

Etudes et Thèses



REPONSES ET ADAPTATIONS DES STOCKS DE CUPLEIDES D'AFRIQUE DE L'OUEST A LA VARIABILITE DU MILIEU ET DE L'EXPLOITATION

ANALYSE ET REFLEXION
A PARTIR DE L'EXEMPLE DU SENEGAL

Pierre FREON

Éditions de l'ORSTOM

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

Pierre FREON

**REPONSES ET ADAPTIONS
DES STOCKS DE CUPLEIDES
D'AFRIQUE DE L'OUEST
A LA VARIABILITE DU MILIEU
ET DE L'EXPLOITATION**

**ANALYSE ET REFLEXION
A PARTIR DE L'EXEMPLE DU SENEGAL**

Editions de l'ORSTOM
INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION
Collection **ETUDES et THESES**
PARIS 1988

Cette étude a fait l'objet d'une thèse
présentée à l'Université d'Aix Marseille II, le 11 et 13 juin 1986
pour l'obtention du grade de Docteur ès Sciences

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective» et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ayants cause, est illicite» (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.



" Le soleil plonge dans l'angoisse
Dans un foisonnement de lumières, dans un tressaillement de couleurs de cris de colères.
Une pirogue, fine comme une aiguille dans une mer immense étale
Un rameur et son double. "

Léopold sédar SENGHOR

A mon épouse

A mes parents

RESPONSES AND ADAPTATIONS OF THE CLUPEOID STOCKS
FROM WEST-AFRICA TO ENVIRONMENT AND EXPLOITATION
VARIABILITY : analysis and considerations about
the Senegal instance.

Doctorate of Science Thesis, presented by : Pierre Fréon
University of Aix-Marseille, France

ABSTRACT

Some original data and the review of the litterature on environmental conditions observed on the Senegalo-Mauretanian shelf (9° N to 26° N) shown a high seasonal and interannual variability in this area. The coastal upwelling induces a large planktonic production which variations are linked to the local wind stress, at least along the "Petite Côte" ($13^{\circ}40'$ N to $14^{\circ}40'$ N) during the cold season.

Sardine-like fish (Sardinella aurita and Sardinella maderensis) are distributed all over the area and can be subdivided into various sub-stocks : on the one hand the migratory adults, on the other hand young fish located in many coastal nurseries where they remain until their first spawning. The biology of these species has been summarized from personnel and bibliographic data collected since twenty years by different research teams. Migrations, reproduction, feeding and growth are presented. A special attention has been paid to the use of length/weight relationship and condition factors.

Body length variability has been studied in fish schools and cohorts of Sardinella spp.. The data, and simulations associated with them allow the variations in standard deviation of cohorts to be followed, and hypotheses on spawning duration or population structure can thus be tested.

As the fish grow, the variability increases more rapidly in young cohorts than in schools with the same mean length. For older fish, the inverse phenomenon is observed : while standard deviation of individual lengths decreases in a cohort as it gets older, this parameter continues to increase in schools as the mean length increases. This shows that schools of young fish cannot be considered as representative of the cohort length frequency distribution, whereas schools of adult fish are made of individuals belonging to different age classes, schooling together according to length similarity. This last point was tested by

reading age on hard parts of some fishes from a single school. In coastal pelagic species, schools of mixed species are often observed. In this case, all of them have generally similar morphology and mean body length.

From these observations, the characteristics of various sampling techniques have been analysed, in relation to the following objectives : mean length estimation in a school or in the total catch; age structure in a school or in the total catch; constitution of a length/age key; evaluation of growth parameters in the population. As regards data processing in connection with tropical coastal pelagic species, we analysed the benefit that may be obtained from the knowledge of body length variability in cohorts and schools, particularly for techniques used to separate plurimodal length frequency distribution.

During data analysis on these species, the relationship between mean length and standard deviation in cohorts may be used to verify the coherence between hypotheses concerning growth and stock structure (reproduction, migration, catchability), using simulation techniques.

Concerning the Sardinella aurita sub-stock of this study, the individual growth variability is high, nevertheless the fish body length in the schools are homogeneous. These analysis allow for a better understanding of the type of aggregation of pelagic species and of their demographic strategy in an environment characterised by a high variability, both in space and time.

The different fisheries and their interactions has been described. Schematically there are two principal types of exploitation in the Senegalo-mauretanian area :

- the offshore industrial fisheries which cover the whole area, follow the migrants and catch great quantities of adults fishes (more than one million metric tons per year),

- the inshore fisheries (semi-industrial from Senegal, Mauritania and Gambia; artisanal from Senegal, and tuna bait boats) are developed essentially off Senegal coast and catch mainly young spawners and juveniles. Although their catches in weight are less important than the industrial fisheries, they represent a great number of individuals and their impact on the stocks has been estimated by using yield per recruit models.

Some socio-economical aspects of the small-scale fishery using surrounding nets have been studied, showing how the fishermen, with their traditions, are integrating a modern system of exploitation and commercialization, allowing them to compete efficiently with the industrial fisheries.

Following a section on the description of the data collection methodology and data processing, an other section is dealing with the choice of the best abundance indices for each fisheries. These indices show variations according not only to the fishing effort exerted on the sardinella sub-stocks, but also to upwelling fluctuations. Others Clupeoids stocks from West-Africa pre-

senting the same pattern are reviewed (Sardinia pilchardus substocks in Morocco and Mauretania; Sardinella aurita stock of Ivory Coast and Ghana). The environment disturb either the abundance or the catchability of these stocks from one year to the next.

In such cases, the traditional use of global production models is not suitable, because fishing effort variations explain only a small part of the total variability of annual catches while the most important part of the residual variability originates from the influence of climatic phenomena.

Therefore, one (sometimes two) additional climatic variable V has been inserted into the traditional models in order to improve their accuracy. These variables appear in the formulae, either at the level of the stock abundance, or at the level of the catchability coefficient, or at both levels. The models described here were first developed from Schaefer's linear production model, then from Fox's exponential model such as :

$$U_t = p_1 V^{p_2} - p_3 f$$

$$\text{or : } U_t = p_1 V^{p_2} e^{-fp_4 V^{p_3}}$$

where p_1, \dots, p_4 are parameters to be estimated by regression.

The limitations of this kind of model have been considered, especially those related first to the decrease in number of degree of freedom compared to traditional models, and secondly in getting good fits due only to chance if a strict procedure is not followed when selecting the models and the variables.

Adaptations of these models when the stocks are in transitional state are presented. The influence of the kind of environmental fluctuations on the model behaviour is analysed in relation to the data set length, to the duration of the exploited stage and to the duration of the critical period under environmental influence. The most favourable cases are obtained with short-lived species, or when this critical period is relatively short.

Some examples of application are presented in the previously mentioned West-African upwelling areas. They show that, under these conditions, the models can provide a fairly good interpretation of fishery history, particularly when a stock collapses unexpectedly without any appreciable increase in the nominal fishing effort. These models can also provide a useful tool for the efficient management of a fishery in those instance where climatic phenomena can be forecast, or when their influence is restricted to the year(s) preceding exploitation.

RESUME

Les conditions de milieu rencontrées dans la zone maritime sénégal-mauritanienne (9°N à 26°N) présentent une forte variabilité saisonnière et interannuelle. L'upwelling côtier assure une production planctonique considérable, caractérisable par l'intensité des alizés.

Les sardinelles (Sardinella aurita et Sardinella maderensis) se répartissent sur l'ensemble de la zone et forment différents sous-stocks correspondant d'une part à des individus adultes migrateurs, d'autre part à des jeunes individus localisés dans plusieurs nurseries côtières. On a rappelé leur biologie (migrations, reproduction, alimentation, croissance, facteurs de condition).

On a analysé les structures de taille à l'intérieur des bancs et des cohortes et comparé les résultats à des simulations prenant en compte la croissance, la mortalité et les migrations. La variabilité des vitesses de croissance individuelles est forte, mais les tailles des poissons à l'intérieur des bancs restent homogènes. Ces analyses débouchent sur le mode d'agrégation des espèces pélagiques et sur leur stratégie démographique dans un milieu à forte variabilité spatio-temporelle.

Les différents types de pêche exploitant les stocks pélagiques côtiers de la région ont été décrits, ainsi que leurs interactions à différents niveaux du cycle de vie des espèces. Quelques aspects socio-économiques de la pêche artisanale aux filets tournants ont été analysés, montrant l'insertion des artisans et de leurs traditions dans un système moderne d'exploitation et de commercialisation.

On a identifié les meilleurs indices d'abondance des différentes pêcheries. Leurs variations sont liées à la pression de pêche exercée sur les stocks de sardinelles, mais aussi aux fluctuations de l'upwelling. D'autres stocks ouest-africains de clupéidés répondent au même schéma. L'influence de l'environnement sur les rendements peut intervenir soit au niveau de l'abondance du stock, soit à celui de la capturabilité, soit au niveau de ces deux entités en même temps.

Les modèles globaux de production ont été modifiés afin de prendre en compte ces trois cas. Ceci permet de mieux comprendre l'évolution des pêcheries et de proposer des mesures d'aménagement propres à préserver les stocks tout en optimisant l'exploitation.

MOTS-CLES: Pêcheries - Upwelling - Sardinelles - Bancs - Cohortes - Dynamique - Modèles - Simulations -

REMERCIEMENTS

Au centre d'Océanologie de Marseille, où j'ai commencé ma spécialisation, mes professeurs ont su me communiquer leur passion pour le milieu marin. Monsieur le Professeur J.M. PERES, l'un des pionniers dans ce domaine, dirigeait alors l'établissement et me fait aujourd'hui l'honneur d'être membre du jury de cette thèse. Ses successeurs, Messieurs les Professeurs A. BOURDILLON et F. BLANC, m'enseignaient alors les statistiques et l'informatique. Je suis aujourd'hui reconnaissant à Monsieur le Professeur F. BLANC d'avoir accepté de diriger cette thèse et à Monsieur le Professeur A. BOURDILLON de venir juger mes travaux 12 ans plus tard.

Dernièrement, j'ai eu la chance d'être accueilli à Montpellier dans le laboratoire d'Hydrobiologie Marine et Lagunaire dirigé par Monsieur le Professeur M. AMANIEU. Qu'il trouve ici un témoignage de ma reconnaissance.

Je tiens à remercier vivement Monsieur A. LAUREC, qui, depuis plusieurs années, consacre une partie précieuse de son temps à la formation permanente des halieutes français. Je lui dois plus particulièrement des critiques pertinentes de cette thèse et de certaines de mes publications, qui m'ont permis d'améliorer mes manuscrits.

Monsieur A. FONTANA, responsable scientifique du Centre de Recherche Océanographique de Dakar Thiaroye (CRODT), m'a fait bénéficier de son expérience sur les clupéidés des régions tropicales. Poursuivant l'entreprise de ses prédécesseurs, Messieurs C. CHAMPAGNAT, J. CHABANNE et S. GARCIA, il m'a permis de trouver au CRODT des moyens de travail inespérés dans des conditions parfois difficiles. Ce mérite est à partager avec la Direction de l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole qui s'attache à maintenir au Sénégal un niveau international de recherche.

Mes remerciements vont également à Mademoiselle J. LOPEZ, actuellement Directrice du CRODT, avec qui j'ai partagé durant quelques années la même passion ... pour les sardinelles.

Mes collègues de l'ORSTOM, avec qui j'ai travaillé au Sénégal, au Vénézuéla et en France, m'ont toujours apporté leur soutien et leur aide. Trop nombreux pour être tous cités, je tiens cependant à remercier ceux avec qui j'ai travaillé en étroite collaboration sur le sujet de cette thèse : Messieurs T. BOELY, J. CHABANNE, Ph. CURY, F. CONAND, F. GERLOTTO, E. MARCHAL, B. STEQUERT et J. WEBER. Monsieur S. GARCIA, mon directeur scientifique, a toujours suivi mes travaux avec attention et m'a fait bénéficier de ses compétences en dynamique des populations.

Je rendrai aussi hommage au dévouement des nombreux techniciens du CRODT qui ont assurés en continu depuis vingt ans la collecte et le traitement des données de pêche, et plus particulièrement à Monsieur I. SOW, mon fidèle bras droit tout au long de ce parcours.

Enfin, je tiens à faire part aux pêcheurs sénégalais de ma gratitude pour leur coopération, et de mon admiration pour leur habileté à exploiter des espèces aussi opportunistes que les sardinelles.

SOMMAIRE

	Pages
AVANT PROPOS	9
I. INTRODUCTION	11
II. LE MILIEU	15
III. RAPPEL DE LA BIOLOGIE DES DEUX ESPECES DE SARDINELLES	37
IV. LES PECHERIES	67
V. QUELQUES ASPECTS DE LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS	123
VI. CONCLUSION	230
LISTE DES PUBLICATIONS PRESENTEES DANS LE VOLUME II	235
BIBLIOGRAPHIE	237
ANNEXE I : Histogrammes mensuels des fréquences de tailles de <u>Sardinella aurita</u>	249
ANNEXE II : Histogrammes mensuels des fréquences de tailles de <u>Sardinella maderensis</u>	261
ANNEXE III : Programme SIMVAR	269
ANNEXE IV : Programme SIMFREQ	271
ANNEXE V : Recommandations	277
TABLE DES MATIERES	281

AVANT-PROPOS

Cette thèse réunit un ensemble de travaux, personnels ou collectifs, réalisés à partir de 1975 et déjà publiés ou sinon en cours d'édition. Elle trouve son unité dans le sujet et le lieu d'étude : les pêcheries de poissons pélagiques côtiers (et plus particulièrement les sardinelles) et leur dynamique dans la région sénégalaise. Cette dynamique est envisagée au niveau du poisson, mais aussi à celui du pêcheur pour certains aspects. Cependant, malgré cette unité de sujet, la lecture de ces articles ainsi juxtaposés serait fastidieuse, en raison de l'hétérogénéité du style liée aux divers lieux de publication et des inévitables répétitions. De plus, dans un intervalle de dix ans, nos connaissances du terrain ont évolué, ainsi que les moyens et les méthodes de recherche. De ce fait certaines hypothèses ont pu être infirmées ou confirmées au fil des années. Il était donc indispensable d'écrire une synthèse cohérente et actualisée de ces travaux et, puisqu'il s'agit d'une thèse à auteur unique, de faire apparaître la contribution des co-auteurs de certains documents pour ce qui concerne les études effectuées en collaboration.

On trouvera donc en première partie cette synthèse et, dans une seconde partie, les principaux articles auxquels il est fait référence. Ces articles sont numérotés par ordre de citation et leur référence est simplement indiquée entre crochets dans la synthèse.

Tous ces articles ne présentent pas le même intérêt au regard du sujet de cette thèse. Les plus importants sont les articles [2], [3], [4], [7], [11], [12], [14] et [15]. Pour les autres publications citées, la référence est celle en usage courant (auteur et année) mais elle sera également placée entre crochets s'il s'agit d'un travail commun auquel nous avons participé (groupe de travail, publications anonymes ou avec de nombreux auteurs). Seules les références citées dans la synthèse apparaissent dans la liste bibliographique principale, la liste des nombreux travaux consultés et cités dans les divers articles n'étant pas compilée. Nous prions donc le lecteur de bien vouloir se reporter aux références bibliographiques de ces différents articles.

Les principaux tableaux (remis à jour) et figures sont présentés dans la synthèse, dont on espère qu'elle peut constituer un document intelligible en l'absence de la seconde partie. Pour les autres, moins essentiels, un renvoi aux articles de la seconde partie est indiquée entre crochets, où figurent successivement : le numéro de l'article, la page, le numéro de la figure ou du tableau. Exemple : [3, p. 85, fig. 3].

I INTRODUCTION [1]

"Chercher à connaître n'est souvent qu'apprendre à douter."

Mme Deshoulières

En matière d'étude des pêcheries, il est d'usage de souligner l'importance du sujet que l'on va traiter, si possible en chiffrant la production réelle ou potentielle à coup de milliers de tonnes. Il s'agit d'un exercice facile en ce qui concerne les poissons pélagiques côtiers du Sénégal, puisque les captures totales dans les eaux de la Zone Economique Exclusive (Z.E.E.) approchent 150.000 tonnes par an ces dernières années, dont plus de 100.000 tonnes pour les sardinelles. De plus, ces captures sont prélevées sur des stocks qui migrent sur l'ensemble de la région située entre la Mauritanie et la Guinée Bissau et qui représentent un potentiel de capture voisin d'un million de tonnes par an. Mais certains rétorqueront qu'il s'agit en fait d'espèces de médiocre valeur commerciale et donc de moindre intérêt.

Cette polémique est en réalité dépassée dans une région où règne la malnutrition, voire la famine à l'intérieur des terres alors que le poisson représente la principale source de protéine animale : 25 kg par personne et par an en équivalent frais (de 6 à 58 kg selon les régions) soit près de 60% de la ration protéique (12 à 77% selon les régions) (CHEVASSUS-AGNES et NDIAYE, 1977, 1979 ; KEBE, 1982). De plus, ces ressources sont pour la plupart naturellement instables, du fait qu'il s'agit d'animaux à vie courte situés dans un environnement fluctuant, leur exploitation intensive ayant pour conséquence d'augmenter cette instabilité [CSIRKE et SHARP, 1983]. Ceci vient donc accroître l'intérêt de leur étude dont la finalité sera de comprendre la variabilité de divers paramètres, afin d'aboutir à une gestion rationnelle des ressources et des systèmes d'exploitation.

Nous focaliserons notre attention sur l'exploitation des sardinelles au niveau de la Petite Côte du Sénégal (fig. 1) où la pêche est la plus importante (jusqu'à 80.000 t/an). Cependant, les pêcheries constituant un tout, nous serons amenés à évoquer le rôle des autres espèces pélagiques et à étudier les pêcheries des régions avoisinantes où migrent les sardinelles.

Les deux espèces de sardinelles observées au Sénégal sont Sardinella aurita VALENCIENNES, 1847, appelée communément sardinelle ronde, et Sardinella maderensis (LOWE, 1841) ou sardinelle plate, dont on utilisait couramment le synonyme Sardinella eba VALENCIENNES, 1847, jusqu'à ce que WHITEHEAD (1967) publie sa révision des clupéidés. Il s'agit de deux espèces très largement répandues le long des côtes ouest-africaines et en Méditerranée. On rencontre également des stocks importants en Atlantique de l'Ouest et dans le sud-est asiatique.

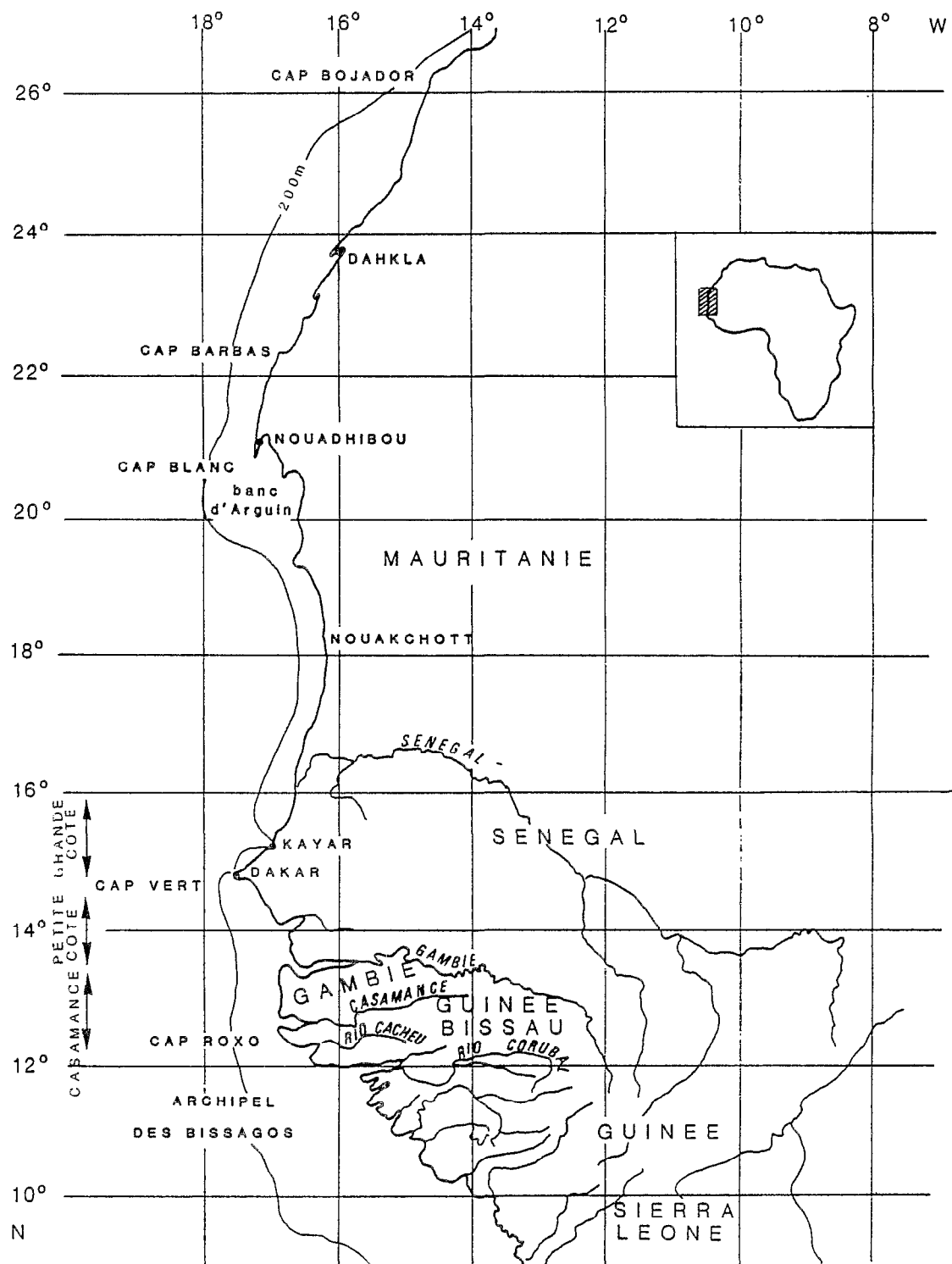


Fig-1- LOCALISATION DE LA ZONE SENEGALO-MAURITANIENNE (9°N à 26°N)

L'étude des sardinelles a débuté au Sénégal après la deuxième guerre mondiale et s'est intensifiée à partir des années soixante avec la création du Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye (C.R.O.D.T.), l'implantation de projets de la F.A.O. et des travaux menés par les chercheurs des pays de l'est à partir des navires de recherche ou des bateaux usines travaillant dans la région (BOELY, 1980).

Après un rappel des conditions de milieu et de la biologie des deux espèces on s'attachera à décrire les différentes pêcheries, la méthodologie de leur étude, leurs interactions et certains aspects socio-économiques de la profession au niveau de sa composante principale et originale : la pêche artisanale. La partie la plus importante de ce travail sera l'étude de certains volets de la dynamique des populations, avec deux thèmes majeurs : la variabilité des tailles individuelles à l'intérieur des bancs et les cohortes d'une part et la modélisation de la production en fonction de l'intensité de l'upwelling (remontée d'eaux froides et riches en sels nutritifs) d'autre part. Ces résultats nous conduiront à élargir le sujet vers d'autres stocks pélagiques côtiers de la région et à amorcer une étude comparative.

II LE MILIEU

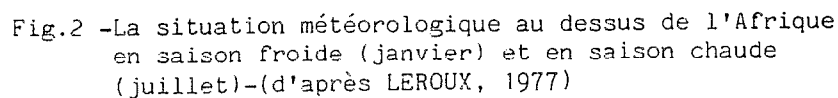
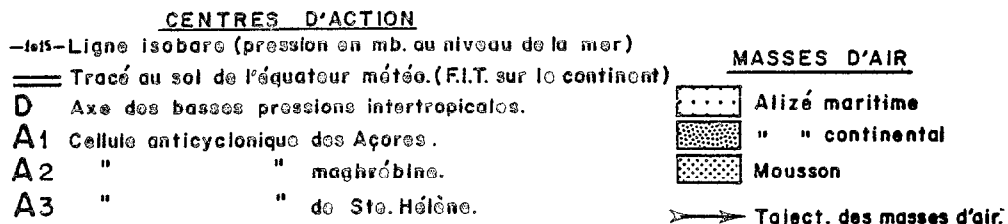
Ce chapitre est entièrement bibliographique. L'essentiel des quatre premiers sous chapitres est extrait de REBERT (1979, 1982), et a été réactualisé par des travaux plus récents. Seul le choix d'un indice d'upwelling comporte des réflexions personnelles. De telles synthèses ont déjà été réalisées il y a quelques années par DOMAIN (1980) et BOELY (1980), nous avons jugé nécessaire de les remettre à jour.

La région sénégalaise ne peut être isolée d'un ensemble hydroclimatique (mais aussi écologique, nous le verrons) s'étendant de 9° à 26°N. Nous dénommerons par la suite "zone sénégalomauritanienne" cet ensemble -bien qu'il intéresse en fait six pays riverains- que nous présentons ici.

II. 1. Le Plateau continental

Dans cette région, l'orientation générale de la côte est nord-sud, avec des inflexions vers l'est à chacune des extrémités: à partir du cap Barbas (22°N) au nord, et du cap Roxo (12° 15'N) au sud. L'isobathe des 150 mètres, qui marque ici la fin du plateau continental, est plus rectiligne, sauf aux extrémités. Le plateau continental s'élargit donc en forme de triangle vers le nord et vers le sud. Sa largeur, qui n'est que d'environ 30 milles dans la partie centrale de la zone, dépasse 80 milles aux extrémités (fig. 1). Au niveau de la presqu'île du Cap-Vert, point le plus occidental de la côte d'Afrique, le continent s'avance en forme de coin vers l'ouest, réduisant à quelques milles la largeur du plateau, tandis qu'à quelques dizaines de kilomètres plus au nord, la fosse de Kayar l'entaille profondément. Ces deux obstacles, bien que franchissables par les espèces pélagiques, sont responsables de certaines particularités hydroclimatiques et écologiques dans la région.

Une carte sédimentologique, couvrant la majeure partie de la zone, a été établie par DOMAIN (1977), montrant que la plupart des fonds sont meubles, le plus souvent sableux ou sablo-vaseux.



II. 2. Météorologie

II. 2.1. Les masses d'air et les champs de pression

Au sol, le littoral se trouve sous l'influence de trois masses d'air principales au cours de l'année. Deux sont d'origine boréale, la troisième, d'origine australe, est séparée des précédentes par une surface de triple discontinuité (vent, température et humidité) : le front inter-tropical (FIT).

La masse d'air continental n'atteint la frange côtière que durant quelques mois (décembre à février) il s'agit d'air chaud et sec, qui en mer surmonte une masse d'air frais et humide, donc plus dense : la masse d'air maritime boréale (fig. 2).

La masse d'air australe ne s'observe à la côte que durant la période dite "d'hivernage", qui s'étend de mai à octobre dans la partie sud, et dont la durée diminue progressivement vers le nord pour pratiquement disparaître au nord de 20°, où cette masse d'air ne fait que de rares incursions. C'est un air chaud et humide, ayant traversé la zone équatoriale atlantique.

Les déplacements saisonniers de ces masses d'air sont régis par l'interaction de quatre champs de pression :

- deux systèmes maritimes permanents qui sont les anticyclones des Açores et de Sainte-Hélène.

- deux systèmes continentaux saisonniers : l'anticyclone maghrébin et la dépression saharienne.

Les mouvements du FIT sont, dans la région qui nous intéresse, essentiellement liés à la position de l'anticyclone des Açores. Son déplacement saisonnier suit approximativement le déplacement zénithal du soleil, avec un retard de six semaines. Il descend jusqu'à 6°N en janvier, toute la zone côtière sénégal-mauritanienne étant alors sous la dominance de hautes pressions et de vents de secteurs nord et nord-est: c'est la saison sèche ou saison froide. Il remonte jusqu'à 20°N à la côte en août, la partie sud de la zone étant alors sous l'influence de vents de sud-ouest -dits de mousson- qui apportent les pluies.

II. 2.2. Les vents

Trois types de vents peuvent donc se rencontrer selon la saison :

- l'alizé maritime est un vent fort et frais, de secteur nord-ouest à nord-est, lié à la masse d'air maritime boréale et à l'anticyclone des Açores. Il souffle pratiquement toute l'année au nord du vingtième parallèle, s'affaiblissant progressivement vers le sud où il cesse en cours d'hivernage. Il joue un rôle primordial dans les processus de fertilisation, comme nous le verrons.

- l'alizé continental ou harmattan, est un vent chaud, sec, chargé de poussières, de secteur est à nord-est, lié à la masse d'air continentale et à l'anticyclone maghrébin. Il se fait sentir au cours de la saison sèche, lors des périodes d'accalmie dans le régime de l'alizé maritime.

- le vent de mousson souffle de sud-est et résulte de la transformation de l'alizé austral en raison du champ de pression existant entre la dépression saharienne et l'anticyclone de Sainte-Hélène. Il se fait sentir dans la partie sud de la zone et remonte vers le nord en hivernage, apportant la masse d'air australe et les précipitations.

Si l'on se place à l'échelle de l'Atlantique tropical, on appellera zone intertropicale de convergence (ITCZ) la ceinture où se rencontrent les vents de secteur nord-est et ceux du secteur sud-est. Il s'agit d'une zone où coïncident théoriquement les extremums de plusieurs paramètres, bien qu'en pratique cela ne soit pas toujours vérifié (MERLE 1980). Ainsi l'ITCZ se situera en général légèrement au sud du FIT, mais leurs déplacements saisonniers sont bien sûr simultanés (REBERT, 1982).

II. 2.3. Les pluies

Les pluies sont donc saisonnières et présentent un gradient méridien très marqué. Au nord de Dakar, la saison des pluies se raccourcit très vite, ne dure plus que deux mois au niveau de 16°N, laissant la place plus au nord à un climat désertique qui se poursuit jusqu'au sud marocain; on relève ainsi une moyenne annuelle de 5 à 25 mm à Nouadhibou en Mauritanie (21°N), 443 mm à Dakar au Sénégal (14° 40'), 1570 mm à Cacheu en Guinée Bissau (12° 20') et 4162 mm à Conakry en Guinée (9° 30') (BERRIT et REBERT, 1977).

En conséquence, c'est uniquement au sud de la région que l'on rencontrera des apports réguliers et importants d'eaux douces en provenance des cours d'eau guinéens en particulier. L'influence du fleuve Gambie (13°N) paraît faible, celle du fleuve Sénégal (16°N) presque nulle sauf pendant la crue, de juillet à octobre. Ces dernières années ont été marquées par un grave déficit pluviométrique (OLIVRY, 1983), qui s'est traduit par des variations notables de salinité de la couche de surface en saison chaude.

Conséquences du régime climatique, la nébulosité est faible, même en saison des pluies et la durée de l'insolation est proche de son maximum, ce qui favorise la photosynthèse et donc la production primaire.

II. 3. Hydrologie

II. 3.1. Les masses d'eau de surface

D'après la classification des eaux du Golfe de Guinée proposée par BERRIT (1962), on rencontre dans la zone trois grandes masses d'eaux dont ROSSIGNOL (1973) a décrit la répartition saisonnière (fig. 3) :

- les eaux froides et salées, ou canariennes ($T < 24^{\circ}\text{C}$;
 $S > 35^{\circ}/\text{‰}$)
- les eaux tropicales, chaudes et salées ($T > 24^{\circ}\text{C}$;
 $S > 35^{\circ}/\text{‰}$)
- les eaux guinéennes, chaudes et dessalées ($T > 24^{\circ}\text{C}$;
 $S < 35^{\circ}/\text{‰}$).

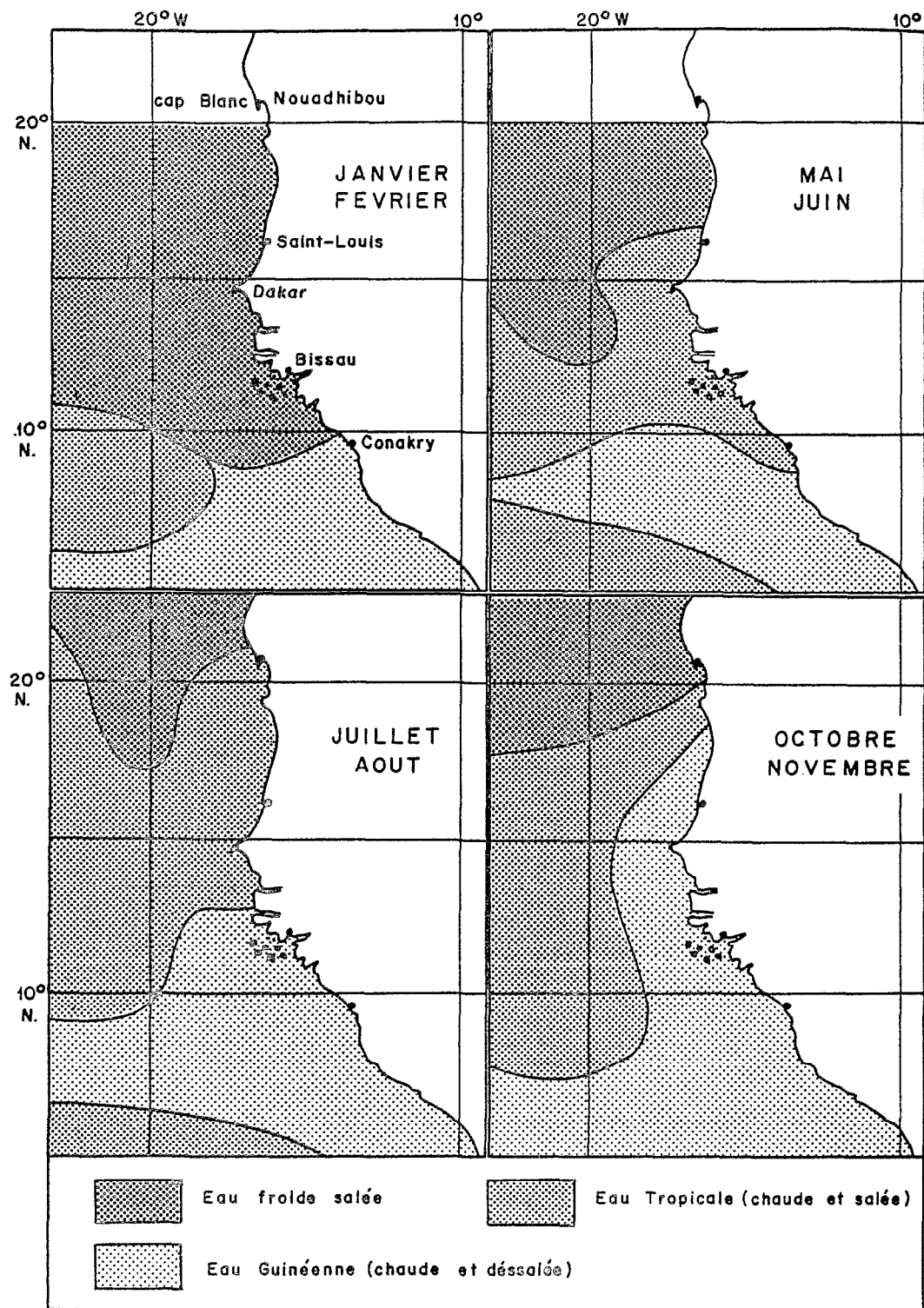


Fig.3 -Les catégories d'eau de surface - d'après ROSSIGNOL (1973) in BERRIT et REBERT (1977)

Les eaux froides et salées apparaissent dès le mois d'octobre dans le nord de la zone et couvrent la totalité du plateau continental en janvier. Elles sont constituées d'eau centrale sud-atlantique, légèrement modifiée après sa remontée en surface sous l'influence de l'alizé maritime (phénomène d'upwelling). L'extension de ces eaux sera minimale au cours de l'hivernage. En juillet-août on ne les rencontre qu'au nord du cap Blanc. Leur mouvement est donc lié (mais non identique) à celui du FIT atmosphérique.

Les eaux tropicales envahissent le plateau continental dans ses deux tiers inférieurs (au sud de 16°N) à partir du mois de mai. Elles proviennent de la branche nord du contre-courant équatorial (cf. infra). Elles seront remplacées en fin de saison chaude, en octobre-novembre, par les eaux guinéennes venant du sud, et dont la dessalure est liée essentiellement aux apports des grands fleuves de la région guinéenne.

II. 3.2. Les courants

La circulation sur le plateau continental est la résultante de deux systèmes de grands courants aux caractéristiques très différentes (fig. 4a et 4b).

- Venant du nord, un courant froid permanent, le courant des Canaries, qui bifurque à l'ouest au niveau du cap Blanc pour former le courant nord équatorial. En saison froide, une branche suit vers le sud les côtes de Mauritanie et du Sénégal. Il s'agit donc d'une dérive littorale dont la largeur n'excède guère celle du plateau continental, au-delà duquel on trouve fréquemment un ensemble de vortex et de contre-courants. Les fluctuations de vitesse à courte période de cette dérive sont reliées aux variations du vent. On ignore ce qu'il en est des fluctuations interannuelles. L'épaisseur du courant superficiel est faible (20 à 50 m). Sous ce courant côtier se trouve un contre-courant dirigé vers le nord au niveau du talus continental, entre le Cap-Vert et le cap Blanc.

- Venant de l'ouest, le contre courant équatorial qui apporte sur le plateau continental les eaux chaudes et salées. Il s'infléchit vers le sud-est formant le courant de Guinée. En saison froide, il n'atteint que l'extrême sud de la région qui nous intéresse. En saison chaude, où il présente son maximum d'intensité et d'extension septentrionale, il se forme une branche vers le nord, la séparation ayant lieu au large du cap Roxo ($12^{\circ}5\text{ N}$).

Dans les zones côtières, en particulier sur le banc d'Arguin et au sud du Cap-Vert, peuvent se développer de petits contre-courants côtiers dus à des processus thermohalins. Au sud de Bissagos les courants côtiers sont faibles et irréguliers, masqués par d'importants courants de marée.

II. 3.3. Les fronts

Le déplacement des centres de pression fait remonter l'ensemble du système des courants vers le nord en été boréal (hivernage) et le fait descendre vers le sud en hiver (saison sèche) en même temps que leur intensité respective se modifie.

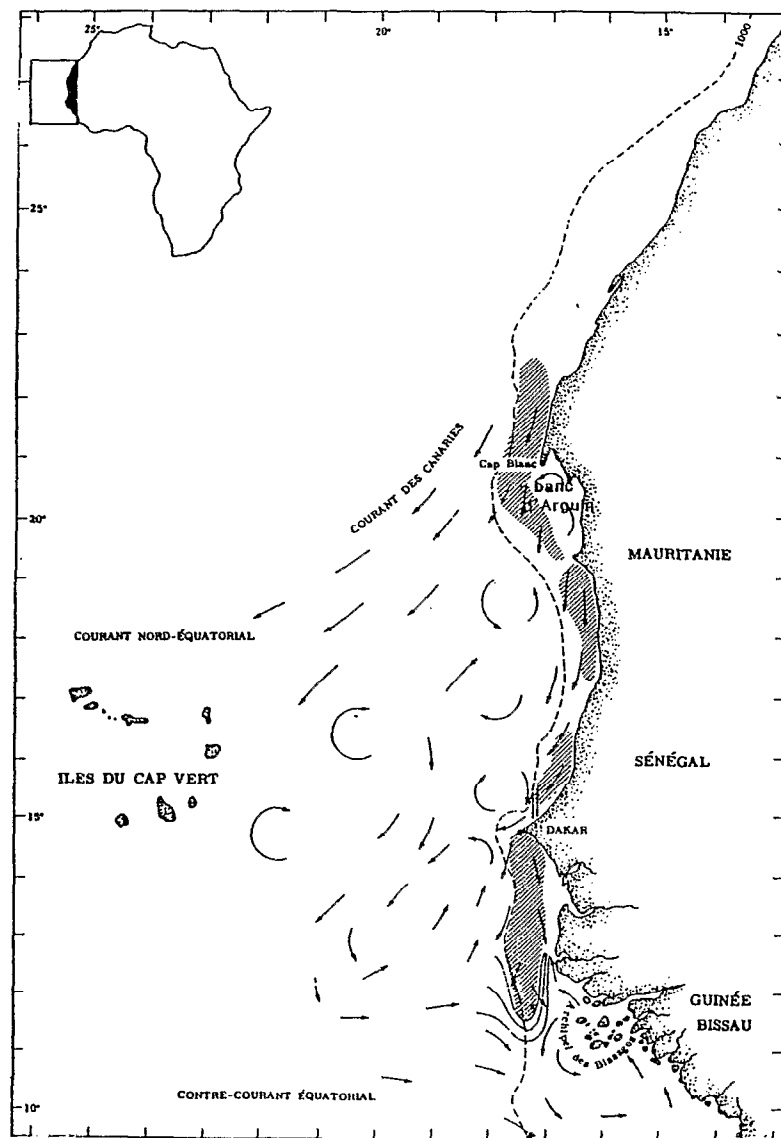


Fig. 4a - Courants de surface, zones d'upwelling (//////) et fronts en saison froide (février- avril d'après REBERT (1979)

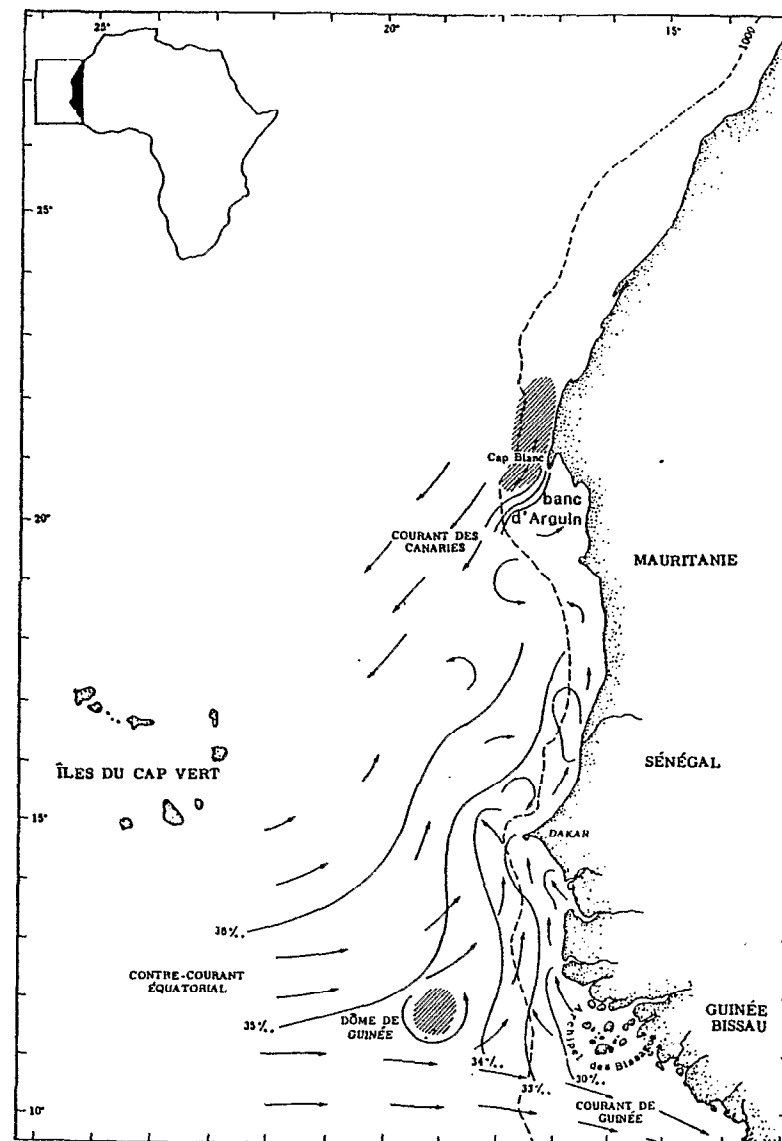


Fig. 4b - Courants de surface, zones d'upwelling (//////) et salinité de surface en saison chaude (août-septembre) d'après REBERT (1979)

Les deux systèmes de courants transportent des eaux à températures très différentes (17° à 20° et 24° à 28°). Ils sont à leur point de rencontre séparés par des zones frontales à fort gradient thermique. Ces fronts se situent au niveau du cap Blanc en saison chaude et au niveau du cap Roxo en saison froide. Entre ces deux positions extrêmes, une migration très rapide se produit aux changements de saison, mai-juin et octobre. Cependant, sur le plateau continental, il est difficile de suivre le passage du front entre ces deux positions car il se développe un ensemble de phénomènes d'upwellings côtiers. Ceci tend à créer un gradient général de température de la côte vers le large, et de petits fronts secondaires séparant des zones d'upwelling fort de zone de convergence (REBERT, 1979).

