLING
(PÊCHE SARDINIÈRE AU SÉNÉGAL)

par

P. FREON (1)

R E S U M E

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 de 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 rende-

(1) Chercheur de l'ORSTOM, Centre de Recherches océanographiques de Dakar-Thiaroye (ISRA) BP.2241, DAKAR, (Sénégal); ou ORSTOM 24, rue Bayard, 75008 PARIS, France.

ments, 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.

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.

A B S T R A C T

The west african continental shelf from 11°N to 24°N represents a rich fishing ground related to costal 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 specie.

Two principal nurseries receive important "sub-stock" 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 stability of exploitation rate outside of "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 suggests that fishing yields are related on one hand to local fishing effort, and on the other hand to the wind intensity responsible for costal upwelling.

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

$$cpue = a EXP - a'f + b\bar{V} + c + E$$

Where $cpue$ is the yield (catches by 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, b and c are constants, and E the residual. Preliminary hypotheses are indirectly confirmed and results are criticized.

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.

S O M M A I R E

INTRODUCTION

1. LES STOCKS DE SARDINELLES ET LES PECHERIES SENEGALAISES

2. HYPOTHESES DE TRAVAIL

3. LES DONNEES DISPONIBLES

4. RELATION APPARENTE ENTRE PUE; EFFORT DE PECHE ET VENT

5. MODELISATION DE LA PRODUCTION DE SARDINELLES

6. ANALYSE DES RESULTATS

7. MODELE POUR L'ENSEMBLE DES ESPECES PELAGIQUES

8. ANALYSE DES HYPOTHESES ET CRITIQUES DES MODELES

8.1. Analyse des hypothèses pour l'estimation des données

8.2. Analyse de l'hypothèse d'indépendance du sous-stock de la Petite Côte

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

9. LES MODELES SONT-ILS PREDICTIFS ?

10. AMELIORATIONS POSSIBLES DES MODELES

11. CONSEQUENCES EN MATIERE D'AMENAGEMENT

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

I N T R O D U C T I O N

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 FREON, 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 de poissons et formation des sous-stocks, modification fréquente de la réglementation et des accords de pêche par les pays riverains...etc. Malgré ces difficultés, ELWERTOWKI 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 flottille 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.

1 . L E S S T O C K S D E S A R D I N E L L E S
E T L E S P E C H E R I E S S E N E G A L A I S E S

Deux espèces de sardinelles se répartissent le long du plateau continental de la zone décrite, 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 *Sardinella eba*) ou sardinelle plate. Leur biologie a fait l'objet de nombreux travaux 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 migrants. 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 migrants qui se déplace 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 nursery 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 sardinelles s'étendrait vers le sud.

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 (FREON 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 tour-

nante 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 pirogures, leur permet de capturer plus au large en saison froide des quantités non négligeables de sardinelles adultes en migration.

2 . HYPOTHESES DE TRAVAIL

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

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. Quoiqu'il en soit, il est évident que l'exploitation des sardinelles rondes dans les régions périphériques (sous-stock d'adultes 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 fractionnaires - 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 ou 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 particulier 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 pue des individus supérieurs à 25 cm (FREON et al., 1979, fig. 4). 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. chap. VII). 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 (FREON 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.

3 . L E S D O N N E E S D I S P O N I B L E S

Les données détaillées sur la pêche sardinière semi-industrielle dakaroise, sont disponibles depuis le début de la pêcherie, mais les pue (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 précédente 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 (FREON, 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 douze pue 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. Des estimations très grossières des captures, avaient été réalisées au cours d'un groupe de travail, dans le but d'évaluer la prise totale dans la région (FREON et al., 1979). Nous avons repris ces évaluations d'une façon plus rigoureuse, en prenant comme hypothèse que les fluctuations de rendement des sardinières dakaroises sont représentatives de celles de la pêche artisanale. Cette hypothèse est basée sur la similitude des distributions de fréquences de tailles des individus capturés par les deux types de pêche (FREON 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 à 1977), un effort de pêche artisanale exprimés en unités "sardinières dakaroises". Pour 1972 on a divisé la prise artisanale par la pue 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 pue des sennes tournantes. On a ensuite converti cet effort artisanal en effort sardinières dakaroises, en le multipliant par un coefficient de conversion (tabl. 1) 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 ef-

forts en 1972 et 1977, on a considéré que dans l'intervalle, l'effort de pêche 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 pue des sardiniers, 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 (moteur 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. 2), pour *Sardinella maderensis* (tabl. 3) et pour les deux espèces réunies à partir de la pue globale (tabl. 4). Les valeurs obtenues diffèrent peu des estimations grossières précédentes, elles ne sont pas forcément plus proches de la réalité, mais offrent l'avantage de permettre une étude des relations entre effort et pue plus objective (bien que non exempte de biais comme nous le verrons).

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 sardiniers dakarois, 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 globale, 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 de la part 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, exception faite de l'année 1978. On observe cette année-là, une légère diminution de l'effort théorique artisanal, alors qu'il est probable que le nombre total d'engins de pêche en activité n'a pas baissé. En fait, cette réduction reflète en grande partie la réalité, car les données précises des sennes tournantes à Mbour et Joal indiquent que la durée de pêche diminue lorsque les rendements horaires augmentent (phénomène de saturation), ce qui fut le cas en 1978

(fig. 3). Cependant, il n'est pas exclu qu'une part de la diminution de l'effort de pêche théorique provienne d'un léger artifice de calcul.

Enfin, on fera les réserves d'usage quant à la représentativité de la pue 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 ; FREON, 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 la senne tournante, qu'elles soient artisanales ou semi-industrielles, ce qui permet de supposer que les pue sont relativement bien reliées à l'abondance du sous-stock.

4 . RELATIONS APPARENTES ENTRE PUE, EFFORT DE PECHE ET VENT

Les valeurs obtenues de 1966 à 1980 pour *Sardinella aurita* et pour *Sardinella spp.* indiquent que la pue 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 1er janvier 1972, il apparaît nettement que l'on peut tracer deux droites (ou deux courbes) décroissantes et légèrement divergentes (fig. 4 et 5). Ceci suggère que les variations de pue seraient expliquées par une deuxième facteur, indépendant de l'effort de pêche et qui aurait brutalement changé en 1972. Nos hypothèses de départ nous conduisent à rechercher ce 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 contenu 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 PUE 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 pue 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. 6). 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 la 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. chap. XI).

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 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 est âgée de 1 an à 1,5 an. La comparaison de l'évolution mensuelle des pue 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 puisse en être la cause. Nous verrons que l'analyse statistique des données, apporte peu d'éclairage sur ce point.

Par ailleurs, des travaux récents (IOC, 1981) ont montrés 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 de la moyenne des cubes des mesures élémentaires des vents.

5 . M O D E L I S A T I O N D E L A P R O D U C T I O N
D E S S A R D I N E L L E S

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 pue et effort de pêche, d'autre part une relation linéaire entre pue et intensité moyenne des vents, on obtient des relations du type :

$$\text{pue} = \bar{A}f + b \bar{V} + c + \varepsilon \quad (1)$$

$$\text{pue} = a + b \bar{V} f + \varepsilon \quad (2)$$

$$\text{pue} = (a + b \bar{V}) f + c + \varepsilon \quad (3)$$

où pue 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 pue et effort suppose qu'au delà d'un seuil d'effort de pêche, les pue 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 provoquera une décroissance plus progressive des rendements. En combinant les deux relations suivantes :

$$\log(\text{pue}) = a_1 f + b_1 + \varepsilon_1 \quad (4)$$

$$\text{pue} = a_2 \bar{V} + b_2 + \varepsilon_2 \quad (5)$$

on obtient des relations du type :

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

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

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

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'un prochain article.

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 (tabl. 5) :

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

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. 7) :

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

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 pue 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 MARQUARD (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 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.* Ceci 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 pue) 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.

Les relations retenues, conduisent à des figures à trois dimensions. L'évolution théorique des pue se situe sur un plan incliné et légèrement concave qui s'élève pour des faibles efforts et des alizés intenses et s'abaisse pour des efforts importants et des vents faibles. La production totale, quant à elle, se situe sur une surface fortement convexe, formant une voûte qui s'élargit lorsqu'augmentent efforts de pêche et intensité des vents. La figure 8 en trois dimensions, visualise la relation, mais les échelles sont peu lisibles. On a retenu une représentation plane (fig. 9 et 10) 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 pue observées et calculées, de 1966 à 1980 (fig. 11 et 12).

L'introduction dans le modèle de l'intensité moyenne du vent durant la saison chaude précédent la prise (\bar{W}) n'apporte qu'une légère amélioration de l'ajustement et seulement dans le cas du modèle concernant *Sardinella spp.* (tabl. 6) :

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

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.

6 . ANALYSE DES RESULTATS

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 manoeuvres 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 les 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 multi-spécifique, laissant place à des relations prédateurs-proies 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 pue observées pour les deux espèces de sardinelles regroupées.

Les résidus de pue présentent en effet, une corrélation négative avec les anomalies annuelles du pourcentage des espèces autres que les sardinelles, dans les captures totales des sardiniens dakarois 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 pue sur les sardinelles, prévue par le modèle, a été accentuée par un report d'effort sur diverses espèces. En revanche la surabondance des clupéides 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 désintéressement 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 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 pue, amplifie les fluctuations de l'abondance effective.

7 . M O D E L E R E G R O U P A N T L ' E N S E M B L E D E S E S P E C E S P E L A G I Q U E S

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'effort de pêche des seuls sardiniers 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'intérieur 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 dakaraise 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. 13 ; tabl. 6 et 7), mais les valeurs des paramètres du modèle indiquent que celui-ci est légèrement moins sensible que les précédents, aux variations d'intensité des alizés (fig. 14). Les fortes anomalies de rendement de 1972 et 1975 ont disparues comme le laissait prévoir l'analyse de la composition des captures. En revanche, les prédictions demeurent moins satisfaisantes pour les années antérieures à 1972. On interprètera ces résultats au niveau de la critique des modèles et de la vérification des hypothèses de base.

8 . ANALYSE DES HYPOTHESES ET CRITIQUES DES MODELES

8.1. ANALYSE DES HYPOTHESES POUR L'ESTIMATION DES DONNEES

La série des données sur la pêche semi-industrielle est complète et peut être considérée comme relativement fiable. Seules quelques estimations ont du 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 sardiniers dakarois 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 pue des sennes tournantes piroguières diminuent plus vite que celle des sardiniers. 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 (FREON et WEBER, sous presse). Quoiqu'il en soit, il paraît logique de supposer une évolution parallèle des pue des senneurs semi-industriels et des senneurs artisans, qui capturent les mêmes espèces du même âge, dans des proportions très voisines et dans des zones très proches, voire communes à certaines périodes de l'année. Les sennes de plages 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 (FREON 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 de rendement 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 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 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 minimes.

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 minime 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 testera 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 pue sont relativement peu sensibles à ces différentes hypothèses (tabl. 8). Cependant, on gardera à l'esprit que ceci peut aussi provenir du mode d'estimation des données.

8.2. ANALYSE DE L'HYPOTHESE D'INDEPENDANCE DU SOUS-STOCK DE LA PETITE COTE

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 réglemmentations successives des différents pays côtiers (BOELY et FREON, 1980). L'évolution inter-annuelle des captures totales, suit bien ce schéma, même si elle intègre en supplément les variations de rendement (fig. 15). 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 (1971 et 1972), et ceci ayant 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 ; FREON 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 de 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 pue 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 concentrés 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 (tabl. 9). 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 migrateurs (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 pue et effort de pêche, tandis qu'au premier cas correspondrait mieux un ajustement curviligne, assurant une faible sensibilité de la production aux niveaux d'effort 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, du fait du hasard des octrois d'accords de pêche des différents pays cotiers 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'adulte 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 péripériques. 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.