II.4. Hydroclimatologie

II. 4.1. Généralités

Les éléments précédents nous permettent de voir que la partie nord de la région, au-delà du cap Blanc, présentera un hydroclimat assez peu contrasté saisonnièrement, étant soumise en permanence à l'influence de l'anticyclone des Açores, lequel maintient les alizés. Le courant des Canaries y est permanent et l'on trouve toute l'année des eaux froides et salées. La température de l'eau est à son minimum au cours de l'hiver boréal. Cela tient à plusieurs phénomènes : bilan thermique de plus en plus négatif à mesure que l'on remonte vers le nord, advection d'eau plus froide en provenance du nord et renforcement des vents, et donc de l'upwelling, à partir du mois de février.

Au sud de la région, on rencontre également un hydroclimat relativement stable, le plateau continental étant baigné en permanence par les eaux guinéennes ; l'influence boréale s'y fait déjà sentir.

La majeure partie de la région se situe dans la zone de balancement des fronts atmosphérique (FIT) et maritime, présentant donc un hydroclimat contrasté, et ce, plus particulièrement au Sénégal. On y distinguera deux grandes saisons maritimes : la saison froide et la saison chaude qui peuvent chacune se subdiviser si l'on tient compte des saisons intermédiaires (fig. 5).

II. 4.2. La saison froide

Elle s'étend de novembre à mai au niveau du Sénégal et sa durée diminue progressivement du nord au sud. Les températures sont de l'ordre de 16 à 18° C et les salinités de $35,5$ à $36^{\circ}/\text{‰}$ (eaux froides et salées). Une étude sommaire du bilan thermique (REBERT, 1982) montre que celui-ci est constamment positif. On a donc toute l'année une tendance au réchauffement de l'eau. Le refroidissement saisonnier ne peut donc être imputé qu'à des mouvements de masses d'eau résultant de l'advection horizontale et des upwellings locaux sous l'influence des alizés. Tous les auteurs convergent sur ce point en ce qui concerne le cœur de la saison froide, soit de janvier à avril (PORTOLANO, 1981; REBERT, 1982; TEISSON, 1981, 1982, 1983; TOURE, 1983).

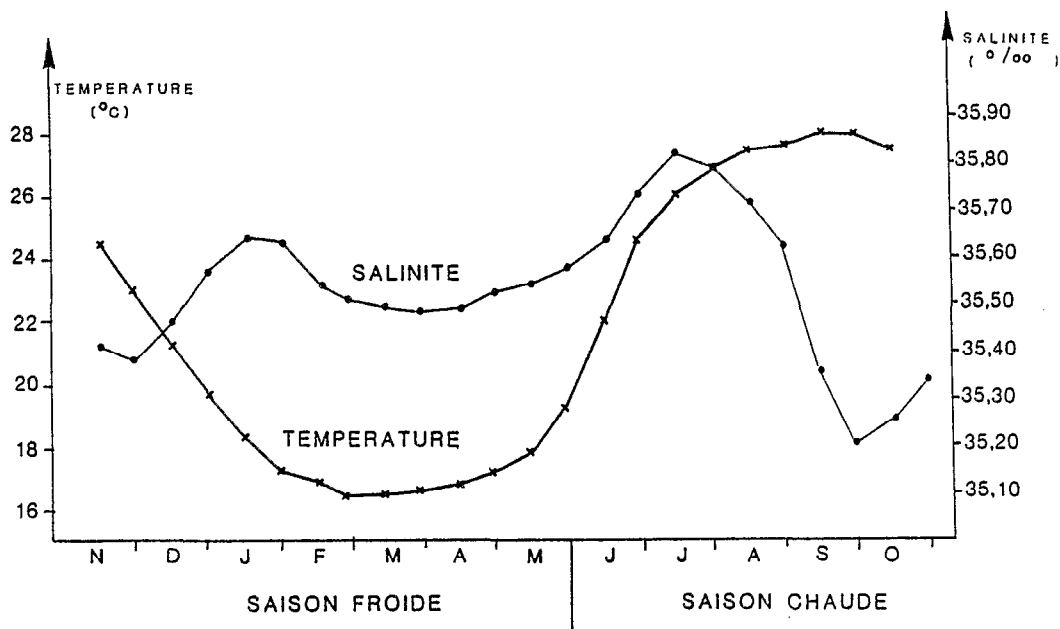


Fig-5- VARIATIONS MENSUELLES DES TEMPERATURES ET SALINITES DE SURFACE A THIAROYE:
MOYENNE DES DONNEES DISPONIBLES DE 1960 A 1984 (Source : CRODT-BNDO)

II. 4.3. La transition saison froide-saison chaude

Cette transition est relativement courte, elle a lieu entre mai et juin, soit brutalement, soit par paliers successifs. Elle correspond à l'arrivée sur le plateau continental de la couche d'eau chaude, salée et pauvre (tropicale) transportée par le contre-courant équatorial. Le réchauffement est associé à la chute brutale des alizés, c'est-à-dire au passage du FIT. Nous avons vu qu'il est pratiquement impossible de suivre à la côte une propagation d'un front des eaux chaudes vers le nord. Les campagnes océanographiques et l'examen des données satellitaires (DOMAIN, 1980; DUPOUY, 1983) montrent qu'en fait, cette propagation n'a lieu qu'au large, tandis que sur le plateau continental, l'effondrement des poches d'upwelling est quasiment simultané.

L'existence d'un vortex en baie de Gorée, sous le Cap-Vert, explique probablement la subsistance d'une poche d'eau froide, alors que l'ensemble du plateau continental est déjà recouvert d'une couche d'eau chaude (REBERT, 1982).

II. 4.4. La saison chaude

A partir de juillet-août les alizés ont disparu au sud du cap Blanc et les précipitations apparaissent, importantes à partir du sud de la presqu'île du Cap-Vert. Il existe encore une couche de surface isotherme de 25 à 27°C, dont l'épaisseur augmente légèrement vers la côte par suite du processus d'accumulation. Sous cette couche la stratification est forte et une thermocline bien marquée existe dans toute la zone, sa profondeur varie de 20 à 60 mètres.

La couche de surface se dessale progressivement au cours de la saison des pluies, passant de 36 ‰ à 35 ‰; les salinités restent élevées dans le nord en raison du fort gradient pluviométrique nord-sud de la zone tropicale. Sur le plateau continental, des dessalures de surface plus fortes sont notées, surtout au sud du Cap-Vert, en raison de l'importance des apports fluviaux existant au niveau de la Guinée et de la Guinée-Bissau où les salinités peuvent descendre largement en deçà de 30 ‰, (eaux guinéennes). Dans la zone côtière existe alors un fort gradient est-ouest de salinité de surface (fig. 4b). Les dessalures sont cependant moins marquées ces dernières années en raison de la sécheresse de la zone sahélienne (fig. 5).

II. 4.5. La transition saison chaude - saison froide

D'octobre à novembre, les eaux se refroidissent, à la faveur d'un mouvement apparent de retrait des eaux chaudes vers le sud. La dynamique du refroidissement est en fait plus complexe et mal connue. La renverse des courants du nord vers le sud a lieu, en réalité, dès le mois de septembre et n'explique que partiellement le phénomène. Trois mécanismes ont été proposés par différents auteurs pour expliquer cette phase de transition. Pour TEISSON (1982), il s'agit simplement de l'amorce du phénomène d'upwelling côtier de saison froide, qui débiterait dès le mois d'octobre et serait bien représenté par un modèle de Hagen. La corrélation entre les moyennes mensuelles des températures de surface et la composante du vent favorable à l'upwelling (calculé d'après la théorie d'Ekman) est d'ailleurs hautement significative sur la Petite Côte. D'après PORTOLANO (1981) et REBERT (1982), doivent intervenir également la propagation d'upwellings côtiers en phase avec celle du FIT, et probablement un système d'ondes internes piégées. La résultante de ces mécanismes confère au refroidissement un caractère stationnaire, c'est-à-dire quasi simultané le long de la côte. La température peut chuter de 5° à 9° C en l'espace de quelques jours sur de grandes étendues, ce qui souvent correspond à une remontée brutale de la thermocline vers la surface, sous l'effet des premiers coups de vent. Les ondes internes n'ont cependant pas été mises en évidence directement dans la zone sénégal-mauritanienne, comme cela a été réalisé plus au sud, dans le golfe de Guinée, où ces ondes apparaissent liées au vent relevé au large des côtes du Brésil, par la propagation d'une onde équatoriale de Kelvin (SERVAIN et al.). TOURE (1983), quant à lui, invoque le rôle prédominant des masses d'air froid, qui provoqueraient un refroidissement par convection thermique, ce qui est en contradiction avec les conclusions de REBERT (1982) sur le bilan thermique.

On note cependant que tous les auteurs vérifient l'association étroite entre l'intensité des vents locaux et le refroidissement qui apparaît quelques jours plus tard, bien que, dans l'hypothèse de l'existence d'ondes internes, la prolongation du refroidissement soit liée à des facteurs extérieurs au vent local et non déterminés.

II. 5. L'upwelling

II. 5.1. Description sommaire

Les calculs de transport d'Ekman réalisés par WOOSTER et al. (1976) et REBERT (1982) indiquent des flux de phosphore de 0,7 millions de tonnes par an et par kilomètre de côte, alors que le débit solide du fleuve Sénégal en mer serait de l'ordre de un million de tonnes de matière en suspension (DOMAIN, 1977), dont une partie très faible est constituée d'éléments nutritifs (les sels dissous n'ont pas été mesurés). Si le transport éolien assure sans aucun doute l'apport de quantités considérables de poussières en mer lorsque souffle l'harmattan (DOMAIN, 1980), l'enrichissement en éléments nutritifs absorbables sur le plateau continental n'a pas été chiffré et n'est pas nécessairement sensible au niveau de la production primaire, d'autant plus que ces vents provoquent une très forte diminution de la radiation solaire reçue par le milieu. Dans la région qui nous intéresse, le mécanisme privilégié d'enrichissement des eaux est donc sans aucun doute l'upwelling côtier induit par les alizés en saison froide. Le profil de la côte, la largeur du plateau continental la direction et l'intensité des vents conditionnent les fluctuations spatiales et temporelles de cet upwelling (fig. 4a).

En Mauritanie, l'upwelling est intense au nord du cap Blanc, où il est quasi-permanent, et sous le cap Timiris; il est maximum en mai-juin, les eaux sont alors froides et très peu stratifiées. Il présente une forte variabilité inter-annuelle liée au régime des vents (ARFI, 1984). Cependant, cette variabilité du transport d'Ekman n'entraîne pas ici une aussi grande variabilité interannuelle des températures de surface en saison froide. En effet, la température moyenne de la couche superficielle est toujours proche de celle de l'eau profonde, de l'ordre de 16 à 17° C, car le transport d'Ekman est toujours considérable au cours de la saison froide. En revanche, on observe en saison chaude une forte variabilité interannuelle des températures (HOLZLONER, 1985).

Au niveau de 16°N (Saint-Louis) existe une autre zone favorable à l'upwelling. Le plateau continental étant très étroit, l'upwelling est extrêmement côtier; il est maximum de février à avril.

Au nord du Cap-Vert, au contraire, une zone de convergence existe au niveau de Kayar où la direction de la côte favorise l'accumulation d'eau (piling-up ou downwelling).

Au sud du Cap-Vert l'upwelling est fort de février à mai. Les remontées d'eau ont lieu à partir des niveaux 70 à 100 m, soit moins profondément qu'au niveau du cap Blanc. Les eaux sont un peu plus stratifiées qu'au cap Blanc, si bien que les températures de surface sont aussi faibles (<18° C). Le plateau continental étant plus large, l'upwelling maximum se produit vers le milieu du plateau avec deux cellules de circulation, comme le confirment les images infra-rouge obtenues par satellite (DUPOUY et al., 1985). L'avancée du Cap-Vert crée dans le champ de courant des divergences qui favorisent les remontées d'eau froide et créent un "effet de jet" (REBERT, 1982).

Au niveau du cap Roxo, l'upwelling est plus faible, son maximum se produit en janvier-février. Les alizés faiblissent et tournent ensuite à l'ouest très rapidement. Le rotationnel du vent peut alors provoquer un pompage d'Ekman (GALLARDO, 1981).

Au niveau de la Petite Côte du Sénégal, des études plus détaillées (PORTOLANO, 1982; REBERT, 1982; TEISSON, 1983; TOURE, 1984), montrent une bonne relation entre l'intensité du vent à Dakar-Yoff, la vitesse du courant (horizontale et verticale) et le refroidissement de l'eau qui survient quelques jours plus tard dans la baie de Gorée, et s'étend sous forme d'une langue d'eau froide qui se décolle de la côte au niveau de Mbour, pour couvrir le milieu du plateau continental. Par ailleurs, les valeurs du transport d'Ekman calculées à partir des données de vent de la station météorologique de Dakar-Yoff concordent assez bien avec les valeurs obtenues à partir des vents mesurés en mer par WOOSTER *et al.* (1976). PORTOLANO (1982) et REBERT (1982) concluent donc que cette station peut fournir des indices valables des fluctuations interannuelles du vent et donc de l'upwelling.

Toutefois, d'après une étude globale des upwellings côtiers observés entre 10°N et 22°N, SPETH et KOHNE (1983) indiquent que ceux-ci seraient reliés non seulement au vent local, mais également aux vents côtiers relevés sur l'ensemble de la région. Leur conclusion, basée sur l'emploi de fonctions orthogonales empiriques reliant températures de surface et vents pour 14 carrés de un degré de côté, est limitée par le fait que les vents sont estimés d'après les données de seulement six stations plus ou moins côtières dont la représentativité de la situation en mer est très inégale, comme le souligne REBERT (1982), pour Ziguinchor par exemple. Ceci peut expliquer que pour certains carrés le vent moyen des six stations soit plus représentatif que le vent local, ceci d'autant plus que les coups de vent ont un effet propagatif vers le sud et agissent avec retard sur la température de surface (l'échelle de temps retenue dans l'étude n'était que de 5 jours). Par ailleurs, ces auteurs ont travaillé sur l'ensemble de l'année, or il est probable que leur conclusion s'applique pour la saison chaude pendant laquelle, bien que les mécanismes restent mal connus, il semble que les effets régionaux soient non négligeables : PORTOLANO (1982) évoque la remontée de la thermocline dans le sillage des tornades d'hivernage, qui pourrait être due à une onde de type Kelvin; GALLARDO (1981) pense que le rotationnel des vents au large de la Casamance pourrait expliquer l'enrichissement des eaux dans la baie de Gorée.

II. 5.2. Choix d'un indice d'upwelling

Nous avons cherché à déterminer quel pourrait être le meilleur indice d'upwelling saisonnier pour la Petite Côte, calculable depuis 1966, date à partir de laquelle on dispose d'indices d'abondance supposés représentatifs pour les sardinelles. Les seules séries disponibles sont d'une part les vents à Dakar-Yoff (3 à 8 mesures par jour) et d'autre part les températures côtières journalières à Thiaroye (baie de Gorée). TEISSON (1982), appliquant la théorie d'Ekman, a calculé un indice mensuel en assimilant la ligne de rivage de la Petite Côte à une droite orientée à 258°, et en utilisant donc la tension du vent et sa composante directionnelle par rapport à cette droite. Les données tri-horaires nécessaires à ces calculs n'étaient disponibles que pour la période 1968-1977. Les coefficients d'upwelling obtenus sont étroitement corrélés à la température de surface à Thiaroye entre

novembre et mai ($r = 0,90$). On notera toutefois qu'ils diminuent lorsque l'on passe d'une échelle de temps saisonnière à une échelle mensuelle.

Dans le souci d'obtenir un indice saisonnier sur une plus longue période, nous avons calculé un indice plus grossier, ne prenant en compte que la vitesse moyenne du vent de novembre à mai, entre 1966 et 1983 (Tabl. 1). Cet indice, bien que ne faisant pas intervenir le carré des mesures ni leur composante directionnelle, est très fortement corrélé ($r=0,96$) à celui de TEISSON (1982) et légèrement mieux corrélé que ce dernier aux températures moyennes de Thiaroye ($r=0,96$) au cours de la même période, ce qui ne signifie pas pour autant qu'il soit meilleur. Cela s'explique par le fait qu'en saison froide la direction des vents de secteur nord est relativement stable (fig. 6), et présentait au cours de cette période des fluctuations comparables d'une année à l'autre. Ceci n'est plus aussi exact depuis ces dernières années où les jours d'harmattan ont augmenté, ce qui a eu pour effet l'augmentation de la composante méridienne des vents (DUPOUY, 1982; DUPOUY *et al.*, 1985). Cependant, ce vent étant à la fois de direction moins favorable à l'upwelling et d'intensité faible, on peut penser que notre indice global reste acceptable. Pour l'ensemble de la période, il reste très corrélé aux températures de surface (fig. 7). De plus cet indice a le mérite d'être robuste et d'éliminer la schématisation d'une côte rectiligne. En effet, la ligne de rivage et les isobathes de la Petite Côte ayant la forme d'un arc de cercle, on peut supposer qu'il n'y a pas une seule et unique composante du vent privilégiée pour l'upwelling, mais que la majeure partie des vents de secteur nord-ouest à nord-est seront favorables. C'est ce que confirment les travaux de TOURE (1983) qui mettent en évidence deux sources de remontées d'eau froide (Rufisque et Popenguine), plus ou moins actives selon l'orientation du vent. Il serait probablement intéressant, lorsque toutes les données seront disponibles et informatisées, de calculer un indice prenant en compte la tension des vents de secteur nord au sens large.

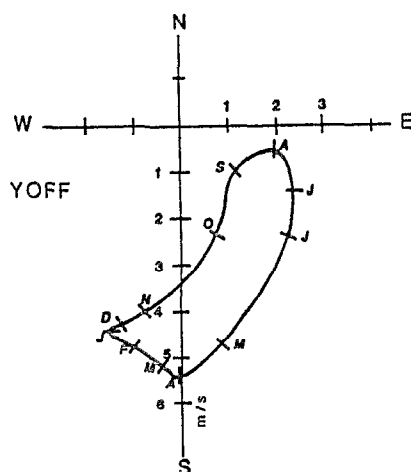


Fig- 6- HODOGRAPHE DES VENTS MOYENS MENSUELS
AUX STATIONS COTIERES (1968-1977)

(d'après TEISSON, 1982)

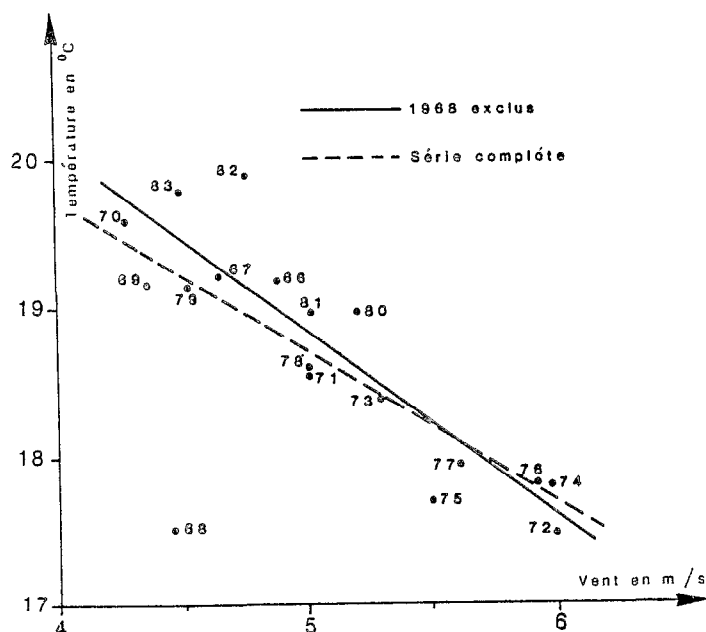


Fig- 7 - RELATION ENTRE LA VITESSE MOYENNE DU VENT RELEVÉE A DAKAR-YOFF
(De novembre de l'année i-1 à mai de l'année i) ET LA TEMPÉRATURE DE
SURFACE RELEVÉE A THIAROYE AU COURS DES MEMES MOIS DE 1966 à 1983

Sources:ASECNA et ROY *et al*, 1985

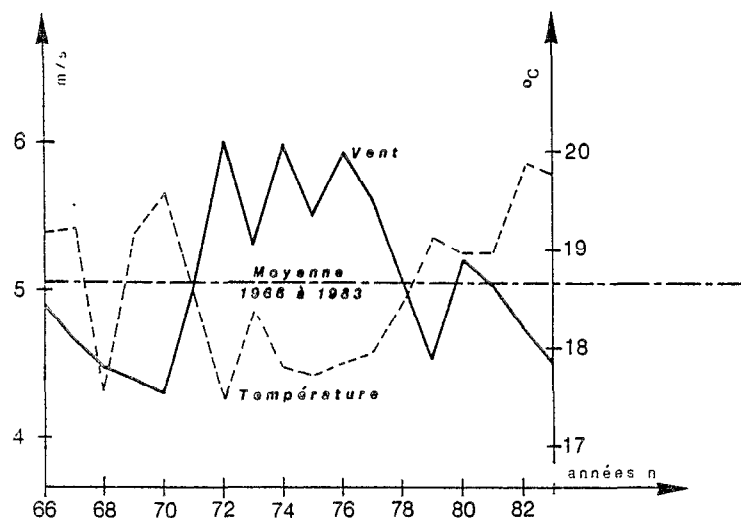


Fig- 8 - EVOLUTION DE LA VITESSE MOYENNE DES VENTS
A YOFF ET DES TEMPÉRATURES DE SURFACE A THIAROYE
AU COURS DES SAISONS D'ALIZES
(De novembre de l'année n-1 à mai de l'année n), de
1966 à 1983

Sources:ASECNA et Roy *et al*, 1985

Années	MOIS												Moyenne saison froide
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1965	5.6	5.0	5.2	5.4	4.6	4.4	3.7	4.0	3.2	4.6	3.9	5.9	4.90
66	4.0	4.7	4.8	4.8	6.2	4.1	3.9	4.0	3.3	2.9	4.2	4.2	4.66
67	4.2	4.9	4.6	5.6	4.9	3.8	3.4	3.5	2.1	3.2	3.8	4.7	4.46
68	4.3	4.5	4.8	4.6	4.5	3.9	3.4	3.6	3.3	3.2	4.0	4.6	4.37
69	3.7	4.1	4.2	5.3	4.7	4.4	3.7	3.7	2.7	3.2	3.8	4.4	4.29
70	5.2	4.2	3.3	4.6	4.5	4.1	3.9	3.4	3.6	3.4	4.2	5.8	5.01
71	4.5	5.0	5.3	5.3	5.0	4.3	4.0	3.3	3.2	3.3	5.5	5.4	6.00
72	6.0	6.3	6.8	6.4	5.6	4.0	3.8	4.0	3.8	3.5	4.5	5.2	5.30
73	5.0	6.1	5.8	6.3	4.2	4.5	4.5	3.6	4.0	4.2	5.5	6.0	5.99
74	5.9	5.9	6.5	6.7	5.4	4.1	3.9	4.0	3.5	4.7	5.1	5.0	5.50
75	5.1	5.5	5.8	6.0	6.0	4.6	3.7	4.1	3.6	5.0	5.1	5.4	5.93
76	6.0	6.0	6.7	6.1	6.2	4.8	4.1	3.7	3.3	4.1	4.4	6.5	5.61
77	5.8	5.7	5.4	5.7	5.8	4.6	4.5	4.7	3.3	4.5	4.2	4.4	5.01
78	5.6	5.1	5.0	5.1	5.7	4.2	3.6	2.9	3.3	5.7	4.3	4.8	4.53
79	4.7	4.4	4.9	4.6	4.0	3.4	3.4	3.0	3.5	4.1	5.0	4.6	5.21
80	4.5	5.1	6.1	5.8	5.4	3.7	3.7	3.2	2.3	3.6	4.8	5.6	5.03
81	4.9	5.6	5.2	5.0	4.1	3.6	3.5	3.2	3.3	4.2	3.7	4.6	4.77
82	4.7	4.9	5.1	5.3	5.1	3.6	3.3	3.1	2.8	3.7	4.5	5.1	4.51
83	4.4	5.1	4.1	4.7	3.7	3.2	3.4	2.9	3.0	2.8	4.4	5.6	4.26
84	5.4	4.0	5.0	5.4	4.3	3.0	2.9	2.5	2.7	2.5	4.9	4.4	
Moyenne	5.0	5.1	5.2	5.4	5.0	4.0	3.7	3.5	3.2	3.8	4.5	5.1	5.02

Tableau 1 : Vitesses moyennes mensuelles du vent (m/s) à Dakar-Yoff de 1965 à 1983, et moyenne de la saison froide (novembre à mai inclus).

Années	MOIS												Moyenne saison froide
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1965								27.6	27.9	27.1	23.9	-	19.2*
66	16.3	18.0	16.9	18.0	21.1	24.8	27.0	28.4	27.8	27.8	25.5	22.1	19.2
67	19.7	16.9	15.7	16.2	18.5	23.5	27.2	28.2	27.5	26.8	20.6	19.1	17.5
68	16.7	16.0	15.7	16.2	18.3	20.1	25.1	26.0	27.3	27.6	22.2	19.6	19.2
69	17.7	17.0	18.2	18.7	20.7	24.0	27.3	28.2	28.6	27.5	24.3	20.6	19.6
70	18.3	17.1	17.8	18.7	20.2	24.2	26.9	27.6	27.8	26.8	23.8	22.5	18.6
71	18.4	16.3	15.5	16.8	16.9	21.7	26.3	27.8	28.3	26.7	22.9	18.8	17.5
72	16.9	15.6	15.1	15.6	17.5	22.3	24.8	27.0	28.2	27.1	23.7	19.3	18.4
73	16.4	16.3	16.1	16.9	20.0	25.5	26.2	27.7	27.2	26.2	23.5	21.0	17.8
74	17.2	16.5	15.4	14.9	16.2	21.0	25.9	27.5	28.4	25.5	21.9	20.3	17.7
75	18.5	16.5	15.2	15.5	16.1	21.5	26.4	27.9	27.4	27.8	23.1	20.2	17.8
76	17.8	15.0	15.3	16.1	17.3	22.7	26.5	27.7	28.2	26.9	24.3	18.9	18.0
77	16.0	15.2	17.1	17.0	17.2	22.7	26.1	26.7	27.5	26.0	24.2	20.4	18.6
78	18.0	16.5	15.9	16.4	18.9	24.8	26.8	28.1	28.2	27.3	25.6	21.8	19.2
79	18.2	16.7	15.9	17.0	18.9	25.2	26.5	27.3	28.1	26.9	24.4	22.5	19.0
80	18.1	16.2	15.7	17.8	18.1	21.8	26.1	27.1	27.4	25.4	23.0	20.8	19.0
81	18.7	16.1	17.4	17.8	19.0	23.5	26.6	27.7	28.8	28.3	26.4	22.7	19.9
82	18.5	17.4	17.5	18.1	18.8	23.6	27.0	27.7	29.1	27.7	24.7	19.3	19.8
83	18.8	19.4	19.0	18.0	19.3	25.7	27.6	27.6	27.9	27.7	24.7	21.4	
Moyenne	17.8	16.6	16.4	16.9	18.5	23.3	26.5	27.6	28.0	27.0	23.8	20.6	17.7

* estimation pour décembre 1965 = (23.9 + 16.3)/2 = 20.1

Tableau 2 : Température moyenne mensuelle de surface (°C) à la station côtière de Thiaryoye de 1965 à 1983, et moyenne de la saison froide (novembre à mai inclus).

Les températures de surface sont généralement considérées comme un bon indicateur d'upwelling, à condition d'être relevées en différents points des régions de remontées d'eau froide, et l'on suppose que l'upwelling y est responsable de l'essentiel de la variabilité interannuelle. La station côtière de Thiaroye ne remplit pas ces conditions, cependant elle semble assez représentative des conditions hydrologiques de la région (TOURE, 1983), sauf peut-être certaines années.

La régression entre les températures de surface et l'indice d'upwelling montre un très fort résidu pour l'année 1968, où la température est très basse alors que le vent est faible (fig. 7). On a d'abord évoqué la possibilité d'un biais de mesure pour expliquer ce résultat [1] ce qui fut l'une des raisons qui nous avaient conduit à préférer les vents comme indice d'upwelling. En fait cette anomalie négative de près de 2°C se retrouve aux stations de l'île de Gorée, et partiellement à Mbour (ROY et al., 1985), tandis qu'elle est positive dans le golfe de Guinée et associée à de nombreuses anomalies climatiques à l'échelle de l'Atlantique (HISARD, 1980; MERLE, 1980; SERVAIN, 1984). De même les faibles vents relevés par les navires marchands, à la côte comme au large, confirment l'anomalie négative observée à Dakar-Yoff (PICAUT et al., 1985).

Le refroidissement de 1968 ne semble donc pas relever d'un mécanisme d'upwelling côtier. Si l'on retient comme définition de ce dernier un refroidissement à la côte par rapport à l'eau du large, un bon indice d'upwelling peut être obtenu en calculant la différence de température entre la côte (Thiaroye) et le large (navires marchands). Bien que les données actuellement disponibles ne couvrent pas l'ensemble de la période nous intéressant, on voit que cet indice est faible en 1968 (ROY, comm. pers.). Nous verrons que cette année-là le stock de sardinelles n'a pas réagi à cette modification d'environnement en terme d'abondance (mais seulement en terme de disponibilité pour les adultes), ce qui fut une raison supplémentaire (mais peu rationnelle) pour retenir le vent plutôt que la température comme indice d'upwelling. Ce choix semble davantage justifié actuellement car la saison froide 1982-83 présente un indice d'upwelling moyen d'après la température à Thiaroye (seuls les mois de février et mars sont anormalement chauds) alors que la cartographie par satellite et par les navires marchands indique une année de faible upwelling par rapport à la saison 1981-82 (DUPOUY, 1983; donnée GOSSCOMP/NOAA) et que l'abondance du zooplancton était également plus faible (MEDINA-GAERTNER, 1985; SERET, 1985) ainsi que celle des poissons juvéniles capturés par les sennes de plage au cours de la saison chaude suivante (LE RESTE, comm. pers.). L'indice d'upwelling fourni par le vent semble meilleur pour cette saison également, bien que probablement sous-estimé (fig. 8; tabl. 1 et 2).

Nous avons donc retenu la moyenne des vitesses des vents de novembre de l'année n-1 à mai de l'année n comme indice d'upwelling. Cette période correspond à la définition la plus large de la saison froide, laquelle varie selon les auteurs, souvent en liaison avec les années qu'ils ont étudiées. En effet, en dépit des divergences d'auteurs existant à propos de la dynamique des eaux lors des périodes de transition, il est certain que la durée de l'upwelling fluctue considérablement d'une année à l'autre (tabl. 1 et 2) et cette durée n'est pas corrélée avec l'intensité du refroidissement (REBERT, 1982). En prenant un large

intervalle de temps pour le calcul de notre indice, on mesurera donc à la fois l'intensité et la durée de l'upwelling.

Les fluctuations de cet indice sont de l'ordre de 50% depuis 1966, date à laquelle commencent nos observations sur les pêcheries (fig. 8), et de près de 100% depuis 1947 où commencent les premières observations de la station [14, p. 89, fig. 17]. On observe sur cette série une tendance générale à la baisse avec une périodicité apparente de l'ordre de 15 à 20 ans. Cependant la série est trop courte pour pouvoir utiliser valablement une analyse spectrale.

II. 6. La productivité

II. 6.1. Production primaire

Les conditions d'éclairement et de température étant favorables à la photosynthèse pratiquement tout au long de l'année, le facteur déterminant de la production primaire sera ici la teneur de l'eau en sels nutritifs. Cette teneur dépendra donc essentiellement de l'intensité de l'upwelling et secondairement d'autres sources d'enrichissement (apports terrigènes reminéralisation, etc.) au cours de la saison chaude.

Les travaux de SCHEMAINDA et al. (1975) et de SEDYKH et al. (1979) montrent que la production primaire est bien reliée aux variations saisonnières et interannuelles de la durée et de l'intensité de l'upwelling sur l'ensemble de la zone (fig. 9). BINET (1973) et HERBLAND et al. (1973) en suivant une masse d'eau à l'aide d'une drogue dans le sud de la Mauritanie, ont bien mis en évidence un cycle de production, ayant pour origine l'enrichissement en sels minéraux lié à une "source" d'upwelling. La succession du phytoplancton puis, très rapidement de deux niveaux trophiques de zooplancton a été démontrée, ainsi que l'importance de la régénération des sels minéraux.

Le long des côtes sénégalaises, l'analyse récente de quelques images prises par le satellite NIMBUS 7 dans le spectre visible et dans l'infra-rouge, indique qu'au début de la saison froide le phytoplancton se trouve réparti de façon hétérogène formant une couronne autour de la langue d'eau froide, au niveau des fronts thermiques. En revanche, au coeur de la saison froide la répartition du phytoplancton est plus homogène sur l'ensemble du plateau continental (DUPOUY et al., 1985).

Au niveau de la moitié nord de la Petite Côte, une étude détaillée des principaux paramètres hydrologiques (température, salinité, oxygène dissous, turbidité, sels minéraux, chlorophylle-a et courantométrie) a été réalisée à partir des résultats recueillis sur 24 stations au cours d'une vingtaine de campagnes réalisées en 1981 et 1982 (DIA, 1983a ; TOURE, 1983). Ce travail confirme que l'upwelling est bien à l'origine de l'apport principal en éléments nutritifs et assure le développement d'un peuplement phytoplanctonique quelques jours plus tard près des deux sources d'upwelling déjà identifiées. L'étude spécifique -bien que réalisée au cours de deux mois seulement (décembre et mars)- indique une grande diversité d'espèces ainsi que des successions de communautés. Sur 44 espèces déterminées, 38 étaient des diatomées qui formaient le groupe dominant numériquement, le reste étant constitué de dinoflagellés (DIA,

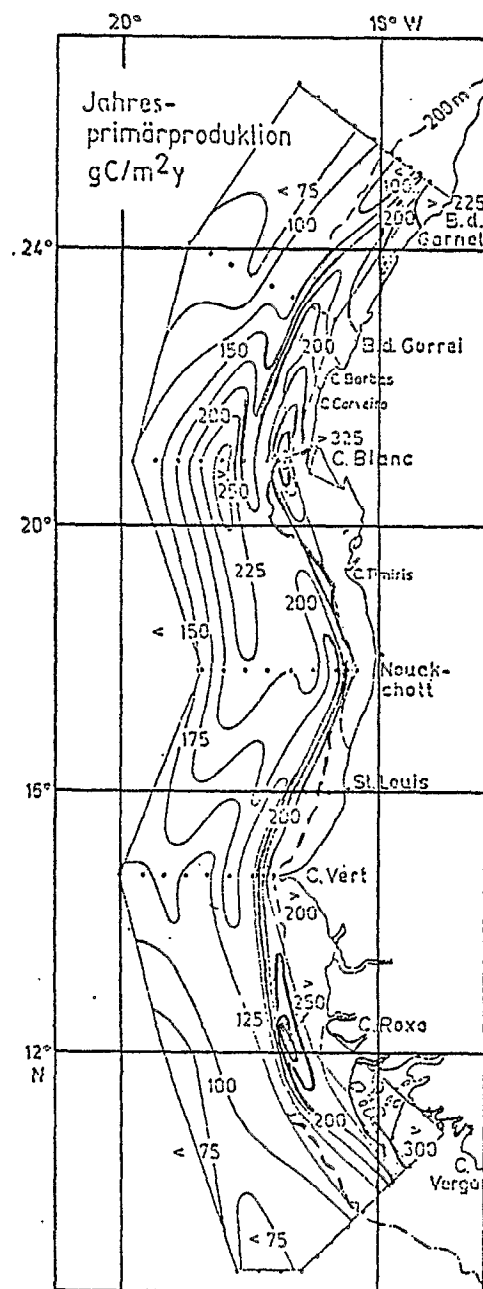


Fig- 9: Production totale annuelle de carbone dans la région sénégal-mauritanienne
Extrait de SCHEMAINDA et al.(1975)

1983 b). Au cours de la saison froide, la richesse maximale des couches superficielles en phytoplancton et en particules organiques mises en suspension, limite la couche euphotique aux premiers mètres. De ce fait, c'est en fin de saison froide (mai), où la diminution de la turbulence provoque une augmentation de la couche euphotique, que l'on observera le maximum de biomasse planctonique intégrée sur toute la colonne d'eau. La régénération des sels nutritifs explique la persistance de cette abondance jusqu'à la fin mai. Au cours de la saison chaude, la transparence des eaux oligotrophes permet une pénétration du rayonnement solaire au delà de la nitracline. On observe alors de la chlorophylle jusqu'à 75 m de profondeur, dans un milieu peu turbulent du fait de l'accalmie des vents. La production est loin d'être négligeable si l'on considère la biomasse intégrée (TOURE, 1983). Il s'agit d'une "Situation Tropicale Typique" (STT) au sens de VOITURIEZ et HERBLAND (1982). Les eaux de surface sont pauvres, excepté au fond de la baie de Gorée où TOURE (1983) observe une certaine persistance de la teneur en chlorophylle en-dehors de la période d'upwelling local.

Les mesures bi-hebdomadaires de chlorophylle-a, réalisées à la station côtière de Thiaroye depuis 1973, indiquent une persistance plus importante encore du phytoplancton, qui reste abondant jusqu'en septembre. GALLARDO (1981) relie cette richesse estivale à des remontées d'eaux profondes au large de la Casamance, provoquées par le rotationnel des vents, ces eaux arrivant en baie de Gorée par la branche nord du contre-courant équatorial. Compte tenu de la faible vitesse de ce courant (0,5 noeuds d'après REBERT (1983)), le temps de transport jusqu'en baie de Gorée serait de l'ordre de 10 jours, ce qui correspondrait probablement à au moins deux générations de phytoplancton du fait des fortes températures relevées durant cette saison. Les données de températures de surface actuellement disponibles et mentionnées (navires marchands, satellites) ne permettent pas de mettre en évidence cette source d'eau froide. Des études à une échelle plus fine seraient nécessaires. REBERT (1978) montre qu'en fait il s'agit d'une production jeune (faible teneur en phéopigments). Il la rattache à la fertilisation provenant de la pollution organique croissante par l'urbanisation dakaroise (AMADE, 1977), ce qui expliquerait l'augmentation des teneurs en chlorophylle depuis 1974. La présence d'un vortex anticyclonique favoriserait une accumulation à la côte. Une autre explication de cet enrichissement estival pourrait résider dans la décomposition de l'énorme biomasse algale accumulée durant la fin de la saison froide sur les faibles fonds. La fraction venant s'échouer à la côte en saison chaude a été évaluée à 150.000 tonnes humides sur la Petite Côte (travaux du CRODT).

II. 6.2. Production secondaire

Les premières études du zooplancton ont été réalisées par SEGUIN (1956), BAINBRIDGE (1972) et TOURE (1972) autour du Cap-Vert. Ce dernier auteur indique une saison riche de janvier à avril qui est sans aucun doute à relier à l'upwelling, et une saison pauvre de juin à décembre, au cours de laquelle on note toutefois un pic secondaire d'abondance en octobre pour certains groupes (Lucifer, chaetognathes). Récemment MEDINA-GAERTNER (1985) et SERET (1985) ont échantillonné le nord de la Petite Côte en 1982, 1983 et partiellement 1984. Leurs périodes d'étude et leurs zones géographiques se recouvraient largement et elles

utilisaient le même matériel de collecte. Leurs résultats sont concordants au niveau qualitatif, mais divergent parfois quant aux variations temporelles d'abondance, alors que les mailles spatio-temporelles retenues peuvent a priori sembler acceptables, et que les stratégies d'échantillonnage ne sont pas très différentes. Ceci vient confirmer, si besoin était, l'importante variabilité de l'abondance du zooplancton, variabilité probablement accrue par la complexité des mécanismes hydrologiques en baie de Gorée (une étude comparative détaillée de ces deux travaux serait probablement riche d'enseignement).

On peut dégager de ces travaux quelques conclusions communes. Bien que la zone étudiée soit relativement restreinte et située entièrement sur le plateau continental, on observe de nettes variations d'abondance et de peuplement selon la distance à la Côte. Certaines espèces présentent des variations d'abondance faibles et indépendantes des saisons, tandis que d'autres caractérisent certaines masses d'eau. Ainsi Calanoïdes carinatus est un bon traceur des eaux froides et riches d'upwelling, tandis que Undinula vulgaris caractérise les eaux chaudes. Les copépodes représentent le groupe dominant en moyenne au cours de l'année, suivi par les cladocères et les larves de cirripèdes. Cependant, à certaines époques, et selon les années, des espèces secondaires peuvent devenir prépondérantes (noctiluques des "eaux rouges", chaetognates en fin de saison chaude par exemple).

Sur la Petite Côte, la liaison entre production primaire et secondaire n'a pu être mise en évidence clairement à une échelle spatio-temporelle fine, et BINET (1976) souligne la difficulté d'une telle étude. SERET (1985) montre que, dans certains cas, un décalage d'un mois environ apparaît entre les noyaux de production zooplanctonique maximum et les températures minimales (ou les concentrations maximales en chlorophylle). Toutefois, compte tenu du déplacement rapide des masses d'eau en période d'upwelling, ces conclusions doivent être replacées dans le contexte de la dynamique complexe du système. De telles études devraient être entreprises en suivant une drogue, tel que cela fut réalisé avec succès en Mauritanie (cf. supra).

Il n'en reste pas moins vrai que les travaux de SERET (1985) et de MEDINA-GAERTNER (1985) montrent clairement qu'à l'échelle saisonnière l'abondance des communautés zooplanctonique réagit nettement aux fluctuations spatio-temporelles de l'upwelling. Ainsi le cœur de la saison froide de 1983 était-il nettement plus pauvre que celui des années 1982 (fig. 10) et 84 où l'upwelling était plus intense. Calanoïdes carinatus était peu abondant et la deuxième source d'upwelling côtier (Popenguine) n'était pas apparue. Les copépodes étaient faiblement représentés alors qu'ils sont habituellement abondants au niveau des deux sources.

SERET (1985) note un pic secondaire d'abondance du zooplancton associé aux eaux tropicales, de fin juillet à mi-septembre 1982, alors que ces eaux sont réputées pauvres (fig. 10)

L'incursion des alizés durant quelques jours, début juillet et début août, et la présence d'eaux froides au niveau des sources d'upwelling ne peut que expliquer partiellement le phénomène. La reminéralisation des sédiments et la pollution organique peuvent être évoqués, en particulier pour les concentrations observées au fond de la baie ou sur la frange littorale de

la Petite Côte (algues), mais l'abondance relevée dans le restant de la zone est plus difficilement explicable car, comme le souligne DOMAIN (1980), la thermocline joue le rôle de barrière pour la diffusion ascendante des sels nutritifs qui restent piégés dans les eaux sous-jacentes plus denses. L'enrichissement lié à la crue proposé par cet auteur peut difficilement être retenu pour ces dernières années qui furent sèches. Reste la possibilité pour le zooplancton de se nourrir au sommet de la nitracline où la pénétration de la lumière permet le développement du phytoplancton ce qui correspond aux STT déjà mentionnées (VOITURIEZ et DANDONNEAU, 1974 ; VOITURIEZ et HERBLAND, 1982), ou encore à la possibilité d'un enrichissement par apport d'eau riche en provenance du sud comme le suggère GALLARDO (1981).

Cette période reste à analyser plus en détail comme le mentionne SERET (1985). Nous suggérons en particulier l'étude des phénomènes de turbulence, du comportement alimentaire des espèces et de leur distribution verticale par rapport à la nitracline, ainsi que la diffusion des sels minéraux issus de la reminéralisation des algues dans la frange côtière.

ENVIRONNEMENT:

ZOOPLANCTON:

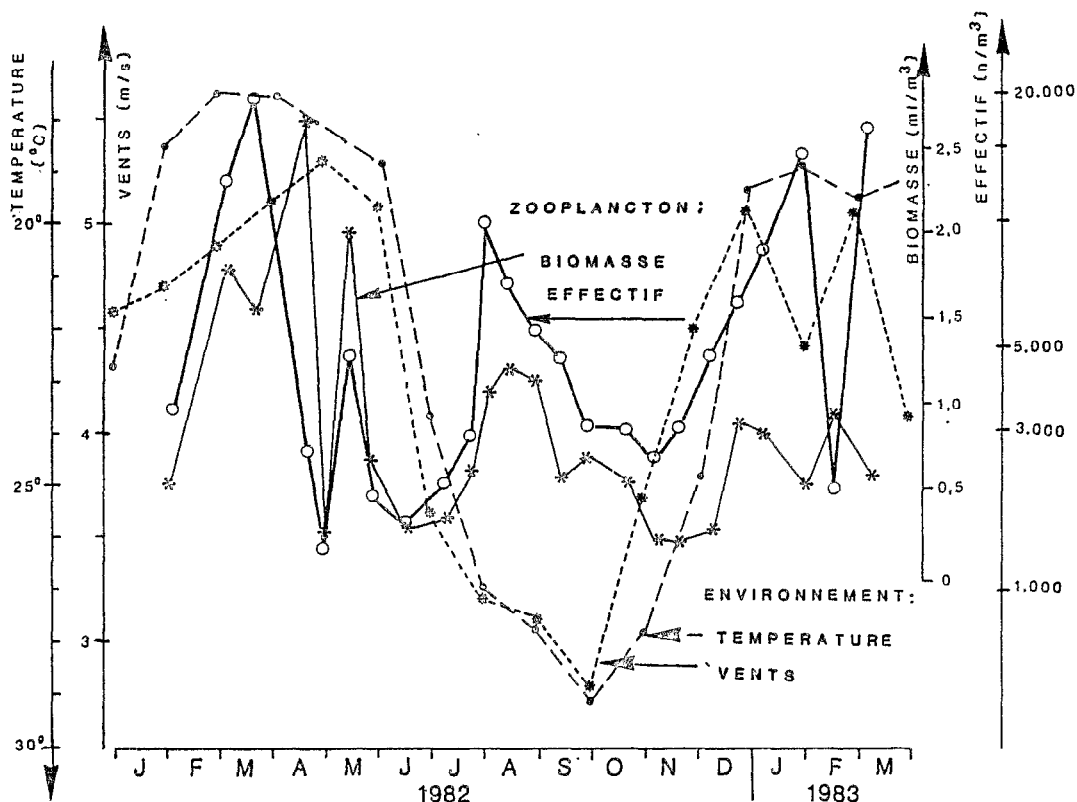


Fig-10- VARIATIONS SAISONNIÈRES D'ABONDANCE DU ZOOPLANCTON SUR LA PETITE CÔTE (D'après SERET, 1986) ET FLUCTUATIONS DE DEUX INDICES D'UPWELLING: VENT (Données ASECNA) ET TEMPÉRATURE DE SURFACE (Données CRODT) 16 JOURS AUPARAVANT

II. 7. Conclusion sur le milieu

Il ressort des nombreuses études réalisées dans la région que la zone sénégal-mauritanienne présente un hydroclimat très contrasté et que l'upwelling de saison froide en fait l'une des régions océaniques les plus productives du globe. L'énergie motrice principale de cet upwelling côtier est sans aucun doute le vent local, même si au cours des saisons de transition les phénomènes sont plus complexes. Depuis ces dernières années, cet upwelling a présenté de larges variations interannuelles d'intensité et de durée.

La vitesse moyenne du vent relevée à la station de Dakar-Yoff fournit un indice annuel d'upwelling satisfaisant pour la Petite Côte qui semble légèrement préférable à l'indice fourni par la température côtière relevée à Thiaroye, à l'échelle saisonnière tout au moins (dans le fond du golfe de Guinée, en revanche, la température de surface reste le meilleur indicateur disponible, les vents locaux n'expliquant qu'une faible partie de la variabilité de l'upwelling).

Au cours de la saison chaude, où persiste une certaine abondance du plancton en période d'eau tropicale, l'enrichissement est moins bien expliqué. Il résulte probablement de la conjonction ou de la succession de divers phénomènes tels que la reminéralisation côtière, les apports terrigènes, les brèves périodes de remontées d'eau froide liées à l'incursion des alizés ou au sillage des tornades, entre lesquelles s'installe une STT permettant une production en profondeur, sans que l'on puisse rejeter l'hypothèse d'un enrichissement par advection. Il est probable qu'au cours de cette saison certains phénomènes hydrodynamiques trouvent leur origine à l'extérieur de la région. On ignore la variabilité interannuelle de la productivité en saison chaude, le seul indice étant fourni par les teneurs en chlorophylle de la station de Thiaroye, dont la représentativité régionale a été mise en doute.

Le rôle des vents reste prépondérant dans la plupart des cas, car il engendre non seulement des remontées d'eau froide mais il est également responsable des variations de stabilité du milieu. Son action est donc très complexe et ses effets peuvent être de sens opposés si l'on considère la production (HERBLAND *et al.*, 1985) : en période d'upwelling côtier il favorise l'apport en sels minéraux, mais au-delà d'une certaine intensité la couche de mélange dépasse la couche euphotique et la production reste limitée aux premiers mètres. Un régime de vent irrégulier peut donc être plus favorable à la production qu'un vent fort continu, ce qui peut justifier l'introduction de la variance du vent dans le calcul d'un indice d'upwelling comme l'a fait BELVEZE (1984) pour le Maroc. En STT, au contraire, une certaine instabilité est favorable aux échanges verticaux, et donc à la production planctonique au-dessus de la nitracline.

Par ailleurs, la survie des larves de poissons pélagiques ne dépend pas seulement de la biomasse planctonique totale mais aussi de la stabilité verticale du milieu (SHARP, 1980) : les exigences métaboliques des larves sont si élevées que leur survie est conditionnée par la rencontre d'essaïms de plancton suffisamment denses, dans un milieu peu turbulent. Nous verrons que la ponte principale des sardinelles se fait en mai-juin sur la Petite Côte, à une époque où le milieu est à la fois riche et relativement stable.

III. RAPPEL DE LA BIOLOGIE DES DEUX ESPECES DE SARDINELLES

La biologie des deux espèces de sardinelles étudiées ici a déjà fait l'objet d'une thèse (BOELY, 1980). Nous en rappellerons brièvement les traits essentiels, nécessaires à la compréhension des pêcheries et de la dynamique des populations, en développant les points qui ont fait l'objet d'un travail personnel (seul ou en équipe avec BOELY, CHABANNE et STEQUERT notamment).

III. 1. Répartition géographique et migrations [1,2,3]

Les résultats qui suivent ont été obtenus principalement à partir de l'analyse des statistiques de pêche commerciale des diverses flottes opérant dans la région, et secondairement à partir des pêches exploratoires réalisées au cours de plusieurs campagnes d'écho-intégration (Anonyme, 1983a) ou de pêches au lamparo. Aucune étude de marquage n'a pu être réalisée : la seule technique utilisable pour ces espèces fragiles, consiste à employer des marques magnétiques internes, ce qui n'a pu être envisagé pour des raisons logistiques et financières.

III. 1.1. Sardinella aurita

La sardinelle ronde se rencontre sur tout le littoral africain, du cap Frio (18°S) à la Méditerranée. On la trouve également en Mer Noire et en Adriatique, et même à l'est de la péninsule ibérique. Elle est aussi présente le long des côtes est-américaines, entre le cap Cod aux U.S.A. et le nord de l'Argentine, alimentant d'importantes pêcheries au Vénézuéla et au Brésil. Dans le Pacifique-Ouest elle est signalée au large du Japon et de la Chine, ainsi que autour des Philippines et de l'archipel Indo-Australien (BEBARS, 1981). Elle vit sur le plateau continental et préfère les eaux salées (>35 ‰) et non turbides, de température inférieure à 24°C. La sardinelle ronde n'est en effet vraiment abondante que dans les trois secteurs de l'Atlantique centre-est caractérisés par l'apparition saisonnière d'importantes remontées d'eaux froides [1, p. 19, fig. 2], à savoir :

- de la Mauritanie (26°N) à la Guinée (10°N); on utilisera alors souvent le terme de zone (ou de stock) sénégal-mauritanienne,
- devant la Côte d'Ivoire et le Ghana,
- du sud du Gabon (0°) au sud de l'Angola (18°S).

Aucune concentration importante ni aucune pêche appréciable ne sont signalées dans les zones intermédiaires. Chacun des trois grands secteurs de concentration est très certainement occupé par des populations distinctes, le régime des courants n'étant guère favorable aux échanges entre les zones (FAO, 1973).

Les sardinelles rondes de la région sénégalaise appartiennent au premier secteur, et l'on peut subdiviser ce stock en plusieurs composantes : des sous-stocks de jeunes individus (longueur à la fourche inférieure à 25 cm) n'effectuant que des migrations d'amplitude limitée à l'intérieur des nurseries, et un sous-stock commun d'adultes grands migrants, qui parcourent l'ensemble du secteur. Ces adultes effectuent des migrations verticales sur un cycle nycthémeral : on les rencontre généralement en surface durant la journée et près du fond au cours de la nuit [3, p. 70, fig. 7].

En janvier, la principale concentration d'adultes se trouve à 19°N au large du banc d'Arguin (fig. 11). Ces adultes, qui descendent en janvier ou février entre 12°N et 15°N (soit au sud du Sénégal) se retrouvent en mars concentrés entre 11°N et 13°N. La remontée vers le nord commence en avril mais le maximum d'abondance est encore dans le sud du Sénégal à cette époque. Les sardinelles sont plus dispersées en mai, se répartissant entre 13°N et 18°N avec un maximum de 15°N à 17°N. Elles continuent leur remontée en juin et sont pêchées de 16° à 20°N avec un maximum au large du banc d'Arguin et au sud du cap Timiris. En juillet, des concentrations moins fortes sont au large du banc d'Arguin. En août, le déplacement vers le nord se poursuit, la principale zone de pêche se situant entre 20°N et 22°N. Le maximum d'abondance se trouve de 21°N à 23°N en septembre. En octobre, elles sont plus dispersées, de 19°N à 24°N. En novembre-décembre, l'abondance apparente est faible, la répartition toujours large, les pêches les plus importantes se faisant au large du cap Blanc et du banc d'Arguin.

Ce cycle migratoire de Sardinella aurita adulte peut se résumer ainsi : d'octobre à décembre, phase de dispersion de la Mauritanie au Sahara; phase de descente rapide vers le sud en janvier ou février; phase de concentration de pré-ponte en mars-avril dans la partie sud de l'aire habitée (Guinée Bissau, sud Sénégal); phase de remontée vers le nord jusqu'à 24°N et 25°N, avec ponte, de mai à septembre.

Deux nurseries principales ont été clairement identifiées et font l'objet d'une exploitation intense. 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. 11). L'existence d'autres nurseries importantes reste une incertitude, en particulier plus au sud, à hauteur de la Guinée Bissau, où l'on rencontre quelques jeunes individus. On ignore s'il s'agit de concentrations importantes, et dans l'affirmative si ces individus sont ou non à rattacher au stock principal. Ce point sera développé ultérieurement.

La nurserie de la Petite Côte du Sénégal est la mieux connue, et le sous-stock qu'elle abrite constitue l'objet principal de notre travail. L'analyse des statistiques de pêche des sardiniens indique deux périodes de départ des jeunes reproducteurs qui vont venir grossir le sous-stock d'adultes.

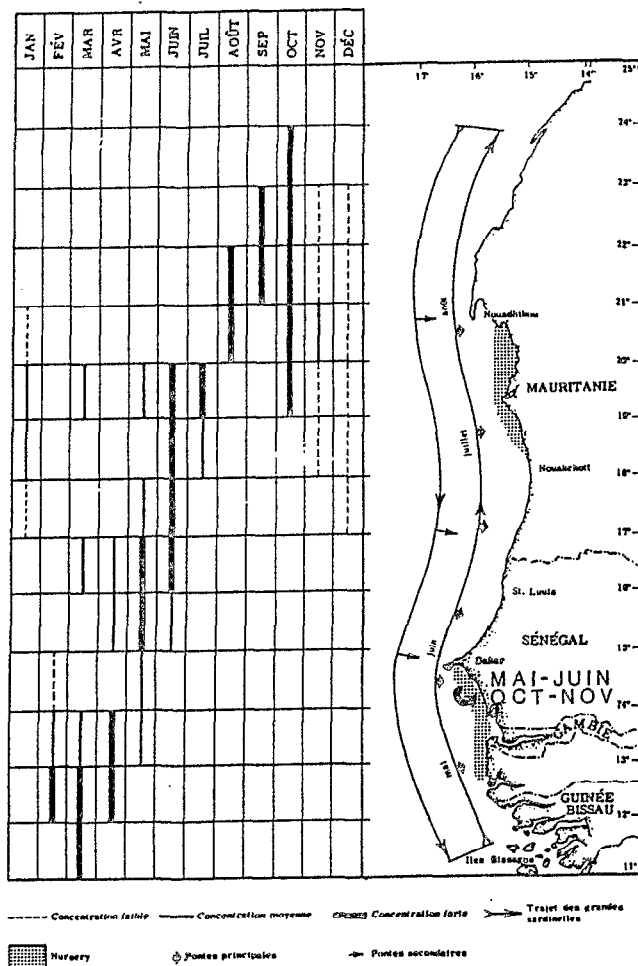


Fig. 11a. Cycle migratoire, périodes de ponte, nurseries et localisation mensuelle des principales concentrations d'adultes de *Sardinella aurita* dans la zone sénégal-mauritanienne [2]

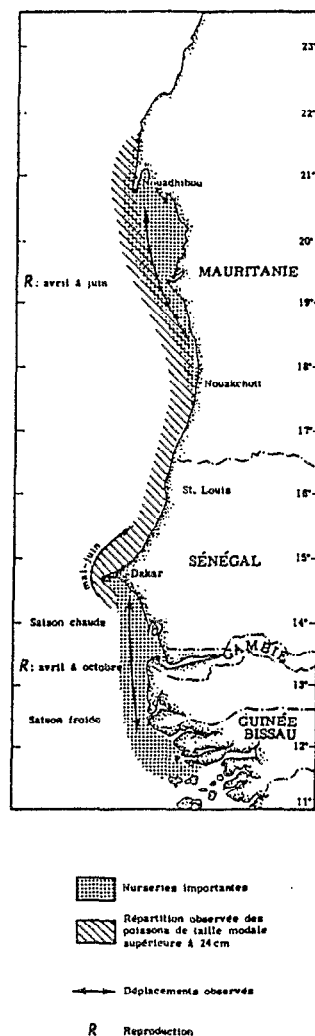


Fig. 11b. Déplacements, principales périodes de reproduction et nurseries de *Sardinella maderensis* dans la zone sénégal-mauritanienne [2]

Le premier départ débute en juin et s'intensifie en juillet, lorsque les eaux tropicales chaudes et moins riches envahissent le plateau continental jusqu'au cap Timiris. Il est probable que la majorité des jeunes sardinelles remonte alors vers le nord, où les conditions de vie sont plus favorables. Autrefois, l'étude des mouvements des flottes de pêche n'apportait aucune information sur ce déplacement, car elles suivaient la migration des adultes, légèrement plus précoce. De plus, les jeunes sardinelles ne restent pas en surface, mais s'enfoncent et elles peuvent alors être pêchées au chalut de fond jusqu'à des profondeurs de 40-50 m, tout le long de la côte pendant la saison chaude (BORODATAV *et al.*, 1960).

Les données de fréquence de taille et de rendements obtenues à partir des flottes roumaines et est-allemandes (travaillant exclusivement au nord de la zone depuis ces dernières années) viennent confirmer ce cycle migratoire pour cette région (STAIU *et al.*, 1975, 1976; HOLZLOHNER *et* KLOXIN, 1982, HOLZLOHNER *et al.*, 1983; JOSSE *et* DOMALAIN, 1983). L'abondance de *Sardinella aurita* est en effet maximale de juillet à octobre (fig. 12), et les tailles modales sont comprises entre 26 et 30 cm (fig. 13), classes manquantes dans les captures sénégalaises au cours de cette saison (Annexe 1). Pour l'ensemble de la région sénégal-mauritanienne, les 36 campagnes d'écho-intégration réalisées depuis 1970 dans les Z.E.E. des différents pays valident ce schéma général de migration des adultes (Anonyme, 1983a). Vers le début d'octobre, d'importantes concentrations se forment au large de la Gambie puis remontent progressivement vers le nord. Cette apparition dans le sud du Sénégal, suivie d'un déplacement vers le nord, avait fait envisager dans un premier temps, l'existence possible d'une population guinéo-sénégalaise migrant avec les eaux guinéennes (BOELY *et al.*, 1969). Après la ponte, ces sardinelles se dispersent et pendant les mois de janvier et février suivent les adultes dans leur migration vers le sud : c'est le deuxième départ. Elles se retrouvent alors dans les prises des senneurs commerciaux effectuées au large de la Guinée Bissau, mélangées aux grandes sardinelles (BOELY *et* OSTVEDT, 1976). Des sardinelles plus jeunes (15 à 20 cm) migrent aussi pendant cette période.

Compte tenu du cycle de vie de cette espèce, on a adopté dans la suite du texte la terminologie suivante pour les divers groupes de taille exprimée en longueur à la fourche :

- juvéniles : individus immatures de taille inférieure à 18 cm (cédant à l'usage, on utilisera cet adjectif comme un substantif),

- jeunes reproducteurs : individus dont l'âge est compris entre celui de la première et de la deuxième maturation sexuelle (18 à 25 cm),

- adultes : individus migrateurs de taille supérieure à 25 cm. (du fait que les poissons sont mesurés au demi-centimètre inférieur et que les classes de taille sont de 1 cm, il s'agit en fait d'individus supérieurs à 25,9 cm).

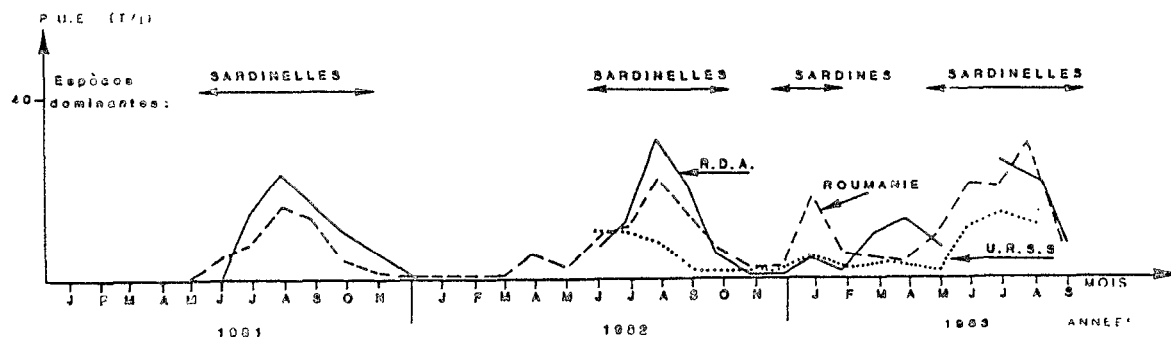


Fig- 12: EVOLUTION DES PRISES PAR UNITE D'EFFORT SUR LES CLUPEIDES DES CHALUTIERES DE 3000CV DANS LA Z.E.E. MAURITANIEENNE DE 1981 A 1983 (Données CHROP, in JOSSE *et* DOMALAIN, 1983, modifié)

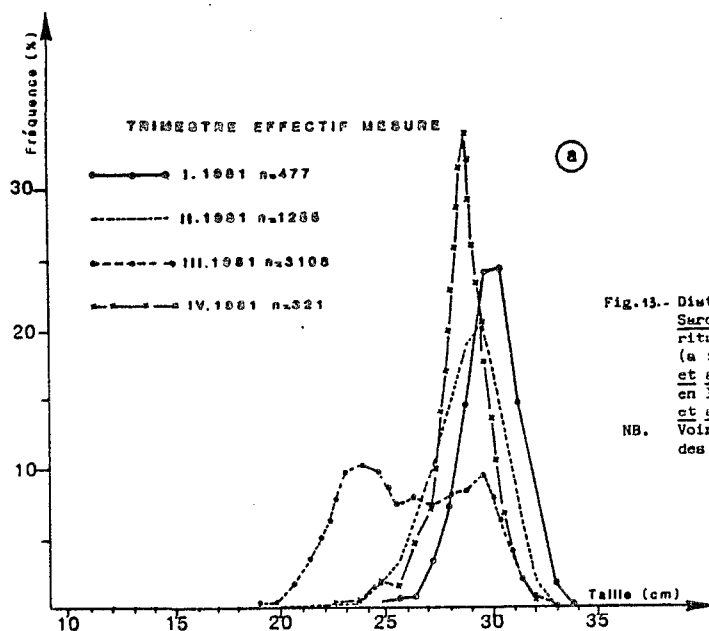
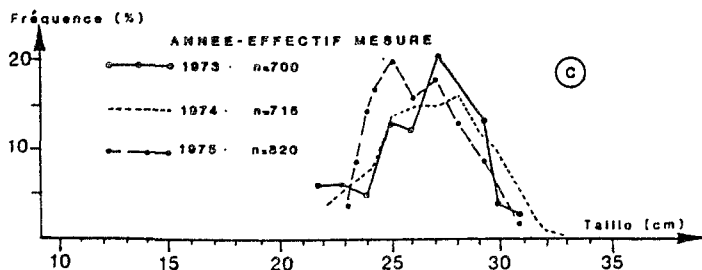
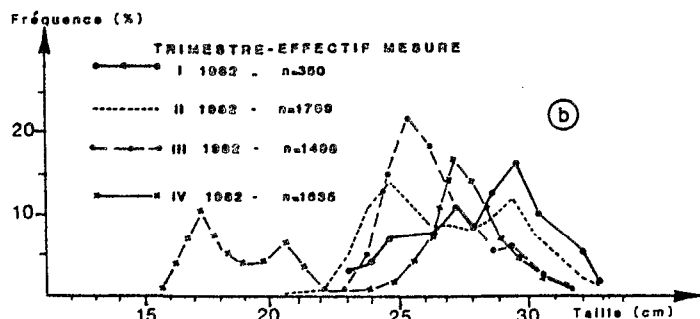


Fig. 13.- Distribution des fréquences de tailles (%) des *Sardinella aurita* capturée au large de la Mauritanie et du Sahara par les chalutiers de R.D.A. (a : Holzlöhner et Kloxin, 1982; b : Holzlöhner et al., 1983, après conversion des longueurs totales en longueur à la fourche) et de Roumanie (c : Staicu et al., 1975)

NB. Voir Fig. 11 pour les abondances relatives au cours des différents trimestres.



III. 1.2. *Sardinella maderensis*:

La sardinelle plate se rencontre de la Mauritanie à l'Angola. Bien qu'ayant des exigences écologiques sensiblement différentes, elle possède à peu près la même aire de répartition que la sardinelle ronde. Elle est plus côtière, plus euryhaline -souvent plus abondante au voisinage des débouchés des cours d'eau- préfère les eaux plus chaudes (température supérieure à 25°C) et paraît éviter les eaux trop turbides. Toutefois, comme la sardinelle ronde, elle est peu abondante dans les secteurs sans upwelling, où une couche superficielle, chaude et dessalée, est présente en permanence (côte des Graines, baie de Biafra) [1, p. 25, fig. 6].

On retiendra pour Sardinelle maderensis une terminologie analogue à celle de l'espèce précédente :

- juvénile, taille inférieure à 16 cm,
- jeunes reproducteurs, de 16 à 24 cm,
- adultes, taille supérieure à 24 cm.

Dans la zone sub-tropicale nord, deux nurseries importantes ont été localisées, l'une du sud de Dakar aux îles Bissagos, l'autre au niveau du banc d'Arguin et au sud du cap Timiris (fig. 11b). Les jeunes reproducteurs effectuent des déplacements saisonniers de faible amplitude à l'intérieur de ces nurseries. Ils fournissent, durant toute l'année, l'essentiel des captures des flottilles riveraines et entrent également dans les prises des senneurs de grande pêche lorsque ceux-ci opèrent suffisamment près de terre. Les adultes se rencontrent surtout au nord de la presqu'île du Cap-Vert, jusqu'en Mauritanie. Ils sont épisodiquement capturés par la pêche artisanale sénégalaise (sennes de plages et sennes tournantes) au nord du pays. Ils peuvent également figurer dans les prises des senneurs hauturiers, mais leur contribution aux prises totales est faible. Il est à noter que ces individus adultes ne se rencontreraient jamais dans les captures des sardiniers opérant au niveau de la Petite Côte avant 1977, à une exception près (1974), alors qu'ils sont désormais présents régulièrement, en avril-mai généralement, bien que leur abondance reste faible (Annexe II) .

On est tenté de relier cette modification apparente de distribution à un changement hydroclimatique. Les données hydrologiques (précipitations, débits des fleuves) récoltées depuis le début du siècle indiquent des variations de grande amplitude, bien que non cycliques à proprement parler (OLIVRY, 1983). Depuis le début des observations sur les pêcheries (1966), la pluviométrie présente une nette tendance à la baisse. L'espèce étant relativement euryhaline on serait tenté de suggérer qu'elle vient rechercher de plus en plus au sud des zones dessalées. Cependant, il ne s'agit là que d'une hypothèse difficile à étayer (même si l'on peut pratiquement éliminer la contre hypothèse liée à un changement de stratégie des pêcheurs). En effet, d'une part l'année 1974 n'était pas particulièrement sèche, d'autre part l'arrivée dans la pêcherie de ces grands individus a lieu généralement avant le début de la saison des pluies.

On connaît en fait très mal la biologie de ces individus adultes et leur aire de répartition. Ils ne semblent constituer qu'un seul stock, dont les liaisons avec les deux nurseries restent mal connues (cf. infra).

III. 2. Reproduction [2 ; 3]

L'essentiel du travail a été ici réalisé par T. BOELY, F. CONAND et C. CONAND. Notre contribution s'est limitée à certaines récoltes de matériel (oeufs et larves, gonades), et à l'interprétation des résultats, ceci en collaboration avec les chercheurs pré-cités. Aux références [2] et [3] de notre travail commun, on devra ajouter en particulier : CONAND et FAGETTI (1971), CONAND C. (1977), CONAND F. (1977), SEDLETSKAIA, (1979), et BOELY (1980). La terminologie employée ici est usuelle; elle est rappelée dans le compte rendu d'un groupe de travail du C.R.O.D.T. [Anonyme, 1979].

III. 2.1. Sardinella aurita

Des campagnes de prospection des larves ont été réalisées entre la Guinée Bissau et la Mauritanie de 1967 à 1978 (CONAND F. 1977 ; [15]). Les larves des deux espèces ont pu être identifiées grâce à leur pigmentation et à des caractères méristiques ou morphométriques (CONAND, 1978). L'étude des gonades -stades sexuels, ou rapports gonado-somatiques (R.G.S.)- a été effectuée régulièrement de 1968 à 1972 (BOELY, 1980) puis en 1975 et 1976 (CONAND C. 1977), et sporadiquement ensuite.

Ces études montrent que l'activité sexuelle est très étalée au cours de l'année si l'on considère l'ensemble de la région. Elle passe par des pics, séparés par des périodes de repos plus ou moins marquées, et présente une forte variabilité inter-annuelle liée aux conditions climatiques. Les pontes ont deux origines bien distinctes : d'un côté les individus adultes qui se reproduisent au cours de leur migration vers le nord entre fin février et août, de la Guinée Bissau à la Mauritanie, d'un autre côté les jeunes reproducteurs des différentes nurseries. La ponte est fractionnée pour un même individu et la fécondité relative est très élevée (400 oeufs/g), ce qui rejoint les observations effectuées au Congo par GHENO et FONTANA (1981). La taille à la première maturité des femelles (L₅₀) est de 18,5 cm à 20 cm et le sex-ratio est voisin de 1. Un repos sexuel relatif est observé sur l'ensemble de la région en décembre et janvier.

Au niveau du Sénégal, qui a été plus largement étudié, on observe deux périodes de reproduction intense : d'une part de février à juin, avec plusieurs maxima (dont le plus important s'observe en mai-juin), d'autre part de septembre à novembre (fig. 14a). L'étude du R.G.S. par taille montre que les adultes se reproduisent les premiers, de février à mai principalement (ou mars à juin selon les auteurs). Les jeunes reproducteurs ne se joignent à eux qu'à la fin de cette première période, en mai-juin. Ils sont en revanche les seuls à assurer la deuxième ponte, de septembre à novembre, les adultes étant absents du Sénégal.

On relèvera une contradiction apparente entre le schéma de migration de BOELY et al. [2] et les résultats de campagnes larvaires publiés par CONAND F. (1977). Ce dernier montre que, sur la Petite Côte, la reproduction principale est centrée sur les mois de mai-juin, et ce, régulièrement de 1971 à 1976; les dernières campagnes réalisées en 77 et 78 confirment ces dates (fig. 15). Or, d'après ce même auteur, cette ponte serait assurée en majorité par les individus adultes, lesquels disparaissent régulièrement des captures de la Petite Côte à partir de la fin mai, aussi bien pour la pêche artisanale que pour la pêche semi-industrielle. On ne les trouve qu'en quantité réduite dans les captures des chalutiers et sennes industrielles (CHABANNE et ELWERTOWSKI, 1973). Si l'on ne remet pas en cause les données qui paraissent représentatives, la seule explication envisagée pour soutenir la thèse de CONAND est une diminution d'accessibilité, et/ou de vulnérabilité, de ces individus au cours de leur phase de ponte. En effet, les oeufs et larves sont abondants sur les fonds de 30 à 150 m au sud du Cap-Vert où ne pêchent pratiquement pas les pirogues ni les sardiniers. Par ailleurs, il semble que lors du frai, les bancs se dissocient et les poissons se répartissent en très petits bancs (PROBATOV et PUPYSHEV, 1969) et de ce fait seraient peu capturables.

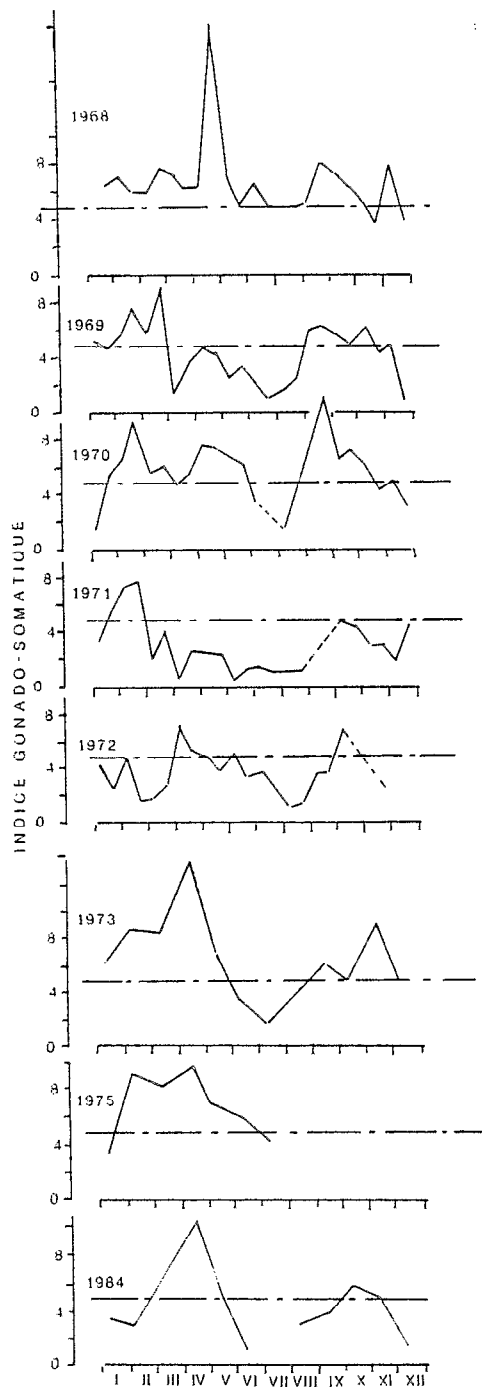


Fig-14a-VARIATION DE L'INDICE GONADO-SOMATIQUE CHEZ S. AURITA (BOELY, 1980). (CAMAREMA: comm. pers.)

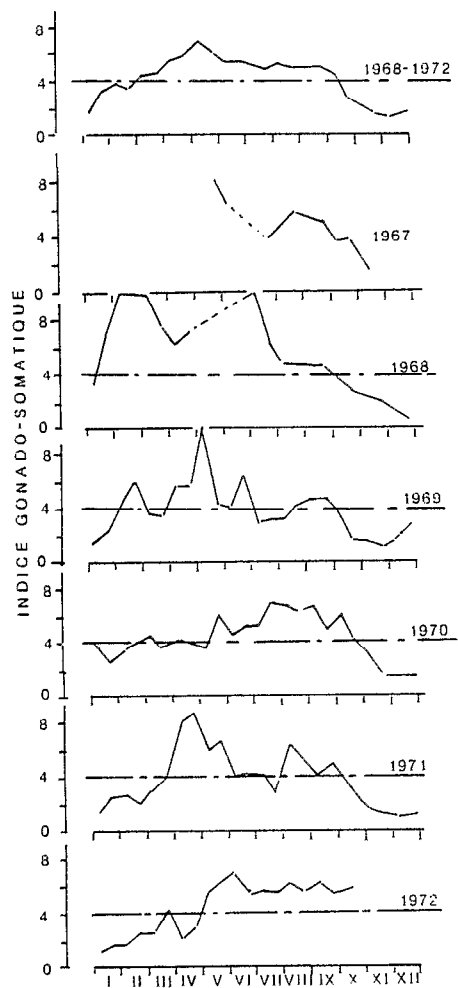


Fig-14b VARIATION DE L'INDICE GONADO-SOMATIQUE CHEZ S. MADERENSIS (BOELY, 1980)

BOELY (1980) pense au contraire que les jeunes reproducteurs seraient responsables de l'essentiel de la ponte en fin de saison principale (juin). Ceci nous semble plus difficile à justifier compte tenu de la faible fécondité individuelle des jeunes reproducteurs par rapport aux adultes (rapport de 1 à 3, d'après CONAND C. (1977)).

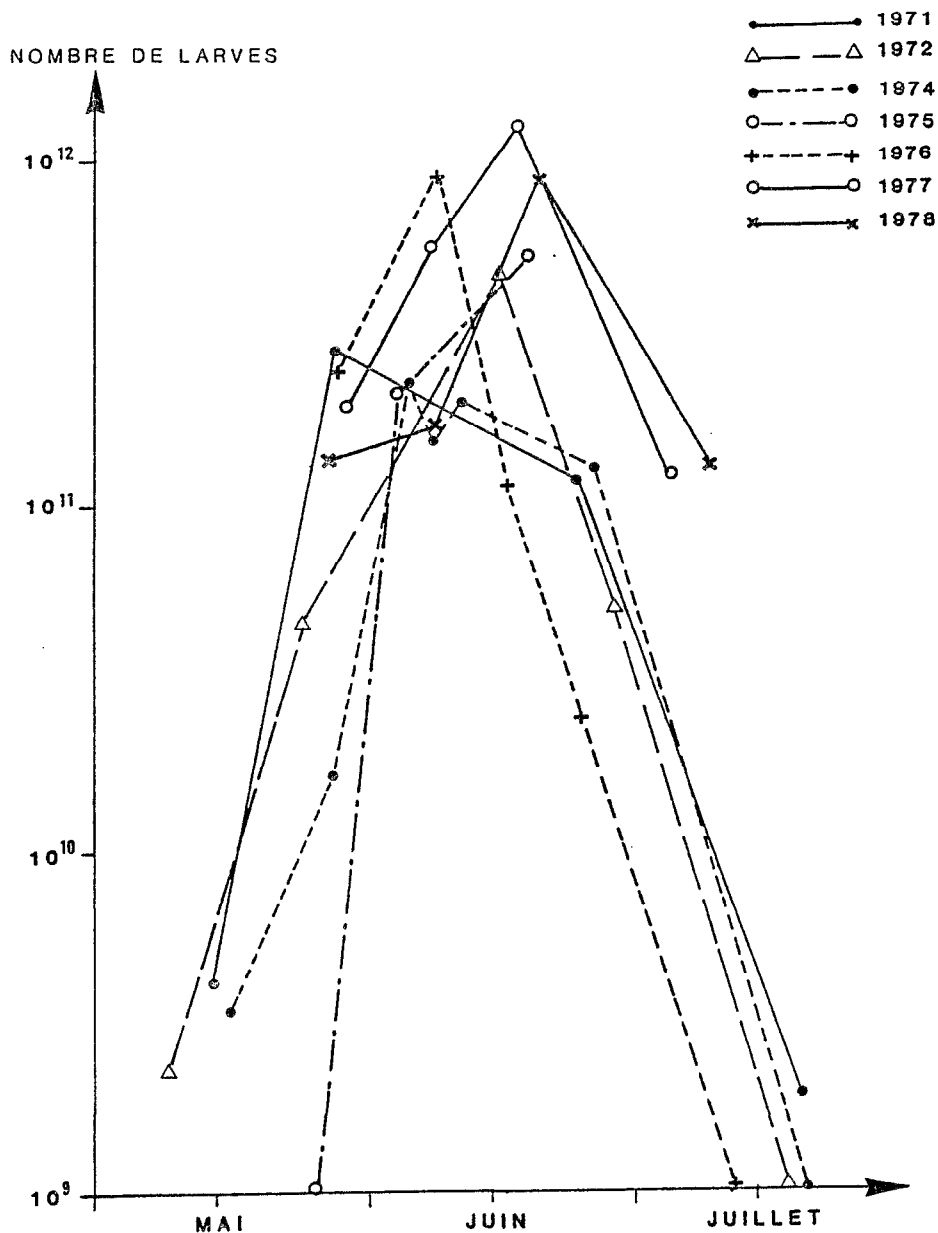


Fig-16 - ABONDANCE DES LARVES PENDANT LA SAISON PRINCIPALE DE PONTE, DE S. aurita de:

1971 à 1976 (CONAND, 1977)

1977 à 1978 (SUISSE DE SAINTE CLAIRE, CONAND ET FREON, non publié)

L'importance relative des deux pontes a été chiffrée d'après les abondances des larves (CONAND F., 1977). Elle est de 10 à 1 à l'avantage de la première ponte, mais 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 qui en résultent.

Le cycle sexuel de Sardinella aurita dans la région sénégal-mauritanienne présente donc les caractéristiques suivantes :

- la ponte est étalée sur la totalité de l'année lorsqu'on considère l'ensemble de la zone, avec une période de reproduction maximale de mai à septembre,

- la zone de ponte principale s'étend de la Gambie au cap Blanc. La ponte ne se déroule pas de façon synchrone sur l'ensemble de la zone, mais il y a un foyer de reproduction maximale qui se déplace du sud vers le nord, et dont les adultes sont les principaux responsables. C'est ainsi que, pour la période de ponte principale, le maximum se situe au niveau de la Gambie au début du mois de juin et arrive au cap Blanc en septembre,

- dans une région donnée, la ponte est très étalée avec deux périodes, une principale et une secondaire, séparées par des périodes de repos sexuel. Cette dernière ponte est assurée par les jeunes reproducteurs.

III. 2.2. Sardinella maderensis

Les conditions d'étude sont ici les mêmes que pour Sardinella aurita. On connaît cependant moins bien la reproduction de cette espèce, en particulier en raison des très faibles captures qui peuvent être réalisées sur le sous-stock d'adultes situé au nord de la zone sénégal-mauritanienne.