8.3. ANALYSE DE L'HYPOTHESE 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 pue annuelles de trois sardiniens ayant exercé depuis les débuts de la pêcherie, et dont les caractéristiques n'ont pas varié. On constate que l'on retrouve un schéma d'évolution des rendements identiques à celui obtenu pour l'ensemble de la flottille (fig. 16). 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 ; FREON ET STEQUERT, 1979), explosion démographique de *Sardinella aurita* en Côte d'Ivoire et au Ghana accompagnée du début de l'apparition de *Balistes carolinensis* (ORSTOM, 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. 11 et 12), 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 95 000 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. 17, tabl. 10). 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 engendrent 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 pue 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 l'intensité des remontées d'eaux froides dépend du vent (fig. 18). 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 pue 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 de 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. Quoiqu'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 pue", ce qui réduirait d'autant le champ d'application.

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

9 . LES MODELES SONT-ILS PREDICTIFS ?

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, par exemple sur les trois dernières années, 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 puisque celui-ci peut varier légèrement d'une année sur l'autre. On retiendra alors à titre indicatif comme nombre d'heures de

pêche par bateau ou par pirogue, celui observé au cours des deux ou trois années précédentes. 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 ne varie pas en fonction de la force des vents (fig. 19).

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. 20). 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. 21). 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,
- 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 *Caranx 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.

10 . A M E L I O R A T I O N S P O S S I B L E S D E S M O D E L E S

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 surexploita-

tion 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 pue pour ces derniers uniquement (FREON 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 à des changements de "cohorte-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 lançers 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 quelle serait l'utilité de tels résultats pour le développement, principal destinataire de nos travaux ? Comment exploiter un résultat tel que : "la production sera de 184 millions d'individus pour les *Sardinella aurita* de taille inférieure à 25 cm si la moyenne des carrés de l'intensité du vent soufflant du 350° est de 25,2 mètres au carré par seconde et si les sardiniers recherchent des bancs sur les lieux de pêche durant 1 830 heures et les pirogues durant 3 650 heures" ? Après une telle approche, le retour à des variables plus concrètes restera nécessaire.

11 . C O N S E Q U E N C E S E N M A T I E R E
D ' A M E N A G E M E N T

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 multiples entre effort de pêche, pue et vitesse du vent (relation (1)), c'est-à-dire une famille de modèles de SCHAEFFER (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 :

(i) 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,

(ii) si l'intensité du vent augmente (ce qui semble peu probable), la pue et les captures augmenteront, le taux d'exploitation (f/FMSY) diminuera et les profits augmenteront, même si l'effort de pêche augmente légèrement.

(iii) si l'intensité du vent diminue significativement, ce qui est à craindre, la pue et les captures diminueront, alors que le taux d'exploitation s'élèvera (sans qu'une augmentation de l'effort de pêche soit nécessaire à cela), d'où un risque élevé de surexploitation 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 FREON, 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 manoeuvre 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 distributions 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 FREON, 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 qualité 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.

C O N C L U S I O N

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 résultants d'une régression multiple entre la prise par unité 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 concerne l'ensemble des espèces pélagiques côtières. Les résultats obtenus expliquent relativement bien l'évolution des pêcheries de la Petite Côte au cours des quinze dernières années, cependant la validité des données de base et le nombre relativement restreint d'observations incite 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 sur-exploitées 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.

R E M E R C I E M E N T S

Je remercie Mlle LOPEZ et MM. POTTIER, I. SOW et A. SOW du CRODT qui ont collaboré au traitement des données, ainsi que mes collègues de l'ORSTOM, et plus particulièrement S. GARCIA, qui ont bien voulu me faire part de leurs commentaires.

B I B L I O G R A P H I E

- BAKUN (A.) et 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 p.
- BEVERTON (R.J.H.) et HOLT (S.J.), 1957.- On the dynamics of exploited fish population. Fish Invest. Lond. Ser. 2 (19) : 533 p.
- 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 p.
- 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 FREON (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 Libéria (26°N à 5°N). Dakar, Sénégal, 19 - 24 juin 1978. COPACE/PACE Sér., (78/10) : 63 - 70
- BOELY (T.), CHABANNE (J.), FREON (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. Réunion. 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 de Rech. océanogr. Dakar-Thiaroye (21) : 13 p.
- BOELY (T.) et FREON (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.), FREON (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 p.

- CONAND (F.), 1977.- Oeufs et larves de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) au Sénégal : distribution, croissance, mortalité, variations d'abondance de 1971 à 1976. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr. 15 (3) : 201 - 214.
- CUSHING (D.H.), 1978.- The problems of stock and recruitment in : Fish Population Dynamics, Gulland J.A., Edit ; John Wiley and Sons Ltd : 372 p.
- 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. Etat Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI et Museum Nat. Hist. Nat., 2 Vol. : 342 et 68 p.
- DOMANESVKI (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 Libéria (26°N à 5°N). Dakar, Sénégal, 19 - 24, juin 1978. COPACE/PACE Sér., (78/10) : 86 - 91.
- ELWERTOWSKI (J.), GONZALEZ ALBERDI (P.), CHABANNE (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 p.
- 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 SERIES 80/21 (Fa) : 73 p.
- FREON (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.
- FREON (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. ORSTOM, sér. Océanogr., 16 (3/4) : 209 - 228.
- FREON (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 Libéria (26°N à 5°N). Dakar, Sénégal, 19 - 24 juin 1978. COPACE/PACE Sér. (78/10) : 27 - 62.
- FREON (P.) et STEQUERT (B.), 1979.- Note sur la présence de *Sardina pilchardus* (Walb.) au Sénégal. Etude de la biométrie et interprétation. Cybiuim (3^e Sér.), (6) : 65 - 90.

- FREON (P.) et WEBER (J.).- Djifère au Sénégal : La pêche artisanale en mutation dans un contexte industriel. Première partie : le milieu, la senne tournante, son impact naturel (sous presse 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.
- IOC, 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 p.
- LAUREC (A.) et LE GUEN (J.C.), 1977.- CPUE des senneurs et abondance ; impact des structures fines. Rec. doc. Scient. ICCAT 7 : 30 - 54.
- NIELAND (H.), 1980.- Die nahurung von sardinen, Sardinellen, und maifishe vor der westküste Afrikas. Beritche aus dem Institut für Meereskunde an der Christian - Albretchs - Universität, Kiel, 75 : 137 p.
- MARCHAL (E.) et BOELY (T.), 1977.- Evaluation acoustique des ressources en poissons du plateau continental ouest-africain des îles Bissagos (11°N) à la pointe Stafford (28°N). Cah. ORSTOM Sér. Océanogr., 15 (2) : 139 - 159.
- MARQUART (D.), 1963.- An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters. J. Soc. Indust. and Appl. Math. 11 (2) : 15 p.
- ORSTOM, 1976.- Rapport du groupe de travail sur la sardinelle (*S. aurita*) des côtes ivoiro-ghanéennes. Abidjan, ORSTOM, Centre de Recherches océanographiques, 28 juin - 3 juillet 1976 : 63 P.
- 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 Libéria (26°N à 5°N). Dakar, Sénégal, 19 - 20 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 Libéria (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 p.
- ROFF (D.A.) et 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. ORSTOM 142 p.
- SAVILLE (A.), 1980.- The assessment and management of pelagic fish stocks. A symposium hold in Aberdeen 3 - 7 juillet 1978. Rapp. Proc. Verb. Réunions CIEM, 177 : 517 p.
- SCHAEFFER (W.J.), 1957.- A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Oean. Bull. IATTC, 2 (6) : 85 - 245.
- SEDYKH (K.A.) et al., 1979.- Etude de l'upwelling près de la côte de l'Afrique nord-occidentale par l'Institut atlantique de Recherche 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 Libéria (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.), FREON (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 p.
- ULLTANG (O.), 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 FREON (P.).- Djifère au Sénégal : la pêche artisanale en mutation dans un contexte industriel. Deuxième partie : conséquences d'une innovation technique sur l'organisation économique artisanale, ou les excès d'une réussite (sous presse FAO Doc. Tech. Pêches).

TABLEAU I.- Calcul d'un coefficient de conversion entre l'effort de pêche artisanal des sennes tournantes de Mbour et Joal (PA) et celui de pêche semi-industrielle dakaroise (PI) d'après le rapport des prises par unité d'effort (pue) de 1977 à 1980.

ESPECES	<i>Sardinella aurita</i>		<i>Sardinella spp.</i>		TOUTES ESPECES	
	PA	PI	PA	PI	PA	PI
PUE 1977	3,9	8,6	5,4	14,8	6,6	17,5
PUE 1978	4,3	9,2	6,4	12,7	7,5	14,8
PUE 1979	2,6	6,7	4,4	10,7	5,5	12,6
PUE 1980	3,4	7,1	4,4	11,7	5,5	13,0
PUE MOYENNE	3,55	7,90	5,15	12,48	6,28	14,48
COEFFICIENT DE CONVERSION	2,21		2,42		2,31	

TABLEAU II.- Sardinelle ronde; prises (tonnes), efforts (10 heures de pêche d'un sardinier standard), pue (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).

ANNEES	PRISES SARDINIERS (OBSERVEES)	PUE SARDINIERS (OBSERVEES)	EFFORTS SARDINIERS (OBSERVES)	PRISES PIROGUES	EFFORTS PIROGUES	PRISES TOTALES	EFFORT TOTAUX	PUE 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*	11 180	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	9,78	1 819	16 530*	1 690*	34 320	3 509	9,78	5,76
1975	12 430	7,22	1 722	16 900*	2 337*	29 330	4 059	7,22	5,66
1976	14 800	8,06	1 836	24 050*	2 984*	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	1 384	32 280	3 356	44 940	4 740	9,48	5,21
1979	13 600	6,68	2 035	26 340	4 577	39 940	6 612	6,04	4,68
1980	14 860	7,01	2 120	28 620	3 837	43 480	5 957	7,29	4,98

* Estimations diverses (voir texte)

TABLEAU III.- Sardinelle plate, prises (tonnes), effort (10 heures de pêche d'un sardinier standard et pue (prise par unité d'effort) des différentes pêcheries sur la Petite Côte du Sénégal (nouvelles estimations).

ANS	PRISES SARDINIERS (OBSERVEES)	PUE SARDINIERS (OBSERVEES)	EFFORTS SARDINIERS (OBSERVES)	PRISES PIROGUES	EFFORTS PIROGUES	PRISES TOTALES	EFFORT TOTAUX
1966	2 200	6,79	324	28 110*	4 140*	30 310	4 464
1967	1 170	6,10	192	26 600*	4 360*	27 770	4 552
1968	1 800	3,14	576	14 410*	4 590*	16 210	5 166
1969	4 780	4,39	1 089	21 200*	4 830*	25 980	5 919
1970	4 250	3,72	1 142	18 900*	5 080*	23 150	6 222
1971	2 040	2,55	800	13 640*	5 350*	15 680	6 150
1972	4 470	4,53	987	25 500*	5 629*	29 970	6 616
1973	8 610	4,97	1 732	26 190*	5 270*	34 800	7 002
1974	9 980	6,17	1 618	30 290*	4 910*	40 270	6 528
1975	9 500	5,19	1 796	24 120*	4 560*	33 620	6 356
1976	11 930	6,64	1 797	27 890*	4 200*	39 820	5 997
1977	9 250	6,23	1 485	23 920	3 839	33 170	5 324
1978	5 310	3,57	1 487	26 150	7 325	31 460	8 812
1979	8 710	3,98	2 191	20 820	5 231	29 530	7 422
1980	8 940	4,73	1 890	17 820	3 767	26 760	5 657

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

ANNEES	PRISES SARDINIERS (OBSERVEES)	PUE SARDINIERS (OBSERVEES)	EFFORTS SARDINIERS (OBSERVES)	PRISES PIROGUES	EFFORTS PIROGUES	PRISES TOTALES	EFFORTS TOTAUX	PUE 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	19 690*	1 246*	28 550	1 808	15,8
1969	14 480	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	11 480	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)

TABLEAU V.- Paramètres obtenus par régression linéaire multiple et itération pour la relation $pue = a \text{ EXP}-a'f + b\bar{V} + C + \varepsilon$, lorsque l'on utilise différentes valeurs de \bar{V} .