Des oeufs et larves de cette espèce sont présents tout au long de l'année sur les côtes sénégalaises. On observe chez les jeunes reproducteurs des femelles aptes à se reproduire, ou en reproduction, sans interruption. Cependant, l'activité sexuelle est plus intense de février à octobre avec un maximum situé entre mai et août, ce pic présentant une forte variabilité inter-annuelle (fig. 14b). La ponte est ici plus côtière que pour l'espèce précédente (fonds de 10 à 50 m). (CONAND et FAGETTI 1971, CONAND et CREMOUX, 1972; BOELY, 1980).

On dispose de peu de renseignements au nord de la presqu'île du Cap-Vert. La ponte se poursuit vers le nord, mais on n'a trouvé des larves que de juin à octobre, avec un maximum en août sur les côtes sud-mauritaniennes (CONAND et FAGETTI, 1971). Plus au nord, en baie du Lévrier, MAIGRET (1972) situerait la période de ponte entre mars et juin.

La reproduction semble ici aussi être de type fractionnée. On ne connaît pas la fécondité, mais elle est probablement du même ordre que pour l'autre espèce, si l'on raisonne par analogie aux observations réalisées au Congo (GHENO et FONTANA, 1981). Le sex-ratio des femelles est voisin de un, et la taille à la première maturité (L₅₀) est de 16,5 cm en moyenne.

III. 3. Alimentation

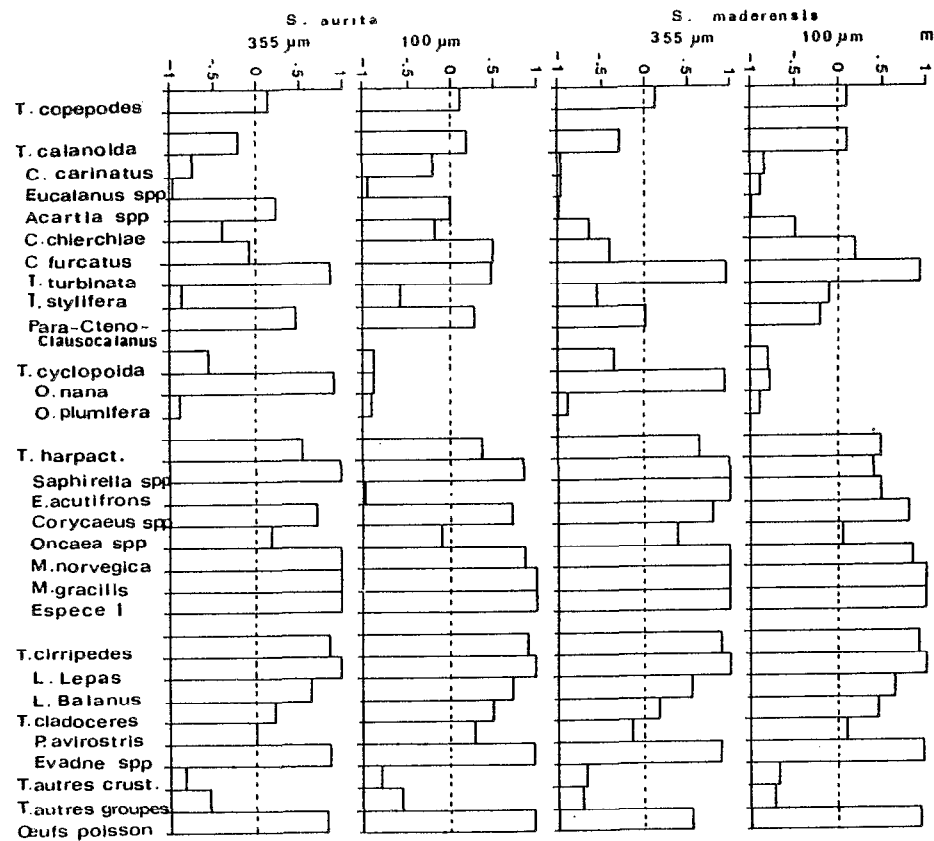
Nos travaux sur ce sujet sont limités à l'observation macroscopique des contenus stomacaux de deux espèces de sardinelles sur un cycle annuel (non publié). Mis à part quelques études sommaires effectuées dans la région avant 1980 (MAIGUY et DOUTRE 1958; POSTEL, 1960; PHAM-TUOC et SZYPULA, 1973), l'essentiel de nos connaissances provient de deux travaux récents réalisés au Sénégal (NIELAND 1980, 1982; MEDINA-GAERTNER, 1985) dont les résultats sont ici résumés.

Les deux espèces présentent des régimes alimentaires très similaires au cours de leur développement, tout au moins pour les phases de vie qui peuvent être observées au Sénégal (rappelons que *S. aurita* est toujours absente des captures sénégalaises vers 15 cm, et que les adultes disparaissent en saison chaude). Cette similitude concerne aussi bien la taille des proies que la composition spécifique de celles-ci jusqu'au niveau des taxons (fig. 16; tabl. 3). Les juvéniles s'alimentent essentiellement de phytoplancton et de micro-zooplancton, tandis que les adultes ont un régime plus pauvre en phytoplancton, en particulier en-dehors des périodes d'upwelling, et plus varié quant à la taille des proies et au choix des espèces. Cependant, d'après l'étude de l'alimentation des principaux stocks de clupéidés côtiers de l'Atlantique Est, NIELAND (1982) conclut que la proportion des différents composants de l'alimentation dépendrait plus de la composition planctonique du milieu que de l'espèce ou de l'âge des prédateurs concernés (comportement trophique opportuniste). On notera toutefois que ses échantillons comportaient très peu de juvéniles et que ceux-ci étaient toujours de taille supérieure à 7 cm.

Dans ses premiers travaux, NIELAND (1980) accordait beaucoup d'importance à ce qu'il nommait "détritus" et que l'on trouve chez toutes les sardinelles capturées près de la côte. Ce sont de petits grains de sable mélangés à des diatomées et à des bactéries, et dont le taux moyen en matière organique est de 46 % de la matière sèche. Dans des travaux ultérieurs, NIELAND (1982) obtient des résultats différents : chez les deux espèces le zooplancton fournit l'essentiel de l'alimentation alors que la part des détritus est faible, voire négligeable. Cette seconde série d'observations a été réalisée en saison froide et plus au large. L'importance des détritus initialement signalée n'est pas nécessairement liée à la méthode de pêche très côtière (senne de plage), mais pourrait provenir de l'ingestion active de particules en suspension près du fond, au cours des périodes de faible abondance du plancton. Il y a peut-être là pour les sardinelles un mécanisme de récupération des surplus de production accumulés dans le seston, qui leur permettrait de réguler leur alimentation malgré la forte variabilité de la production de matière vivante. Il serait intéressant de mesurer la digestibilité de cette matière organique.

Les copépodes constituent toujours une part importante du régime alimentaire, en particulier les harpacticoides, les calanoides, les cyclopoides, auxquels s'ajoutent les larves de cirripèdes et les cladocères (fig. 17).

ADULTES



JUVENILES

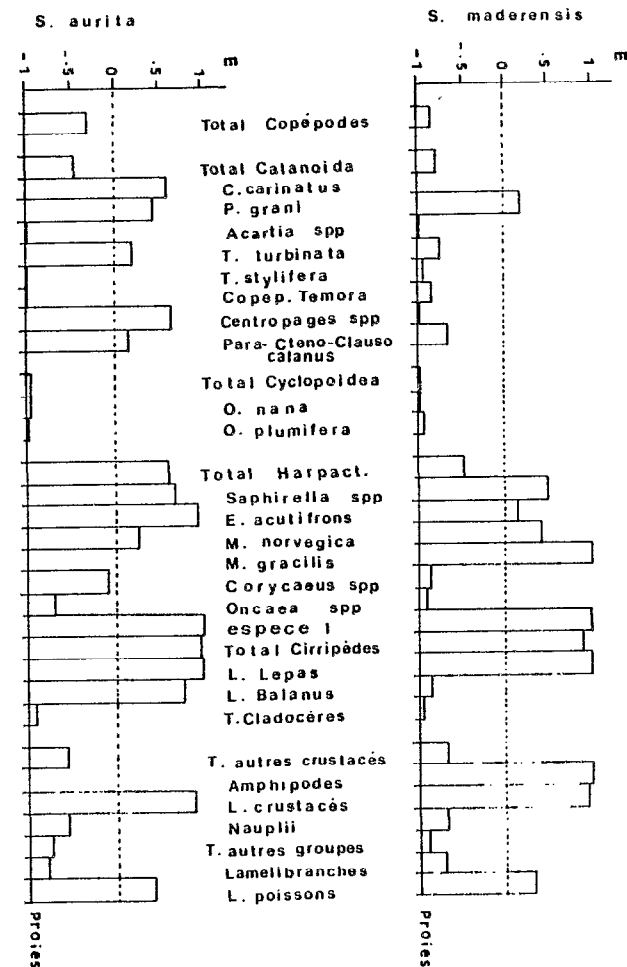


Fig. 16 a - Indices d'electivité par taxons et espèces-proies (zooplankton) trouvées dans les contenus stomacaux des sardinelles en saison froide (MEDINA-GASTNER, 1985)

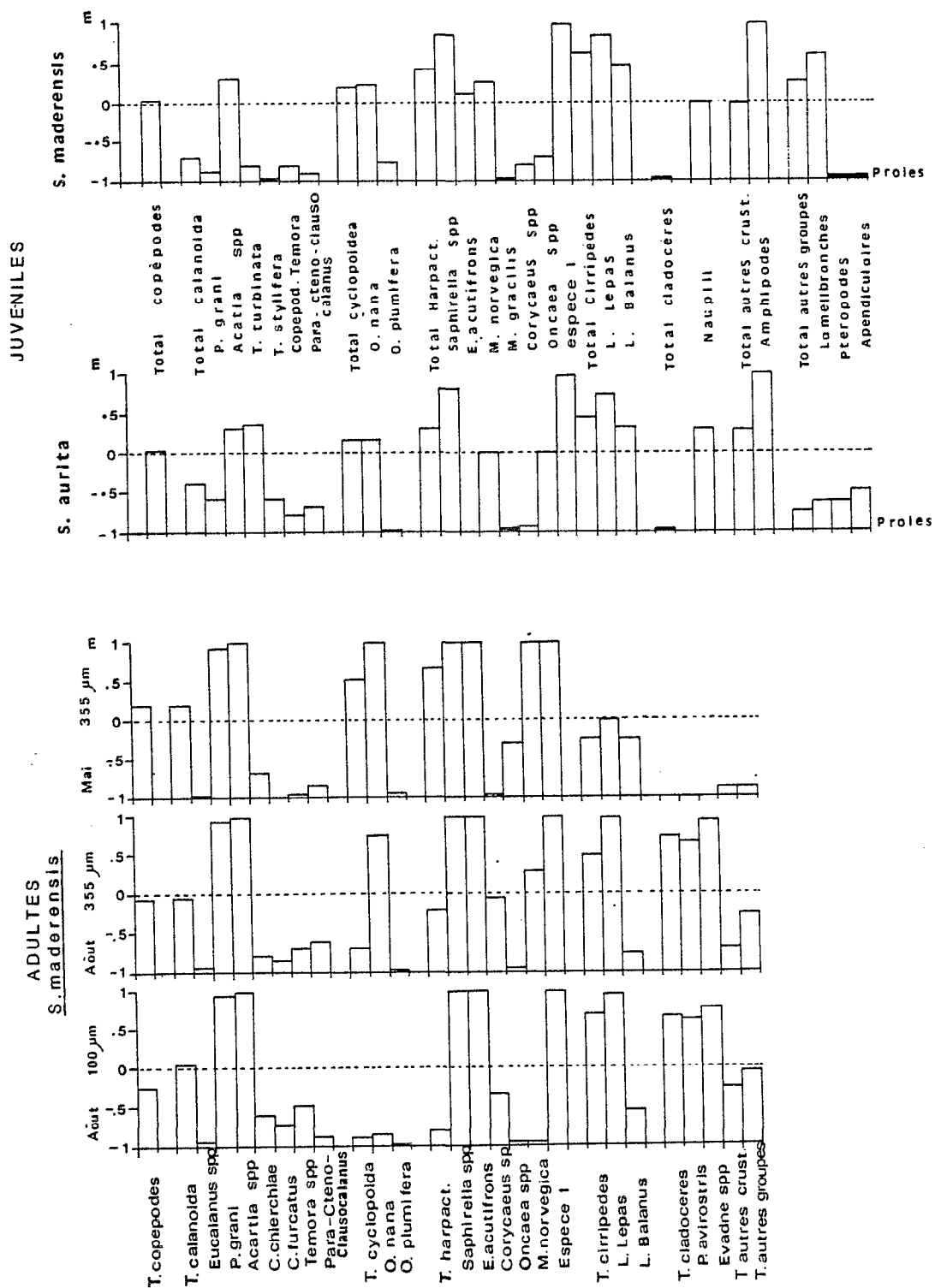


Fig 16 b.- Indice d'électivité par taxon et espèces-proies (zooplancton) trouvés dans les contenus stomacaux des sardinelles en saison chaude (MEDINA-GAERTNER, 1985)

S. maderensis < 19 cm	1.0	Saison chaude : d.l = 27				
S. aurita < 19 cm	0.85**	1.0				
S. maderensis > 19 cm	0.46	0.60**	1.0			
T. Trecae	0.53**	0.60**	0.43	1.0		
S. japonicus	0.40*	0.54**	0.62**	0.59**	1.0	
	S.maderen- sis <19 cm	S. aurita < 19 cm	S.maderen- sis >19 cm	T. trecae	S.japonicus	

S. maderensis < 19 cm	1.0	Saison froide : d.l = 20				
S. aurita < 19 cm	0.56**	1.0				
S. maderensis > 19 cm	0.25	0.18	1.0			
S. aurita > 19 cm	0.25	0.14	0.88**	1.0		
T. trecae	0.57**	0.30	0.39	0.25	1.0	
S. japonicus	0.51*	0.45*	0.02	0.14	0.58**	1.0
	S. maderen- sis < 19 cm	S.aurita < 19 cm	S.maderen- sis >19cm	S.aurita > 19 cm	T.trecae	S.japo- nicus

* significatif au seuil de 5%

** significatif au seuil de 1%

Tableau 3 : Matrice de corrélation des régimes alimentaires de différentes espèces pélagiques côtières au cours de la saison chaude (27 degrés de liberté) et de la saison froide (20 degrés de liberté), d'après MEDINA-GAERTNER(comm. pers.).

Les analyses comparatives réalisées par MEDINA-GAERTNER (1985) sur le zooplancton montrent que, dès le stade juvénile, les sardinelles ont une alimentation qui diffère de celles des espèces pélagiques ou démersales planctonophages de taille comparable et vivant dans le même milieu. Leur mode d'alimentation ne consiste pas simplement en une filtration aveugle des masses d'eau environnantes, mais elles sont capables d'effectuer une certaine sélection des proies, ce qui contredit partiellement la théorie d'une alimentation opportuniste, avancée par NIELAND (1982). Ces proies, chez les juvéniles, figurent parmi les espèces du plancton les plus sensibles aux variations d'environnement en particulier à l'intensité de l'upwelling, comme l'a montré l'étude de deux années consécutives différentes (1983 et 1984), et MEDINA-GAERTNER (1985) de conclure : "La grande spécialisation des juvéniles de sardinelles, qui à première vue semble les protéger de la concurrence des autres juvéniles pour la conquête de leur nourriture, pourrait expliquer la fragilité de leur stock. En effet, bien qu'ils puissent, comme nous l'avons vu, s'adapter à des nouvelles proies, leur éventail de choix reste malgré tout relativement limité... Cela permet de supposer que ce dernier (l'upwelling) joue un rôle important dans leur croissance et sur leur mortalité naturelle."

Nous verrons que nous avons déjà formulé des hypothèses de travail rejoignant ces conclusions, afin de justifier le regroupement des deux espèces de sardinelles dans un même modèle de production faisant intervenir l'intensité de l'upwelling [FREON, 1983].

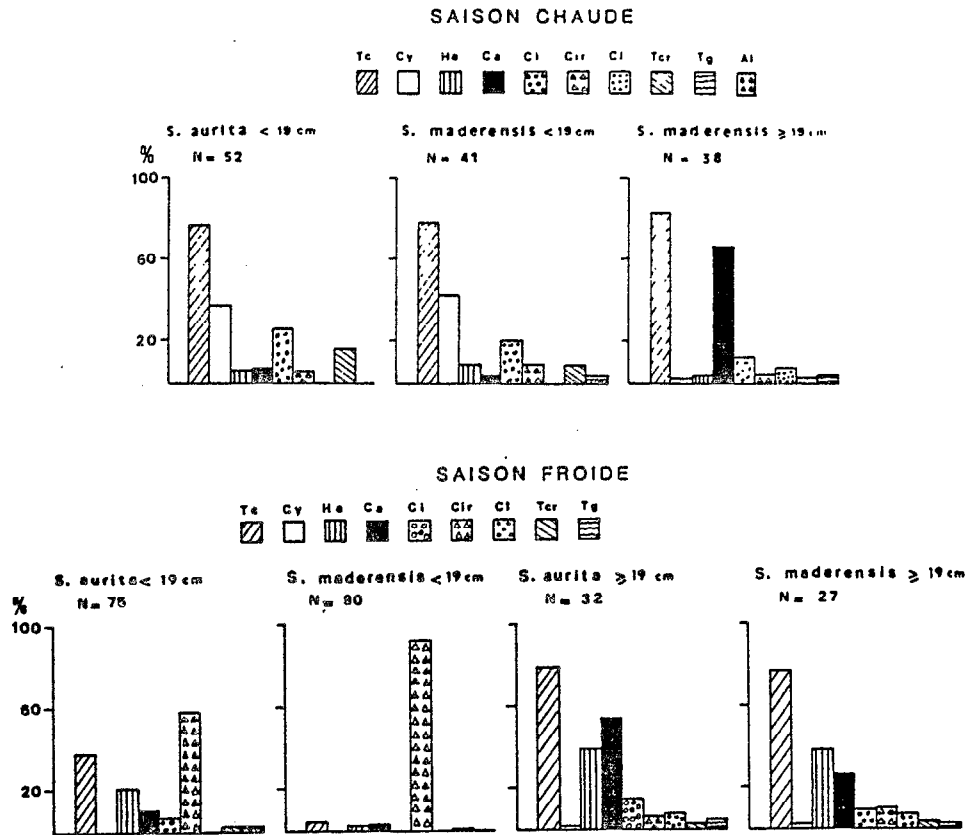


Fig. 17 .- Répartition des proies (zooplancton) dans les contenus stomacaux.
Tc = total copépode; Cy = Cyclopoida; Ha = Harpacticoida; Ci = Copépodites et indéterminés; Cir = larves de Cirripèdes; Cl = cladocères; Tcr = total des autres crustacés; Tg = total autres groupes; Al = algues.

III. 4. Croissance [4]

La croissance des clupéidés en milieu tropical est généralement difficile à étudier, car les méthodes usuelles se heurtent à des obstacles majeurs. Ainsi le suivi des tailles modales (méthode de PETERSEN et dérivées) est-il rendu difficile par la présence de plusieurs poussées reproductives par an ; les marques périodiques sur les diverses pièces anatomiques dures sont dans la plupart des cas nombreuses, variables et difficiles à interpréter ; la méthode de marquage est souvent impossible à mettre en oeuvre car les marques externes provoquent une forte mortalité et peuvent ralentir la croissance des survivants, tandis que les marques internes ne permettent pas (ou sinon à grands frais) de récupérer le poisson avant sa transformation en farine.

Au Sénégal, seule la croissance de Sardinella aurita a été approfondie, initialement par le suivi des classes modales chez les juvéniles et par lecture des écailles chez les adultes, à partir des données récoltées entre 1969 et 1972 (BOELY, 1980). Bénéficiant de cette expérience, ce travail a été repris [4] en y ajoutant des données de fréquence de taille et des observations de croissance en bassin. Ces derniers travaux ont été réalisés en 1976 et 1977, en collaboration avec B. STEQUERT.

III. 4.1. Croissance des juvéniles de Sardinella aurita en mer

CONAND F. (1977) estime que les larves grandissent au minimum de trois centimètres en un mois. Elles gagnent les eaux plus côtières et, sans qu'il y ait de véritable métamorphose, des juvéniles apparaissent entre 4 et 6 cm sur la Petite Côte dans les apports des sennes de plage, dès que les mailles de celles-ci peuvent les retenir. Très abondants, ces juvéniles disparaissent des captures des sennes de plage vers 12 cm.

L'échantillonnage régulier des juvéniles entrepris sur l'ensemble de la baie de Gorée montre que presque toute l'année de nouvelles cohortes sont recrutées dans la pêche à la senne de plage (nous verrons ultérieurement que les variations de rendement sont essentiellement liées à des fluctuations saisonnières de disponibilité). C'est pourquoi le regroupement par quinzaine ou par mois de ces observations ne permet pas de suivre le devenir d'une même cohorte. Cela s'explique par la durée du temps de reproduction sur les côtes sénégalaises et par l'importance relative des diverses poussées reproductives, qui peut d'ailleurs être très différente d'une année à l'autre. BOELY (1980) a choisi de descendre jusqu'au niveau de l'échantillon journalier d'une senne pour suivre les tailles modales. Cependant, le mode d'agrégation en banc des juvéniles, qui ne s'effectue pas au hasard, peut être responsable de l'obtention de modes non représentatifs de l'ensemble de la population, comme nous le verrons ultérieurement. Aussi, en 1976 et 1977, a-t-on effectué un échantillonnage intensif permettant de regrouper les échantillons par semaine.

On observe nettement deux séries de "micro-cohortes" par an, dont l'étude des moyennes vertébrales permet de confirmer l'identité (BEN TUVIA, 1964; GHENO et POINSARD, 1968; BOELY, 1980). La première de mars à août, mais surtout de mai à août, correspond à la ponte de saison froide ; la seconde, d'octobre à janvier, correspond à la ponte de saison chaude. Cela montre déjà que les sardinelles rondes juvéniles ont une croissance rapide. Celle-ci est de l'ordre de trois centimètres par mois, les juvéniles atteignant 12 cm en quatre mois environ. On note une grande variabilité de cette croissance selon les saisons et selon les années.

A partir de 12 cm, les juvéniles quittent les abords immédiats des plages et gagnent des eaux plus profondes. Ceux issus de la reproduction de saison chaude se rencontrent dans les prises des sardinières dakarois de janvier à mai (BOELY, 1980). Les moyennes vertébrales voisines de 47.35, qui sont trouvées chez des poissons de mode 15 cm dans les apports sardinières d'avril 1971, confirment cette appartenance. Ces poissons forment d'importantes concentrations entre la côte et les fonds de 35 mètres, le long de la Petite Côte du Sénégal et surtout au sud de Dakar.

Le groupe issu de la reproduction de saison froide se retrouve rarement dans les pêches sénégalaises. En effet, ces poissons s'enfoncent plus profondément, recherchant probablement des eaux plus froides. Ils sont capturés au chalut, en général lors de campagnes exploratoires entre 35 et 70 mètres de fond.

Il est difficile de suivre la croissance de ces individus par la méthode de PETERSEN, du fait qu'ils ne sont capturés qu'à défaut d'autre chose, c'est-à-dire rarement. Ces poissons réapparaissent dans les pêches sénégalaises (sardinières et artisanales) lorsqu'ils atteignent une taille de 18 à 20 cm. Par ailleurs, il est certain que des mélanges entre poissons issus des deux périodes de reproduction existent déjà à cette taille. En effet, les différences entre les taux individuels de croissance peuvent être importantes et cela, ajouté aux longues périodes de reproduction, tend à fusionner les groupes (cf. chapitre V).

III. 4.2. Croissance des juvéniles de *Sardinella aurita* en bassin

En novembre 1976, plusieurs centaines de juvéniles de sardinelles rondes furent capturées en une seule fois au cours d'une pêche expérimentale au lamparo en baie de Gorée. Ces poissons furent transférés très rapidement dans un bassin en ciment de onze mètres cubes au C.R.O.D.T.

Certaines de ces sardinelles, issues d'un même banc et vraisemblablement de la ponte d'une même journée, vécurent plus de sept mois dans ce bassin à circulation d'eau de mer en circuit fermé. L'eau, constamment aérée, était filtrée sur sable, puis stérilisée par rayonnement ultra-violet pour éviter la prolifération d'algues et de bactéries. Bien qu'à l'abri du soleil, l'eau du bassin a toujours eu une température comprise entre 26° et 28°C. La nourriture de ces juvéniles consistait la plupart du temps en un broyat de chair de poisson, en débris de gonades ou de contenus stomacaux (de sardinelles le plus souvent). Ces conditions de température et de nourriture étaient donc très différentes de celles que rencontraient les individus de la même génération dans la nature.

Toutes les semaines, puis tous les 11 jours environ, les individus présents dans le bassin étaient capturés, anesthésiés et mesurés. On observe que les poissons échantillonnés sur les plages en août 1977 présentent une courbe de croissance analogue à celle des poissons en élevage entre 7 et 11 cm. Cette concordance ne peut être considérée comme la preuve formelle de la validité des résultats en raison des différences importantes existant entre le milieu naturel et celui d'élevage. Toutefois, les expériences en bassin permettent de penser que l'hypothèse d'une croissance rapide en mer, telle que nous l'avons suivie, est fortement probable.

III. 4.3. Croissance des jeunes reproducteurs et des adultes de *Sardinella aurita*

L'interprétation des écailles est difficile et la méthode scalimétrique proprement dite donne des résultats trop variables. Aussi BOELY (1980) n'a-t-il déterminé que l'âge des individus au moment de leur capture. Il semble que le premier anneau se forme au cours de l'une des deux intersaisons marines, en fonction de la date de naissance de l'individu. On peut résumer

ainsi les résultats observés chez les jeunes reproducteurs :

- Pour les individus nés d'avril à juin, donc en saison froide, on considère que la date moyenne de naissance est le premier mai [4, p. 112, fig. 9a]. Le premier anneau chez ces individus de saison froide se marque de décembre à février, huit mois en moyenne après la naissance, à une taille comprise entre 17 et 20 cm suivant la date de naissance à l'intérieur de la saison de reproduction. A partir de mars, ces poissons apparaissent progressivement dans les débarquements des pêches dakaroises et artisanales, se reproduisent et émigrent en Mauritanie. Ils sont alors âgés d'un an et ont une taille moyenne voisine de 21-22 cm.

- Pour les individus nés en saison chaude, on peut considérer que la période moyenne de naissance est le premier octobre [4, p. 112, fig. 9b]. Ces poissons, au contraire des premiers, restent dans la zone d'activité des senneurs dakarois. Leur premier anneau apparaît entre juin et août, soit neuf mois environ après la naissance. Cette marque coïncide avec une émigration des sardinelles rondes hors de la zone de pêche à une taille inférieure à 20 cm.

En conclusion, les jeunes ont entre 8 et 10 mois environ lorsque leur premier anneau se forme et sont âgés d'un an environ lorsqu'ils quittent la nurserie de la Petite Côte après avoir effectué au moins leur première ponte. Ce schéma est compliqué par l'étendue des périodes de reproduction en un même lieu, par les variations de l'importance relative des poussées reproductives à l'intérieur d'une même saison de ponte et par les variations individuelles de croissance. Cela explique le recrutement quasi permanent dans la pêcherie sénégalaise.

Chez les adultes, il faut rappeler que les individus du groupe modal 25 cm ne se rencontrent presque jamais sur les côtes sénégalaises, alors que les adultes de taille modale comprise entre 28 et 30 cm y sont présents pendant six mois de l'année au maximum, de décembre à juin. De très rares prélèvements d'écaillés ont pu être faits en Mauritanie pendant le second semestre.

Comme pour les jeunes reproducteurs, la plupart des adultes ont repris leur croissance lorsqu'ils sont capturés dans les eaux sénégalaises, la formation de l'annulus se situant donc au cours du second semestre dans les eaux mauritaniennes. On peut dénombrer jusqu'à 7 ou 8 anneaux, mais les derniers sont très difficiles à distinguer [4, photo 1 à 6, p. 113]. On constate surtout que très peu d'individus présentent une structure 2+. On passe directement d'un aspect 1+ chez les jeunes à un aspect 3+ chez les adultes. Le rétro-calcul (LEA, 1910) montre que le second anneau se formerait en général entre 24 et 26 cm. Ce calcul semble confirmé par le fait que les quelques écaillés présentant une structure 2+ ont été trouvés uniquement chez quelques rares individus de 25 à 27 cm.

Pour expliquer ces résultats, il faut admettre qu'il se forme deux annuli par an, dont l'un hors du Sénégal, probablement en Mauritanie au cours de la saison chaude, ce qui présente l'avantage de concorder avec le schéma de migration proposé. La seule contre-hypothèse envisageable serait de supposer qu'après avoir quitté la nourricerie de la Petite Côte, les jeunes passeraient une année au nord ou au sud du Sénégal, y achevant leur croissance, et réapparaîtraient un an après sur les côtes sénégalaises. Cependant, ce que l'on connaît des captures de

flottes hauturières n'a jamais indiqué la présence pendant toute l'année, aussi bien en Guinée-Bissau qu'en Mauritanie, d'une importante population de sardinelles rondes de taille comprise entre 23 et 27 cm, modes qui sont pratiquement absents dans la pêche sénégalaise. Au contraire, nous avons vu que les données récentes indiquent une abondance saisonnière de ces tailles modales en Mauritanie. Le déterminisme d'un tel cycle de migration, présentant une période bi-annuelle, serait difficile à expliquer.

En définitive le cumul des résultats obtenus par les différentes méthodes conduit aux paramètres suivants de l'équation de Von BERTALANFFY exprimés en longueur à la fourche :

$$\begin{aligned} L_{\infty} &= 30,63 \text{ cm} \\ K &= 1,206 \text{ (annuel)} \\ t_0 &= -0,062 \text{ an} \end{aligned}$$

Des travaux visant à vérifier les résultats obtenus arrivent en phase terminale au CRODT et aboutissent à des résultats très proches (CAMAREMA, comm. pers.). La validité de cette vérification reste limitée par le fait que la même méthode de détermination de l'âge a été utilisée.

La croissance serait donc très rapide et de courte durée, les individus atteignant 21 à 22 cm en un an, et en trois ans une taille proche de la taille maximale moyenne qu'atteint cette espèce (fig. 18). Ces résultats diffèrent par certains points de tous ceux déjà obtenus en Méditerranée et dans l'océan Atlantique. En Méditerranée, la différence porte surtout sur les valeurs de L_{∞} qui sont beaucoup plus faibles que les nôtres, du fait que l'espèce atteint une taille maximale beaucoup plus petite qu'au Sénégal ; la vitesse de croissance y est également plus faible, ce qui peut s'expliquer par un environnement en général plus froid, une période hivernale bien marquée et une nourriture bien moins abondante.

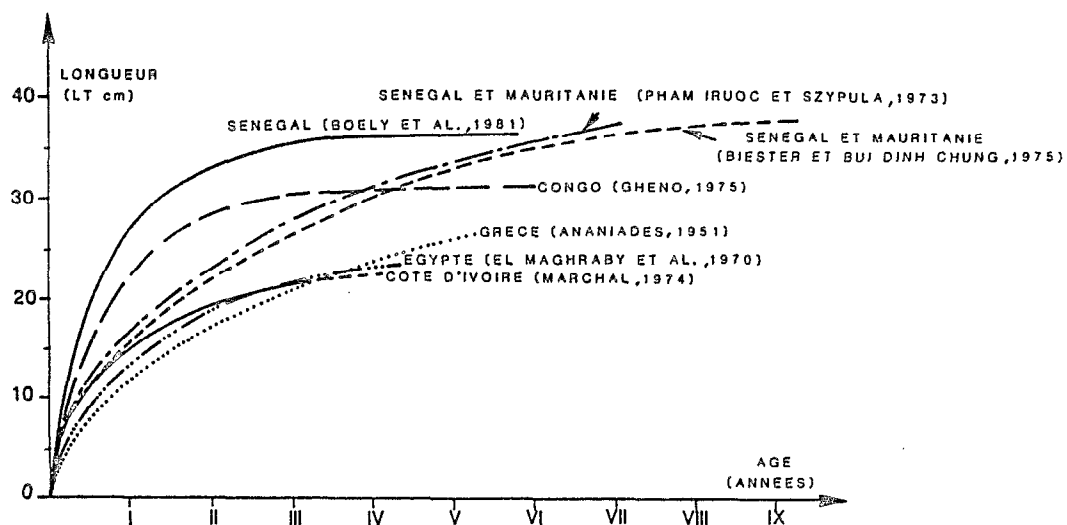


Fig-18 - COMPARAISON DES COURBES DE CROISSANCE DE SARDINELLA AURITA
OBTENUES PAR DIFFERENTS AUTEURS [4]

En revanche, la différence est considérable entre nos résultats et ceux obtenus par PHAM TUOC et SZYPULA (1973) d'une part, et BIESTER et DINH CHUNG (1975) d'autre part, à partir de poissons capturés au large du Sénégal et de la Mauritanie. Cela ne peut s'expliquer que par une interprétation totalement différente des écailles. Ces auteurs attribuent des âges élevés et surtout paraissent avoir sous-estimé la vitesse de croissance des juvéniles et des jeunes reproducteurs. L'échantillonnage de ces auteurs a été réalisé à bord de chalutiers qui exploitaient essentiellement le stock d'adultes. Les jeunes et juvéniles ont donc été nettement sous-échantillonnés, ce qui n'a probablement pas permis d'étudier la période de formation de l'annulus par étude de l'accroissement marginal.

Au contraire, notre courbe de croissance est similaire à celle obtenue au Congo par GHENO (1975), où le coefficient k est proche de 1 et la période de croissance rapide est terminée dès la troisième année. Nous verrons cependant que la validité de notre courbe de croissance est loin d'être certaine (chap. V).

III. 4.4. Croissance de Sardinella maderensis

On peut supposer que, comme chez Sardinella aurita, la croissance des larves est très rapide, de l'ordre de 3 cm en un mois. Les larves gagnent les eaux côtières et les juvéniles apparaissent dans les sennes de plage à partir de 5-6 cm.

L'étude de la croissance de cette espèce est très difficile, en particulier du fait que les pics de reproduction sont encore plus étalés et variables que ceux de l'espèce précédente, et que les individus adultes sont pratiquement absents des captures.

1er LOT

Dates	Moyenne	Ecart type	Effectif mesuré
21.10.76	80.45	4.17	145
29.10.76	84.13	3.68	47
5.11.76	92.43	4.00	40
12.11.76	96.41	4.04	39
19.11.76	101.75	4.48	40
23.11.76	101.42	4.93	38
30.11.76	104.56	5.09	39
7.12.76	106.63	5.69	40
16.12.76	111.33	5.82	39
24.12.76	115.81	6.66	37
31.12.76	118.03	6.96	36
8.01.77	121.46	7.40	33
17.01.77	123.77	7.93	30
27.01.77	127.81	8.87	31
7.02.77	133.31	8.65	29
17.02.77	136.10	9.51	29
1.03.77	138.33	10.01	30
15.03.77	142.63	10.19	30
25.03.77	145.08	9.06	25
5.04.77	148.46	8.84	24
19.04.77	151.39	10.43	23
5.05.77	156.53	9.89	17

2ème LOT

Dates	Moyenne	Ecart type	Effectif mesuré
20.01.77	69.9	3.42	30
27.01.77	72.1	3.94	25
7.02.77	80.6	4.36	25
17.02.77	88.6	4.68	24
1.03.77	95.8	5.67	25
15.03.77	102.5	5.40	24
25.03.77	103.3	4.76	20
5.04.77	108.0	4.71	19
19.04.77	112.3	5.40	18
5.05.77	115.6	6.49	18
20.05.77	120.3	8.05	19
4.06.77	123.8	8.50	15

Tableau 4. : Résultats de l'élevage en bassin de Sardinella eba au C.R.O.D.T.
(Par FREON P. et STEQUERT B. non publié)

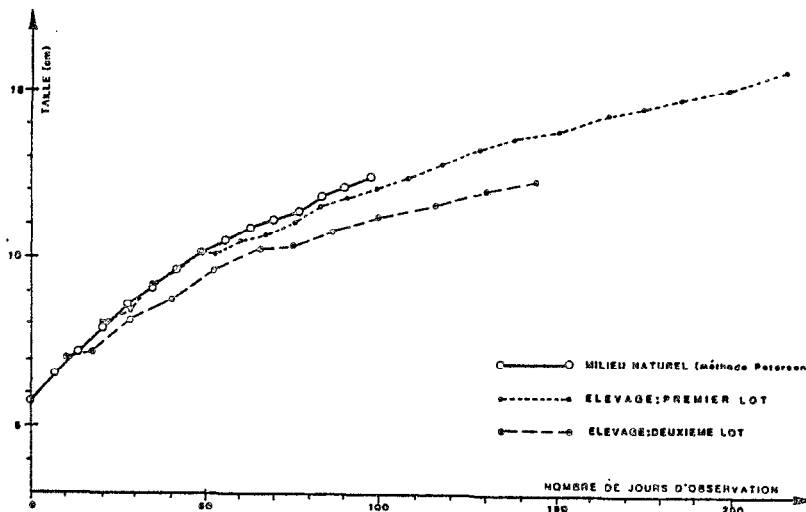


Fig- 19 - CROISSANCE DE *SARDINELLA MADERENSIS* JUVÉNILES D'APRÈS DES OBSERVATIONS RÉALISÉES EN ÉLEVAGE ET D'APRÈS UN ÉCHANTILLONNAGE INTENSIF DES SÉNES DE PLAGE EN BAIE DE GORRE EN SAISON CHAUDE 1977 (Données de FREON et STEQUERT, non publiées)

BOELY (1980) a pu suivre quelques micro-cohortes de juvéniles entre 6 et 10 cm en 1969, 1971 et 1972. La croissance serait de l'ordre de 2,5 à 3 cm par mois jusqu'à 9 cm et se ralentirait vers 10 cm. Des observations similaires ont été réalisées en 1976 et 1977 en équipe avec B. STEQUERT, ainsi que l'élevage en bassin durant plus de 6 mois de juvéniles capturés à une taille moyenne de 8 cm (tabl. 4 et fig. 19). Nos résultats corroborent ceux de BOELY (1980), qui suppose que vers un an les jeunes reproducteurs atteignent la taille de 18-19 cm. Les travaux de CAMARENA (comm. Pers.) aboutissent à des valeurs similaires, obtenues par lecture des écailles (17 à 18 cm à l'âge de 1 an).

III.5. Relation taille-poids et facteur de condition [5,6]

Les relations taille-poids ont d'abord été calculées pour les deux espèces de sardinelles (et pour d'autres espèces) à partir de données récoltées par BOELY pour l'essentiel, entre 1968 et 1972 [FRANQUEVILLE et FREON, 1976]. Ce travail a été ensuite complété grâce à de nouvelles mesures que nous avons réalisées avec B. STEQUERT en 1976 et 1977 sur les juvéniles de longueur à la fourche inférieure à 10 cm, qui étaient absents de la première série de données [5]. Puis BOELY (1980), reprenant les données antérieures à 1972, a effectué une étude approfondie des relations taille-poids en fonction du sexe et de la saison, ainsi qu'une étude du facteur de condition.

Par ailleurs, à l'occasion du groupe de travail sur la reproduction des espèces exploitées du golfe de Guinée [ANONYME, 1979], il est apparu utile de revoir certaines notions concernant les relations taille-poids, les facteurs de condition et les indices de maturité sexuelle (RGS et IGS). Bien que ces sujets aient donné lieu à des publications dans le passé, des controverses ont encore lieu, certains calculs présentent des biais et les interprétations des résultats sont souvent douteuses. POSTEL (1973) allait jusqu'à dire que "le problème du coefficient de condition est nébuleux chez une grande partie des auteurs qui l'ont abordé", ceci en raison peut-être de l'ancienneté des ouvrages de base.

Ce travail [6] s'attache à rappeler les notions de base en tentant d'interpréter au mieux la signification des formules utilisées. De plus, les principaux biais de calcul sont signalés et les risques d'erreur d'interprétation mentionnés. On résumera ici les principaux résultats, dont certains seront appliqués à une étude critique des travaux réalisés sur les sardinelles.

III 5.1. Relations taille-poids.

Les relations taille-poids calculées avec le plus grand nombre de classes de tailles, en utilisant la relation $P = aL^n$, conduisent aux résultats suivants [5] :

<u>Sardinella aurita</u>	: $P = 6.392 \cdot 10^{-3} L^{3.274}$	N = 2433
<u>Sardinella maderensis</u>	: $P = 1.034 \cdot 10^{-2} L^{3.142}$	N = 1840

où P représente le poids des individus, L leur longueur à la fourche et N l'effectif sur lequel ont porté les calculs. On note que les deux espèces, et plus particulièrement Sardinella aurita, présentent une allométrie majorante puisque l'exposant n est supérieur à 3. L'utilisation d'une relation du type $P = cL^3$ ne serait donc pas judicieuse ici.

L'ajustement de la droite de régression au nuage de points a été réalisé par régression linéaire après transformation logarithmique. Cette méthode a été retenue dans ce travail, dont la finalité essentielle était de présenter une clé taille-poids utilisable pour les calculs de dynamique des populations, car elle offre de bonnes qualités prédictives. Elle présente cependant l'inconvénient de sous-estimer la valeur de n, mais ce biais est ici réduit car on a utilisé des valeurs moyennes de poids par classe de tailles. En revanche, si l'on veut effectuer des calculs de biométrie, on retiendra "la droite de TEISSIER", (axe majeur réduit) comme l'a fait BOELY (1980).

L'utilisation des poids moyens par classe de taille peut engendrer en contre-partie certains biais ou certaines erreurs si un minimum de précautions ne sont pas prises [6] :

1. Toutes les classes de tailles auront la même "force" indépendamment de leurs effectifs, lors de la détermination des paramètres de la relation : par exemple une classe de tailles représentée par quelques individus jouera le même rôle qu'une autre classe représentée par un grand nombre. Si les points sont très bien alignés cela n'aura que peu d'influence sur les résultats obtenus ; s'il en est autrement, de graves erreurs peuvent en découler, en particulier lorsqu'une classe de taille n'est constituée que de quelques individus non représentatifs. Aussi, dans nos calculs, les effectifs sont-ils limités à 50 individus par classe de 0,5 cm et la représentativité des quelques classes de taille de faible effectif a-t-elle été testée.