ESPECES	\bar{V}	a'	a	b	c	r2
<i>Sardinella aurita</i>	Vn-1	.00051	9.545	1.700	-1.818	0.58
	Vn	.00051	10.32	2.726	-7.349	0.75
	$\frac{Vn+Vn-1}{2}$	.00051	10.85	3.030	-9.002	0.70
	$\frac{2Vn+Vn-1}{3}$	.00051	11.02	3.161	-9.767	0.74
<i>Sardinella spp.</i>	Vn-1	.0006	18.70	2.909	-3.095	0.57
	Vn	.0006	20.14	3.839	-8.134	0.76
	$\frac{Vn+Vn-1}{2}$	.0006	21.94	4.683	-12.63	0.77
	$\frac{2Vn+Vn-1}{3}$	.0006	22.19	4.714	-12.90	0.81

\bar{V} : Vitesse du vent moyen utilisée dans la régression
 Vn : Vitesse du vent durant la saison d'alizés de l'année n
 pue: Prise par unité d'effort de pêche
 f : effort de pêche
 ε : résidus
 r2 : coefficient de corrélation multiple

TABLEAU VI.- 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 (v) et la vitesse du vent durant la période de reproduction (W), pour les espèces pélagiques de la Petite Côte.

ESPECES	TYPE DE REGRESSION ET EQUATION	PAR.	VALEUR	LIMITE INF.	LIMITE SUP.
<i>Sardinella aurita</i>	LINEAIRE $PUE = a \text{ EXP}-a'f + b\bar{v} + c + \epsilon \quad (1)$	a a' b c	14.60 .00013 B 2.49 -12.89	10.06* - .973* -22.5 *	19.14* - 4.00* - 3.25*
	NON LINEAIRE $C = (a \text{ EXP}-a'f + b\bar{v} + c) f + \epsilon$	a a' b c	11.75 .00013 B .911 - 2.946	6.61 - -.141 - 8.20	16.9 - 1.96 2.31
	NON LINEAIRE $C = (a \text{ EXP}-a'f + b\bar{v} + c) f + \epsilon$	a a' b c	9.42 .00024 M 1.16 - 1.01	2.23 -.0007 - 1.11 - 8.10	16.61 .0011 3.44 6.08
<i>Sardinella spp.</i>	LINEAIRE $PUE = a \text{ EXP}-a'f + b\bar{v} + c + \epsilon \quad (1)$	a a' b c	23.55 .00010 B 4.13 -22.63	16.70 - 2.55* -33.91*	30.40 - 5.72* -11.36*
	NON LINEAIRE $C = (a \text{ EXP}-a'f + b\bar{v} + c) f + \epsilon$	a a' b c	14.63 .00035 M 3.23 - 6.27	2.58 -.0004 1.43 -13.9	26.7 .0011 5.03 1.34
	NON LINEAIRE $C = (a \text{ EXP}-a'f + b\bar{v} + c) f + \epsilon$	a a' b c	18.60 .00010 B 2.80 -12.5	11.5* - 1.48* -20.8 *	25.7 * - 4.11* - 4.18*
	NON LINEAIRE $C = (a \text{ EXP}-a'f + b\bar{v} + c) f + \epsilon$	a a' b c d	19.86 .00010 B 3.84 -12.4 - 1.65	12.2 - 1.40 -20.9 - 4.87	27.5 - 6.28 - 4.00 1.59
TOUTES ESPECES	LINEAIRE $PUE = a \text{ EXP}-a'f + b\bar{v} + c + \epsilon \quad (1)$	a a' b c	32.03 .00015 B 3.50 -16.9	23.8* - 1.16* -31.9 *	40.3 - 5.85 - 2.17
	NON LINEAIRE $C = (a \text{ EXP}-a'f + b\bar{v} + c) f + \epsilon$	a a' b c	26.75 .00012 B 2.14 - 9.18	20.20 - .72 -17.3	33.3 - 3.56 - 1.07
	NON LINEAIRE $C = (a \text{ EXP}-a'f + b\bar{v} + c) f + \epsilon$	a a' b c	50.50 .00071 M 3.92 - 6.45	12.0 .0004 2.54 -13.4	89.0 .0011 5.29 .492

B : Valeur de a' optimale biologiquement (fixée avant régression)
M : Valeur optimale statistiquement (déterminée par la régression)
(1): Résultats présentes sur les figures
* : Limites non strictement valides (en raison de la non indépendance entre pue et f).

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

ANS	PRISES SARDINIERS (OBSERV.)	PUE SARDINIERS (OBSERV.)	EFFORTS SARDINIERS (OBSERV.)	PRISES PIROGUES	EFFORTS PIROGUES	PRISES TOTALES	EFFORTS TOTAUX	PUE TOTALES
1966	8 830	26,9	328	37 010*	1 376*	45 840	1 704	26,9
1967	8 500	29,1	292	42 130*	1 448*	50 630	1 740	29,1
1968	14 000	24,2	578	36 880*	1 524*	50 880	2 102	24,2
1969	18 330	17,9	1 024	28 710*	1 604*	47 040	2 628	17,9
1970	17 200	15,3	1 125	25 840*	1 689*	43 040	2 814	15,3
1971	14 350	17,4	827	30 940*	1 778*	45 290	2 605	17,4
1972	24 980	23,5	1 064	44 000*	1 872*	68 980	2 936	23,5
1973	31 640	18,8	1 679	44 350*	2 359*	75 990	4 038	18,8
1974	33 920	18,7	1 813	53 200*	2 845*	87 120	4 658	18,7
1975	30 460	16,8	1 809	55 980*	3 332*	86 440	5 141	16,8
1976	31 010	16,3	1 900	62 250	3 819*	93 260	5 719	16,3
1977	26 380	17,5	1 509	65 800	4 306	92 180	5 815	15,9
1978	20 900	14,8	1 413	72 300	4 176	93 200	5 589	16,7
1979	25 010	12,6	1 983	66 200	5 248	91 210	7 231	12,6
1980	27 510	13,0	2 121	62 210	4 902	89 720	7 023	12,8

TABLEAU VIII.- Toutes espèces pélagiques côtières : sensibilité du modèle à différentes hypothèses sur l'évolution de l'effort de pêche artisanal de 1966 à 1971

DECROISSANCE EFFORT AVANT 1972	PRODUCTION MAXIMALE (t) $\bar{V} = 4,55$	PRODUCTION MAXIMALE (t) $\bar{V} = 5,55$	COEFFICIENT DE DETERMINATION MULTIPLE (r^2)
5 %	73 414	97 370	0.76
10 %	71 680	100 380	0.79
20 %	70 430	100 950	0.80

TABLEAU IX.- Comparaison entre la composition des captures réalisées par la flottille sénégalaise (sardiniers) sur la Petite Côte et celle de la flotte polonaise (chalutiers pélagiques) en Casamance, exprimée en pourcentage du poids total débarqué de 1977 à 1980.

ANNEE	PAYS	<i>Sardinella</i> spp.	CHINCHARD JAUNE	<i>Pomadasys</i> spp.	DIVERS
1977	Pologne	78	9	0.6	12
	Sénégal	85	6	3	6
1978	Pologne	87	8	0.1	5
	Sénégal	86	8	4	2
1979	Pologne	74	12	0.1	14
	Sénégal	89	7	1	3
MOYENNE	Pologne	80	10	0.3	10
	Sénégal	86	7	3	4

TABLEAU X.- Toutes espèces pélagiques de la Petite Côte :
résultats du programme PROFIT.

$$\text{Production} = A + B \times F^{(1/(M-1))}$$

MSY = Production maximale équilibrée.

COEFFICIENTS	M = 0	M = 1	M = 2
A	2.835 E-5	1.003 E0	2.801 E-1
B	6.361 E-6	-1.180 E-7	-2.137 E-4
MSY (tonnes)	157 000	95 200	91 800
EFFORT OPTIMUM (diz. heure.)	∞	8 490	6 550

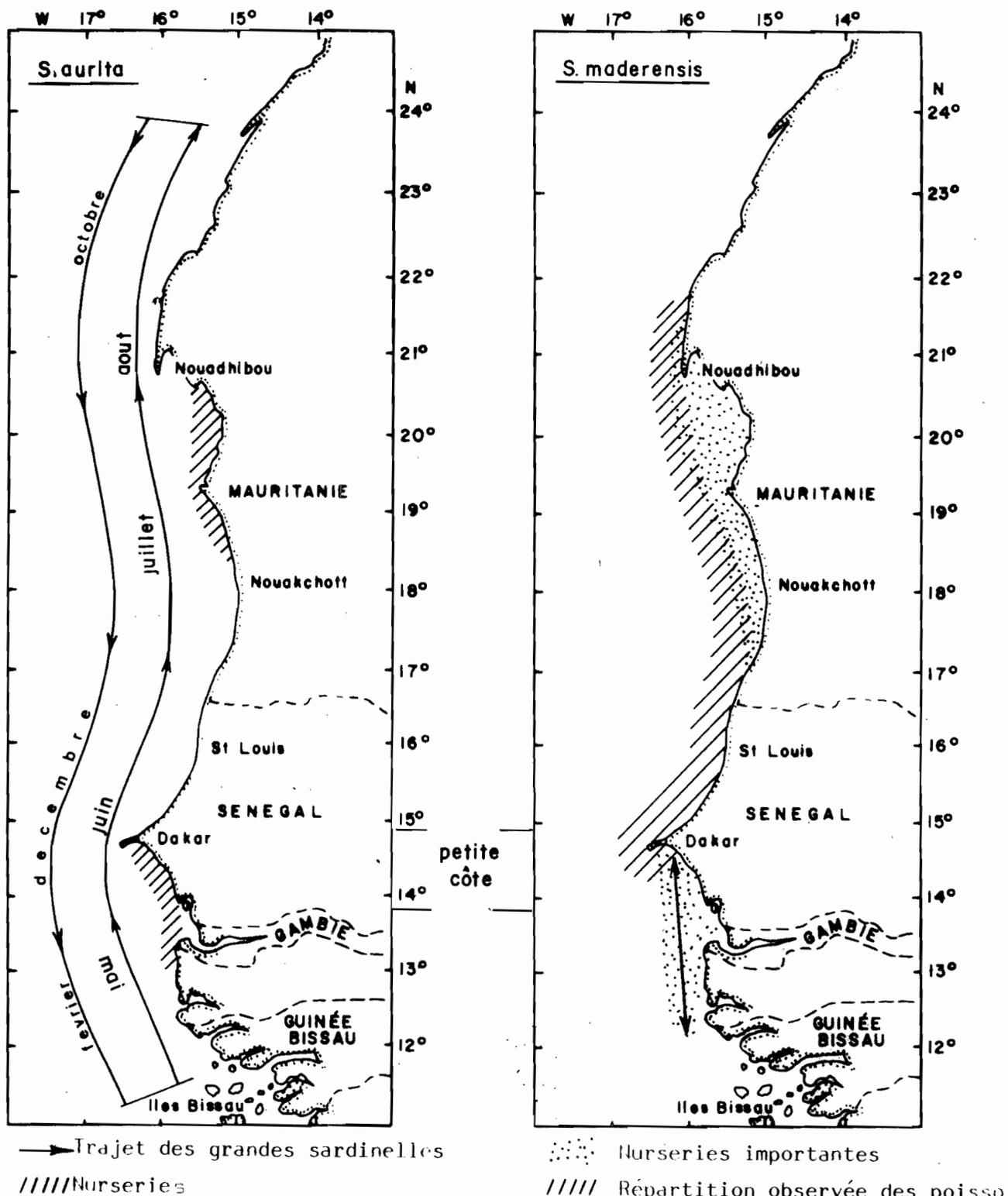


Fig. 1 : Répartition des stocks de sardine ronde (*Sardinella aurita*) et de sardine plate (*Sardinella maderensis*), BOELY et al, 1978).