2. De façon pragmatique, les moyennes L_i de chaque classe de tailles sont parfois remplacées par les valeurs M_i des médianes correspondantes, afin d'éviter le calcul de ces moyennes. Cette approximation est généralement bonne pour les valeurs centrales de la distribution des tailles de l'échantillon, surtout si les effectifs des classes sont nombreux et si les intervalles de ces dernières sont réduits. En revanche, pour les classes de tailles situées aux extrémités de la plage d'observation, un

biais peut être introduit par l'utilisation de médianes. En effet, si la distribution des tailles dans la population échantillonnée est d'allure gaussienne, au sein de ces classes, les individus ne seront pas distribués au hasard (fig. 20) ; ils seront toujours plus nombreux du côté de la borne la plus proche du centre de la distribution des fréquences de tailles. De ce fait on obtiendra généralement $M_i < L_i$ pour les petites tailles et $M_i > L_i$ pour les grandes tailles. Ces deux erreurs sont donc cumulatives au niveau de la détermination de la pente, celle-ci étant sous-estimée. Ce biais peut être très important si les intervalles de classe sont grands. Des simulations montrent qu'il peut conduire à des sous-estimations de n allant de 10 à 35 % si les classes de tailles sont de 1 cm. Pour cette raison nous avons utilisé des classes de tailles de 0,5 cm dans nos calculs.

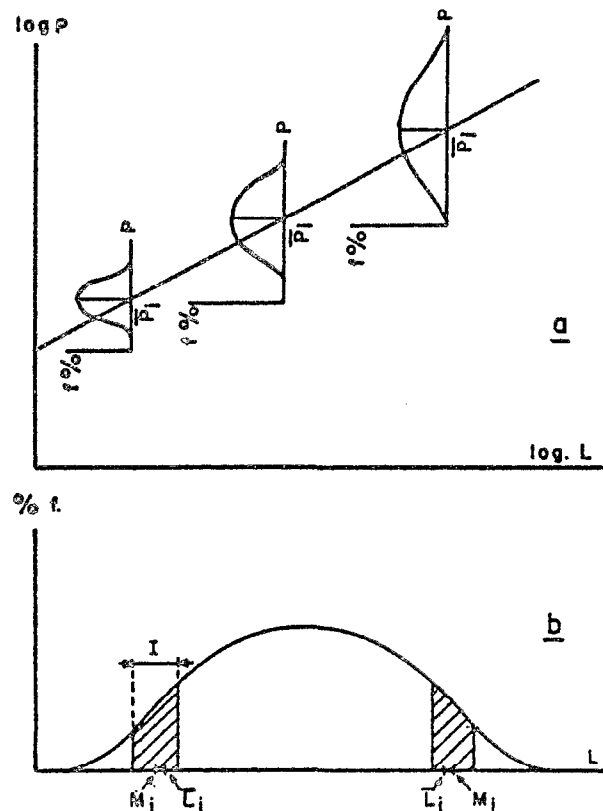


Fig. 20 - Schémas généraux d'une répartition habituelle des longueurs et des poids des individus au sein d'un échantillon [6] .

3. Ce troisième biais est lié à la non linéarité de la relation taille-poids et ne sera pas développé ici, car il est toujours faible dans les calculs qui nous intéressent, du fait que les classes de tailles sont étroites [6].

III. 5.2. Variabilité et facteur de condition

La variabilité du matériel biologique est responsable de la dispersion du nuage de points autour de la droite de régression de la relation taille-poids. En effet, par rapport à la droite théorique, un individu donné peut présenter un poids plus ou moins élevé en fonction de nombreux facteurs (morphologie propre de l'individu, état d'engraissement, sexe, stade sexuel, densité propre, état de réplétion du tube digestif, etc.). C'est pour mesurer indirectement l'un de ces facteurs que l'on étudie les variations du facteur de condition (en particulier l'état d'engraissement et le stade de maturité sexuelle), mais il est souvent difficile de distinguer leur contribution respective.

Les appellations facteur de condition ou coefficient de condition correspondent en fait aux différents paramètres mathématiques qui ont été définis pour mettre en évidence l'écart existant entre le poids réel d'un individu (ou le poids moyen d'une classe de tailles) et son poids théorique d'après la relation taille-poids. Ces facteurs de condition ne doivent pas être confondus avec les paramètres c et a des formules générales des relations taille-poids auxquels on donne parfois le même nom. Pour éviter cette confusion nous appellerons facteurs de condition relative les premiers, et leur notation sera suivie de l'indice i , alors que les seconds seront notés simplement c et a et appelés facteurs de condition moyenne.

III. 5.2.1. Facteurs de condition relative issus de la formule $P = cL^3$

Le premier type de facteur de condition individuel utilisé est le facteur de condition de FULTON (1911) :

$$c_i = \frac{P_i}{L_i^3}$$

POSTEL (1973) a proposé de le désigner par le terme de facteur composite de condition, du fait que sa valeur tient compte à la fois de la condition du poisson et du coefficient d'allométrie propre à son espèce, comme nous le verrons ultérieurement.

Dans cette formule, c_i , variable en fonction des unités de poids et de longueur choisies, est souvent un nombre décimal peu pratique, aussi différentes formules ont été proposées pour obtenir des valeurs proches de 1. Citons par exemple la formulation de HILE (1936) :

$$K_i = \frac{100P_i}{L_i^3}$$

Avec P_i en grammes et L_i en cm, K_i est alors appelé en anglais condition-factor ou coefficient de condition ou encore pondéral index. En français on utilise les termes de coefficient de condition ou facteur de condition.

III. 5.2.2. Facteur de condition relative issus de la formule $P = aL^n$

LE CREN (1951) propose d'utiliser un facteur de condition relative, pour chaque classe de tailles, tel que :

$$Kn_i = \frac{P_i}{aL_i^n}$$

a et n ayant été déterminés par une droite d'ajustement du nuage de points $\log P_i$, $\log L_i$ (de préférence l'axe majeur réduit dans ce cas). La formule précédente peut être représentée par :

$$Kni = \frac{P_i}{P_{st}}$$

où P_i est le poids observé d'un individu, et P_{st} le poids standard de cet individu d'après la relation taille-poids : $P=aL^n$. Dans ce cas, $Kni-1$ représente la déviation d_{PL} par rapport au poids standard $P_{st}=1$. Par exemple $Kni=1,043$ est équivalent à : $(P_{st} + d_{PL})P_{st}$, où $P_{st}=1,000$ et $d_{PL}=0,043$. Ainsi, le poids P_i de l'individu considéré est supérieur de 4,3 % à celui estimé par la régression de P sur L.

Dans le même ordre d'idée, POSTEL (1973) a proposé d'utiliser a_i comme facteur net de condition en tirant sa valeur de la formule $P=aL^n$:

$$a_i = \frac{P_i}{L_i^n}$$

Mais dans ce cas P_i et L_i sont les valeurs observées pour un individu ou une classe de tailles, alors que n est le coefficient de régression de P sur L.

L'intérêt du vocable utilisé par POSTEL (1973) est d'opposer a_i au facteur composite de conditions c_i précédemment défini et dont la signification est différente comme nous allons le voir.

III. 5.2.3. Comparaison des fonctions $P = cL^3$ et $P = aL^n$

Pour comparer ces deux fonctions puissance il est plus pratique de les transformer en expression logarithmique.

$$\log P = 3 \log L + \log c \quad (1)$$

$$\log P = n \log L + \log a \quad (2)$$

Si l'on considère un nuage de points représentant les logarithmes des tailles et des poids d'une espèce de poisson (fig. 21), la droite D de la fonction (1) est automatiquement ajustée, elle a pour pente 3 et passe par le centre de gravité G du nuage de points.

La droite E de la fonction (2), demande un ajustement; elle passe aussi par G, mais sa pente n'est pas obligatoirement égale à 3, comme dans le cas des sardinelles, où elle représente mieux le nuage de points.

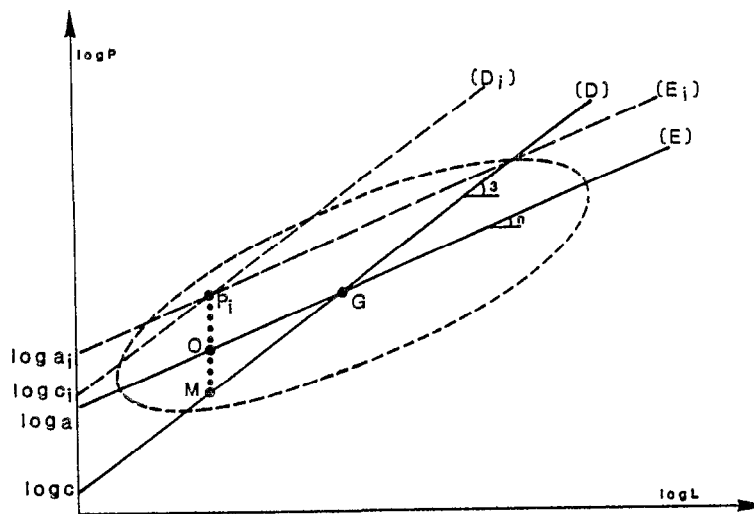


Fig-21- SCHEMA COMPARANT LES RELATIONS POIDS-LONGUEURS DE TYPE $P=cL^3$ (droite D) ET DE TYPE $P=aL^n$ (droite E)

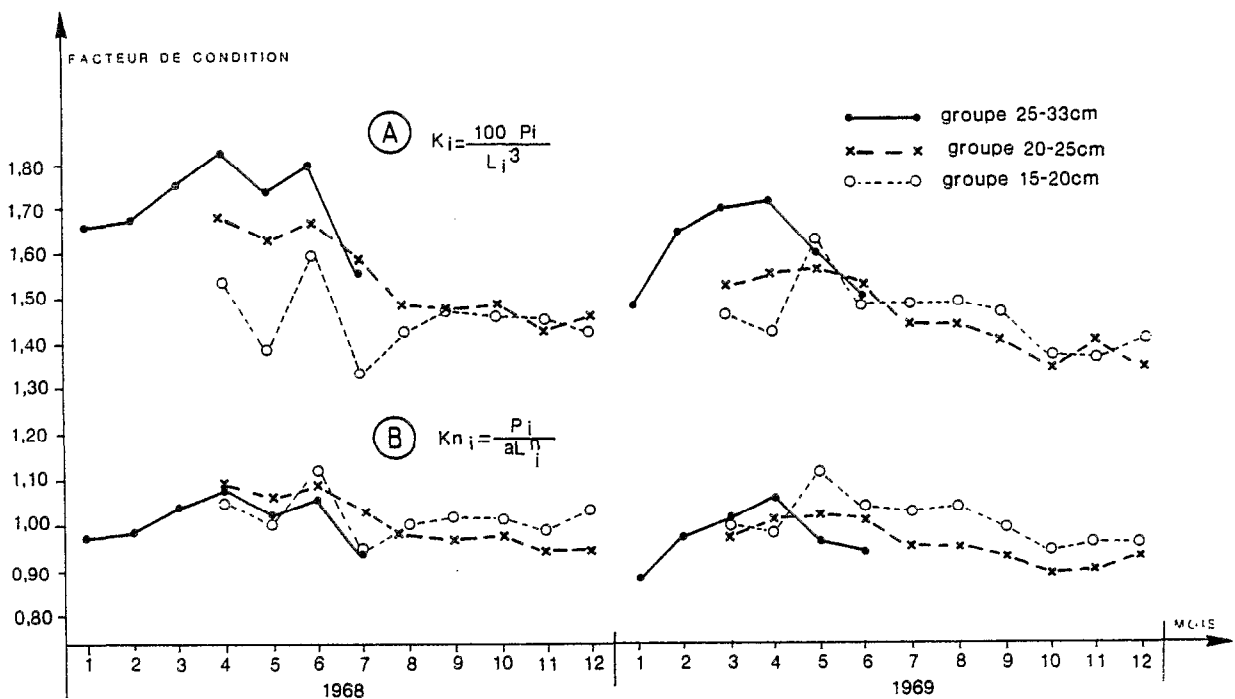


Fig- 22- SARDINELLA AURITA

(A) VARIATION MENSUELLE DU FACTEUR DE CONDITION COMPOSITE DE HILE (d'après BOELY,1980)

(B) VARIATION MENSUELLE DU FACTEUR DE CONDITION RELATIVE

Si l'on considère maintenant un poisson individuel représenté par le point P_i fonction de sa condition telle que nous l'avons précédemment définie, il sera plus ou moins lourd que le poids standard attendu d'après l'une ou l'autre des relations taille-poids (1) et (2). Pour que les droites D_i et E_i passent par le point P_i , il faudra donc leur attribuer des coordonnées à l'origine c_i et a_i , différentes de c et a . Celles-ci permettront en fait d'estimer la condition relative du poisson. En effet, il est important de souligner que toutes les formules définissant les facteurs de condition relative font appel à c_i ou à a_i , ou encore aux rapports c_i/c ou a_i/a .

Il est donc intéressant de pouvoir comparer a_i et c_i afin de pouvoir comparer les coefficients de condition issus des formules :

$$P = cL^3 \quad \text{et} \quad P = aL^n$$

Pour cela nous proposons d'interpréter la fonction suivante reliant c_i et a_i d'après les relations (1) et (2) :

$$\log c_i = (n-3) \log L_i + \log a_i \quad (3)$$

d'où il résulte que :

- si $n = 3$, $c_i = a_i$ et les deux formules sont équivalentes.
- si $n > 3$, c_i sera une fonction croissante de L_i du type exponentiel :

$$c_i = a_i L_i^x \quad \text{avec } x = n-3 ; x > 0$$

- si $n < 3$, c_i sera une fonction décroissante de L_i du type exponentiel :

$$c_i = a_i L_i^x \quad \text{avec } x < 0$$

Dans les deux derniers cas, des erreurs d'interprétations des résultats obtenues à partir de coefficients de condition issus de la formule (1) peuvent avoir lieu. Ainsi, dans son analyse des coefficients de condition K de HILES (1936) par saison et par classe de taille, BOELY (1980, p. 87 et 88) conclut que le facteur de condition moyen mensuel de chaque groupe de tailles peut être très différent au cours du premier semestre et qu'il est en moyenne supérieur en 1968 par rapport à 1969 (fig. 22a). En fait, le coefficient de HILES (1936) est dérivé de la formule $P = cL^3$ et donc mal adapté au cas de cette espèce. Si l'on calcule les facteurs de condition relative K_{ni} à partir des mêmes données, on obtient une figure totalement différente, qui indique au contraire une relative similitude des facteurs de condition des diverses classes d'âge (fig. 22b). On observe également sur cette nouvelle figure que la différence entre 1968 et 1969 n'est plus aussi marquée (même en valeur relative). Ceci tient au fait que la taille moyenne à l'intérieur des trois groupes de taille est parfois différente d'une année à l'autre, ce qui biaise la comparaison effectuée à l'aide d'un facteur composite de condition. Les relations entre les fluctuations inter-annuelles du facteur de condition et de l'environnement ne sont pas toujours simples à interpréter: divers travaux semblent indiquer que dans bien des cas des conditions favorables à la reproduction vont augmenter l'abondance, et par là la compétition en-

tre individus, d'où l'existence d'une corrélation négative entre abondance et facteur de condition. On trouvera chez BELVEZE (1984) un tel exemple ainsi qu'une analyse bibliographique du sujet.

Ces remarques n'enlèvent pas de valeur au travail méticuleux de BOELY (1980), qui a également basé son analyse sur les variations mensuelles du poids moyen par classe de tailles d'un centimètre, ce qui reste encore le plus sûr moyen pour ne pas introduire de biais de calcul.

III 5.3. Application aux indices de maturité sexuelle.

Le calcul des rapports gonado-somatiques (R.G.S) et celui de l'indice gonado-somatique (I.G.S) s'apparentent à celui des facteurs de condition, ce qui explique la présence ici de quelques réflexions théoriques sur ce sujet.

Si PG est le poids des gonades, on peut définir ces deux indices par :

$$\text{R.G.S} = \frac{\text{PG}}{\text{P}} \quad (4) \quad \text{et} \quad \text{I.G.S} = \frac{\text{PG}}{\text{L}^3} \quad (5)$$

Ce deuxième indice a l'avantage de ne pas nécessiter la mesure du poids total de l'individu pour son calcul, poids qu'il n'est pas toujours facile d'obtenir pour les individus de grand format (exemple des thonidés).

Si l'on considère des individus théoriques, répondant parfaitement à la relation poids-longueurs $P=al^n$, la relation (4) devient :

$$\text{RGS} = \frac{\text{PG}}{aL^n}$$

Du point de vue mathématique, la différence existant entre les formules (4) et (5) est la même que celle existant entre les formules définissant le facteur de condition de FULTON et le facteur de condition relative, et tout ce qui a été dit précédemment s'applique ici. En particulier, lorsque la croissance est allométrique, les variations de l'indice gonadique IGS en fonction de la taille L devront être interprétées avec prudence ; si l'allométrie est majorante, IGS sera une fonction croissante de L ; si, à l'inverse, l'allométrie est minorante, IGS diminuera avec l'augmentation de L.

La comparaison des deux indices RGS et IGS est encore plus hasardeuse que celle des coefficients de condition c_i et a_i , du fait qu'ici le numérateur concerne le poids des gonades, alors que le dénominateur concerne la longueur du corps de l'individu. La relation entre RGS et IGS dépendra donc de divers facteurs, parmi lesquels se trouve le coefficient d'allométrie n propre à l'espèce.

Afin de supprimer l'influence de ce dernier facteur, nous proposons d'utiliser un "indice gonado-somatique net" IGS_n tel que :

$$\text{IGSn} = \frac{\text{PG}_i}{\text{LT}}$$

Dans ce cas l'indice IGS défini par la formule (5) peut être considéré comme un "indice gonado-somatique composite".

L'interprétation des résultats obtenus serait plus facile du fait que l'indice IGSn correspond au rapport du poids observé des gonades d'un individu à son poids total standard attendu d'après la relation d'allométrie propre à son espèce. Cette formulation présente l'avantage de ne pas faire intervenir la condition relative de l'individu considéré, contrairement à la formule du RGS, tout en permettant d'éviter de peser les individus.

IV. LES PECHERIES [1, 7, 8, 9, 10]

"Les pirogues s'en vont
Les pirogues s'en viennent
Et mes souvenirs deviennent
Ce que les vieux en font."

J. BREL

Hormis les collectes de statistiques par les diverses administrations des pêches et les travaux historiques dont on trouvera une analyse complète dans CHAUVEAU (1985), l'étude des pêcheries a débuté en 1966 avec la création du CRODT. Les pêcheries industrielles ont été étudiées successivement par C. CHAMPAGNAT, T. BOELY, J. CHABANNE et des experts de la FAO, dont J. ELWERTOWSKI. Nous avons assuré l'informatisation de l'ensemble du traitement des données, avec l'aide d'un informaticien du CRODT (M. NDIAYE). Les données récentes ont été communiquées par J. LOPEZ, puis par J. J. LEVENEZ et B. SAMB. Les pêches artisanales ont été étudiées plus tardivement et plus ponctuellement jusqu'en 1977. Nous avons relancé un programme d'enquête sur la Petite Côte tandis que sur la côte nord les travaux de C. CHAMPAGNAT ont été repris et développés par P. BERGERARD et A. SAMBA, puis par une nombreuse équipe de chercheurs et techniciens regroupés sous le nom de SOCECO-PECHART, qui prend actuellement en charge la collecte des statistiques artisanales sur l'ensemble du Sénégal. Les études de socio-économie ont débuté en 1977 avec un expert FAO : W.S. BRUGGE, puis ont trouvé leur plein essor avec l'arrivée de J. WEBER en 1979. Nous avons travaillé en équipe avec ces deux chercheurs. L'étude de la pêche d'appât par les thoniers a été entreprise par B. GOBERT à partir des fichiers constitués par "l'équipe thon" du CRODT (successivement C. CHAMPAGNAT, W. BOUR, R. PIANET, P. CAYRE, A. FONTENEAU et T. DIOUF) et à partir d'observations et d'enquêtes réalisées à bord des canneurs de Dakar. Nous avons assuré l'encadrement de ce travail.

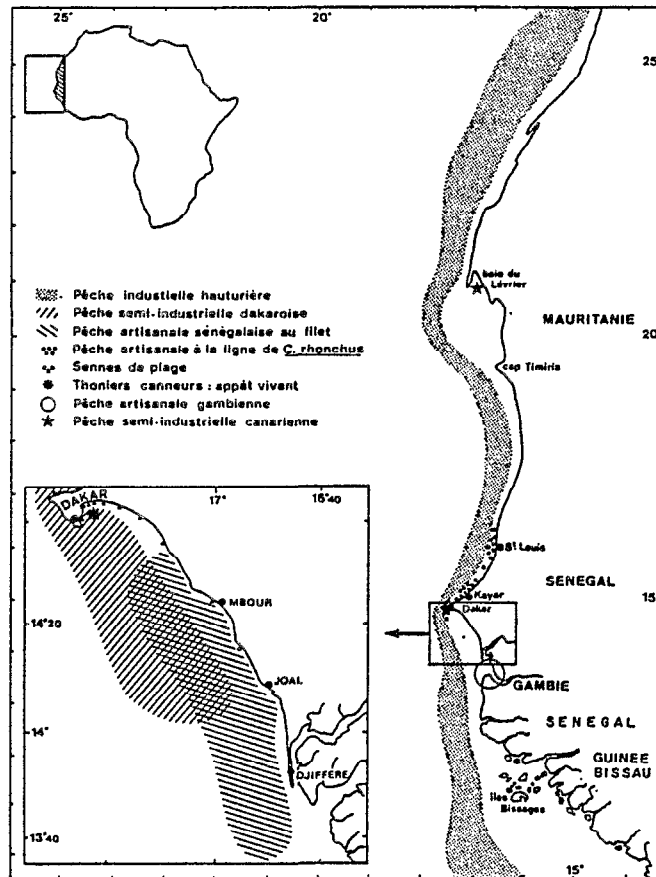


Fig. 23 — Localisation des différentes pêcheries.

IV. 1. Description des divers types d'exploitation [7]

Quatre grands types de pêche exploitent la zone sénégal-mauritanienne (fig. 23) :

- les pêches industrielles hauturières (ou grandes pêches) couvrant l'ensemble de la zone,
- les pêches semi-industrielles (dakaroise, mauritanienne et gambienne) opérant dans des régions côtières restreintes (sud de la presqu'île du Cap-Vert et baie du Lévrier),
- les pêches artisanales, surtout localisées au Sénégal et en Gambie,
- la pêche des thoniers lorsque ceux-ci effectuent leur approvisionnement d'appât vivant près de Dakar.

Après avoir décrit ces divers types d'exploitation nous analyserons les interactions qu'elles présentent.

Les espèces capturées appartiennent pour la plupart à trois grandes familles :

- les clupéidés (S. aurita, S. maderensis et S. pilchardus à partir de 20° N),

- les carangidés, de type chinchards essentiellement (Caranx rhonchus, Trachurus trecae et Trachurus trachurus pour les principales espèces),

- les scombridés (Scomber japonicus).

IV. 1.1. Les pêches industrielles hauturières

Elles sont constituées de flottilles à grande autonomie suivant les concentrations de poissons et assurant en mer la transformation des captures (farine, conserve, congélation) ; ceci leur permet de se maintenir au niveau des concentrations de poissons en déplacement sur l'ensemble de la zone sénégalomauritanienne. La pêche s'effectue au chalut ou à la senne tournante.

La pêche au chalut est pratiquée depuis 1960 par les russes, depuis 1964 par les ghanéens, puis par d'autres pays de l'Europe de l'Est (Bulgarie, Pologne, Roumanie). Elle a utilisé successivement le chalut de fond, puis le chalut à grande ouverture et emploie depuis 1966 le chalut pélagique. Les chalutiers, souvent de grande taille (60 à 85 m), transforment généralement leurs prises à bord.

La pêche à la senne tournante apparaît aux environs de 1968 sur certains bateaux soviétiques, mais c'est à partir de 1970, avec l'arrivée des flottes internationales (Interpêche, Nordglobal, Astra et Barentzsee), que son développement devient maximum. Certaines de ces flottes vont disparaître rapidement ([1], EVERETT et ROEST, 1983). Elles travaillent à l'aide de petits senneurs de taille moyenne (35 m environ) qui effectuent quotidiennement le transfert de leurs prises à bord d'un navire-usine.

Les captures totales annuelles des pêches industrielles hauturières sont considérables, de l'ordre du million de tonnes depuis 1970, représentant près de dix fois le volume de celles des trois autres types de pêche réunis. Les poissons particulièrement recherchés sur l'ensemble de la zone sénégalomauritanienne sont les chinchards (40 % des captures) et les clupéidés (sardinelles et sardines en saison froide et au nord de la zone uniquement) plus facilement capturables à la senne tournante et constituant environ la moitié des prises. Les maquereaux ne représentent que 10 % des prises. Ces deux derniers groupes de poissons sont indifféremment capturés à la senne ou au chalut.

Depuis 1973, les différents pays de la zone intéressée ont réglementé l'un après l'autre la pêche à l'intérieur des eaux placées sous leur juridiction ; les limites varient de 30 à 200 milles. Cela a modifié la physionomie de la pêche hauturière, l'obligeant à reporter ses efforts sur de nouvelles zones, et modifiant la composition des captures, jusqu'au niveau des classes d'âge exploitées.

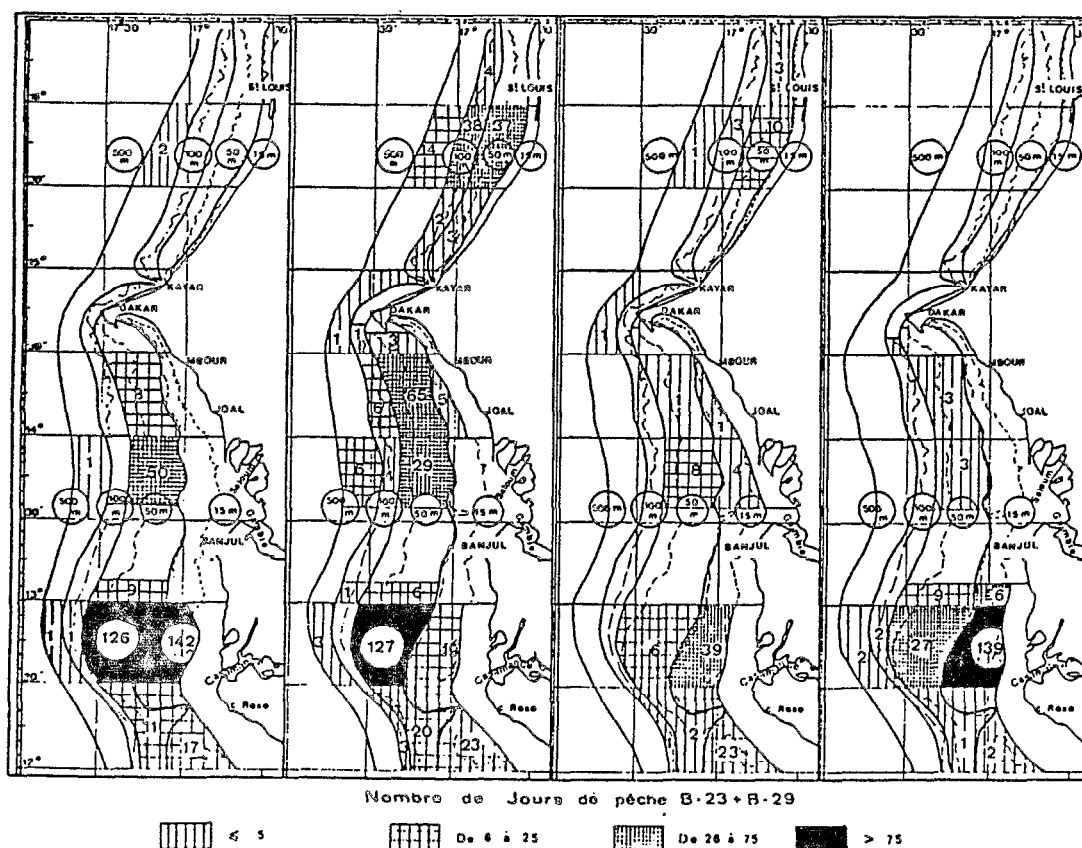


Fig- 24 - LOCALISATION DE L'EFFORT DE PECHE TRIMESTRIEL DE LA FLOTTE

POLONAISE AU SENEGAL EN 1977 (Wyciekinski, comm. pers.)

C'est ainsi qu'en 1976, la Pologne a ratifié des accords de pêche avec le Sénégal autorisant des chalutiers à travailler dans la zone de pêche exclusive sénégalaise, à plus de 12 milles de la côte. En fin d'année 1976, neuf bateaux sont entrés en activité au Sénégal et leur nombre s'est progressivement accru pour atteindre 13 unités en 1980. Depuis le dernier trimestre de 1980, les accords de pêche entre les deux pays ont été rompus par le Sénégal et les activités de pêche ont cessé. Ces chalutiers appartenaient à deux catégories : B-23 (1.000 t.j.b., 1600 ch) et B-29 (1.500 t.j.b., 2.500 ch). Ces bateaux diffèrent essentiellement par leur taille et leur puissance de pêche mais présentent des équipements similaires et la même méthode de capture : il s'agit de chalutiers pélagiques "pêche arrière" équipés de matériel de détection acoustique usuel (sondeur vertical, sonar, netz-sond). Les bateaux pêchaient effectivement plus de deux jours sur trois (1/3 du temps de mer étant consacré aux déplacements, aux transbordements et à la recherche des concentrations) et chalutaient 6 à 8 h par jour de pêche, le temps restant étant occupé par le traitement du poisson ou par la recherche des bancs au sein des concentrations (données 1977). Le poisson était transformé à bord où existaient une usine de farine et une usine de congélation. Les bateaux restaient généralement deux mois en mer sans escale, le produit de la pêche étant transbordé en mer sur un cargo à destination de la Pologne.

Les espèces cibles de cette pêche étaient les sardinelles tout au long de l'année (80 % de 1977 à 1979), et en saison froide les chinchards (16 %). La flotte travaillait le plus souvent au niveau de la Casamance où l'élargissement du plateau continental permet d'accéder aux fonds de 12 à 25 m, riches en jeunes reproducteurs de sardinelles, tout en restant à l'extérieur des 12 milles réglementaires (fig. 24). En saison froide, les prises portaient également sur les sardinelles rondes adultes situées plus au large et sur les chinchards (fig. 25). Les captures totales étaient de l'ordre de 50.000 t.

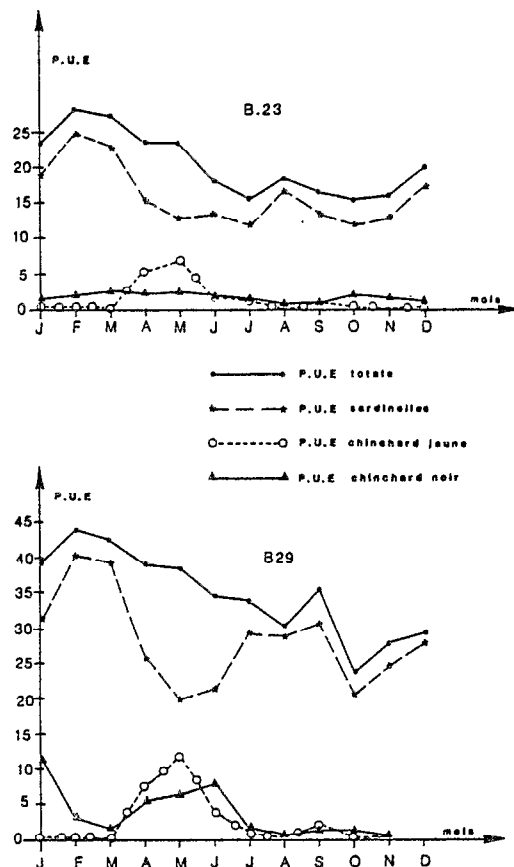


Fig- 25 - EVOLUTION DES RENDEMENTS (tonnes/jour de pêche)
MENSUELS DES CHALUTIERS POLONAIS DE TYPE B 23 et B 29 .
MOYENNE DE 1977 A 1979 (FREON et LOPEZ, 1983)

Par ailleurs, un senneur de 47 m affrété par la compagnie Sénégal Sea Food, à titre expérimental initialement, a travaillé sur le plateau continental sénégalais, essentiellement devant la Casamance entre décembre 80 et mai 83. Ses prises étaient constituées de chinchards et de sardinelles, destinées à l'exportation vers la Côte d'Ivoire en particulier. En résumé, les sardinelles ne constituaient généralement pas l'espèce dominante dans les captures des pêches hauturières. Ce n'est que lorsque, ces dernières années, la réglementation des zones de pêche a conduit certaines flottilles à n'opérer qu'au Sénégal, que les sardinelles sont devenues majoritaires dans les débarquements.

IV. 1.2. Les pêches semi-industrielles

IV. 1.2.1. La pêche sardinière dakaroise

La flottille opère à partir du port de Dakar. Elle est constituée, pour l'essentiel, de 8 à 20 petits senneurs de 20 à 25 m équipés d'une poulie hydraulique, d'un sondeur vertical et d'une radio leur permettant de communiquer entre eux. La conservation du poisson est assurée par de l'eau de mer refroidie par de la glace, et la capacité d'embarquement est de 30 à 50 t. De ce fait, le rayon d'action de ces sardiniers est court, de l'ordre de 10 à 30 milles. La pêcherie est relativement ancienne (1961) et la stratégie d'exploitation est stabilisée depuis 1966 (BOELY et CHABANNE, 1975). Les captures totales sont de l'ordre de 30.000 t par an. Les deux espèces de sardinelles représentent en moyenne 76% des captures.

Les sorties en mer sont quotidiennes et la stratégie de pêche est la suivante : les patrons de pêche savent au départ du port vers où se diriger pour trouver la zone de pêche potentielle qu'ils atteignent après un temps de route compris entre 10 mn et 5 h et commencent alors à rechercher activement les concentrations à vue ou au sondeur. En saison d'alizés, la pêche se pratique souvent de nuit, quand la mer est plus calme. Dans ce cas les bancs peuvent être repérés également à vue, grâce à la bioluminescence du plancton qu'ils provoquent. La différence d'efficacité de pêche entre le jour et la nuit est difficile à mettre en évidence en raison de l'influence d'autres facteurs (météo, cycle lunaire); cependant, elle ne semble pas très marquée.

La durée totale des sorties en mer est de 9 à 10 h en moyenne : si les cales sont pleines rapidement le temps de mer est raccourci (effet de saturation), mais si la pêche est mauvaise les sardiniers ne restent pas plus de 24 h dehors pour des raisons d'autonomie en glace en particulier. Le nombre de coups de senne varie généralement de un à trois et il faut en moyenne 1 h 15 mn pour l'encerclement et la capture d'un banc moyen de 10 t. La majeure partie du temps de mer est donc le plus souvent consacrée à la recherche du poisson.

La présence de fortes houles au nord de la presqu'île du Cap-Vert fait que ces sardiniers n'opèrent que très rarement dans ce secteur. Cela explique que leur zone d'action préférentielle se situe le long de la Petite Côte du Sénégal, entre Dakar et Joal (fig. 23), sur les fonds de 10 à 50 m.

En 1980, par exemple, 78 % de l'effort annuel a été exercé dans le secteur de Dakar entre 14°30'N et 15°N. Les pêcheurs préfèrent diversifier leurs prises ou même voir diminuer leurs rendements et rester près du lieu de débarquement plutôt que de prospecter des zones plus éloignées pour suivre les déplacements d'une espèce. Ce trait caractéristique de la pêche dakaroise fait que la zone de pêche des sardiniers n'a pas varié de façon sensible depuis le début de l'exploitation.

Cinq espèces représentent plus de 90 % des débarquements. Leurs proportions varient considérablement au cours de l'année. Les variations des rendements moyens et l'évolution des températures de surface ont été mises en parallèle au cours d'un cycle annuel (fig. 26a et 26b). Ainsi il a été possible de dis-

tinguer dans les captures des espèces de saison froide (S. aurita adulte et Caranx rhonchus), et des espèces de saison chaude (S. maderensis, Pomadasys jubelini, Chloroscombrus chrysurus); par contre les jeunes S. aurita (les juvéniles et les jeunes reproducteurs), sont pêchés toute l'année (fig. 26b) et constituent l'essentiel des captures.

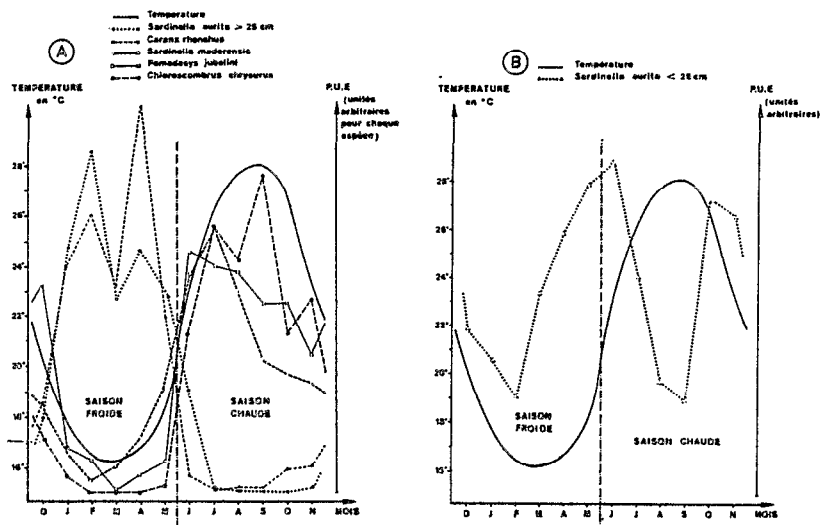


Fig. 26 — Comparaison des variations mensuelles des températures avec celles des p.u.e. pour les principales espèces capturées par les sardiniers dakarois (moyennes calculées à partir des données des sept dernières années). [7]

En effet, les juvéniles de cette espèce sont capturés essentiellement au cours des cinq premiers mois de l'année, lorsque les adultes ne sont pas disponibles (ou mal localisés), alors que des débarquements importants de jeunes reproducteurs se font toute l'année avec deux maxima, d'avril à juin et en octobre-novembre (fig. 26b) correspondant aux deux périodes de ponte déjà décrites.

Les maxima d'abondance observés chez S. aurita adulte, correspondent au passage des migrateurs devant la presqu'île du Cap-Vert, d'abord lors de la descente du stock et ensuite lors de sa remontée. Les dates de leur arrivée et de leur départ dans la pêcherie varient d'une année à l'autre ; elles dépendent essentiellement des conditions hydroclimatiques dans toute la région, comme nous le verrons.

Les captures de S. maderensis se font essentiellement au détriment d'une seule classe d'âge de jeunes reproducteurs (18 à 23 cm) pendant la saison chaude, mais des individus plus petits peuvent être capturés en début d'année. Nous avons vu que les adultes de cette espèce n'étaient que très rarement capturés sur la Petite Côte, bien que leur présence soit plus fréquente depuis 1977.

Les captures des autres espèces concernent le plus souvent des individus jeunes, proches de leur première période de reproduction.

IV. 1.2.2 La pêche mauritanienne dans la baie du Lévrier

Peu de renseignements sont disponibles sur les prises de cette pêcherie en dehors d'une étude détaillée pour 1971 (MAIGRET 1973). Durant cette année, 11 à 38 petites unités de 11 à 15 m, nommées "flotte canarienne", ont travaillé de façon très irrégulière en baie du Lévrier.

Les captures ont été de 11.600 t en 1971. La pêche était surtout orientée vers la recherche de deux espèces de haute valeur commerciale : Argyrosoma regium et Orcynopsis unicolor qui représentaient respectivement 22 % et 17 % des captures. S. maderensis a constitué le principal "sous-produit" avec 2.700 t débarquées (23 %), alors qu'il n'y a eu que 600 t (5 %) de S. aurita.

Depuis 1971, cette pêcherie n'a cessé de décroître en importance pour devenir négligeable par rapport aux autres. En 1983 les prises n'étaient que de 3.700 t dont 1.800 t de sardinelles. La pêche s'effectue soit à la senne tournante soit au filet maillant, et les mullets (Mugil Spp) constituent parfois l'espèce la plus abondante dans les captures (JOSSE, comm. pers.).

IV. 1.2.3. Autres pêches semi-industrielles

Depuis 1974, une dizaine de senneurs ghanéens exploitent les eaux gambiennes. Ce sont des unités d'environ 30 m qui travaillent près de la côte et débarquent leurs prises à Banjul. Ils capturent, au large de l'estuaire de la Gambie, surtout des sardinelles et des ethmaloses (Ethmalosa fimbriata). Cette flottille a mis à terre un maximum de 14.000 t de poissons en 1978 et son importance diminue depuis.

Par ailleurs, entre 1974 et 1978, des petits senneurs ivoiriens ont travaillé de façon épisodique dans les eaux sénégalaises, capturant moins de 5.000 t par an.

En définitive, on remarquera que toutes ces pêches semi-industrielles exploitent les eaux côtières de deux zones bien déterminées. La première, située en Mauritanie, ne supporte que l'exploitation d'une pêche de faible importance, irrégulière et en voie de disparition, qui ne recherche pas en priorité chinchards et sardinelles. La seconde, s'étendant de Dakar à la Gambie, est beaucoup plus importante. Les poissons capturés sont essentiellement des juvéniles et des jeunes reproducteurs appartenant surtout aux deux espèces de sardinelles.

IV. 1.3. Les pêches artisanales

Elles sont très anciennes et peuvent être ramenées à deux grands types : la pêche au filet et la pêche à la ligne. Au Sénégal, ces exploitations artisanales se font à partir de grands centres de débarquement. Pour les petits poissons pélagiques qui seuls nous intéressent ici, les centres de la côte sud pratiquent surtout la pêche au filet tournant (filets maillants encerclants et sennes tournantes coulissantes) ; au contraire, sur la côte nord, la pêche à la ligne est prédominante (fig. 23), bien qu'une pêcherie saisonnière à la senne tournante ne cesse de s'y développer depuis 1974.

Ce secteur de la pêche est en pleine expansion en raison de l'augmentation du nombre d'embarcations et du fait de leur motorisation importante depuis les années soixante. De plus, la technique de capture au filet a évolué avec l'apparition de sennes tournantes et coulissantes en 1973.

Dans les autres pays, ces pêcheries sont de moindre importance, excepté en Gambie où elles ne concernent pratiquement que E. fimbriata, capturée près des côtes et dans le fleuve (environ 10.000 t/an).

IV. 1.3.1. La pêche à la ligne à main

Si l'on ne considère que les petits pélagiques côtiers, cette pêcherie concerne surtout les C. rhonchus de grande taille (30 à 40 cm) débarqués dans les grands centres de la côte nord (Saint-Louis et Kayar) et de la presqu'île du Cap-Vert. Ils sont capturés à l'aide de palangres à main à partir de pirogues de 6 à 12 m, généralement motorisées (6 à 20 ch hors bord) qui effectuent des sorties journalières avec 2 à 6 pêcheurs à bord.