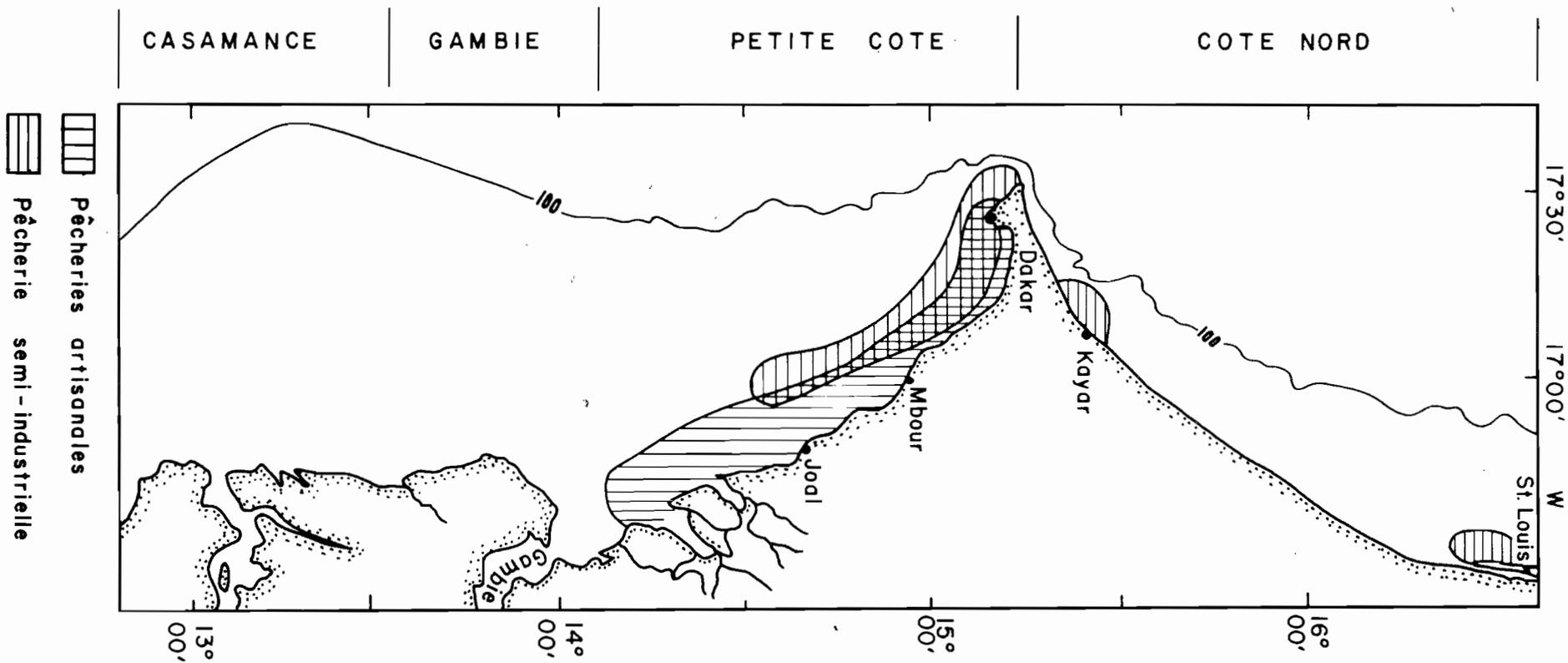


Fig. 2.- Localisation des pêcheries pélagiques côtières sénégalaises.

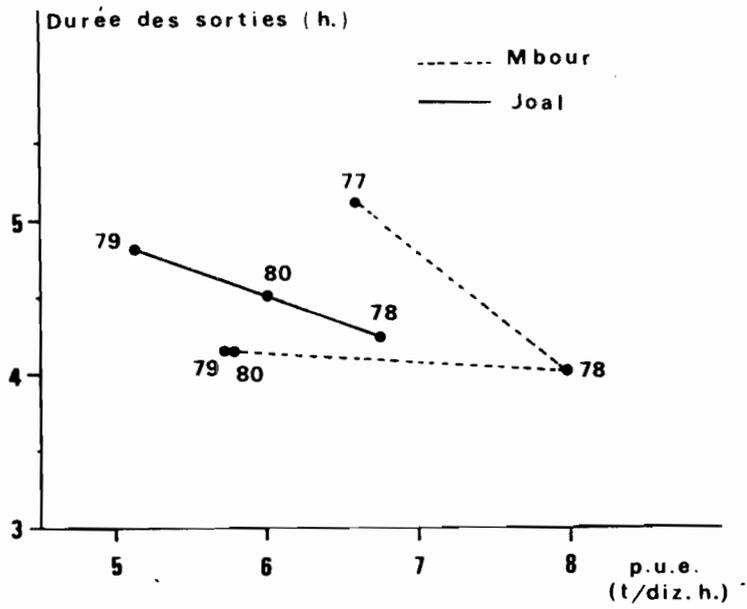


FIG. 3.- Relation entre la durée des sorties en mer et les rendements exprimés en prise par dizaine d'heure de pêche (p.u.e.) pour la pêche artisanale à la senne tournante à Mbour (1977 à 1980) et Joal (1978 à 1980).

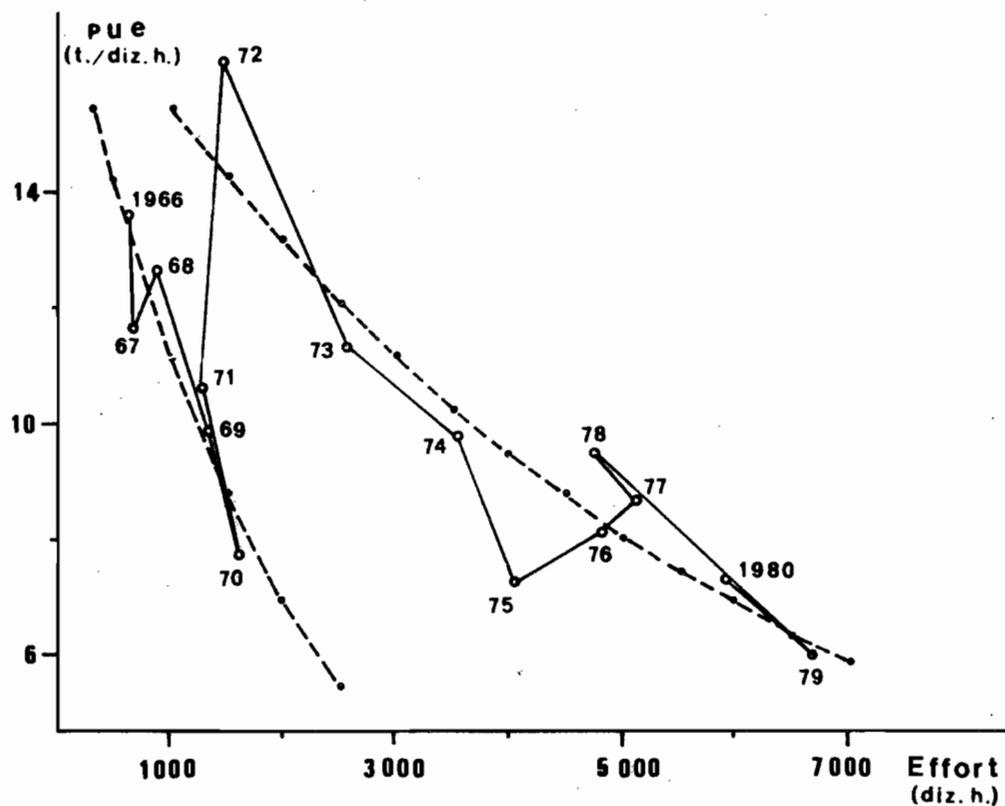


FIG. 4 .- *Sardinella aurita* : relation apparente entre l'effort de pêche et les rendements sur la Petite Côte du Sénégal de 1966 à 1980

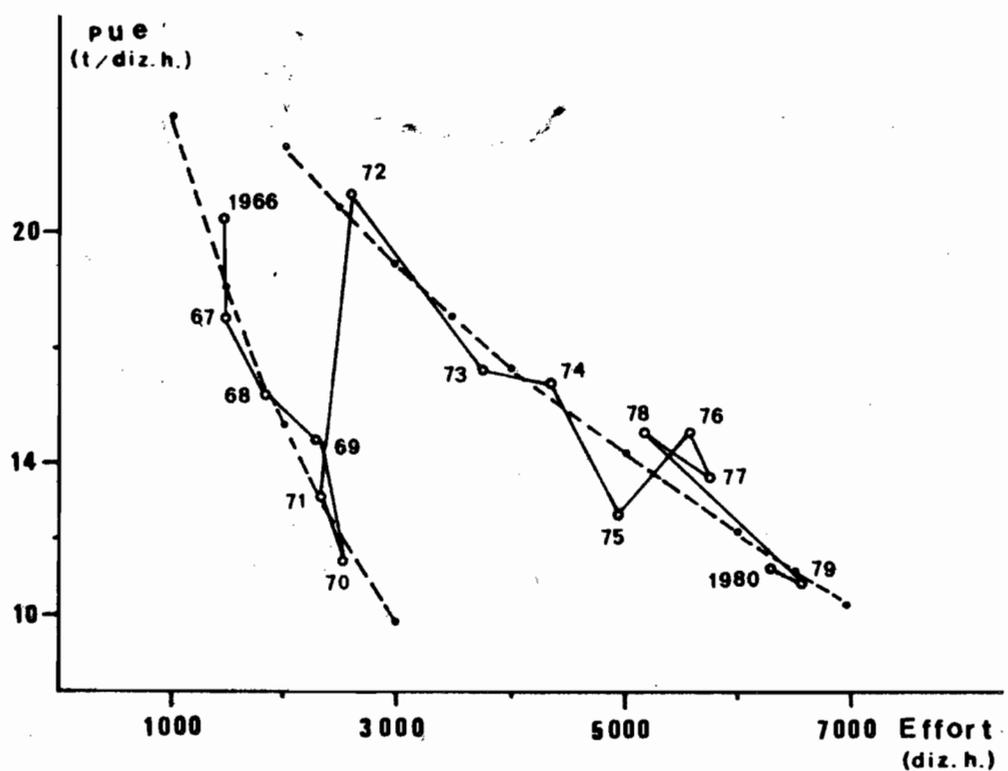


FIG. 5 .- *Sardinella* spp : relation apparente entre l'effort de pêche et les rendements sur la Petite Côte du Sénégal de 1966 à 1980

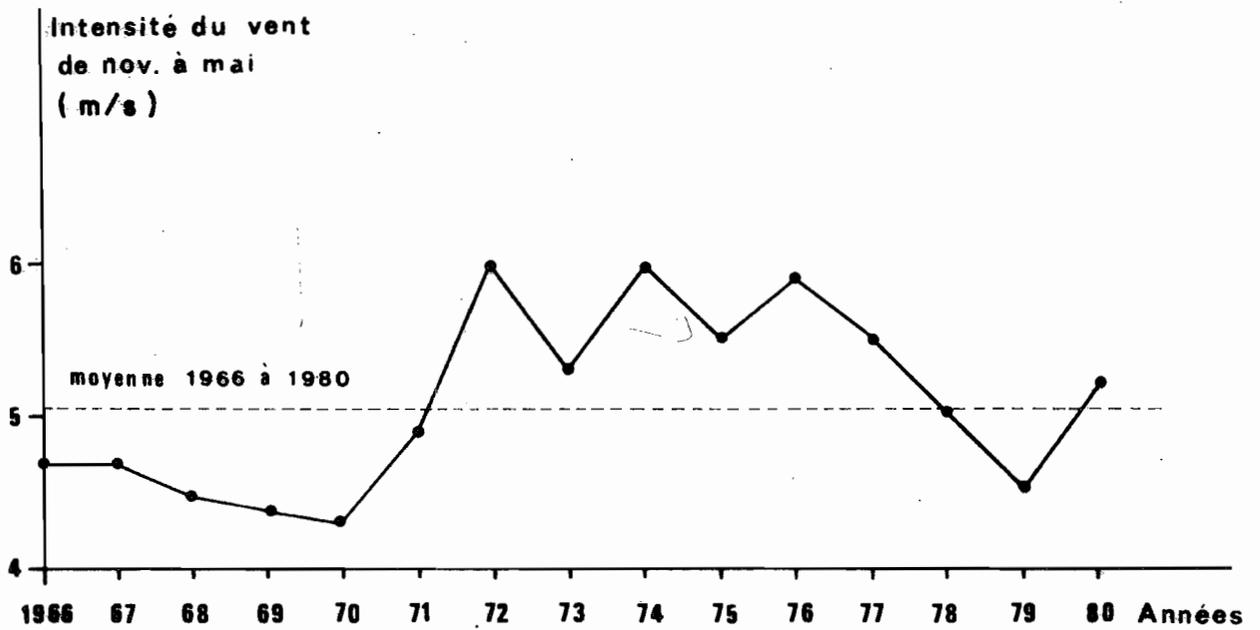


FIG. 6 .- Evolution de l'intensité des vents au cours des saisons d'alizés (de novembre de l'année n-1 à mai de l'année n) de 1966 à 1980.

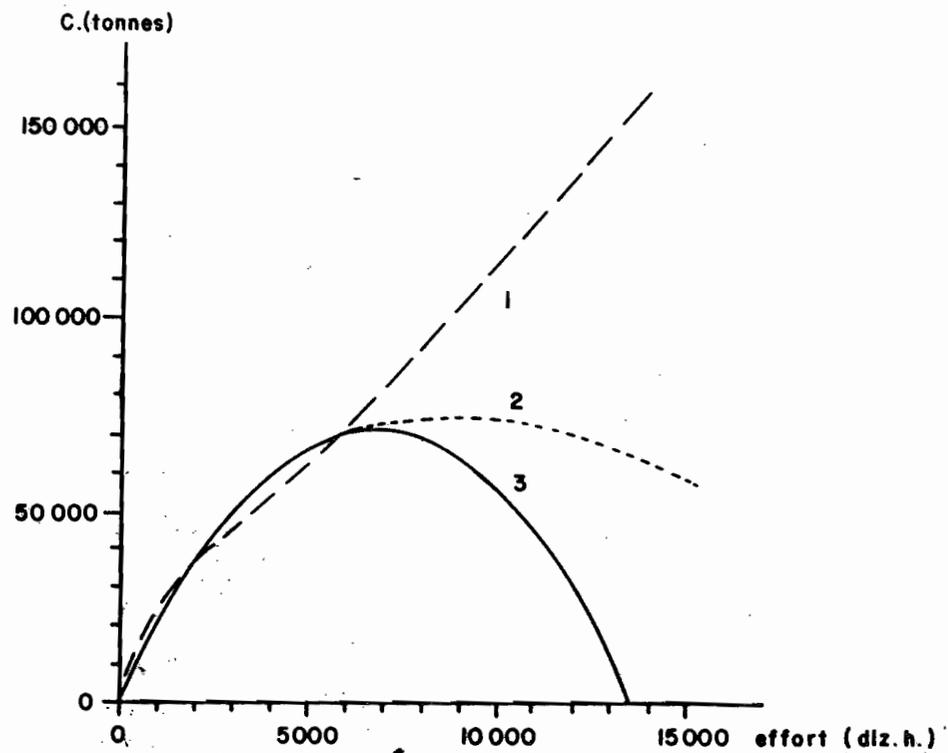


Fig. 7.- *Sardinella spp.* : incidence de la valeur de a' , dans la relation (6), sur les prédictions de production lorsque l'effort de pêche dépasse les valeurs observées, pour un vent de vitesse constante ($V = 5.15$ m/s) :

- 1 - Optimum statistique (voir texte et tabl. 6)
- 2 - Ajustement retenu (Valeur prédéterminée d'après critères biologiques (voir texte et tabl. 6).
- 3 - Relation (1) du texte.

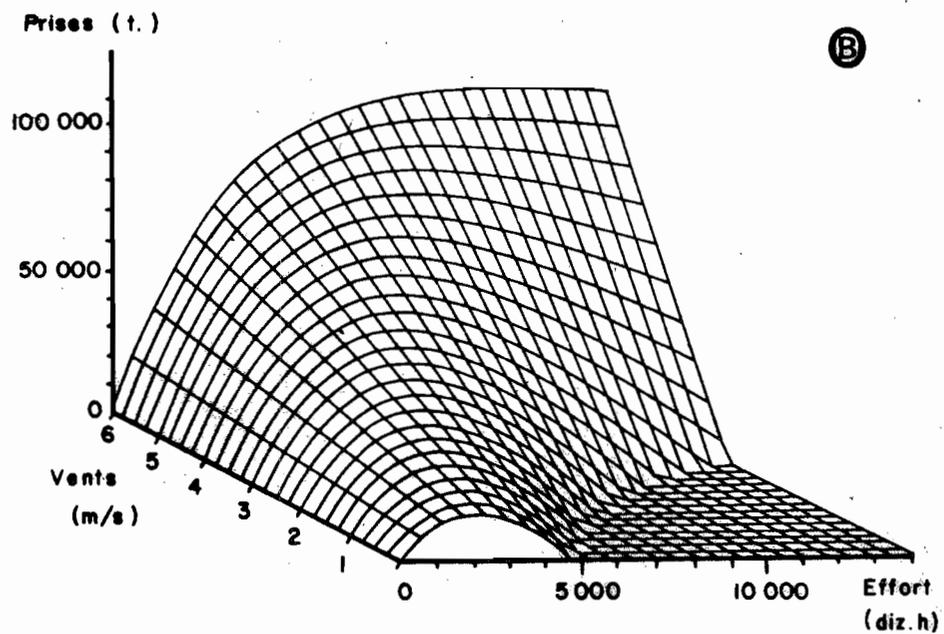
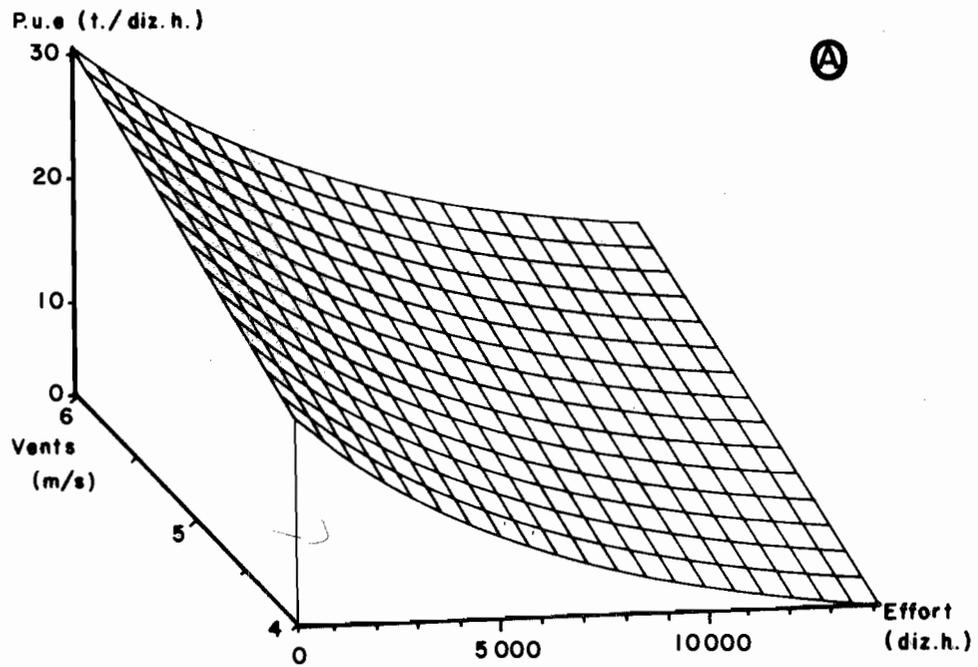


Fig. 8.- Représentation graphique de l'évolution des rendements (pue ; fig. 9a) ou des prises (fig. 9b) en fonction de l'effort de pêche et de l'intensité des vents pour *Sardinella spp.* (programme de graphisme du à MENESGUEN, Centre océanographique de Bretagne).

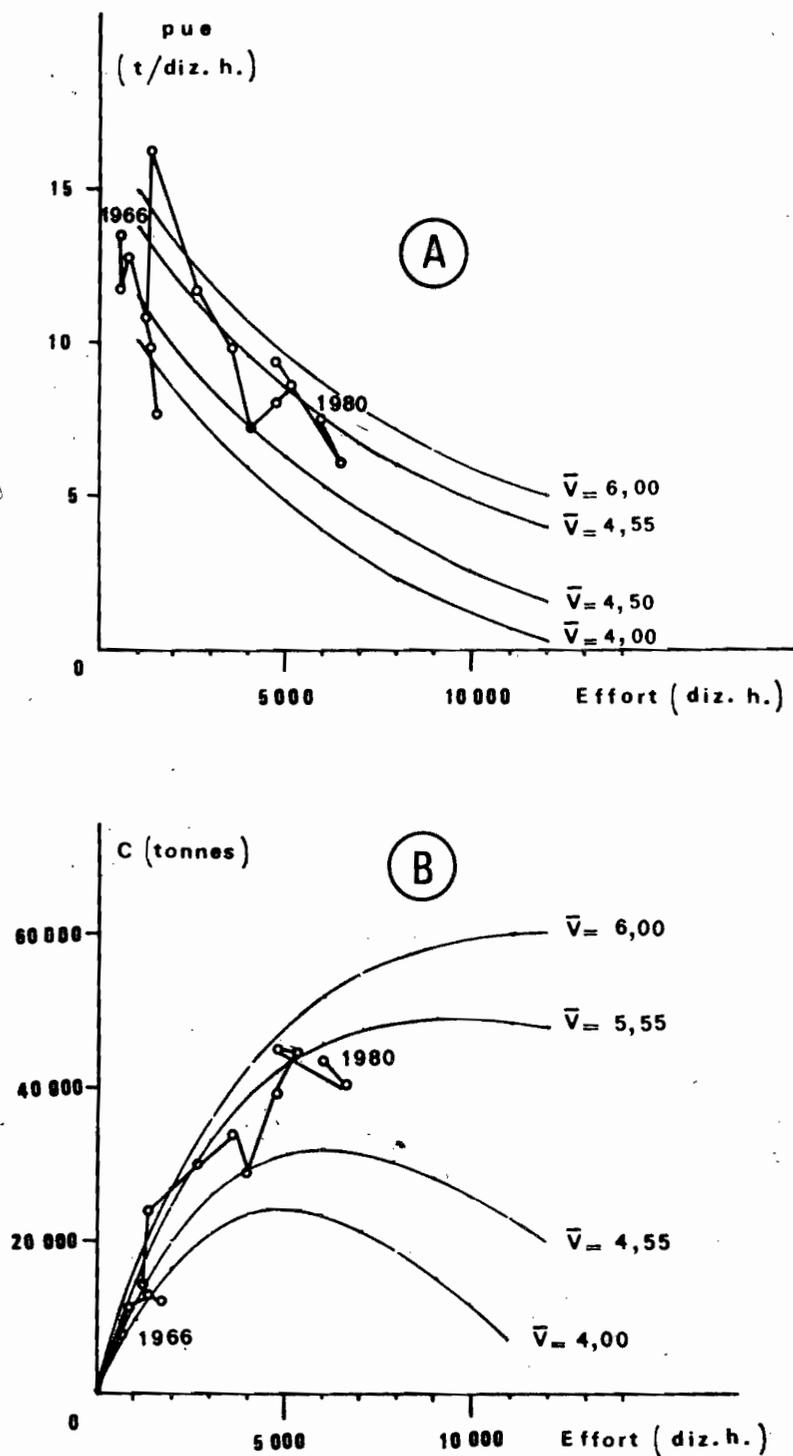


FIG. 9.- *Sardinella aurita* : modèle de production indiquant la relation entre l'effort de pêche (effort) l'intensité moyenne des vent (\bar{V}) et les rendements (p.u.e.) ou la prise totale (c) sur la Petite Côte du Sénégal.