Les débarquements de cette espèce sur la côte nord étaient encore importants en 1977-78 (2.000 à 2.300 t) mais l'arrivée des sennes tournantes, qui capturent cette espèce en grande quantité, est associée à une diminution des apports par les lignes au cours de ces dernières années (400 à 500 t). Il s'agit probablement plus d'un mécanisme économique (effondrement des prix et report de l'effort vers d'autres espèces) que d'une véritable surexploitation du stock.

Près de 70 % des captures de chinchards jaunes (C. rhonchus) viennent de Kayar durant la saison froide et plus particulièrement en mars-avril. A cette période des concentrations peuvent être localisées au sud de la fosse de Kayar. L'étude des rendements montre également que ces poissons se rencontrent un peu plus tard (juin) au niveau de Saint Louis.

Sur la côte sud, les prises sont moindres (moins de 100 t) et la pêche débute plus tôt (février). Ces variations d'abondance dans les différents centres correspondent bien au schéma de migration du poisson qui est analogue à celui décrit pour S. aurita adulte [3].

IV. 1.3.2. La pêche au filet

On peut distinguer quatre grands types d'engins. Les filets maillants encerclants et la senne tournante sont les principaux, tandis que les filets dormants et la senne de plage ont une importance moindre.

Les filets maillants encerclants

La pêche se pratique à l'aide de pirogues motorisées (20 ch hors bord) de 14 à 16 m de longueur avec 6 à 8 pêcheurs à bord. Les sorties en mer sont journalières et durent entre 6 et 12 h, le temps de route jusqu'aux lieux de pêche varie de quelques minutes à 4 heures. La durée des opérations de pêche est relativement longue (1 à 3 h) lorsque les captures sont

importantes, le démaillage et l'embarquement du poisson étant entièrement manuels. Deux types de filets sont utilisés au Sénégal : le filet à sardinelles (mailles de 30 mm au carré) et le filet à ethmaloses, à mailles plus grandes (40 mm au carré). Le premier ne capture pratiquement que des sardinelles dont plus de 90 % de S. maderensis ; pour le second au contraire, E. fimbriata représente plus de 80 % des prises, le reste étant constitué d'Arius gambiensis et de Sardinella spp. pour l'essentiel. Ce type d'engin est surtout utilisé de juin à octobre, période correspondant à l'abondance maximale des ethmaloses sur les lieux de pêche. Au contraire, les filets à petites mailles, beaucoup plus nombreux, sont employés tout au long de l'année, les sardinelles plates restant toujours présentes dans la zone d'action de cette pêcherie qui est située plus au sud que celle des sardiniers. Compte tenu de l'engin sélectif utilisé, la composition de taille des poissons capturés est relativement constante. Pour les sardinelles, les longueurs à la fourche varient de 17 à 25 cm, mais les classes de 19 à 23 cm sont de loin les mieux représentées, les individus plus petits étant capturés le plus souvent en avril-mai. Pour les ethmaloses, le calibrage est encore plus net : les longueurs à la fourche sont comprises entre 20 et 25 cm.

La pêcherie a connu son développement maximum sur la Petite Côte en 1972-1973 où les captures totales des deux types de filet maillant ont pu être estimées à 35.000 t par an dont :

- Sardinelle plate.....	65 %
- Ethmalose.....	20 %
- Sardinelle ronde.....	10 %
- Divers.....	5 %

On dispose ensuite de données à partir de 1977, qui montrent que les captures sont tombées à environ 10.000 t par an en raison de l'abandon progressif de ce type d'engin de pêche au profit des sennes tournantes. Cependant, on note un certain regain d'intérêt pour cet engin sous l'influence de facteurs économiques que nous analyserons ultérieurement.

Les sennes tournantes coulissantes

Des essais d'adaptation de cet engin à la pêche piroguière ont été entrepris dès 1960, mais son apparition dans la pêcherie n'a été effective qu'à partir de 1973. Le filet, long de 200 à 300 mètres pour une chute de 40 m de mailles étirées de 20 à 30 mm (10 à 15 mm de côté) pour le corps de l'engin [10, p. 268, fig. 3]. Il est porté par une pirogue de 14 mètres environ, à laquelle se joignent une ou deux autres pirogues, parfois plus grandes, chargées du transport du poisson. Au total, l'équipage embarqué est constitué d'une vingtaine de pêcheurs. L'ouverture à Djifère (embouchure du Saloum), début 1977, d'une usine de farine de poisson dotée d'un quai de débarquement, a permis l'utilisation de très grosses pirogues porteuses de 8 à 20 t de capacité. Les sorties sont journalières et seront décrites en détail ultérieurement.

La composition des captures est très différente de celles effectuées avec les engins précédents, surtout en raison du comportement propre à chacune des deux espèces de sardinelles : alors que la sardinelle plate se disperse horizontalement lorsqu'elle est encerclée, la sardinelle ronde plonge et échappe

aux filets maillants. La senne tournante coulissante a donc permis de capturer plus facilement cette dernière espèce, de plus grande valeur commerciale, ainsi que de nouvelles espèces pélagiques côtières et en particulier chinchard jaune (C. rhonchus), maquereau-bonite (Cybium tritor), pelon (Brachydeuterus auritus), plat-plat (Chloroscombrus chrysurus) brochet (Sphyræna spp.), thonine (Euthynnus alletteratus), grande carangue (Caranx carangus), tassergal (Pomatomus saltator) et Pomadasys spp. L'abondance des sardinelles étant maximale de mars à septembre, c'est à cette époque que l'effort de pêche sera le plus élevé.

Les prises de S. maderensis et de E. fimbriata portent sur les mêmes classes d'âge que celles des filets maillants encerclants. Pour S. aurita, les jeunes reproducteurs sont les mieux représentés dans les débarquements annuels. Les individus adultes n'apparaissent dans les captures qu'en saison froide. Leur capture était sporadique jusqu'à ces dernières années, cependant il semble que les artisans les recherchent de plus en plus, en allant pêcher plus au large depuis que leurs rendements diminuent.

L'utilisation de la senne tournante est surtout développée sur la Petite Côte où existent trois points de débarquement principaux : Mbour (15.000 t en 1980), Joal (11.000 t) et Djifère jusqu'en 1980 (16.000 t). A ceux-ci viennent s'ajouter des lieux de débarquement saisonnier, en particulier au niveau de la presqu'île du Cap-Vert, en saison chaude. Sur la côte nord, ce type de pêche est moins développé et reste très saisonnier en raison des conditions de pêche plus défavorables. Cependant, on assiste à Kayar à une forte recrudescence du nombre de sennes tournantes ces dernières années : les débarquements sont passés de 500 t en 1975 à 14.600 t en 1980. Depuis la fermeture de l'usine de Djifère en 1981, le phénomène s'est accentué et l'on recense couramment une centaine de sennes en haute saison (avril-mai). Les captures y sont plus diversifiées que sur la Petite Côte et pour certaines espèces (chinchard jaune, tassergal, thonine) les sennes tournantes font une sévère concurrence aux pêcheurs à la ligne [CHAMPAGNAT et al., 1983].

Les sennes de plage

Un filet long de 800 à 1.500 m est mis en place au bord de la côte par une pirogue à pagaies puis hâlé à terre par 20 à 40 pêcheurs. Ce type d'exploitation très ancien est surtout pratiqué aux environs de Dakar et n'a guère évolué (DIAW, 1981). Les poissons capturés sont essentiellement des juvéniles (5 à 15 cm) pouvant appartenir à de très nombreuses espèces pélagiques ou démersales dont les principales sont : les sardinelles, les chinchards jaunes et les pelons. Les deux espèces de sardinelles dominent largement parmi ces juvéniles. Hormis la baie de Gorée où elles sont capturées tout au long de l'année, les rendements montrent très nettement deux pics saisonniers : le plus important est observé vers le mois de juillet, un pic secondaire apparaissant en fin de saison chaude (LE RESTE, comm. pers.). La persistance de leur abondance dans le fond de la baie de Gorée pourrait être liée à l'enrichissement permanent de cette baie par la pollution organique urbaine.

Les captures de ces très jeunes poissons sont assez faibles en poids (50 à 500 kg par coup) mais portent sur des effectifs élevés. Le reste des prises est constitué d'une part de pré-

dateurs de ces juvéniles (thonine, maquereau-bonite, brochets) et d'autre part de jeunes reproducteurs d'espèces pélagiques côtières, pour l'essentiel des sardinelles plates et rondes de 18 à 25 cm. Les prises totales sont de l'ordre de 5.000 t par an, toutes espèces confondues.

Les filets maillants dormants

Ces engins sont mouillés à l'aide de petites pirogues (6 à 8 m) à voile et rame ou le plus souvent à moteur, avec 1 à 4 pêcheurs à bord. Cette famille d'engins est très hétérogène (filets de surface ou de fond, filets fixes ou dérivants, mailles différentes, etc.). Les espèces capturées sont variées et appartiennent aussi bien au groupe pélagique que démersal. L'effort de pêche semble stable et les prises sont d'importance négligeable pour l'équilibre des stocks pélagiques. Les captures totales annuelles en mer sont de l'ordre de 15.000 t pour une quinzaine d'espèces principales dont 1.000 t environ pour les petits pélagiques, capturés essentiellement par les filets de surface ([STEQUERT *et al.*, 1979]; ANONYME, 1984). Ces filets sont utilisés tout au long des côtes du Sénégal, même en dehors des grands centres de débarquement.

IV. 1.3.3. Conclusion sur la pêche artisanale

On peut considérer que l'exploitation des poissons pélagiques côtiers par les lignes, les sennes de plage et les filets dormants, est secondaire (sur le plan des apports pondéraux) par rapport aux autres types de pêche depuis les quinze dernières années.

La pêche piroguière au filet tournant est, en revanche, beaucoup plus importante et concerne essentiellement les sardinelles. Deux faits marquants ont contribué à modifier profondément sa physionomie depuis 1972-1973 :

- le premier correspond au remplacement des filets maillants encerclants par les sennes tournantes coulissantes : avant 1972, les premiers assuraient la quasi-totalité des débarquements de la côte sud alors qu'en 1977 ils ne sont plus responsables que d'environ 20 % des prises de la même région, le reste provenant pour l'essentiel des sennes tournantes,

- le deuxième événement est le développement d'autres centres de pêche : Joal est devenu l'égal de Mbour; plus au sud, à Djifère, une usine de farine a fonctionné entre 1977 et 1980; sur la côte nord, les sennes tournantes ont fait leur apparition depuis 1974.

Les conséquences de ces changements sont les suivantes :

- modification de la composition spécifique des captures, due en particulier au remplacement partiel de S. madeirensis par S. aurita [7, p. 223, fig. 7].

- augmentation des rendements par sortie, qui sont trois fois plus importants pour les sennes tournantes, que pour les filets maillants encerclants.

- extension des zones de pêche et diminution des temps

de trajet en mer (multiplication des grands centres de débarquement et acquisition de moteurs plus puissants),

- déplacements des populations de pêcheurs, soit pour suivre les migrations du poisson, soit en fonction de facteurs socio-économiques; ainsi, le centre de Djifère accueillait beaucoup de pêcheurs utilisant des filets maillants encerclants en raison de la richesse de la région en S. maderensis et en E. fimbriata; de plus, ils avaient l'assurance de vendre ce poisson à l'usine à un prix fixe, quelle que soit l'espèce.

Bien que toutes les données ne soient pas encore disponibles, on peut estimer qu'en 1972-73, de Dakar à la frontière nord-gambienne, les captures annuelles de la pêche artisanale au filet encerclant étaient d'environ 35.000 t dont :

- <u>S. maderensis</u>	65 %
- <u>E. fimbriata</u>	20 %
- <u>S. aurita</u>	10 %

En 1983, les captures de pélagiques côtiers de l'ensemble des filets sont passés à près de 90.000 t pour la même zone avec environ :

- <u>S. maderensis</u>	35 %
- <u>E. fimbriata</u>	10 %
- <u>S. aurita</u>	50 %

La pêche artisanale est donc d'une importance telle de Dakar à la Gambie que, depuis 1977, ses captures en poissons pélagiques côtiers sont deux à trois fois plus importantes que celles de la pêcherie sardinière dakaroise.

IV. 1.4. Pêche d'appât par les thoniers

Au début de chaque marée, les thoniers basés à Dakar, canneurs essentiellement, capturent de l'appât vivant constitué de petits poissons pélagiques. Cet appât est prélevé le plus souvent dans la baie de Gorée (fig. 23) avant le départ en haute mer pour la pêche du thon.

Les prises d'appât s'effectuent à l'aide d'une petite senne tournante (bolinche), le plus souvent de nuit au lamparo. Depuis 1963, les prises totales varient entre 500 et 1.000 t par an. Les poissons capturés sont essentiellement des jeunes clupéidés et carangidés. Pour les sardinelles et les chinchards par exemple, les tailles sont comprises entre 9 et 15 cm. On relève de ce fait, comme pour les sennes de plage, une opposition entre le faible poids des captures et le grand nombre de poissons qu'il représente (GOBERT, 1982).

Signalons que les patrons des thoniers ont l'habitude de distinguer trois espèces de sardinelles : les sardinelles rondes, les sardinelles plates et les sardinelles "demi-rondes". Ces dernières sont en fait des S. maderensis qui diffèrent des autres individus par une hauteur du corps moins importante et par leur tache post-operculaire plus diffuse (GOBERT, 1983). On peut se demander s'il ne s'agit pas là d'une population locale, adaptée aux conditions particulières qui règnent dans le fond de la baie de Gorée et dans le port de pêche de Dakar, où elles sont plus souvent capturées (pollution organique et chimique). La per-

sistance des sardinelles tout au long de l'année dans les sennes de plage du fond de la baie de Gorée est peut être à rapprocher de cette hypothèse.

IV. 2. Interactions des différents types de pêches

Nous avons vu que les pêches hauturières capturent surtout des individus adultes dont elles suivent les migrations. A l'opposé, les pêches semi-industrielles et artisanales travaillent presque exclusivement sur les juvéniles et les jeunes reproducteurs, avant que ceux-ci ne quittent la pêcherie. Celle-ci correspond généralement à une nurserie (Petite Côte, baie du Lévrier). Dans ces conditions, de nombreux types de relations peuvent exister.

IV. 2.1. Interactions concernant *S. aurita*

Pour cette espèce, les interactions possibles ont été décrites en adoptant les dénominations suivantes (fig. 27) :

- Relations instantanées : elles correspondent à la concurrence immédiate entre les différentes pêches lorsqu'elles recherchent, simultanément et dans la même zone, la même classe d'âge. Selon l'importance relative des pêcheries, elles peuvent être bilatérales (relations 1 et 2 de la figure 27) ou unilatérales (relation 3).

- Relations différées directes : elles ont lieu lorsque des strates d'âge successives font chacune l'objet d'une exploitation particulière. Elles sont toujours unilatérales. La pêcherie voit alors son propre recrutement diminué par les captures des pêcheries situées en amont (relations 4 à 11).

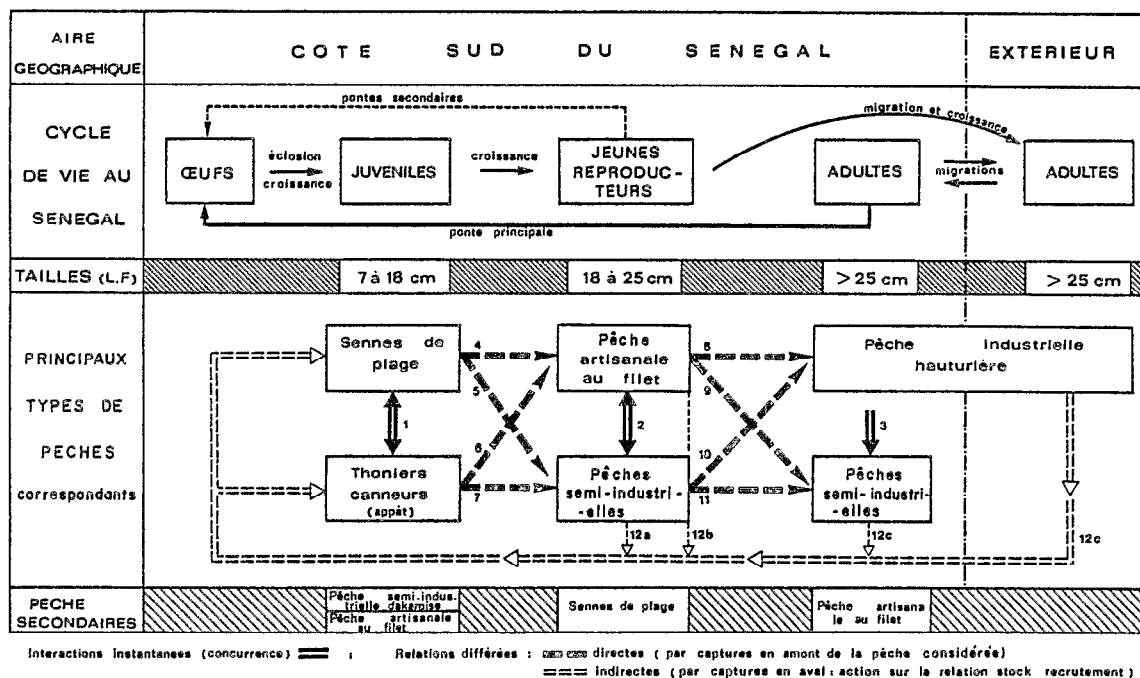


Fig. 27 - Schéma des interactions des différents types de pêche de *Sardinella aurita* pour la côte sud du Sénégal (de 13°30' à 15° N)

- Relations différées indirectes : elles s'exercent à long terme si les variations d'intensité de l'exploitation des reproducteurs sont telles qu'elles provoquent des variations sensibles du recrutement (relations 12a, 12b, 12c).

Bien que toutes ces interactions puissent avoir lieu en théorie, elles ne sont pas d'égale importance et leur mise en évidence reste difficile (complexité du schéma, interférence avec les facteurs hydroclimatiques). Les relations les plus importantes sont l'interaction 2 (entre la pêche semi-industrielle dakaroise et la pêche piroguière au filet depuis 1973) ainsi que la relation 3 responsable de la baisse des rendements enregistrée pour les senneurs dakarois depuis 1966 au niveau des captures d'individus adultes (concurrence avec la grande pêche). Les relations 12 (12a, 12b, 12c) ne semblent pas prépondérantes à l'heure actuelle du fait que l'amplitude des variations d'abondance du stock due à la pêche n'est probablement pas suffisamment grande pour que la relation stock-recrutement ait un rôle primordial. En revanche, d'importantes variations du recrutement peuvent être associées à celle de l'hydroclimat.

En raison de ce qui précède, on verra que pour S. aurita un modèle de production particulier peut être envisagé pour la gestion de la fraction du stock de jeunes reproducteurs capturée par les pêches sénégalaises, en les considérant comme un sous-stock indépendant.

IV. 2.2. Interactions concernant les autres espèces

Pour S. maderensis, le schéma est très voisin du précédent. La relation principale est ici aussi l'interaction instantanée entre la pêche piroguière au filet et la pêche semi-industrielle dakaroise. La hausse des rendements de cette dernière entre 1973 et 1976 est expliquée par le changement de physiologie de la première: la diminution en 1977 est probablement due à la conjonction de l'exploitation ghanéenne en Gambie et du redéploiement de la pêche artisanale. L'impact de l'arrivée au Sénégal de la flotte industrielle polonaise est plus difficile à cerner, car ces chalutiers ont travaillé en Casamance essentiellement.

Le cas de C. rhonchus est peu différent des précédents. Ici c'est surtout la pêche hauturière qui présente une relation instantanée unilatérale avec la pêche artisanale à la ligne et la pêcherie sardinière dakaroise, et depuis 1974 avec la pêche artisanale à la senne tournante sur la côte nord.

Pour les autres espèces (S. japonicus, Trachurus spp., Pomadasyr jubelini), les schémas sont beaucoup plus simples, l'exploitation n'étant effectuée que par trois types de pêche au maximum.

En plus des interactions entre pêcheries, peuvent exister diverses relations interspécifiques ; souvent très complexes, elles sont difficiles à mettre en évidence et à expliquer. Deux d'entre elles pourraient intervenir dans la zone.

- Remplacement d'une espèce surpêchée par une espèce écologiquement voisine venant occuper sa "niche": cette hypothèse a été évoquée pour S. aurita dont l'exploitation intense serait responsable des augmentations de p.u.e. observées pour S. pil-

chardus depuis 1971 et peut-être aussi pour S. maderensis depuis 1968. Toutefois, pour S. pilchardus nous verrons que les tendances à long terme dans les variations de l'hydroclimat sont en fait à la base de ce changement. De même, pour S. maderensis, d'autres explications du phénomène peuvent être proposées (interactions des pêcheries, influence de la commercialisation).

- Pêche simultanée sur des stocks de résiliences inégales provoquant la surpêche de l'espèce la moins résistante à l'exploitation. Ce phénomène peut expliquer la surexploitation des maquereaux, moins résistants que les chinchards auxquels ils sont associés. De même P. jubelini a été largement surexploité par les pêches sénégalaises, qui capturent surtout des sardinelles pouvant supporter un effort de pêche plus grand [FREON et LOPEZ, 1983].

IV. 3. Méthodologie de la collecte et du traitement des données de pêche. [8]

Seul sera envisagé ici le cas des pêches sénégalaises au filet sur lesquelles porte l'essentiel de notre travail. Pour les pêches étrangères, les statistiques disponibles sont généralement peu détaillées et ne concernent que la prise totale par espèce ou groupe d'espèce. L'essentiel de nos informations provient du COPACE (Comité des pêches pour l'Atlantique Centre-est, qui est une émanation de la FAO), de communications de chercheurs étrangers au cours de groupes de travail internationaux et de communications personnelles en ce qui concerne la flotte polonaise.

IV. 3.1. Pêche semi-industrielle dakaroise.

IV. 3.1.1. Collecte des données.

Les patrons de pêche des sardiniers ne tiennent pas de livre de bord, ce qui impose des enquêtes par interview au retour de la pêche. Ces enquêtes ont lieu à bord des bateaux, ce qui permet de contrôler une partie de l'information. La totalité des sorties des sardiniers est généralement enquêtée, le jour même du débarquement, ou exceptionnellement le lendemain. Les renseignements collectés portent sur les conditions météorologiques observées, les horaires de départ et d'arrivée au port, les zones de pêche fréquentées, leur bathymétrie, le nombre de lancers de la senne (coups nuls et coups avec pêche), la prise totale et sa destination, les rejets éventuels et la composition des captures par espèce et par groupe de tailles [8, p. 38 fig. 2a]. En effet, les patrons de pêche ont l'habitude d'évaluer le poids moyen des individus capturés et de l'exprimer en nombre de poissons au kilogramme. Il s'agit du "moule", dont l'usage est hérité de la pêche européenne à la sardine. On a pu vérifier que les patrons excellent dans cet exercice et nous verrons que ce détail a une importance capitale pour l'échantillonnage des tailles.

Divers éléments permettent d'affirmer que la qualité de ces données est généralement bonne. Les pêcheurs se montrent coopératifs et donnent rarement de fausses informations si ce n'est par jeu, ce qui est facilement décelable. L'enquêteur contrôle généralement l'heure de départ et d'arrivée des bateaux, ainsi que le poids de la prise, par inspection des cales ou comptage du nombre de caisses débarquées. L'évaluation du poids des captures peut sembler peu fiable dans la mesure où le patron l'estime généralement au vu du niveau des cales. En fait, celles-ci sont

construites en bois et l'estimation est basée sur le nombre de planches qui sont recouvertes par le poisson. Des contrôles ont permis de vérifier que cette évaluation était précise ($\pm 7\%$). La composition des captures est en revanche plus délicate à estimer. Sur le terrain, elle n'est basée que sur le "coup d'oeil" du patron, confronté à celui de l'enquêteur. Dans un deuxième temps, nous verrons que ces valeurs peuvent être corrigées au laboratoire à partir de l'échantillonnage des tailles.

La bathymétrie est correctement indiquée, dans la mesure où les sardiniers sont équipés d'un sondeur vertical enregistreur. En revanche, l'absence de radar et de tout autre équipement de navigation à bord pourrait laisser croire que la localisation de la zone de pêche est imprécise. En fait, les pêcheurs connaissent très bien leur zone de pêche qui, rappelons le, est très réduite. Ils se repèrent par rapport à la côte, ou en fonction de la position des astres, de la direction du vent et de celle de la houle. Le lieu de pêche est donc indiqué assez précisément et se détermine a posteriori sur la carte, en fonction de la sonde et du nom du village côtier le plus proche. Une légère imprécision est toutefois à relever au niveau du nord de la zone de pêche, où la côte forme un arc de cercle, pouvant donner lieu à diverses interprétations des données. La zone de pêche est divisée en secteurs, en fonction de la latitude (30' par secteur) et de la bathymétrie (en quatre bandes limitées par les isobathes 0, 25, 75 et 150 m) [8, p. 40 fig. 4]. Le nombre de lancers nuls est peut-être légèrement sous-estimé, l'amour-propre du pêcheur pouvant entrer en jeu au niveau de cette information difficile à contrôler.

L'échantillonnage des fréquences de taille se fait lors du débarquement du poisson dans des caisses d'une cinquantaine de kg, juxtaposées sur le quai et remplies indistinctement à l'aide d'une salabarde. Les poissons ne sont triés à bord ni par espèce, ni par catégorie de taille. On retient généralement deux à trois caisses prélevées à divers moments du débarquement et correspondant à différentes cales. On pratique ensuite un sous-échantillonnage de chaque caisse en retenant environ un tiers des poissons, par séparation verticale dans la caisse. Ces poissons sont ensuite mesurés au demi-centimètre inférieur de longueur à la fourche. Les données sont soit enregistrées sur magnétophone, soit directement portées sur une feuille de saisie [8, p. 39, fig. 26]. Le reste des individus de la caisse est compté séparément par espèce. Le niveau de remplissage de la caisse est également noté.

Le calcul de la taille minimale de l'échantillon à prélever pour estimer la longueur moyenne des individus capturés est généralement simple si l'on considère que dans la plupart des cas la prise s'effectue au détriment d'un seul banc ou sur des bancs de structure identique, car issus d'une même concentration (cf. infra).

Si l'on suppose que les longueurs individuelles dans un banc se répartissent selon une loi normale, ce qui souvent approche la réalité, on peut déterminer l'effectif minimum n des échantillons en fonction de la largeur i du demi-intervalle de confiance que l'on souhaite obtenir de part et d'autre de la moyenne pour une probabilité P donnée :

$$n = Z_{\alpha/2}^2 / i^2$$

où Z_{α}^2 est le carré de l'écart réduit, égal à 3,84 et 6,63 lorsque les probabilités retenues α sont égales à 5 % et 1 % respectivement (SNEDECOR et COCHRAN, 1957). On considère ici que l'on se trouve dans le cas d'un échantillonnage aléatoire simple (E.A.S.).

Nous verrons que dans un banc, σ est fonction de la taille moyenne. On peut donc fixer l'effectif minimal de l'échantillon en fonction des grands groupes de tailles échantillonnées, correspondant à des périodes de pêche. Ainsi, en se fixant un intervalle de confiance i de $\pm 0,5$ cm sur la moyenne avec un seuil de sécurité de 95 %, on a pu calculer les effectifs minima pour les principales tailles modales rencontrées lors des débarquements. Les effectifs théoriques obtenus varient de 12 à 50 pour les principales tailles modales observées dans les captures des espèces les plus abondantes, et ils sont généralement largement inférieurs au nombre d'individus mesurés dans les sous-échantillons [12, p. 89, tabl. 1].

IV. 3.1.2. Traitement des données [8]

Prétraitement, codage, saisie, contrôle

Un programme de traitement des fréquences de tailles a été implanté sur une calculatrice programmable et permet de calculer au laboratoire le poids du sous-échantillon, à partir des relations taille-poids. Un contrôle technique est effectué à ce niveau, le poids théorique de chaque caisse devant être compris à l'intérieur d'une certaine fourchette, en fonction de son niveau de remplissage.

Les résultats de ce traitement sont comparés avec les estimations de composition spécifique des captures notées au port, et une correction est effectuée si nécessaire pour le bateau concerné, mais aussi pour les bateaux ayant pêché dans la même zone et à la même heure sur la même concentration. En effet, on a pu vérifier que la composition des captures réalisées sur les "bancs mixtes" (comportant différentes espèces) était relativement homogène en un lieu donné.

Le temps de pêche total (recherches + captures) est calculé en retirant du temps total de la sortie un temps de route estimé en fonction de la zone de pêche, et éventuellement un temps de mouillage ou de panne.

Toutes les informations sont ensuite codées et saisies sur support informatique (autrefois cartes perforées, puis disquettes et actuellement saisie directe sur console). Puis on réalise un traitement à l'aide d'une chaîne de programmes de traitement (fig. 28). Après un premier contrôle visuel (programme ECSAR et ECFREQ), un contrôle technique est entrepris (SARDITEK et FRETEK) permettant de détecter un certain nombre d'erreurs dans la collecte ou la saisie de l'information, aussi bien pour le fichier SAR des données de prises et d'effort, que pour le fichier F des fréquences de taille [8, p. 29-32, tabl. 4 et 6]. Ces contrôles sont basés sur la redondance délibérée de certaines informations (poids total des captures et poids par espèce, par exemple), ou sur la cohérence de l'information (coup de filet total supérieur ou égal au nombre de coups de filet positifs par exemple).

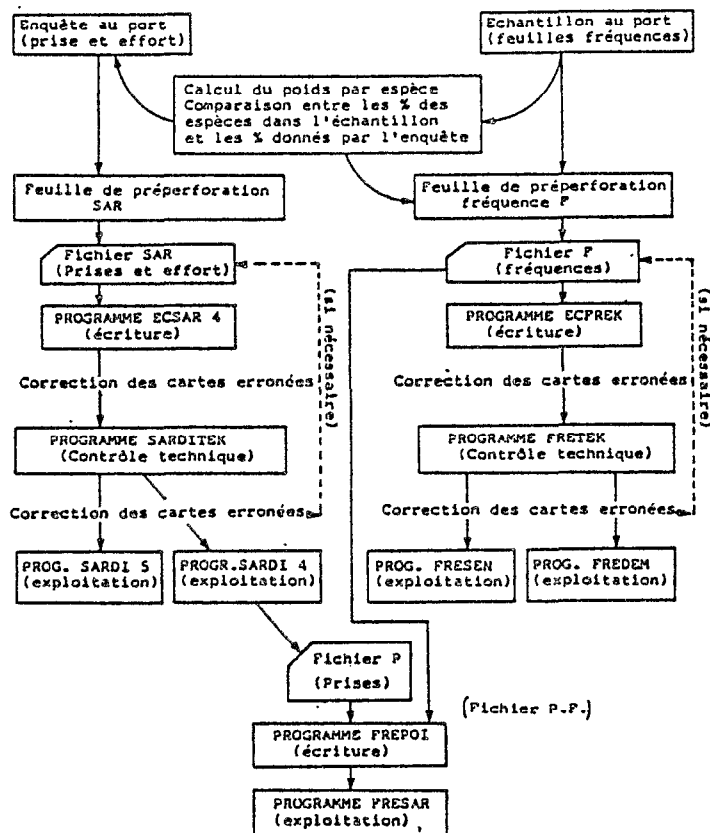


Fig- 28 : CHAÎNE DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION

Traitement des prises et efforts de pêche

Le programme SARDI4 a quatre objectifs majeurs :

- extrapoler, si nécessaire, les données disponibles à l'ensemble de la pêche, ceci lorsque les enquêtes effectuées ne recouvrent pas la totalité des marées (cas très exceptionnel);
- obtenir un fichier condensé des captures par espèce, par secteur et par moule (fichier P);
- obtenir les données compilées de prise, d'effort et de rendement pour tous les secteurs et pour le secteur total;
- obtenir ces mêmes renseignements par bateau afin de pouvoir comparer les unités de pêche et de standardiser leurs efforts.

Dans ce cas, seules sont retenues les quinzaines durant lesquelles la totalité des bateaux ont travaillé quasiment dans un seul secteur ou dans des secteurs contigus. Il s'agit en fait de l'équivalent de la méthode de ROBSON (1966) appliquée ici en partie manuellement compte tenu du faible nombre de bateaux concernés (cf. infra). Dernièrement, la méthode de ROBSON elle-même a été appliquée à l'aide du programme GENSTAT (LALOE, comm. pers.), ce qui nous a permis de vérifier que les résultats obtenus étaient pratiquement identiques dans les deux cas.

Les efforts de pêche calculés sont les suivants :

Nombre de visites - Il correspond au nombre de fois où le secteur de pêche a été fréquenté par un bateau à des fins de pêche, qu'il y ait eu ou non capture.

Temps de marée réel - Il correspond au temps total passé en mer entre la sortie du port et le retour.

Durée d'effort de pêche - Elle représente le temps passé en mer pour les opérations de recherche et de capture du poisson. On retire les temps de trajet à l'aller et au retour des lieux de pêche habituels, ce qui nécessite une bonne connaissance de la pêcherie.

Durée d'effort de recherche - Elle sert à déterminer le temps consacré strictement à la recherche du poisson. Elle est calculée en retirant du temps d'effort de pêche précédemment défini, les périodes de temps consacrées à la capture et à l'embarquement du poisson : on considère que, dès qu'un banc a été repéré par les sardiniers, l'effort de recherche s'arrête, suivant en cela le raisonnement de PELLA et PSAROPOULOS (1975) pour les pêcheries thonières. Pour réaliser ceci, le programme utilise les temps moyens observés dans notre pêcherie pour l'encerclement et la fermeture de la poche du filet (36 mn) et pour l'embarquement du poisson à bord (42 mn pour 10 t).

Nombre de calées - C'est le nombre total de calées positives et négatives ayant eu lieu par secteur ou par bateau. On notera qu'il s'agit là à la fois d'un effort de pêche et d'un indice d'abondance si on considère qu'il est proportionnel au nombre de bancs.

A ces cinq efforts de pêche correspondent cinq prises par unité d'effort (p.u.e.) qui sont calculées par secteur de pêche et par bateau.

Traitement des fréquences de taille.

Les programmes FRESSEN et FREDEM cumulent simplement les fréquences des échantillons après les avoir regroupées par espèce, pour chaque strate de temps. Aucune extrapolation n'est effectuée par rapport à la capture totale; les moules et les zones sont (FREDEM), ou ne sont pas (FRESSEN), pris en considération. Les résultats sont présentés sous forme de tableaux dans lesquels les fréquences sont exprimées en nombre réel et en pourcentage du nombre total. De plus, un histogramme en bâtons est tracé et les principaux paramètres mathématiques sont calculés (moyenne, variance et écart-type avec correction de Sheppard, etc.). L'intérêt de ce programme est de pouvoir effectuer une étude rapide d'un échantillonnage avec un minimum de données de base (prise totale non nécessaire), à partir du seul fichier F.

Le programme FRESAR a pour but d'extrapoler les fréquences des échantillons à l'ensemble des captures des sardiniers dakarois. Cette extrapolation se fait de façon très détaillée en recherchant des correspondances précises entre les références de la prise et celles de l'échantillon [8, p. 58-61, fig. 22-27].

Pour chaque strate temporelle, le programme traite d'abord séparément le fichier P, puis le fichier F, et enfin il regroupe les informations issues de ces deux fichiers.

Sur le fichier P, on effectue dans un premier temps le cumul des captures par zone et par moule. Ensuite les poids des prises de moule inconnu sont répartis proportionnellement à l'intérieur des différentes catégories de moules connus. Si aucun moule n'est déterminé pour une strate espèce-zone, un message est imprimé.

Sur le fichier F, les fréquences et les poids d'échantillons d'une même strate, espèce-zone-moule, sont cumulés dans un tableau F1. Un regroupement plus large, espèce-moule est effectué dans un tableau F2.

Le programme cherche ensuite les correspondances entre les tableaux P et F à l'aide des trois critères : espèce, zone et moule. Si la concordance est complète, c'est-à-dire si pour chaque capture d'une espèce dans une zone donnée et pour un moule déterminé il correspond un échantillon, l'extrapolation des fréquences est effectuée à partir du rapport du poids de la capture au poids de l'échantillon. Lorsque la concordance est incomplète, deux cas sont alors possibles :

- Le même moule de capture a été échantillonné pour cette espèce dans d'autres zones de pêche. Dans ce cas l'extrapolation s'effectue par substitution de strate à partir du tableau F2 espèce-moule regroupant tous les échantillons des différentes zones de pêche et constituant une strate moyenne fictive.

- Le même moule n'a jamais été échantillonné. Dans ce cas aucune extrapolation par moule n'est possible. Cette situation est rarement observée (moins de 2% des prises annuelles). Dans les répartitions des captures par groupe de tailles qui suivent, ces prises ont été attribuées au mieux en fonction de la saison considérée et du lieu de pêche.

Afin d'éviter les inconvénients de ce premier niveau d'extrapolation, rigoureux mais parfois incomplet, le deuxième niveau, plus large, est imprimé en dernier lieu sous la rubrique: TOUS MOULES. Il représente l'extrapolation du cumul de la totalité des échantillons à l'ensemble des captures, sans distinction de zone ni moule. Dans l'hypothèse où l'allocation de l'effort d'échantillonnage serait rigoureusement proportionnel aux captures, les deux niveaux d'extrapolation produiraient les mêmes résultats. Ceci n'est jamais tout à fait possible et la comparaison des deux types de résultats permet d'apprécier la valeur de la technique d'échantillonnage et son amélioration éventuellement (bien que, dans certains cas de forte variabilité interstrates, l'allocation proportionnelle ne constitue pas la solution idéale).

L'écart type de l'ensemble de la population capturée a été estimée pour les différents moules. Il varie de 0,4 à 0,7 cm pour les moules unimodaux, correspondant à l'essentiel des captures. Il peut atteindre 2 cm pour les moules plurimodaux, mais cette mesure a ici peu de sens.

IV. 3.2. Pêche artisanale au filet

Le système de collecte et de traitement des données est similaire à celui mis en place pour la pêche semi-industrielle. Seules les particularités seront notées ici.

IV. 3.2.1. Collecte des données

Les enquêtes ont lieu dans les trois principaux centres de pêche au filet (Mbour, Joal et Hann). A Djifère, les statistiques fournies par l'usine étaient relevées par pêcheur et permettent d'obtenir un niveau d'information suffisant. Les résultats globaux de ces grands centres sont multipliés par des facteurs d'extension calculés par engin de pêche (sennes tournantes et filets maillants) à partir de recensements du parc piroguier réalisés sur l'ensemble de la Petite Côte.

Dans chaque centre, les enquêtes sont effectuées durant un nombre de jours limité chaque semaine (tous les jours ouvrables en 1976-77 et en 1977, puis une semaine sur deux de 1978 à 1980, et de nouveau tous les jours ouvrables depuis 1981). Le nombre total de sorties est estimé par un double comptage des pirogues avant et pendant la période de pêche. Lors du débarquement, seul un échantillon de pirogue est enquêté. Il se répartit autant que possible tout au long de la période de débarquement et concerne 20 à 50 pirogues, soit 20 à 80 % du nombre total de sorties du jour d'enquête en général. On effectue ici aussi des mensurations du poisson.

Une étude de la précision des estimations de captures et de p.u.e. a été réalisée par LALOE (1985) pour les sennes tournantes de la côte Nord et a permis d'estimer les différentes sources de variabilité. Le coefficient de variation global est de l'ordre de 30%, incluant les erreurs d'estimation du poids des captures à partir des tas de poissons. Sur la Petite Côte, où l'estimation se fait par examen des captures à l'intérieur des pirogues dont la capacité totale est connue, cette erreur est probablement plus faible.

IV. 3.2.2. Traitement des données

Le programme de traitement utilise ici systématiquement l'extension des données enquêtées à l'ensemble de la pêche. Le calcul des coefficients d'extension prend en compte la variabilité du nombre de sorties en fonction du jour de la semaine, variabilité liée au plus faible nombre de sorties les jours d'offices religieux : un coefficient moyen est calculé chaque année pour chaque jour de la semaine et pour chaque engin de pêche.

Aucune standardisation de l'effort de pêche n'est entreprise, les pirogues étant rarement immatriculées. Bien que l'on relève de grandes différences dans les caractéristiques des unités de pêche (capacité de charge, dimensions de l'engin), il semble que celles-ci ne soit pas reliées aux différences de puissance de pêche relevées. Nous verrons que ces dernières sont plutôt liées à l'équipage.

Compte tenu du grand nombre d'unité de pêche, du fort taux d'enquête appliqué et de la relative stabilité des moyens de pêche depuis 1977, on peut supposer que cette absence de standardisation n'introduit pas de biais sérieux. Nous verrons cependant que la stratégie de pêche a pu évoluer sensiblement.

IV. 4. Choix d'une prise par unité d'effort de pêche représentative de l'abondance [9]

IV. 4.1. Considérations générales

On a analysé les pêcheries sardinières sénégalaises afin de choisir, parmi les unités d'effort habituellement relevées celle qui convient le mieux au calcul d'un indice de prise par unité d'effort aussi représentatif que possible des variations de densité des stocks et de leur abondance.

Les relations entre abondance et p.u.e. ont déjà fait l'objet de nombreux travaux dont la plupart ont été publiés par la F.A.O. (1976, 1978; SHARP et CSIRKE ed., 1983), le C.I.E.M. (1964, 1975) ou l'ICCAT (GULLAND, 1974; PELLA et PSAROPOULOS, 1975; GREENBLATT, 1976; LAUREC et LE GUEN, 1977; FONTENEAU, 1978). Ces travaux ont montré clairement que, pour les poissons pélagiques côtiers en particulier, de nombreux biais pouvaient intervenir lorsque l'on utilise la p.u.e. comme indice d'abondance. Les principales erreurs proviennent des changements de disponibilité et d'accessibilité du poisson ainsi que des variations dans la puissance de pêche des flottes, autant d'éléments que l'on maîtrise souvent très mal, sinon pas du tout. Les participants du symposium d'Aberdeen de 1978 (SAVILLE, 1980) ont une fois de plus mis l'accent sur les risques d'effondrement des stocks pélagiques et rappellent que, pour ces stocks, la diminution de l'abondance n'entraîne pas nécessairement une diminution des p.u.e., du fait que la réduction de l'aire de répartition ou de la période de pêche masque souvent le phénomène.

Le cas des stocks pélagiques du Sénégal ne fait sans doute pas exception, cependant nous ne reviendrons pas sur ces considérations, cherchant seulement ici à définir la moins mauvaise (sinon la meilleure) p.u.e. pour les flottes considérées.

Rappelons les équations suivantes :

$$F = qf \quad (1)$$

$$C = F\bar{B} = qf\bar{B} \quad (2)$$

où F est la mortalité par pêche, q le coefficient de capturabilité, f l'effort de pêche, C la capture et \bar{B} l'abondance moyenne (ou biomasse moyenne) pour la période considérée. De l'équation (2) on tire :

$$p.u.e. = \frac{C}{f} = q\bar{B} \quad (3)$$

Si la capturabilité est constante, on doit donc observer qu'une p.u.e. représentative est proportionnelle à l'abondance ou à la densité locale, dans les cas où l'effort de pêche ne s'exerce que sur une partie de l'aire de distribution du stock.

Dans le cas des flottilles sardinières sénégalaises, on ne dispose malheureusement pas de mesures d'abondance précises et régulières pour les fractions de stock exploitées par les pêcheries. De ce fait on a du avoir recours essentiellement à une analyse critique théorique et à des méthodes indirectes pour estimer la fiabilité des p.u.e. en tant qu'indices d'abondance.

Dans ces conditions, lorsque l'on observera des variations de p.u.e., il sera difficile de faire la part de ce qui est dû aux variations réelles de l'abondance et ce qui l'est aux variations de capturabilité (équation 3).

On a retenu quatre types d'effort de pêche usuels, auxquels correspondent des p.u.e. de même indice :

- le nombre total de coups de filet (effort 1)
- le nombre de sorties en mer ou marées (effort 2)
- le temps sur les lieux de pêche (effort 3)
- le temps de recherche (effort 4).

Le temps total passé en mer a été délibérément écarté de cette étude, son intérêt étant essentiellement d'ordre économique.

- Effort 1 : le nombre total de coups de filet.

La particularité des pêcheries pélagiques découle du fait que le poisson n'est pas dispersé de façon aléatoire dans le milieu, mais regroupé en bancs qui eux-mêmes présentent une tendance à l'agrégation sous forme de concentrations. La diminution de l'abondance peut affecter théoriquement un ou plusieurs des paramètres suivants : le nombre des concentrations, leur densité en bancs ou la taille moyenne des bancs (LAUREC et LE GUEN, 1977).

C'est dans cette dernière hypothèse seulement que la prise par coup de filet (p.u.e.) peut avoir un intérêt dans la mesure où, a priori, on peut penser qu'elle sera reliée à la taille des bancs capturés (CHAMPAGNAT, 1966). Toutefois une analyse simple permet de montrer que la relation est biaisée pour les tailles extrêmes des bancs. En effet, le pêcheur peut choisir les bancs à vue ou au sondeur, avant la capture, et se désintéresser de ceux qui sont trop petits, ce qui aura pour conséquence une sur-estimation des tailles moyennes. A l'inverse, les bancs les plus gros seront sous-estimés en raison de la saturation de l'unité de pêche, au niveau de l'engin ou à celui des cales, ce qui entraîne des rejets. On notera toutefois que la fréquence de ces rejets reste modérée ; elle est de l'ordre de 3 %.

Dans leur travail de synthèse, BLAXTER et HUNTER (1982) montrent que la taille des bancs chez les clupéidés présente une forte variabilité dans le temps aux échelles nyctémérale et saisonnière. Les mécanismes d'adaptation du regroupement en bancs répondent à des fonctions diverses pour lesquelles le type de distribution idéale ne sera pas le même. Pour assurer un maximum de protection contre les prédateurs, une répartition en bancs volumineux et denses diminuera les probabilités de rencontre. En revanche, pour optimiser leur probabilité de rencontre avec les taches de plancton, les clupéidés ont avantage à former de nombreux petits bancs, peu denses afin de diminuer la compétition entre individus voisins. Ce même mode de répartition des géniteurs est également favorable à la survie des larves qui seront issues de leur ponte, pour les mêmes raisons (BLAXTER et HUNTER ; 1982).

L'ensemble des éléments précédents incite à interpréter avec prudence l'évolution de la taille des bancs capturés.

- Effort 2 : nombre de sorties en mer.

Cet effort a l'avantage d'être facile à relever. Il peut être intéressant à analyser dans la mesure où le déroulement chronologique des marées est homogène au cours de la période de temps considérée. Au Sénégal, cette condition n'est pas respectée. Il est donc d'ores et déjà peu probable que le nombre de sorties en mer constitue une bonne unité d'effort de pêche dans notre cas. On observe en effet de fortes variations saisonnières et inter-annuelles de la proportion entre temps de route, temps de mer et temps de pêche active [9, p. 6 à 8 ; tabl. 2, 3 et 4].

- Effort 3 : temps sur les lieux de pêche.

Nous avons vu qu'une bonne connaissance de la pêcherie a permis d'éliminer les temps de route, lorsque le lieu de pêche habituel de la saison considérée est éloigné du port: on sait alors que les sardiniers s'y rendent en faisant route directement, sans rechercher le poisson. La p.u.e.3 correspondant à l'effort ainsi obtenu sera donc théoriquement plus intéressante que la précédente; toutefois les temps d'immobilisation du bateau lors des opérations de capture elles-mêmes ne sont pas déduits (PELLA et PSAROPOULOS, 1975).

Ces temps morts en matière de recherche du poisson ne sont pas négligeables : ils atteignent par exemple 23 % du temps total en mer des sardiniers dakarois en 1977. Cependant, du fait que l'on s'intéresse ici plus aux variations des indices d'abondance qu'à leur valeur absolue, pour juger du biais que présente la p.u.e. il faut considérer les variations du temps d'immobilisation en fonction de l'abondance ou, en d'autres termes, vérifier si la relation entre p.u.e.3 et p.u.e.4 reste à peu près linéaire à différents niveaux d'abondance. L'étude qui va suivre a porté sur des données mensuelles et s'est appuyée sur des considérations mathématiques.

- Effort 4 : temps de recherche.

Cette durée est obtenue à partir de l'effort 3 en soustrayant le temps nécessaire aux opérations de capture et d'embarquement du poisson. Nous avons vu que le temps de recherche peut être facilement estimé par la relation :

$$\text{effort 4} = \text{effort 3} - aN - bC \quad (4)$$

où C est la prise totale, N le nombre de coups de filet, a (36 mn) le temps moyen nécessaire à l'encercllement d'un banc et au hâlage de la senne et b (42 mn/10 t) la durée d'embarquement du poisson à bord, ces valeurs résultant d'observations réalisées à bord des sardiniers. Cette relation permet d'estimer les temps morts liés aux manoeuvres de la senne et aux manipulations du poisson.

Compte tenu du mode de distribution des poissons pélagiques, de la technique de pêche utilisée et des mécanismes théoriques de baisse d'abondance des stocks, le temps de recherche constitue a priori une unité d'effort de pêche intéressante.

IV. 4.2. Analyse des différentes p.u.e.

Certaines analyses comparatives permettent d'estimer indirectement si une p.u.e. est un bon, ou surtout un mauvais indice d'abondance.

IV. 4.2.1. Comparaison des variations temporelles de diverses p.u.e. d'une même unité de pêche

L'étude a d'abord porté sur les données mensuelles de la pêche semi-industrielle en 1977. Le calcul des p.u.e. a été fait en considérant la prise totale et en retenant les quatre unités d'effort précédemment définies, auxquelles correspondent les p.u.e.1, 2, 3 et 4.

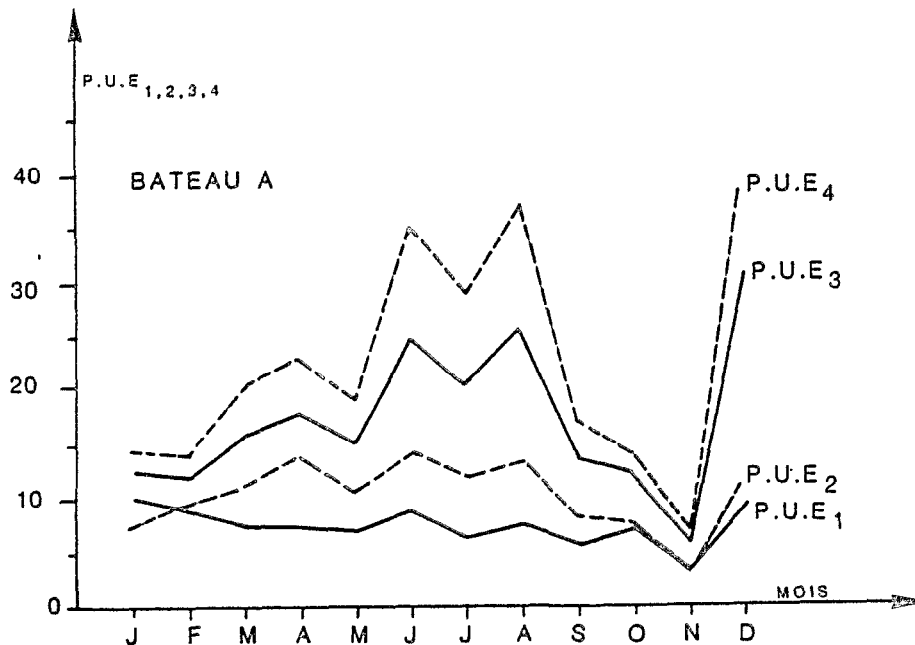


Fig- 29 - VARIATIONS MENSUELLES DE DIVERSES PRISES PAR UNITE D'EFFORT (P.U.E) DU SARDINIER DAKAROIS A EN 1977 [9]

P.U.E.₁ : Prises moyennes par coup de filet (tonnes /coup).

P.U.E.₂ Prises moyennes par sortie en mer (tonnes /sortie).

P.U.E.₃ Prises moyennes par temps de recherche et de capture (tonnes /dix heures).

P.U.E.₄ Prises moyennes par temps de recherche (tonnes /dix heures).

Les résultats des sept sardiniers étudiés sont comparables [9, p. 15-16, fig. 1 et 2]. Les variations mensuelles de p.u.e. ont une amplitude relative croissante lorsque l'on passe de la p.u.e.1 à la p.u.e.4 (voir l'exemple d'un sardinier fig. 29). On notera, en particulier, que les prises par marée et par coup de filet sont pratiquement stationnaires, excepté en fin d'année, alors que les p.u.e.3 et 4, faisant intervenir le temps de recherche et de capture, indiquent deux maxima, l'un en saison chaude (juin à août), l'autre en saison froide (décembre). Ces deux maxima correspondent, pour la pêche, à deux périodes de grande abondance qui, si on ne peut les chiffrer précisément, ne peuvent être mises en doute : le premier maximum correspond à l'arrivée dans la pêche de jeunes reproducteurs de S. maderensis ; le pic de décembre est dû au passage près de Dakar des migrateurs adultes de S. aurita, comme l'indique la structure démographique des captures (Annexe I). On voit donc que les deux dernières p.u.e. reflètent probablement mieux la réalité que les deux premières.

Ces résultats, relativement anciens, portaient sur les prises totales. Dernièrement, on a effectué l'analyse des prises moyennes par coup de filet et par espèce en ne considérant que les marées où des prises monospécifiques avaient été réalisées. Les résultats montrent que ces prises fluctuent très largement selon un cycle saisonnier et présentent une tendance à la baisse depuis 1969, en particulier pour S. aurita (fig. 30 et 31). La taille minimum des bancs s'observe en saison chaude pour cette espèce, alors que pour S. maderensis cette saison correspond à la taille maximum. Ce déphasage explique la relative stabilité de la taille moyenne des bancs, toutes espèces confondues. Compte tenu des remarques précédentes au sujet de la complexité des fonctions du mode d'agrégation, une étude plus approfondie est nécessaire pour interpréter ses résultats (prenant en compte les moules, les stades physiologiques et les heures de capture, ainsi que l'évolution de la capacité des cales de la flottille)

Afin de mieux saisir les relations existant entre les différents indices d'abondance étudiés, on a reporté sur un graphique, et pour chaque bateau, les valeurs des p.u.e.1, 2 et 4 en fonction de la p.u.e.3 (exemple fig. 32; [9, p. 17, fig. 3 et 4]); la relation entre les p.u.e.3 et 4 peut être déduite du calcul des efforts de pêche correspondants.

Si l'on admet en première approximation que C est proportionnel à N, l'équation (4) sera du type :

$$\text{effort 4} = \text{effort 3} - a'C \quad (5)$$

De cette équation, on tire facilement :

$$p.u.e.4 = \frac{p.u.e.3}{1 - a' p.u.e.3} \quad (6)$$

Pour des valeurs de p.u.e. 3 et p.u.e. 4 positives, la relation est curviligne et indique une plus grande sensibilité de la p.u.e.4 aux changements d'abondance. Toutefois, dans l'intervalle des valeurs d'effort calculées pour 1977 (50 à 400) et en utilisant les valeurs a et b retenues, la relation est pratiquement linéaire, ce qui montre que les deux indices d'abondance fournissent des indications proches l'une de l'autre.

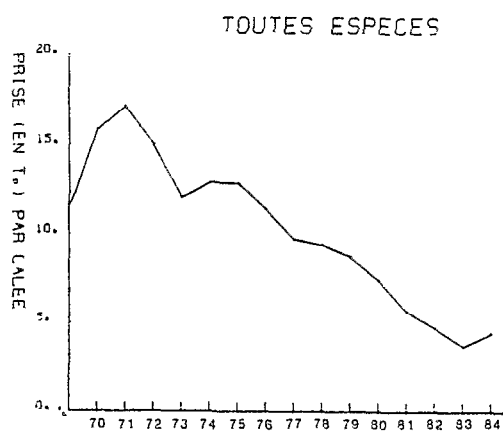


Fig. 30 - Variations de la prise moyenne annuelle par calées positives des sardinières dakarois de 1969 à 1984 (toutes espèces confondues).

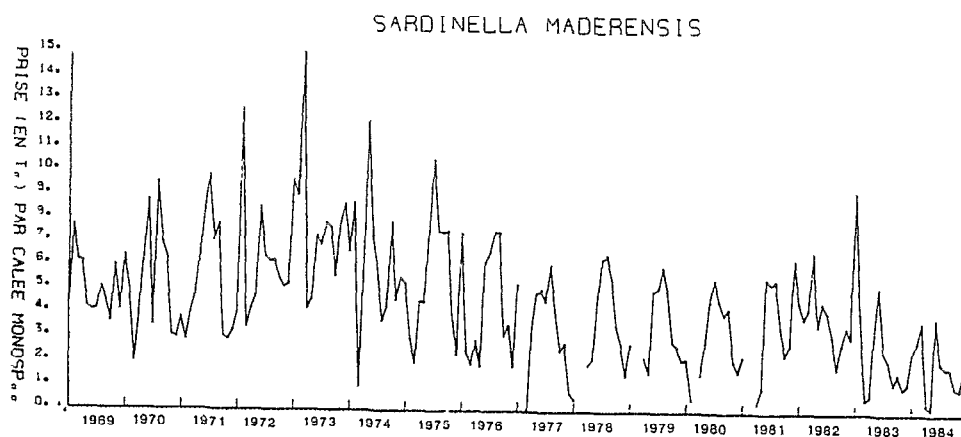
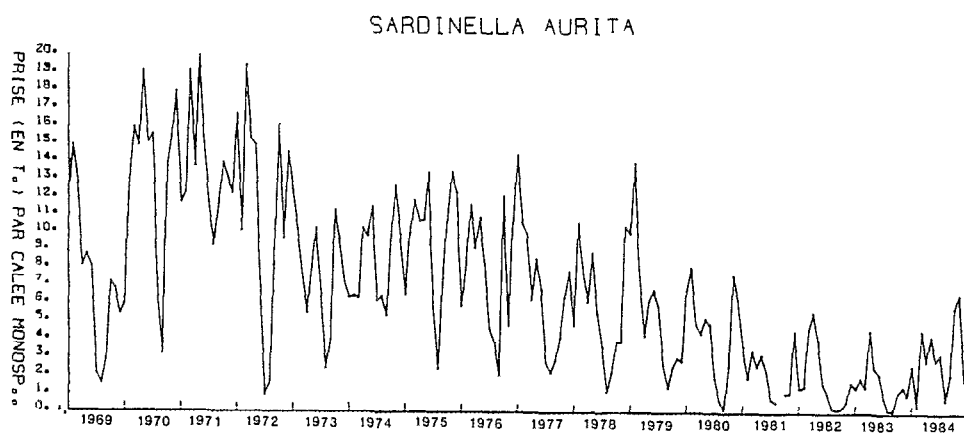


Fig-31- Variations de la prise moyenne mensuelle par calées positives des sardinières dakarois de 1969 à 1984 pour S. aurita et S. maderensis.

Les pentes des droites sont intéressantes à considérer: elles sont voisines de 1,5 et bien sûr très significatives pour les régressions entre p.u.e.4 et p.u.e.3 ; en revanche, elles sont beaucoup plus faibles et parfois pas significativement différentes de zéro pour les régressions entre p.u.e.2 et p.u.e.3, et surtout p.u.e.1 et p.u.e.3. Il est vraisemblable que ceci résulte du peu de sensibilité des p.u.e.1 et 2 aux variations d'abondance, en raison des limites que présentent ces indices, comme nous l'avons souligné.

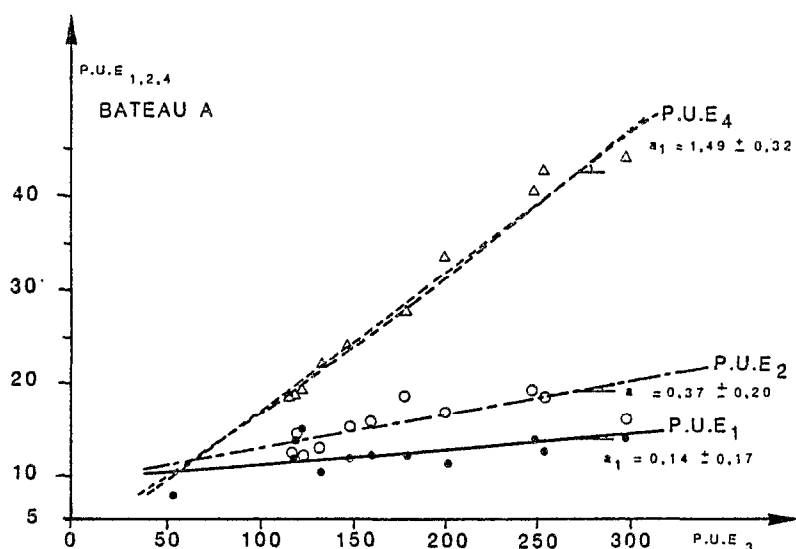


Fig- 32: DIVERSES PRISES PAR UNITÉ D'EFFORT (P.U.E) MENSUELLES DU SARDINIER DAKAROIS A EN 1977 [9]

P.U.E₁ Prises moyennes par coup de filet (tonnes/coup).

P.U.E₂ Prises moyennes par sortie en mer (tonnes /sortie).

P.U.E₄ Prises moyennes par temps de recherche (tonnes /dix heures).

L'étude a porté ensuite sur les données bimensuelles de 1978 concernant les pirogues de senne tournante basées à Mbour sur la Petite Côte du Sénégal. Des schémas obtenus, on tire les mêmes conclusions que pour les sardiniers. Toutefois, la relation entre les p.u.e.3 et 4 est ici moins linéaire, ceci en raison de la valeur plus élevée que l'on a estimée pour le coefficient a de l'équation (4) : la durée des opérations de pêche est ici plus difficile à évaluer, car plus variable (influence du nombre d'hommes d'équipage, de leur fatigue, de l'état de la mer, etc.). On a retenu le chiffre d'une heure pour l'embarquement de 5 t de poissons.

Enfin, les données de la pêche au filet maillant encerclant de Joal, sur la Petite Côte du Sénégal, ont été étudiées. Les résultats sont comparables à ceux obtenus pour les sennes tournantes, avec ici une relation plus linéaire, entre les p.u.e.3 et 4. Ceci est lié au poids des captures par sortie, qui est ici plus faible que pour les sennes tournantes. La proportion du temps de capture par rapport à la durée totale de la sortie reste donc modérée.

IV. 4.2.2. Comparaison des p.u.e. obtenues à partir de diverses unités de pêche de caractéristiques voisines

L'analyse n'a porté que sur les sardiniers dakarois, la non-identification des pirogues rendant difficile l'obtention de p.u.e. nominales pour la pêche artisanale. On a retenu pour cette étude les résultats de pêche mensuels de six bateaux qui ont travaillé de façon régulière au cours de l'année 1977, pêchant tous les six les mêmes espèces sur les mêmes lieux de pêche au même moment.

Pour les quatre efforts de pêche étudiés, on a établi des matrices de corrélation entre les rendements des six bateaux pour une p.u.e. donnée. Concernant les 15 corrélations recherchées, 3 sont significatives (seuil de 5%) pour la p.u.e.1, 8 pour la p.u.e.2, 12 pour la p.u.e.3 et 15 pour la p.u.e.4 [9, p. 26-27, tabl. 6 à 9]. Ici encore les résultats sont donc en faveur des p.u.e.3 et 4 qui présentent les mêmes tendances d'un bateau à l'autre.

IV. 4.2.3. Comparaison des p.u.e. obtenues à partir de divers types d'exploitation d'un même stock

A partir des données récentes, on a comparé les indices d'abondance annuels des deux stocks de sardinelles rondes et de sardinelles plates, obtenus à partir des sardiniers dakarois d'une part et des pirogues de la pêche artisanale à la senne tournante d'autre part, les groupes de tailles capturés étant les mêmes (FREON et al., 1978). Les résultats obtenus (fig. 33) indiquent une concordance relativement bonne des deux séries jusqu'en 1980 (pour *S. aurita* en particulier), raison pour laquelle ils avaient été tous deux utilisés pour le calcul d'un indice d'abondance moyen jusqu'à cette date [14]. Ces indices ne sont plus étroitement corrélés par la suite, aussi, lors du dernier groupe de travail [Anonyme, 1985] a-t-on considéré que les sardiniers fournissaient un indice plus fiable et plus représentatif que celui de la pêche artisanale, et l'on a repris les calculs sur toute la série historique en ne conservant que la p.u.e. des sardiniers.

Par ailleurs, on a comparé les p.u.e. de deux types d'engins de pêche employés à Joal : la senne tournante et le filet maillant encerclant à petites mailles, utilisés tous les deux par les piroguiers pour l'exploitation du stock de sardinelles plates. Bien que le filet maillant soit un engin sélectif, les captures des deux engins se font à 90 % sur des jeunes reproducteurs appartenant à la même classe d'âge. Les résultats tendent à montrer qu'au moins l'un des deux engins (sinon les deux) ne fournit pas d'indices d'abondance valables en utilisant les efforts de pêche 1 et 2. Les résultats sont meilleurs pour les p.u.e.3 et 4 sans toutefois que la relation entre les rendements des deux engins soit très nette [9, p. 25, fig. 7]. On notera en particulier une plus grande variabilité des p.u.e. des sennes tournantes (courbe en dents de scie). Il est probable que celles-ci ne constituent pas un très bon indicateur d'abondance pour la sardinelle plate qui n'est pas l'espèce cible des artisans utilisant cet engin (un quart des captures).

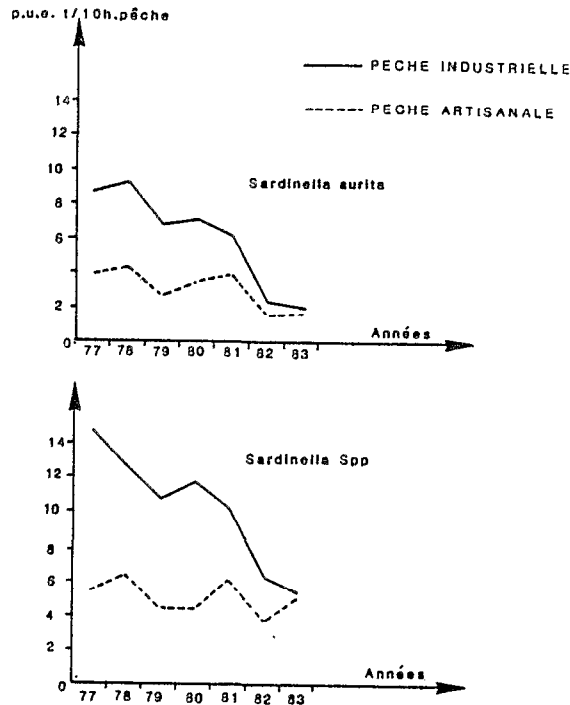


Fig- 33. COMPARAISON DE L'EVOLUTION DES PRISES PAR UNITE D'EFFORT DE PECHE (p.u.e.) DES PECHERIES SEMI-INDUSTRIELLE ET ARTISANALE A LA SENNE TOURNANTE DE 1977 à 1983 POUR LES SARDINELLES

IV. 4.2.4. Facteurs déterminants de la puissance de pêche des sardiniers dakarois

On a recherché les facteurs déterminants de la puissance de pêche en portant sur un graphique les p.u.e. nominales de 9 sardiniers et successivement trois caractéristiques techniques : la puissance du moteur, la capacité des cales et la longueur du filet [9, p. 4, tabl. 1]. On a retenu pour cela les p.u.e.3 de saison chaude de 1977 et de 1978. Il ne semble pas qu'il y ait de relations évidentes entre les variations étudiées et, de plus, les schémas sont parfois différents d'une année sur l'autre pour certains bateaux [9, p. 30-31, fig. 8 à 10]. Une étude plus complète a été effectuée sur 5 ans et a montré une variabilité dans les puissances de pêche relatives de certains sardiniers, les changements étant le plus souvent liés à un renouvellement d'équipage (patrons de pêche en particulier), alors qu'il n'y avait pas de modification dans l'équipement des sardiniers. Il semble donc que, dans la mesure où les caractéristiques des bateaux sont relativement homogènes, l'habileté de l'équipage joue un rôle prépondérant dans la puissance de pêche des senneurs. De ce fait, afin de standardiser au niveau inter-annuel les efforts de pêche de la flottille, on calcule chaque année un nouveau coefficient de standardisation individuel à partir d'un bateau étalon théorique. Dans le but de réduire le risque de biais du à un glissement à long terme de la puissance de pêche de la flotte, cet étalon représente la puissance moyenne de 4 ou 5 sardiniers existant depuis le début de la pêcherie, et dont l'équipement n'a pas varié. Il demeure le problème d'un apprentissage progressif des pêcheurs venant augmenter l'efficacité

moyenne des bateaux étalons. Ce phénomène a été très net les premières années de l'existence de la pêcherie (1962 à 1967); il semble qu'actuellement la situation se soit stabilisée si l'on en juge par la régularité du schéma d'exploitation au cours des douze dernières années.

IV. 4.2.5. Abondance mesurée par écho-intégration et p.u.e.

Au Sénégal, plusieurs campagnes d'écho-intégration ont été effectuées (Anonyme, 1983a) et l'on a retenu six valeurs en saison froide et trois en saison chaude [9, p. 32, tabl. 11]. Du fait que la pêcherie sardinière ne couvre qu'une partie de l'habitat des stocks de sardinelles, on a jugé plus intéressant de comparer les p.u.e. aux densités mesurées dans la pêcherie plutôt qu'aux biomasses totales des stocks. Les données sont malheureusement imprécises et couvrent l'ensemble des espèces pélagiques et démersales. On peut toutefois supposer que les espèces de poissons pélagiques capturées par les sardiniers constituent l'essentiel de la biomasse totale. Aussi, des corrélations ont-elles été recherchées entre la densité obtenue par écho-intégration et les quatre p.u.e. déjà définies, malgré les réserves sur la qualité des données et en dépit du fait que la distribution des valeurs n'est probablement pas gaussienne. Les valeurs absolues des coefficients de corrélation n'ont donc ici qu'une valeur indicative. On constate que pour la saison chaude les résultats ne sont pas cohérents, vraisemblablement du fait que les bancs de poissons évitent le bateau de recherche sur les fonds de 8 à 15 mètres où ils sont alors plus abondants qu'en saison froide. Les résultats obtenus durant les campagnes d'avril ([GERLOTTO *et al.*, 1976]; ANONYME, 1983b) indiquent encore une fois que les p.u.e.1 et 2 sont beaucoup moins satisfaisantes que les p.u.e.3 et 4, sans pour autant que l'on puisse affirmer que ces dernières ne soient pas critiquables.

IV. 4.3. Conclusion sur le choix d'une p.u.e.

Bien que l'on ne dispose pas de méthode rigoureuse pour déterminer quel serait l'indice d'abondance idéal pour les pêcheries pélagiques sénégalaises, toutes les méthodes d'application directes et indirectes utilisées suggèrent que la prise par coup de filet et la prise par sortie en mer ne constituent pas de très bons indices. Ils sont en effet très sensibles aux divers phénomènes de saturation et ne semblent pas être directement proportionnels aux variations d'abondance ou de densité. Au contraire, la prise par temps passé sur les lieux de pêche, et mieux encore la prise par temps de recherche, semblent indéniablement être mieux adaptées. On élimine ainsi des temps morts de durée variable consacrés aux déplacements sur les lieux de pêche et -dans le cas du dernier effort- à la manipulation des engins de pêche et du poisson. Ces conclusions peuvent paraître évidentes à l'heure actuelle, mais tel n'était pas le cas il y a plus de dix ans, lorsque nous avons décidé du choix des unités d'effort. On gardera à l'esprit que, dans le cas des sardiniers dakarois, les variations des p.u.e. peuvent indiquer aussi bien des changements d'abondance que de capturabilité. Leur tendance à la baisse observée depuis 1966, est susceptible de fournir un indice d'abondance biaisé dans deux sens opposés. La diminution d'abondance est peut être surestimée du fait que la compétition entre bateaux et entre flottilles (artisanales et semi-industrielle) va en augmentant sur une surface réduite, ne représentant pas l'ensemble

de l'aire de répartition des stocks. Elle est peut être sous-estimée du fait de l'augmentation de capturabilité des stocks sous un fort taux d'exploitation, et/ou en raison de la possibilité qu'ont les pêcheurs de diminuer le seuil de la taille minimale des bancs qu'ils jugent opportun de capturer. Nous verrons que, par recoupement, il semble que l'indice d'abondance fourni par les sardiniers soit acceptable, ce qui laisse supposer que ces biais sont mineurs ou s'annulent mutuellement. Quant à l'indice d'abondance calculé à partir des pêches artisanales, il semble moins représentatif que le précédent.

Concernant la flotte polonaise ayant travaillé au Sénégal de 1977 à 1980, on ne dispose que du nombre total de jours en mer (1977) et du nombre de jours de capture (1977 à 1979). Ces unités ne sont pas idéales pour le calcul d'une p.u.e. : la première comporte les temps morts liés aux déplacements de la flotte, et l'on n'est pas certain que ceux-ci représentent une proportion constante d'une année à l'autre ; la seconde peut introduire une sous-estimation de la baisse des rendements dans la mesure où une augmentation du nombre de jours de recherche, non accompagnés de prise, ne serait pas pris en compte. Ce biais semble cependant faible aux niveaux d'abondance relevés durant cette période.

IV. 5. Effort de pêche, captures et p.u.e. annuels

IV. 5.1. Pêche hauturière

Les données de pêche des flottes hauturières sont imprécises et parfois contradictoires, selon les sources d'informations. Seule la prise totale par grands groupes d'espèces (clupéidés, chinchards, maquereaux) semble à peu près fiable. La ventilation par espèces est approximative, celles-ci n'étant pas triées à bord dans bien des cas (fabrication de farine). Dans le cas des sardinelles, il n'a pas été possible de séparer les prises des deux espèces (tabl. 5). Les captures de sardines (Sardina pilchardus) sont maintenant bien identifiées (tabl. 6) ce qui n'était probablement pas le cas il y a quelques années lors de l'apparition de cette espèce dans la pêcherie [1].

L'imprécision se situe également au niveau de la localisation des captures, avant 1972 en particulier, puisqu'en raison de l'absence de législation (ou de contrôle) des eaux territoriales des pays riverains, les flottes opéraient sur toute la région sénégal-mauritanienne en suivant les concentrations. Enfin, l'effort de pêche est rarement disponible, tout au moins sous une forme permettant le calcul d'un indice d'abondance représentatif. Les raisons en sont l'hétérogénéité des flottes, l'irrégularité de leur schéma d'exploitation d'une année à l'autre et leur augmentation de puissance au fil des années. Seules les données concernant le maquereau, unique espèce de son groupe au sud de 22°N, sont fiables quant aux prises totales.

Les captures soviétiques n'étaient pas subdivisées par secteur avant 1972 pour les maquereaux et les chinchards, aussi les tableaux présentés jusqu'alors par le COPACE incluaient-ils les prises réalisées dans la division statistique Sherbro (5° à 9°N). Sur la base de la série historique [COPACE, 1980], nous avons calculé les proportions que représentaient les captures dans ce secteur entre 1972 et 1979, pour ces espèces. Ces valeurs, remarquablement stables d'une année sur l'autre, sont de

NAVIRES	PAYS	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Chalutier	BULGARIE				37	1 845	5 606	2 604	952	3 624	165	582	212	261	199			536		1 289
Hauturier	CEE																			
	GHANA***	2 778	4 621	3 853	600	3 712	4 428	4 928	142	179	2 662	5 760	9 453	13 293	19 198	12 415	8 966	2 582	2 500*	?
	POLOGNE					1 500	2 690	1 480	1 269	1 411	335	54	1 267	1 399	38 673	40 539	50 124	46 713	45 000*	?
	ROUMANIE							74	647	3 303	4 232	1 188	1 821	611	1 498	387	103	2 864	6 420	9 616
Chalutier	R.D..A	13			87	51	' 240	239	2 514	397					10	250	2 178	5 339	4 163	5 084
Senneur	CUBA						100	1 400							200					
Hauturier	URSS	3 700	1 100	5 000	6 400	22 000	30 000	35 000	40 000	45 000	50 000	55 000	59 109	51 225	67 715	52 331	43 529	51 107	25 353	27 137
Senneur	NORVEGE							54 669	71 605	126 761	71 489	9 662	9 852							
Hauturier	BERMUDES							120 000	136 000	136 000	128 119	73 485	146 835	65 903	154 317	140 000	75 000	180 000*	80 000*	?
	AFRIQUE SUD							90 000				3 500*	3 500*	3 419	3 705	2 400				
	COTE D'IVOIRE																			
Total hauturier		6 491	5 721	8 853	7 124	29 108	43 064	310 394	253 129	316 675	257 002	149 231	232 049	136 111	285 315	248 522	179 974	289 141	163 436	43 126**
Senneur	SENEGAL Sen.	4 063	4 702	6 445	5 407	8 857	14 477	13 643	11 480	21 723	26 206	27 774	21 927	26 729	22 398	17 965	22 313	23 796	26 819	23 000*
Pirogues*	SENEGAL Pir.	22 900	23 300	22 800	21 000	19 700	18 800	15 600	19 200	32 000	32 100	38 300	36 100	49 200	56 360	58 990	49 010	49 540	62 212	54 342
Côtiers	MAURITANIE	3 000	3 900	5 400	5 610	6 510	7 800	13 200	17 361	8 895	7 173	7 770	6 030	5 500	6 860	6 610	6 120	5 850	6 710	6 610
	GAMBIE														365	19	14	342	22	17
Total côtier		29 963	31 902	34 645	32 017	35 067	41 077	42 443	48 041	62 618	65 479	73 844	64 057	81 429	85 983	83 584	77 457	79 528	95 763	83 869**
TOTAL		36 454	37 623	43 498	39 141	64 175	84 141	352 387	301 170	379 293	322 481	223 075	296 106	217 540	371 298	332 106	257 431	368 669	259 199*	127 095**

* estimé ** total partiel *** senneurs après 1975

Tableau 5 : Estimation des captures totales de sardinelles de 9 à 26° N.

Sources : COPACE (1979, 1984), données disponibles au CRODT.

ANNEES	PRISES (10 ³ t) PAR SECTEUR DE PECHE		
	19 à 26° N	9 à 19° N	TOTAL
1964 à 1968	0	0	0
1969	80	0	80
1970	89	0	89
1971	124	0	124
1972	64	75	139
1973	244	11	255
1974	436	35	440
1975	429	0.7	430
1976	647	5	652
1977	570	0.6	571
1978	223*	1	224
1979	134*	0.1	134
1980	218*	0.5	218
1981	206*	0	206
1982	164	0	164
1983	174	0	174

* Estimations pour les captures des Bermudes (Flotte Interpêche)

Tableau 6 : Captures de sardine (Sardina pilchardus) provenant du stock C entre 26 et 9° N, de 1964 à 1983.

Source : COPACE (1985) modifié.

ANNEES	CAPTURES 10 ³ t		
	Pêches hauturières	Pêches semi-indust. et artisanales.	TOTAL
1964	52.1*	3.5	55.6
1965	54.6*	3.5	58.1
1966	38.1*	3.9	42.0
1967	101.5*	3.9	105.4
1968	148.9*	4.1	153.0
1969	223.9*	3.1	227.0
1970	384.4*	4.5	388.9
1971	461.7*	2.9	464.6
1972	448.4	2.6	451.0
1973	493.1	4.2	497.3
1974	451.1	5.9	457.0
1975	326.0	6.4	332.4
1976	410.1	6.2	416.3
1977	437.7	5.7	443.4
1978	312.9	5.7	318.6
1979	238.4	7.2	245.6
1980	516.4	7.6	524.0
1981	351.1	11.5	362.6
1982	(369.4)	12.4	(381.8)

* Déduction faite d'une estimation des captures soviétiques dans la région guinéenne.

() Estimation partielle

Tableau 7 : Captures de chinchards (Trachurus trachurus, Trachurus trecae et Caranx rhonchus) entre 26° et 9° N de 1964 à 1982.

30 % pour les maquereaux et 29 % pour les chinchards. En l'absence d'indication sur une éventuelle modification de la répartition de l'effort soviétique de part et d'autre de la limite de 9°N avant et après 1972, nous avons retiré ces pourcentages des valeurs totales indiquées de 1964 à 1971, afin d'estimer les captures dans la zone sénégal-mauritanienne sensu stricto (tabl. 7).

Malgré leurs imprécisions, l'analyse chronologique de ces données fait apparaître très nettement quatre phases dans le développement de cette pêcherie (tabl. 8):

- avant 1967, faible niveau d'exploitation, procurant des captures de l'ordre de 100.000 t par an,

- de 1967 à 1970, augmentation spectaculaire de l'effort de pêche, en raison de l'arrivée des senneurs en particulier,

- de 1971 à 1977, relative stabilité de l'effort de pêche total (bien que la législation des différents pays ait entraîné certains déplacements de la flotte au sein de la zone sénégal-mauritanienne); les captures exceptionnelles de 1976 et 1977 sont probablement autant liées à l'augmentation des rendements sur les sardines et les chinchards qu'à une augmentation de l'effort de pêche.

- après 1977, l'effort a sensiblement diminué, en particulier du fait du contrôle exercé au large de la Mauritanie et du Sahara.

Années	Sardinelles		Sardines		Chinchards		Maquereaux		Total
	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t	%	10 ³ t
64	6	5	0	0	52	50	47	45	105
65	6	7	0	0	54	67	21	26	81
66	9	13	0	0	38	54	23	33	70
67	7	5	0	0	101	68	41	27	149
68	29	11	0	0	149	59	76	30	254
69	43	9	80	17	224	48	124	26	471
70	310	33	89	10	384	41	151	16	934
71	253	25	124	13	462	46	162	16	1 001
72	317	30	139	13	448	43	141	14	1 045
73	257	24	255	23	493	45	85	8	1 090
74	149	13	440	39	451	40	82	8	1 122
75	232	22	430	40	326	30	83	8	1 071
76	136	11	652	50	410	31	107	8	1 305
77	285	20	571	41	437	31	106	8	1 399
78	249	31	224	28	312	38	24	3	809
79	180	29	134	21	239	38	74	12	627
80	289	26	218	19	516	46	97	9	1 120
81	163	20	206	26	351	43	92	11	812

Tableau 8 : Captures des principales espèces pélagiques côtières entre 9° et 26° N par les pêches hauturières, de 1964 à 1981.

Sources : COPACE (1983 et 1984) et estimations.

La composition spécifique des captures a considérablement varié aux cours de la période d'observation. On note d'abord que la proportion des sardinelles a brutalement augmenté à partir de 1970, ce qui correspond à l'arrivée de senneurs dans la pêcherie, plus aptes que les chalutiers de l'époque à capturer cette espèce dont la vitesse de nage est élevée. Mais le phénomène le plus spectaculaire est sans aucun doute l'apparition massive de la sardine (Sardina pilchardus) dans la région à partir de 1969, alors qu'elle n'y est jamais signalée auparavant en quantité significative (on notera cependant que l'on ne dispose pas de données de pêche commerciale avant 1964). Les apports de cette espèce augmenteront rapidement jusqu'en 1976 où ils culminent à 650.000 t, soit la moitié des captures totales, pour décroître ensuite à 200.000 t par an. Durant la période de forte abondance des sardines, on note que les apports de chinchards ne diminuent pas sensiblement, contrairement à ceux des autres espèces. Ceci est particulièrement vrai pour le maquereau dont les captures totales ont diminué à partir de 1972, alors que l'effort de pêche total était probablement stable, voire en légère augmentation.

On a pu pour cette dernière espèce utiliser un modèle global de production au prix de certaines hypothèses. Le modèle initial [1] portait sur l'ensemble des captures réalisées entre le nord Sahara (26°N) et le Libéria (4°N) et indiquait clairement que la surexploitation du stock était responsable des faibles apports relevés entre 1973 et 1975. Le modèle a été repris (COPACE, 1983) quelques années plus tard en utilisant des données plus détaillées présentées par zone pour le principal pays pêcheur (URSS). Les captures maximales équilibrées seraient de l'ordre de 100.000 t pour la région sénégal-mauritanienne, et le stock semble donc avoir retrouvé son état d'équilibre depuis 1976 (les faibles captures de 1978 sont probablement dues à une diminution de disponibilité).

Des modèles globaux de production ont été également proposés pour les chinchards noirs (Trachurus spp.) en utilisant comme indice d'abondance les p.u.e. de la flotte roumaine. Ils conduisent à des valeurs de prise maximale équilibrée situées entre 380.000 et 520.000 t (COPACE, 1983) qui sont en accord avec les estimations que nous avons déjà effectuées (450.000 t pour l'ensemble des chinchards [1]). Cependant, ces modèles cumulent beaucoup trop d'approximations et restent donc indicatifs : incertitudes sur la détermination des espèces, (avec Caranx rhonchus en particulier) et sur l'identité des stocks, augmentation considérable de la puissance de pêche des roumains entraînant des fluctuations de l'effort de pêche théorique entre 109 (1971) et 6 (1979), alors que l'effort réel a probablement augmenté au cours de cette période.

Cette analyse sommaire des résultats semble indiquer que ni les chinchards ni les maquereaux n'ont vu leur stock affecté par l'apparition massive des sardines dans la région. Il n'en est peut être pas de même pour les sardinelles, dont les apports ont diminué au cours de la même période, alors que la présence des senneurs aurait dû favoriser leur capture.