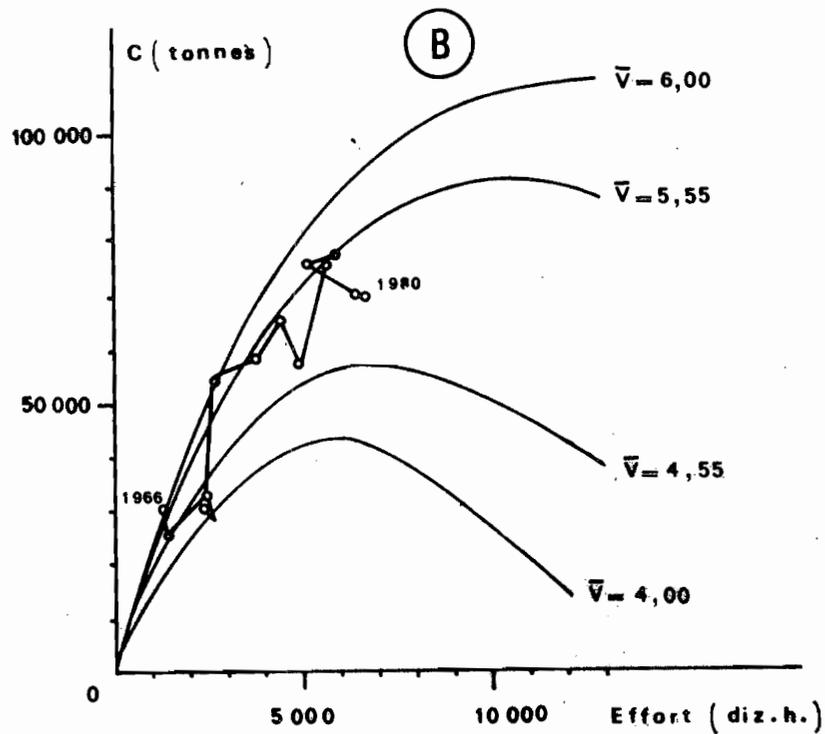
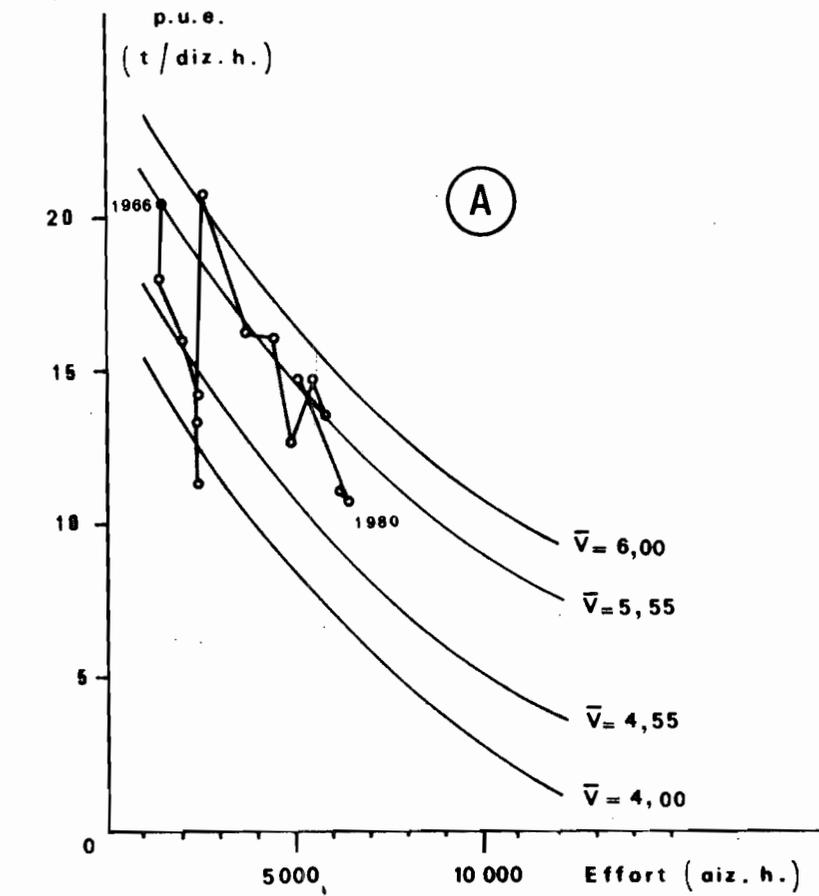


FIG.10.- *Sardinella spp.* : modèle de production indiquant la relation entre l'effort de pêche (effort), l'intensité moyenne des vents (\bar{V}) et les rendements (p.u.e.) ou la prise totale (c) sur la Petite Côte du Sénégal.

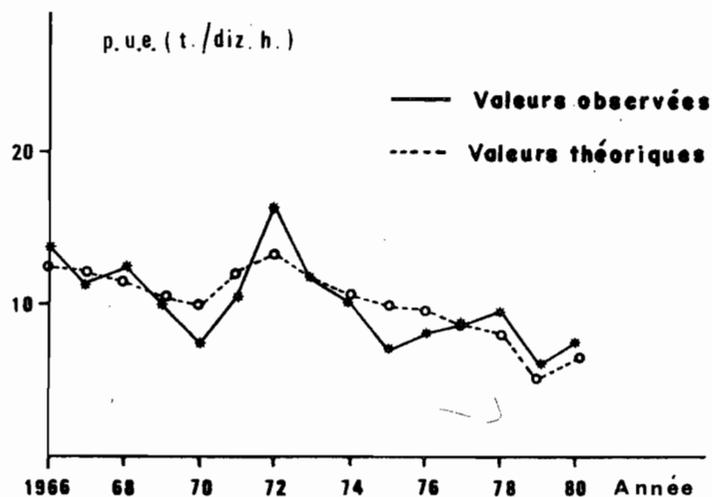


FIG. 11.- *Sardinella mitsukurina* : Comparaison des valeurs de capture par unité d'effort observées (p.u.e.) aux valeurs prédites par le modèle.

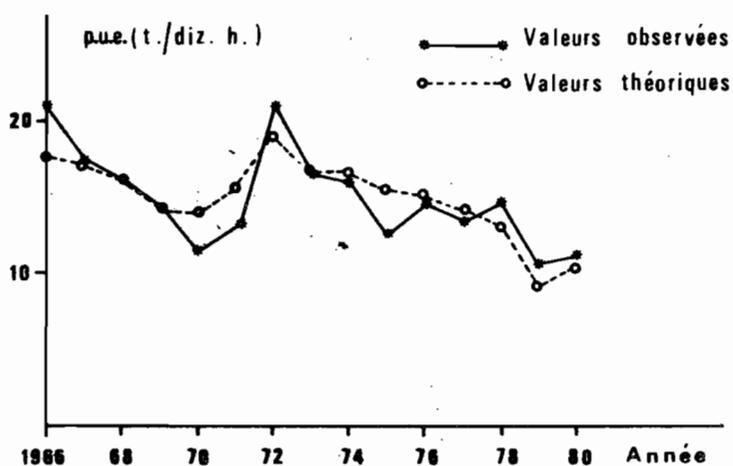


FIG. 12.- *Sardinella spp* : Comparaison des valeurs de capture par unité d'effort observées (p.u.e.) aux valeurs prédites par le modèle.

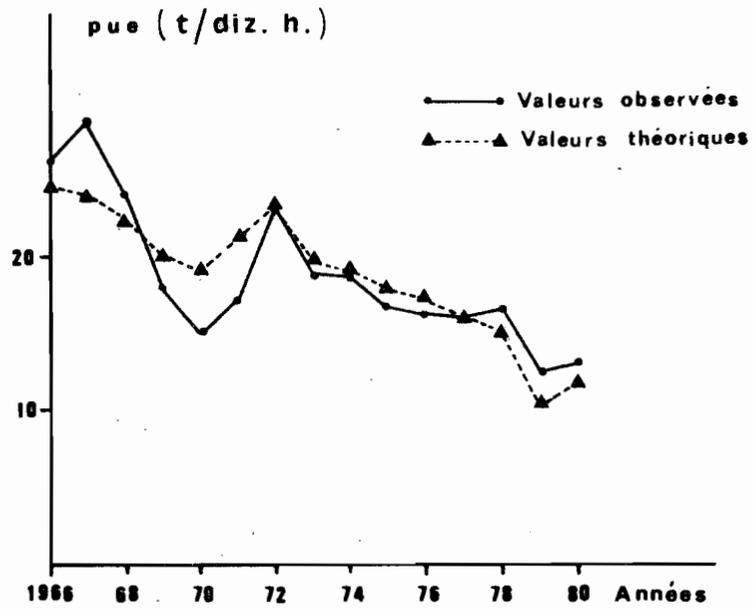


FIG. 13.- Toutes espèces pélagiques côtières confondues : Comparaison des valeurs de capture par unité d'effort observées (p.u.e.) aux valeurs prédites par le modèle.

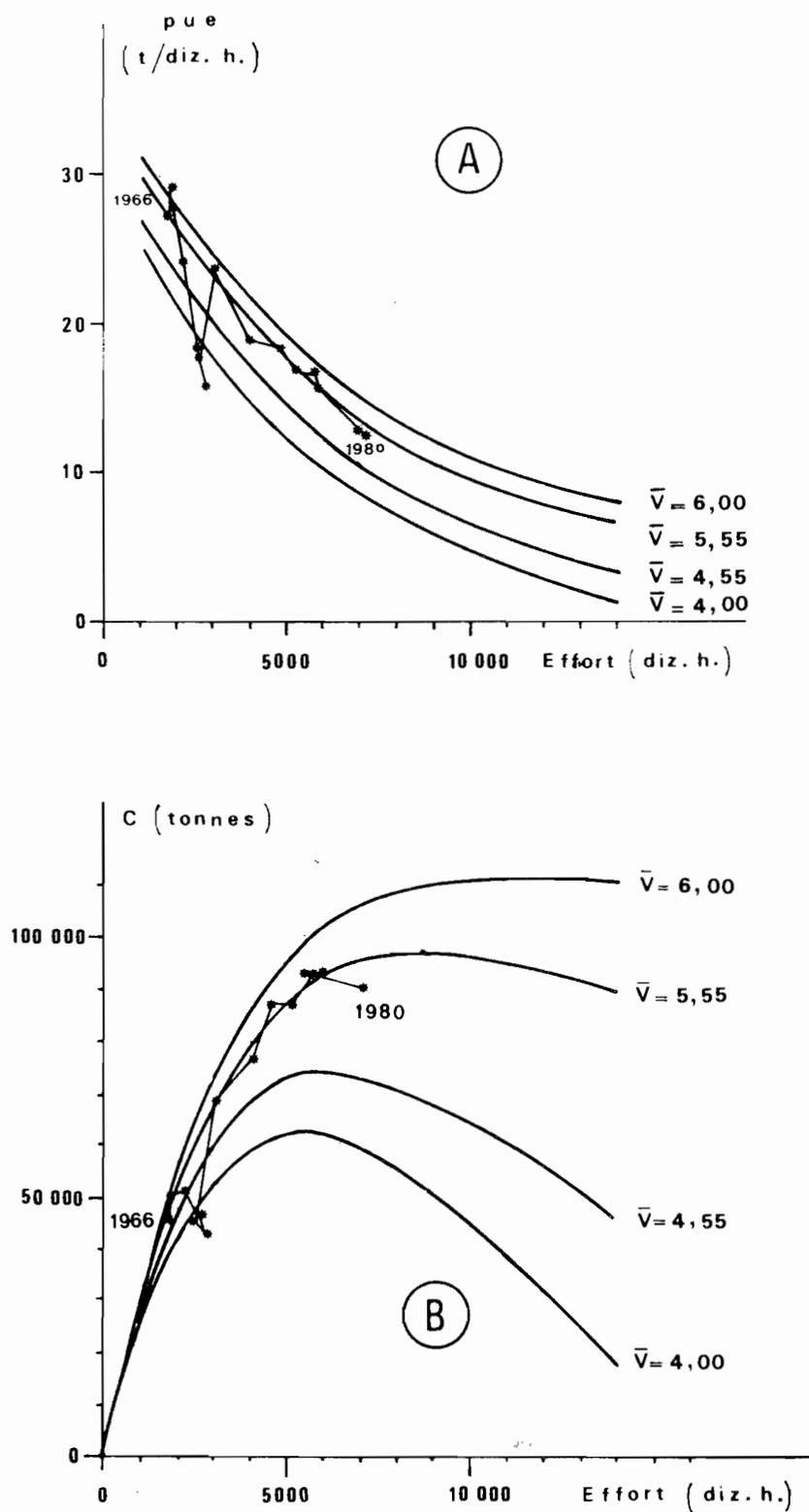


FIG. 14 .- Toutes espèces Pélagiques côtières : modèle de production indiquant la relation entre l'effort de pêche (effort) l'intensité moyenne des vents (\bar{V}) et les rendements (p.u.e.) ou la prise totale (c) sur la Petite Côte du Sénégal.

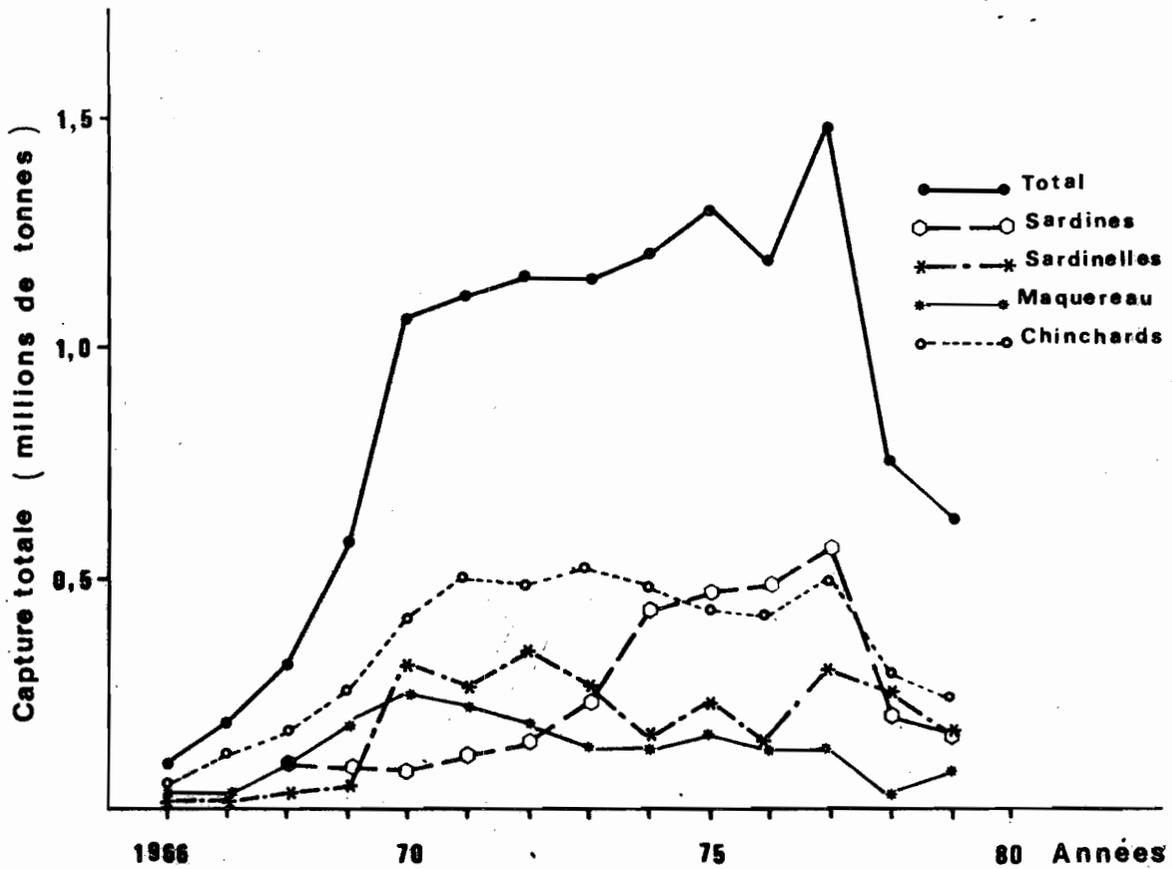


FIG. 15.- Evolution des captures des principales espèces pélagiques côtières dans la région sénégal-mauritanienne à l'exclusion de la Petite Côte du Sénégal (1966 à 1979).

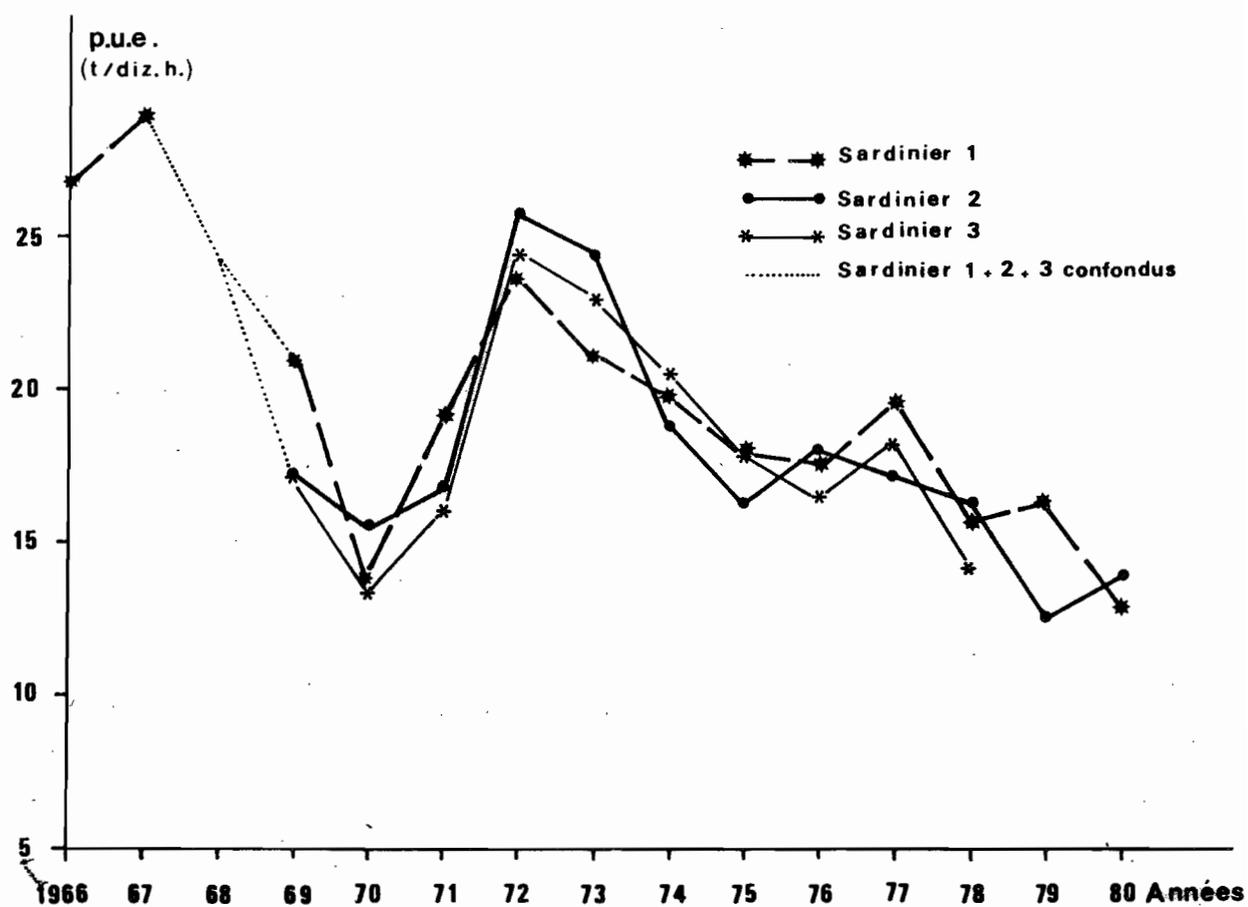


FIG. 16.- Evolution des rendements unitaires de trois sardiniers de 1969 à 1980 (toutes espèces confondues).

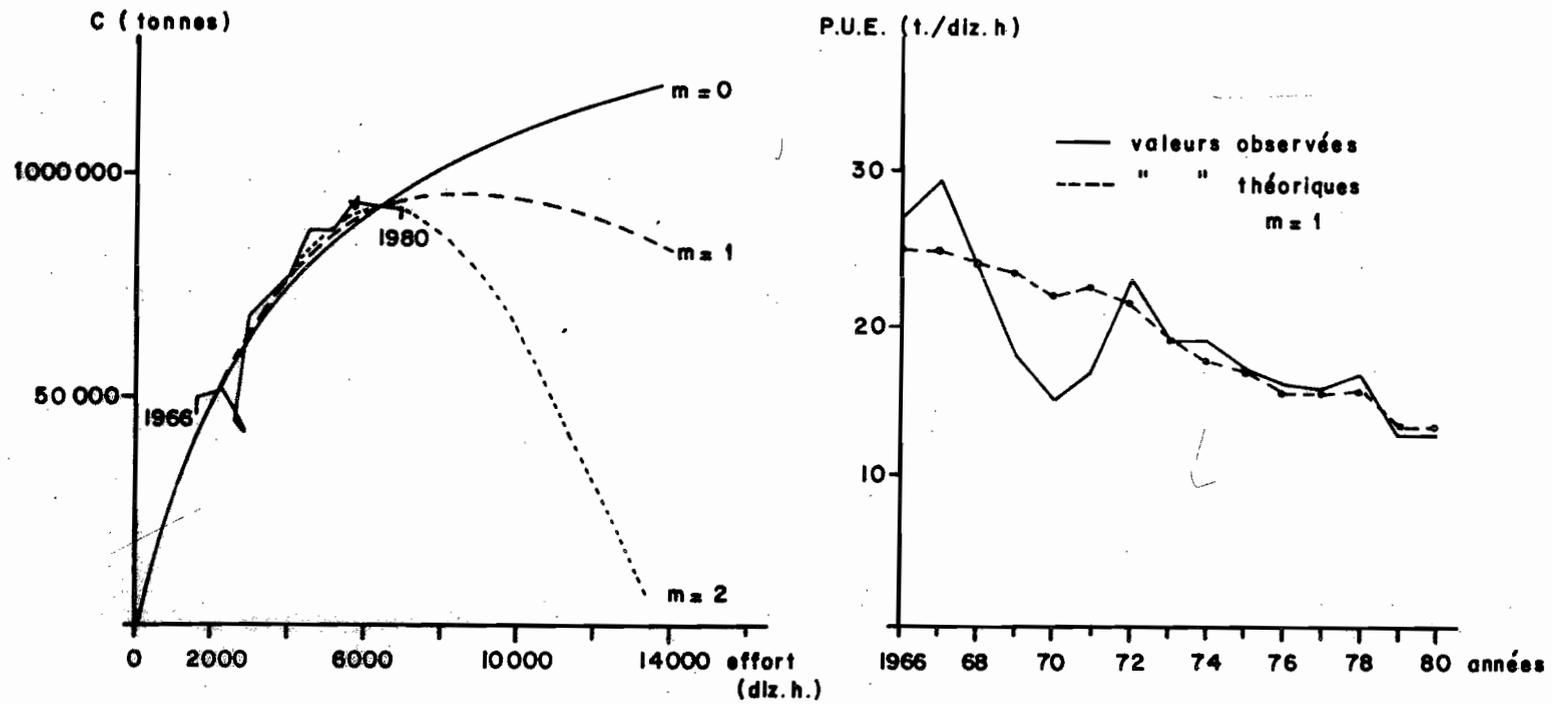


Fig. 17.- Toutes espèces pélagiques côtières : relation entre les captures (C) et l'effort de pêche d'après le modèle de production généralisé de FOX (1975), et comparaison entre les valeurs des rendements (pue) observés et théoriques.

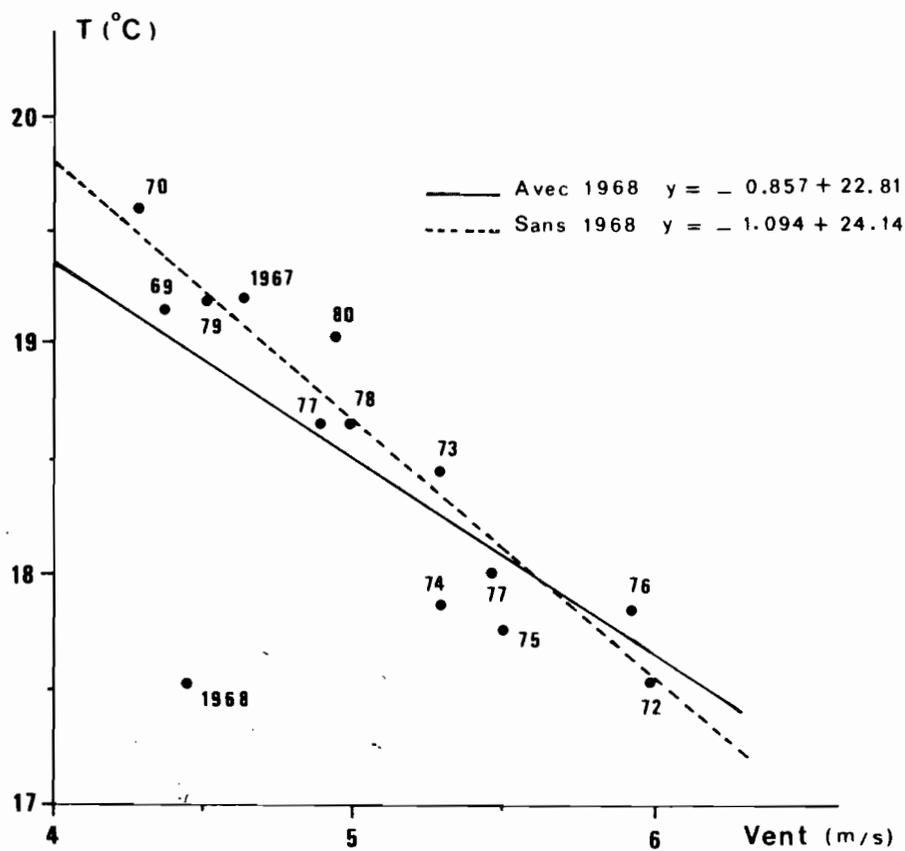


FIG. 18 .- Relation entre l'intensité moyenne des alizés de novembre à mai relevée à Yoiff et la température de surface moyenne relevée à Thiarove au cours des mêmes mois (1967 à 1980).

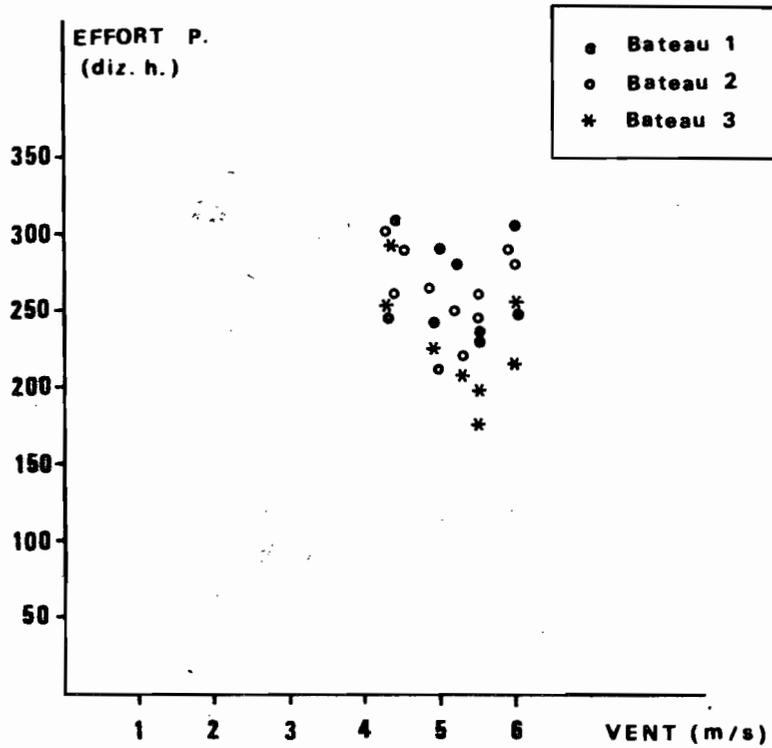


FIG. 19 Absence de relation entre l'intensité moyenne des vents durant la saison d'alizés et l'effort de pêche nominal durant l'année civile (dizaine d'heures de pêche de 3 bateaux ayant travaillé régulièrement de 1969 à 1980).

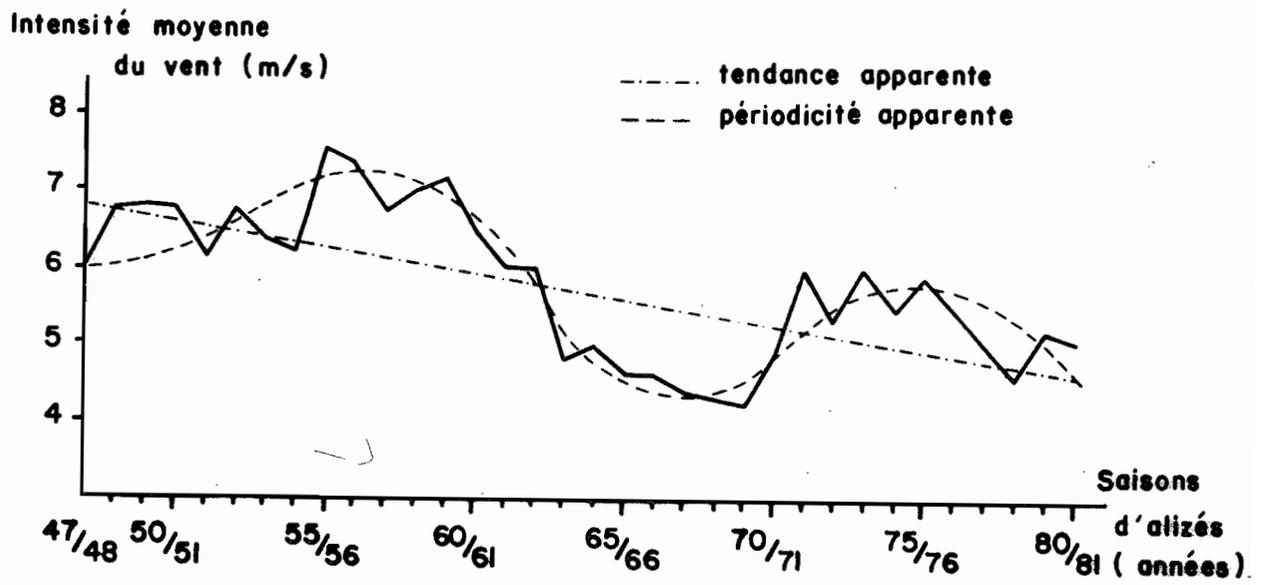


Fig. 20.- Evolution de l'intensité moyenne des vents durant la saison d'alizés (novembre à mai) de 1947-48 à 1980-81 ; données de l'ASECNA de Dakar, compilées par C. TEISSON.

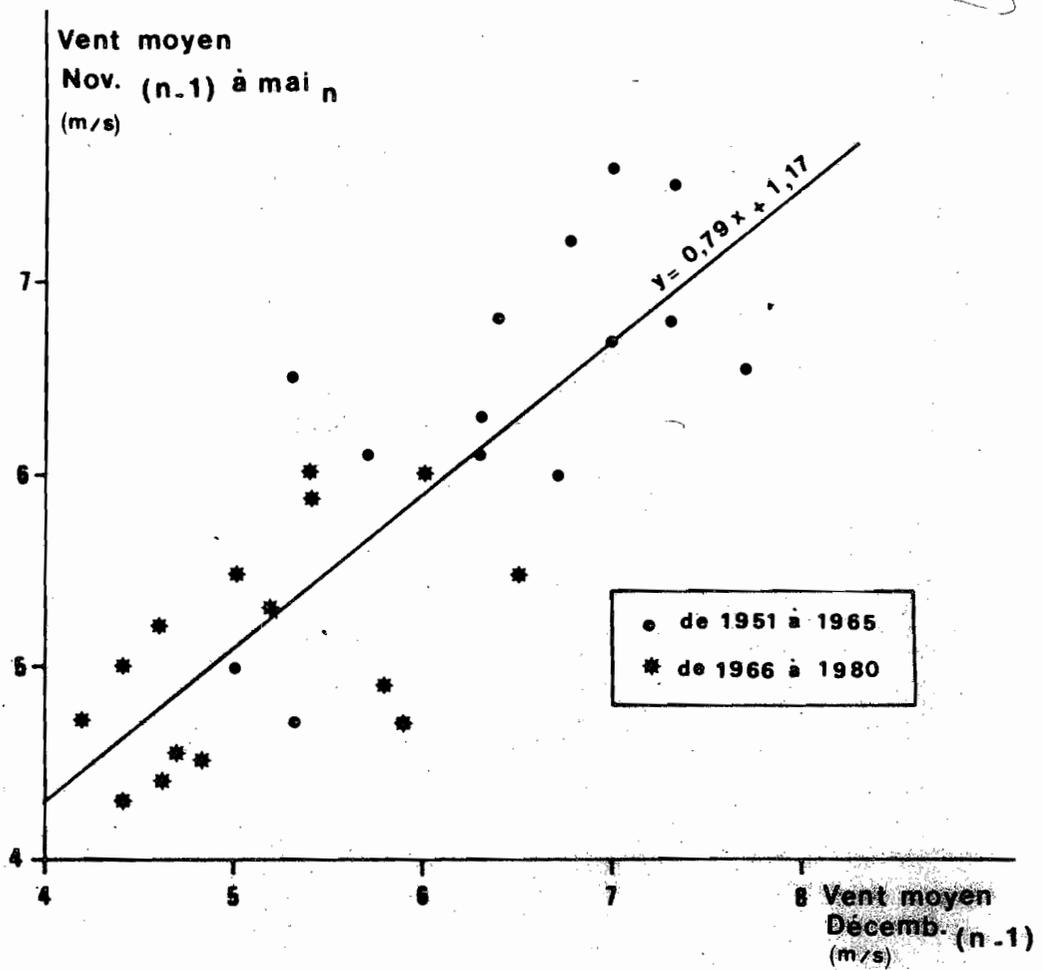


FIG. 21.- Relation entre l'intensité moyenne du vent en décembre (année n-1) et l'intensité moyenne durant toute la saison d'upwelling (novembre année n-1 à mai année n) de 1951 à 1980.