On a envisagé, il y a quelques années, de relier ce phénomène à une compétition entre ces espèces [13] qui ont un régime alimentaire très voisin (NIELAND, 1982), contrairement aux chinchards et aux maquereaux dont le régime alimentaire n'est que partiellement planctonophage. En fait, nous savons maintenant que les sardines n'immigrent qu'en saison froide dans le nord de la

zone sénégal-mauritanienne (COPACE, 1985), au moment où l'essentiel du stock de *S. aurita* (individus adultes) migre vers le sud. La compétition ne peut donc avoir lieu qu'entre les sardines et les sous-stocks de sardinelles qui restent alors au nord de la région (jeunes *S. aurita* et *S. maderensis*). On peut aussi supposer que la diminution des apports de sardinelles est favorisée par un changement d'espèce cible de la part des pêcheurs, la valeur marchande des sardines étant supérieure à celle des sardinelles, (tant qu'il ne s'agit pas de les transformer en farine). Par ailleurs, les contrôles exercés par la Mauritanie dans sa Z.E.E. ont pu contribuer à déplacer l'effort de pêche vers le nord, où les sardines sont plus abondantes que les sardinelles. Nous reviendrons sur ce problème de compétition en examinant l'ensemble des données disponibles (V. 3).

Concernant le Sénégal, on dispose de statistiques de pêche relativement détaillées sur les activités de la flotte polonaise de 1977 à 1980, bien que les prises des sardinelles ne soient pas ventilées par espèces (tabl. 9).

Les rendements annuels des deux catégories de bateaux de cette flotte sont très différents : le rapport de puissance de pêche des B-29 à celui des B-23 varie de 1,5 à 1,9 selon les années. Ces valeurs sont supérieures à ce que l'on pourrait déduire, par analogie avec d'autres pêcheries, de la différence existant entre les caractéristiques des deux bateaux. Le fait que les B-23 capturent 5 fois plus d'espèces secondaires (moins abondantes mais de plus haute valeur commerciale) indiquerait qu'ils n'ont pas en permanence les mêmes espèces cibles que les B-29. L'état de vétusté des B-23 constitue probablement un facteur explicatif additionnel.

ANNEES ESPECES	1977		1978		1979		MOYENNE
	tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%	%
Sardinelles	35 646	77,7	40 539	87,2	50 124	74,0	79,6
Chinchards jaunes	4 261	9,3	1 345	2,9	8 012	11,9	8,0
Chinchards noirs	4 004	8,7	3 855	8,3	5 198	7,6	8,2
Maquereau	173	0,4	31	0,1	261	0,4	0,3
Dorades grises	252	0,6	48	0,1	67	0,1	0,3
Dorades rouges	13	0,0	2	0,0	(7)	0,0	0,0
Pelon gris	1 227	(2,7)	(362)	(0,8)	3 651	5,4	3,0
Divers	(275)	(0,6)	(278)	(0,6)	383	0,6	0,6
TOTAL	45 851	100	46 460	100	67 703	100	100

() estimations

Tableau 9.- Prises par espèce des chalutiers polonais (B-23 + B-29) travaillant au Sénégal de 1977 à 1979.

Source : A. WYSOKINSKY et M. KZREPTOWSKY, comm. pers.

L'effort total standardisé (par le rapport des p.u.e. des deux types de bateaux) a doublé entre 1977 et 1979, et les captures totales sont passées de 46.000 à 68.000 t. La baisse des rendements correspondante est de 28 %. Elle peut être attribuée à l'augmentation de la pression de pêche localement, l'essentiel de l'effort ayant eu lieu en Casamance (fig. 24), mais aussi aux variations des conditions climatiques comme nous le verrons.

IV. 5.2. Pêches semi-industrielles

Peu de données sont disponibles sur les flottilles non sénégalaises, mais nous avons vu que leur importance est secondaire pour les sous-stocks de sardinelles de la Petite Côte (tabl. 5).

ANNEES	Nombre de bateaux ayant effectué au moins une marée	Intervalle de variation du nombre de bateaux en activité au cours d'un même mois
1961	1	0 à 1
1962 à 1965	1	1
1966	2	1 à 2
1967	3	1 à 3
1968	3	1 à 3
1969	4	2 à 4
1970	5	3 à 5
1971	6	3 à 5
1972	5	3 à 5
1973	16	4 à 12
1974	18	8 à 14
1975	11	7 à 10
1976	13	8 à 12
1977	12	8 à 11
1978	10	6 à 5
1979	15	7 à 12
1980	18	8 à 14
1981	15	9 à 14
1982	21*	10 à 18
1983	19*	10 à 18

* Dont deux sardiniers industriels de plus de 250 tjb, travaillant surtout en Casamance

Tableau 10 : Evolution de l'effectif de la flottille sardinière dakaroise depuis le début de la pêche (novembre 1961).
Sources : voir texte.

La pêche sardinière dakaroise a débuté fin 1961 avec un bateau et comptait 19 unités en 1984 (tabl. 10). Les prises annuelles sont passées de 2.000 t au début de la pêche à 32.000 t en 1973 (BOELY et CHABANNE, 1975), avec deux paliers successifs. Les apports présentent une tendance à la baisse depuis 1977 (tabl. 11) malgré la rénovation de certains bateaux et l'arrivée de senneurs japonais armés par la Direction de l'Océanographie et des Pêches Maritimes du Sénégal (D.O.P.M.). 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 comme nous l'avons vu, 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 stratifications par zone. En revanche, on a calculé la moyenne non pondérée de 12 p.u.e. mensuelles pour obtenir un indice annuel d'abondance.

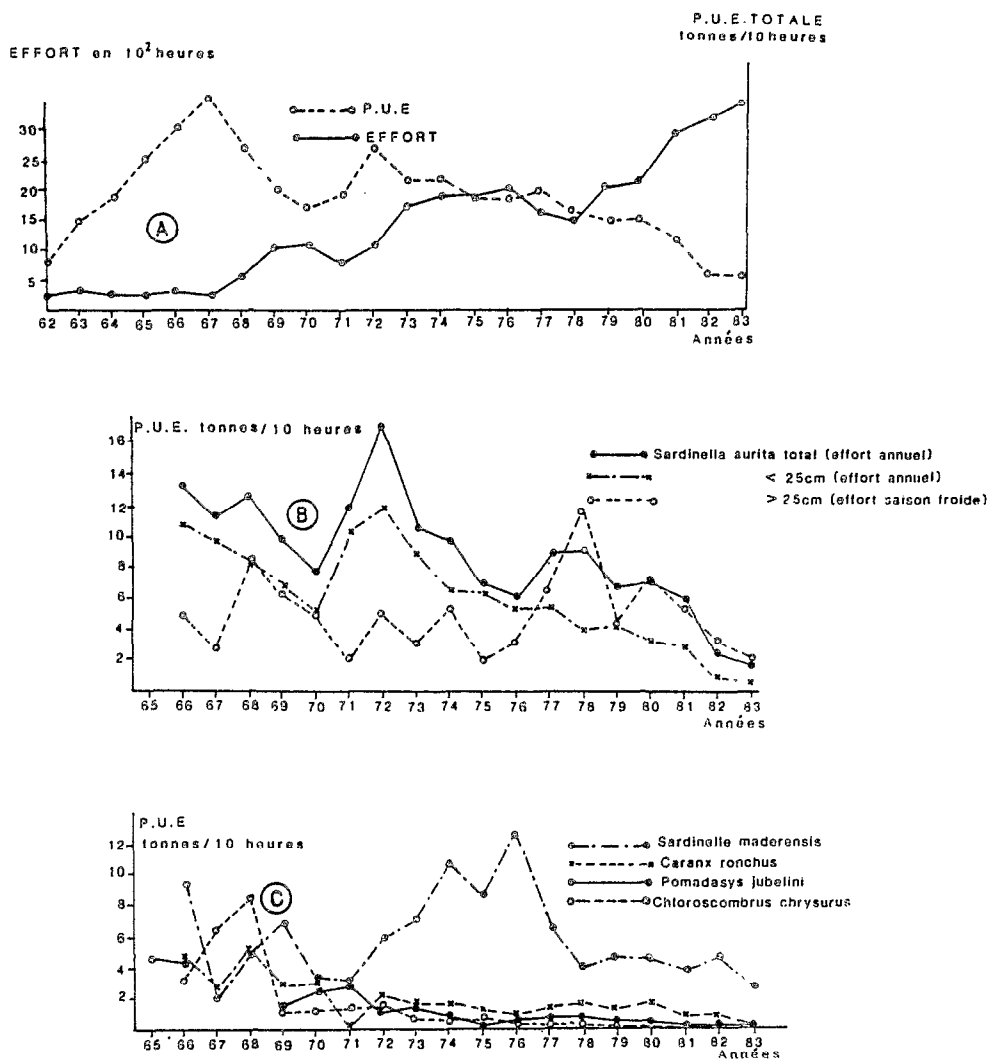


Fig-34-EVOLUTION DES RENDEMENTS ANNUELS SARDINIERS DAKAROIS DE 1965 A 1983

A = RENDEMENTS TOTAUX; B = RENDEMENTS SARDINELLES;
C = RENDEMENTS AUTRES ESPECES.

L'évolution des rendements totaux annuels montre que, de 1962 à 1986, ceux-ci ont augmenté de façon régulière, ce qui correspond à la phase d'apprentissage dans la pêche (fig. 34). Ensuite, ces rendements présentent une forte tendance à la baisse avec des oscillations ; la tendance peut être expliquée par l'augmentation de l'effort de pêche sur la Petite Côte (pêche sardinière et pêche artisanale), tandis que les oscillations sont dues à la variabilité naturelle du recrutement et de la disponibilité, en liaison avec les facteurs climatiques (cf. infra). La baisse des rendements est telle que, depuis 1984, près de la moitié des sardiniers ont dû désarmer. Les bateaux armés par l'administration sont parmi les seuls à continuer leur activité.

ANNEES	PRISE TOTALE (tonnes)	SARDINELLE RONDE		SARDINELLE PLATE		POMADASY SPP.		PLAT-FLAT		CHYNCHARD JAUNE		DIVERS	
		tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%
1962	1 886	1 205 1/2	64	516 1/2	27	64	3	-	-	4	0,2	97	5
1963	4 218	2 703 1/2	64	1 158 1/2	27	203	5	78	2	37	1	39	1
1964	4 990	2 844 1/2	60	1 219 1/2	24	411	8	145	3	320	6	51	1
1965	6 519	3 291 1/2	50	1 411 1/2	22	1 057	16	367	6	307	5	86	1
1966	8 826	4 247	48	2 198	25	957	11	528	6	810	9	86	1
1967	8 500	4 237	50	1 170	14	959	11	873	10	795	9	466	5
1968	14 000	7 062	51	1 795	13	2 018	14	1 710	12	1 147	8	268	1
1969	18 327	9 698	53	4 779	26	1 364	7	802	4	1 353	7	331	2
1970	18 199	9 389	49	4 254	25	1 793	10	665	4	1 557	9	541	3
1971	14 351	9 442	66	2 038	14	1 634	11	530	4	127	1	560	5
1972	24 975	17 255	69	4 468	18	982	4	812	3	1 161	5	297	1
1973	31 637	17 593	56	8 613	27	1 959	6	727	1	1 260	4	1 485	5
1974	33 921	17 792	53	9 982	29	1 294	4	684	2	1 803	5	2 347	7
1975	30 460	12 432	41	9 495	31	521	2	207	1	1 625	5	6 180 1/2	20 2/2
1976	31 011	14 800	48	11 929	38	337	1	170	1	1 907	6	1 868	5
1977	26 380	13 146	50	9 252	35	804	3	281	1	1 656	6	1 241	4
1978	20 901	12 656	61	5 309	25	741	4	210	1	1 590	8	395	1
1979	25 008	13 597	54	8 716	35	2 524	1	228	1	1 691	7	524	2
1980	27 509	14 858	54	8 938	32	88	0,3	340	1	2 693	10	592	3
1981	31 363	15 839	51	10 980	35	92	0,3	159	0,5	2 602	8	1 691	5
1982	24 885 1/2	6 276	25	12 890	52	347	1	190	1	3 676	15	1 506	6
1983	17 892 1/2	5 118	29	9 243	52	14	0,1	148	1	982	5	2 387	13

1/ Tonnage estimés 2/ Dont 3 073 tonnes de maquereaux, soit 10 % 3/ Sans les captures des bateaux les plus de 250 TJB qui travaillent essentiellement en Casamance

Tableau 11 : Evolution des captures des sardiniers dakarois de 1962 à 1983 sur la Petite Côte. (Sources : voir texte)

IV. 5.3. Pêches artisanales

En Mauritanie, nous avons vu que les prises étaient négligeables pour les stocks communs avec le Sénégal.

En Gambie, la pêche d'ethmalose est importante (environ 10.000 t par an), aussi bien dans le fleuve qu'en mer. Elle est souvent pratiquée par des sénégalais, plus particulièrement sur la côte, qui débarquent le poisson sur place. Les méthodes de pêche sont les mêmes qu'au Sénégal. En Guinée Bissau, existe une pêche artisanale côtière et surtout estuarienne, dont on connaît mal l'importance ; elle concerne les ethmaloses et les sardinelles plates.

Au Sénégal, les données détaillées de pêche artisanale sont fragmentaires : les premières observations remontent à 1972, puis elles ont cessé en 1973 pour ne reprendre qu'en 1977 et se poursuivre jusqu'à nos jours. Les données manquantes ont été

ANNEES	PRISES SARDINIERS (observées)	P.U.E. SARDINIERS (observés)	EFFORTS SARDINIERS (observés)	PRISES PIROGUES	EFFORTS PIROGUES	PRISES TOTALES	EFFORTS TOTAUX	INTENSITE DU VENT ($\frac{2V_n + V_n - 1}{3}$)
1966	4 250	13,54	314	3 970*	293*	8 220	607	4,93
1967	4 240	11,62	365	3 580*	308*	7 820	673	4,74
1968	7 060	12,70	556	4 110*	324*	11 180	880	4,53
1969	9 700	9,86	984	3 360*	341*	13 060	1 325	4,40
1970	8 390	7,56	1 110	2 710*	359*	11 100	1 469	4,32
1971	9 440	10,68	884	4 037*	378*	13 480	1 262	4,70
1972	17 250	16,32	1 057	6 500	398	23 750	1 455	5,63
1973	17 590	11,38	1 546	11 880*	1 044*	29 470	2 590	5,53
1974	17 790	9,78	1 819	16 530*	1 690*	34 320	3 509	5,76
1975	12 430	7,22	1 722	16 900*	2 337*	29 330	4 062	5,66
1976	14 800	8,06	1 836	24 050*	2 984*	38 850	4 820	5,79
1977	13 150	8,61	1 527	31 280	3 630	44 430	5 157	5,72
1978	12 660	9,15	1 384	32 280	3 529	44 940	4 913	5,21
1979	13 600	6,68	2 035	26 340	3 961	39 940	5 996	4,68
1980	14 860	7,01	2 120	28 620	4 083	43 480	6 203	4,98
1981	15 840	6,09	2 601	31 500	5 171	47 340	7 773	5,09
1982	6 250	2,30	2 715	17 230	7 491	23 480	10 206	4,86
1983	5 040	2,00	2 521	16 640	8 320	21 680	10 841	4,60

* Estimations diverses (voir texte)

TABEAU 12 : Sardinelle ronde ; prises (tonnes), efforts (19 heures de pêche d'un sardinier standard), et p.u.e. (prises par unité d'effort) des différentes pêcheries sur la Petite Côte du Sénégal, et intensité moyenne du vent (\bar{V}) au cours des saisons d'alizés n et n-1 (m/s).sources : voir texte.

ANNEES	PRISES SARDINIERS (observées)	P.U.E. SARDINIERS (observés)	EFFORTS SARDINIERS (observés)	PRISES PIROGUES	EFFORTS PIROGUES	PRISES TOTALES	EFFORTS TOTAUX
1966	6 450	20,3	318	22 840*	1 125*	29 290	1 443
1967	5 410	17,7	306	20 960*	1 184*	26 370	1 490
1968	8 360	15,8	561	19 690*	1 246*	28 550	1 808
1969	14 480	14,3	1 012	18 760*	1 312*	33 240	2 324
1970	12 640	11,3	1 117	15 610*	1 381*	28 250	2 498
1971	11 480	13,2	870	19 190*	1 454*	30 670	2 324
1972	21 720	20,9	1 039	32 000	1 531	53 720	2 570
1973	26 200	16,3	1 608	33 740*	2 070*	59 940	3 678
1974	27 770	15,9	1 747	41 480*	2 609*	69 250	4 356
1975	21 930	12,5	1 754	39 360*	3 149*	61 290	4 903
1976	26 730	14,7	1 818	54 210*	3 688*	80 940	5 506
1977	22 400	14,8	1 513	55 200	3 729	77 600	5 242
1978	17 970	12,7	1 415	58 430	4 601	76 400	6 016
1979	22 310	10,7	2 085	47 160	4 415	69 470	6 500
1980	23 800	11,7	2 034	46 440	3 969	70 240	6 003
1981	26 820	10,1	2 655	52 050	5 153	78 870	7 808
1982	18 920	7,7	2 457	47 880	6 218	66 800	8 675
1983	13 870	5,2	2 667	58 100	11 173	71 970	13 840

* Estimations diverses (voir texte).

TABEAU 13 : Sardinelle ronde et Sardinelle plate : prises (tonnes), efforts (10 heures de pêche d'un sardinier standard) et p.u.e. (prises par unité d'effort) des différentes pêcheries sur la Petite Côte du Sénégal.

estimées en prenant comme hypothèse que les fluctuations de rendement des sardiniers dakarois sont représentatives de celles de la pêche artisanale. Cette hypothèse est fondée sur la similitude des distributions de fréquences de tailles des individus capturés par les deux types de pêche [FREON et al., 1979]. L'évolution de l'effort de la pêche artisanale a été estimée par interpolation et en tenant compte d'informations semi-quantitatives provenant de diverses sources (C.R.O.D.T., D.O.P.M.).

Ces estimations ont été réalisées, pour S. aurita (tabl. 12), pour S. maderensis et pour les deux espèces réunies à partir de la p.u.e. globale (tabl. 13). Les résultats montrent que pour S. maderensis, la part des captures et des efforts estimés en pêche artisanale constitue l'essentiel par rapport à l'ensemble des captures réalisées sur la Petite Côte jusqu'en 1972, ceci en raison de la prédominance des filets maillants encerclants. De plus, cette espèce est moins prise que S. 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 n'avons pas utilisé les données obtenues isolément pour cette espèce. 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, et concernent des espèces occupant des niches écologiques voisines comme nous l'avons vu.

IV. 6. Aspect socio-économiques en pêche artisanale [STEQUERT et al., 1979]; [10]).

IV. 6.1. Introduction et historique de la pêche aux filets tournants

La pêche représente la première source de protéines animales du Sénégal qui importe le tiers de sa consommation de viande. Elle est aussi l'une des trois plus importantes activités d'exportation avec les phosphates et l'arachide. Sur un total de 250.000 t de poisson débarquées au Sénégal en 1983, 166.000 t l'étaient par la pêche artisanale, soit les deux tiers (Anonyme, 1984).

Nous n'avons abordé l'étude socio-économique qu'au niveau des pêcheries artisanales, pour lesquelles les facteurs non biologiques semblent jouer un rôle important, voire prépondérant quant il s'agit de comprendre l'évolution de l'effort de pêche de certains engins. Une étude similaire mériterait d'être réalisée sur les pêches industrielles, et sur leurs interfaces socio-économiques avec les pêches artisanales. Il y a là matière pour un excellent travail de recherche, comme le montre l'analyse préliminaire réalisée par AUBERTIN (1984).

La notion même de pêche artisanale est peu précise et scientifiquement peu pertinente. Elle se définit par ce qu'elle n'est pas : industrielle. Le seul caractère commun aux diverses activités de pêche artisanale réside en l'usage d'une embarcation dérivée de la pirogue monoxyle, mais pouvant atteindre 20 m de longueur pour une capacité de 24 t... (photo de couverture). Ce sont les formes de propriétés et le type de rapport de production, plus que la productivité ou la taille des unités de pêche qui séparent l'industriel de l'artisanal (WEBER, 1980).

Notre étude, réalisée en équipe avec les chercheurs déjà mentionnés, a porté d'abord sur la rentabilité des divers types de pêche dans les grands centres de débarquement, puis elle s'est focalisée sur les unités de pêche à la senne tournante travaillant pour l'usine de Djifère, pour lesquelles les aspects sociaux ont été approfondis à l'occasion d'une situation de crise qui s'est développée dans cette région.

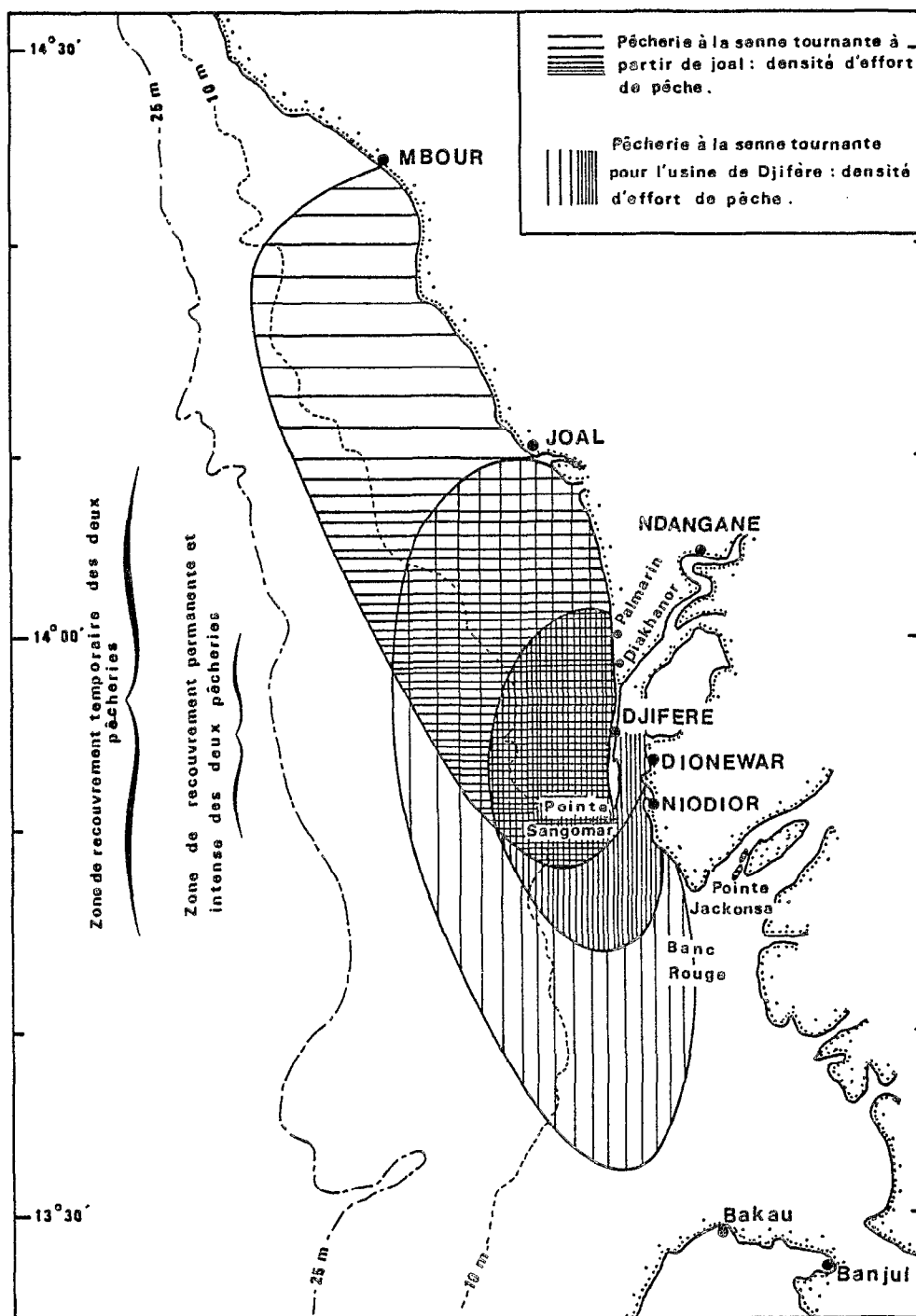


FIG 35 — Zone de pêche des unités de senne tournante débarquant à Joal et à Djifère. [10]

La senne tournante fut expérimentée sur les pirogues puis diffusée sous l'impulsion d'un projet de la FAO à partir de 1969 (GRASSET et SECK, 1970). Plus de 500 engins étaient en activité sur les côtes du Sénégal en 1983 (Anonyme; 1984). Au début de leur diffusion, les sennes tournantes étaient essentiellement basées à Mbour et Joal, centres traditionnels de débarquement. Elles se substituaient sur les pirogues à des engins de pêche voisins mais moins performants: les filets maillants encerclants. Rapidement, cette innovation conduisait à l'agrandissement des embarcations, à l'accroissement des équipages et à l'usage de deux pirogues par senne dans certains cas.

Actuellement, les sennes tournantes assurent la majorité des captures de la pêche artisanale. Les performances du nouvel engin ont entraîné rapidement des difficultés d'absorption d'une production sans cesse croissante par les centres de débarquement habituels.

Dans ces conditions, la SOPESINE (Société de Pêche du Sine Saloum) entreprend dès 1975 la construction d'une importante unité de production de farine capable d'absorber 400 t de poisson frais par jour, sur un emplacement très particulier qui sera déterminant pour la viabilité du projet : le site de Djifère situé sur l'étroite flèche littorale de Sangomar, face aux îles du Saloum (fig. 35; [10, p. 266, fig. 2]). Les îles sont peuplées de pêcheurs Niominka, sous-groupe Sérér, aux traditions marines manifestement anciennes. Autres avantages, la région maritime est très riche et constitue une zone de pêche privilégiée, traditionnellement exploitée par les pêcheurs sénégalais. En revanche, le choix de cet emplacement engendre de sérieuses difficultés d'approvisionnement et d'évacuation de la production.

Malgré ces difficultés, l'usine a ouvert ses portes début 1977 et a pu décongestionner les centres de débarquement voisins en traitant de 15.000 à 30.000 t de poissons frais par an, ce qui en faisait le premier point de débarquement de la pêche artisanale. La grande capacité d'absorption de l'usine et la présence d'un quai en eau suffisamment profonde, permettent d'utiliser de très grosses pirogues, reconverties du transport fluvial à la pêche à la senne tournante coulissante. L'usine a favorisé type de pêche qui est donc devenu plus productif, mais en contre partie le prix d'achat du poisson est fixé à un niveau relativement bas : 7 à 8 francs/kg selon les années (1 F.CFA = 0,02 F).

Ainsi, le choix du site hostile de Djifère pour l'implantation de l'usine pouvait sembler une gageure au plan technique par l'absence de voie de communication importante, d'eau et d'électricité ; en revanche, situé à mi-chemin entre un haut lieu de pêche et un réservoir de pêcheurs, il constituait un point fort de la SOPESINE qui a pu dans une large mesure imposer aux niominkas sa politique et ses prix.

Un engin de pêche nouveau, qui entraîne un accroissement de la taille des embarcations, un prélèvement inhabituel de poissons sur les stocks, une transformation des conditions sociales de la production, des modalités nouvelles d'achat et d'écoulement de celle-ci : autant de raisons qui ont bouleversé le système de la pêche artisanale montrant une fois de plus les remarquables possibilités d'adaptation et de réaction de ce secteur à des conditions d'environnement nouvelles.

Notre analyse sera basée sur les sennes tournantes; seuls les éléments notablement différents seront mentionnés pour les filets maillants encerclants. Une étude comparative des résultats globaux des deux engins sera envisagée.

IV. 6.2. Les unités de pêche aux filets tournants

Une unité de pêche peut se décomposer en quatre composants matériels :

- La "pirogue-filet" de 14 m en moyenne, équipée d'un moteur de 20-25 ch transportant le filet et l'essentiel de l'équipage.

- La "pirogue-porteuse" (pour la pêche à la senne tournante uniquement), de 17 à 20 m et d'une capacité de 17 à 24 t transportera la prise, propulsée par un moteur de 25 ch. Ces deux pirogues représentent 30 % de l'investissement total. Leurs durées d'utilisation sont de 7 ans pour la petite et de 10 ans pour la grande. Elles ne font l'objet d'aucun crédit. Les réparations annuelles se réduisent à la réfection de la peinture et de l'étanchéité.

- Les moteurs représentent 17 % de l'investissement et l'on considérera leur amortissement sur 2 ans. Les réparations annuelles sont ici élevées, compte tenu du type et de la fréquence d'utilisation.

- Le matériel annexe (réservoirs, outils, cordage, ancre, barre franche, etc.) est de faible coût.

- La senne tournante et coulissante représente la part importante de l'investissement total : 53 %. Son prix, rendue à Djifère et montée, était de l'ordre de 2.100.000 F.CFA en 1980. Il était d'environ 250.000 F.CFA pour un filet maillant encerclant.

Les réparations et changements de nappes se font au fur et à mesure, sans qu'il soit jamais nécessaire de renouveler la senne dans son intégralité. Huit nappes sur 24 sont changées chaque année, ce qui conduit à fixer la durée théorique d'utilisation à 3 ans (4 ans pour un filet maillant).

Dans le tableau 14, nous récapitulons les éléments de l'investissement qui ont chacun leur durée d'utilisation, à laquelle est assimilée la période d'amortissement. Nous calculons des amortissements économiques et non comptables, basés sur la valeur de remplacement à l'issue de la période d'utilisation, contrairement à ce qui avait été fait dans l'étude initiale [STEQUERT *et al.*, 1980], les prix des pirogues et des filets étant stables avant 1977. L'augmentation annuelle de l'investissement total est voisine de 11 % par an, les prix des moteurs étant bloqués ces dernières années. Les amortissements représentent 41 % de l'investissement total.

L'unité de pêche se compose par ailleurs de son équipage et des propriétaires des biens de production que nous convenons d'appeler "armateurs".

L'équipage effectivement embarqué sur une unité de pêche comprend environ 20 hommes par sortie en mer, mais ces pêcheurs sont recrutés parmi "l'équipage de pêche" de la campagne constitué de 25 à 35 pêcheurs qui assurent un roulement.

	Pnx d'achat en 1980 (F CFA)	Durée d'amortissement	Coefficient d'actualisation (%)	Amortissement par an (V.R. en F CFA)	Valeur de remplacement (F CFA)
Filet	2 100 000	3 ans	0.10	910 000	2 730 000
Moteurs	220 000 x 3	2 ans	0	110 000 x 3	200 000 x 3
Pirogues- filet	400 000	7 ans	0.17	126 000	882 000
Pirogues-	800 000	10 ans	0.23	264 000	2 640 000
Total unité de pêche	3 960 000	—	—	1 630 000	—

Tabl. 14 - Investissements et "amortissements" (14% de hausse/an) (V.R) [10]

Les armateurs peuvent être jusqu'au nombre de six, chacun possédant l'un des éléments de l'unité de pêche (deux pirogues, 3 moteurs et un filet) mais généralement leur nombre varie de un à trois, la pirogue et son (ses) moteur(s) appartenant souvent à la même personne.

Les armateurs que nous avons rencontrés et interrogés sont tous des pêcheurs à la retraite, ou encore actifs mais âgés. Certains d'entre eux sont même en activité dans l'unité de pêche qu'ils possèdent. Il s'agit d'associations de propriétaires, tous "parents", en ligne maternelle ou paternelle, mettant en commun leurs "capitaux". La senne tournante fait aussi l'objet d'investissement de la part de mareyeurs et de fonctionnaires.

Les patrons de senne (capitaines) sont choisis par les armateurs sur la base de liens de parenté (fils, neveu) mais avant tout en fonction de leur habileté à repérer les bancs et à commander la manoeuvre de la senne. Deux tiers des capitaines de notre échantillon ont moins de 35 ans. Chaque capitaine fait donc vivre une moyenne de 18 personnes, les chiffres relevés variant de 4 à 40. Les patrons de senne ne consacrent pas toutes leurs activités à la pêche : 9 sont agriculteurs, parmi lesquels 5 sont également éleveurs. Ils sont de religion musulmane et tous mariés à une ou deux épouses.

L'équipage est choisi par le patron de pêche au sein de son propre groupe de parenté. Il est en moyenne de l'ordre de 29 personnes, dont moins de 20 sont embarquées à chaque sortie. C'est une règle apparemment générale sur la côte sénégalaise que de disposer d'un équipage supérieur à celui qui est quotidiennement embarqué. Ceci permet de remplacer les marins malades, en repos, ou contraints de quitter temporairement l'unité de pêche pour de nombreuses raisons sociales : mariages, baptêmes, deuils etc. Mais, dans le cas du Saloum, la raison avancée par les capitaines est la nécessité de fournir un revenu à un maximum de "frères", donc d'avoir une rotation des membres d'équipages. La même raison nous a été fournie à Joal, Hann et Kayar. D'après notre enquête sur 12 unités de pêche de Niodior employant 348

personnes, les 29 membres de l'équipage moyen se répartissent en pourcentage comme suit : 10 % ont moins de 15 ans et sont formés à la pêche, 52 % ont moins de 25 ans, 86 % ont moins de 35 ans [10, p. 270, tabl. 4]. Ceci revêt une double signification: d'une part nous avons une pyramide des âges "jeunes" ce qui permet de penser que le recrutement ne sera pas un facteur limitant dans l'évolution de la pêche, du moins à moyen terme, d'autre part la pêche artisanale sénégalaise est suffisamment valorisante socialement pour retenir les jeunes alors que, dans la plupart des milieux ruraux en Afrique, les jeunes sont absents des villages.

A partir de divers embarquements à bord des pirogues on a pu effectuer une description détaillée et minutée des opérations de pêche [10, p. 273, tabl. 5]. On notera que les tâches sont relativement bien réparties par groupe d'âge, un pêcheur occupant successivement plusieurs postes au cours de sa vie : schématiquement les plus jeunes sont chargés d'écoper, d'effrayer le poisson et bloquer la coulisse entre deux tractions; les adolescents aident au transport du matériel, lovent la coulisse, débordent la pirogue-filet et commencent à apprendre le hâlage du filet; les hommes de 20 à 35 ans assurent le gros oeuvre pour les tractions manuelles sur la coulisse puis sur la senne, tandis que les plus âgés restent sur la pirogue porteuse où ils assureront ensuite l'embarquement de la capture. Au fil des années, le pêcheur novice se rapprochera de plus en plus du poisson en passant par le matériel annexe, les cordages puis le filet. En fin de carrière seulement il aura directement accès au produit de la pêche qu'il sera chargé d'embarquer, tâche semble-t-il la plus valorisante. Le cas des patrons de pêche est particulier; ils sont l'élite chargée de détecter le poisson et diriger sa capture à l'aide d'un outil moderne, ce dernier point expliquant probablement leur âge relativement jeune. En revanche, ils ne participent pratiquement pas aux autres tâches, tout au moins dans notre échantillon.

Nos observations montrent par ailleurs que les temps et les coûts de transport par marée sont élevés : pour les pêcheurs basés à Niodior, les trajets entre le village, les lieux de pêche et l'usine nécessitent environ 4 h pour la pirogue porteuse et 1 h 40 pour la pirogue-filet, soit près de 60 l de carburant. Si l'on ajoute à cela la consommation moyenne sur les lieux de pêche, on obtient les chiffres de 140 l et de 1.800 kg de poisson à farine, simplement pour couvrir les frais de carburant.

La concurrence directe entre pirogues sur les lieux de pêche est très importante : ainsi il nous a été donné d'observer des densités de pirogues d'environ 5 unités par mille carré, et fréquemment deux équipages détectent simultanément un même banc qui sera capturé par le plus rapide. Nous verrons qu'il y a là l'explication majeure de la baisse des rendements.

IV. 6.3. Logique comptable et seuil de rentabilité

Pour analyser les résultats des unités de pêche, nous partons du mode de calcul qui est celui des pêcheurs.

Le partage des recettes est effectué après déduction des frais de campagne constitués par le carburant, la nourriture de l'équipage et l'entretien courant de l'unité de pêche (huile et bougies pour le moteur essentiellement). Le partage s'effectue

ainsi :

- 1/3 pour le filet ;
- 2/3 pour les moteurs, les embarcations, l'équipage; chaque moteur, pirogue et pêcheur reçoit la même part.

Sur sa part, chaque propriétaire assure réparations et amortissement de son matériel. Si les réparations des moteurs et pirogues sont aisées à prendre en compte, le filet n'est pas sans poser de problèmes : du fait de son renouvellement permanent, réparation et amortissements peuvent prêter à confusion. Nous avons considéré que les réparations venaient en déduction des amortissements dans les calculs comptables. Les matériels annexes sont à la charge du propriétaire du filet, ainsi que les "assurances", entendant par ce terme le prix des services des marabouts, fabricants d'amulettes et occultistes. [10, p. 22, tabl. 12]. En outre, la part du filet est amputée d'une part de pêcheur remise au capitaine en sus de sa part normale.

Le schéma est beaucoup plus simple sur le filet mail-
lant encerclant : les 7 membres d'équipage touchent une part égale à celle du filet, du moteur et de la pirogue, soit 10 parts au total. Il s'agit là du type traditionnel de partage à la part, en usage pour tous les autres engins. Le coût et l'entretien inhabituellement élevés des sennes a conduit à l'adoption de la règle : "un tiers pour le filet", qui est en fait très arbitraire.

Pour rendre compte de la réalité, tout en se rapprochant de la méthode comptable, nous supposerons que l'unité de pêche n'est pas une entreprise mais le résultat de la coopération d'entreprises multiples : entreprise filet, entreprise moteurs, entreprise pirogue-filet, entreprise pirogue-porteuse, entreprise de main d'oeuvre.

Ces entreprises mettant leur possibilités en commun, forment une unité de pêche qui réalise un chiffre d'affaire. De ce chiffre d'affaire on déduit les charges communes quotidiennes : carburant, vivres, entretien courant des moteurs. Ceci nous donne le Résultat Net de l'Unité de Pêche (RNUP). Ce résultat net de l'ensemble est partagé entre chacun des acteurs pour donner le Résultat Brut (RB) de chacun des acteurs. Dans le cas du pêcheur, le Résultat Brut est égal au Revenu Net (RBP = RNP). Pour les armateurs, dès lors que le partage est effectué, la logique comptable habituelle redevient applicable :

Résultat Brut - consommations intermédiaires = Revenu Brut.
Revenu Brut - amortissement = Revenu Net.

Le partage concret s'effectue donc ainsi :

- a. - Le filet perçoit 1/3 du RNUP
- b. - Les 2/3 restants sont divisés en 25 parts : 1 part par marin, 1 part par moteur, une part par pirogue (20 marins, 3 moteurs, 2 pirogues = 25 parts).

Ce qui peut être résumé dans les formules suivantes (fig. 36) :

$$RBF = \frac{RNUP}{3} = 33,3 \% RNUP$$

$$RBP_f = RBP_p = RBM = RNP = \frac{2}{75} \quad RNUP = 2,7 \% RNUP$$

où: RBF est le résultat brut du filet ;
 RBP_f le résultat brut de la pirogue-filet;
 RBP_p le résultat brut de la pirogue-porteuse;
 RBM le résultat net d'un moteur;
 RBP le résultat net d'un pêcheur.

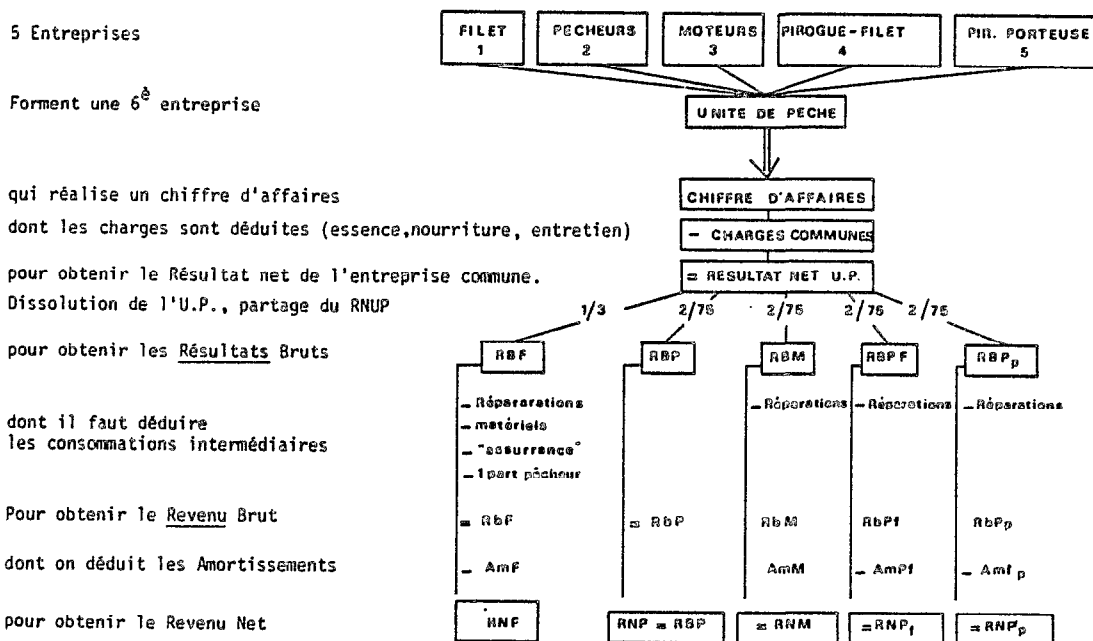


FIG 36 — Schéma d'analyse d'une unité de pêche à la senne tournante.

Nous avons calculé, dans les conditions de Djifère, quelle production permet à une unité de pêche d'atteindre son seuil de rentabilité. Nous entendons par là le chiffre d'affaires correspondant à un revenu net nul pour les différents armateurs.

Nous avons estimé, à partir des livraisons à l'usine et du nombre de jours sans livraison, que l'unité de pêche type effectuée 200 sorties par an, ne livrant hors usine que les faibles prises. (On avait retenu 240 sorties annuelles à Mbour et Joal dans le travail antérieur [STEQUERT *et al.*, 1980].

Les frais quotidiens, déductibles du chiffre d'affaire avant d'opérer le partage, s'élèvent à 14.940 F.CFA ; ils sont constitués par le carburant (140 l à 90 F.CFA), la nourriture de l'équipage (1.500 F.CFA) et l'entretien courant. On a calculé le seuil de rentabilité de chaque élément constitutif de l'unité de pêche : filet, moteurs, pirogue-filet, pirogue-porteuse, et celui d'un armateur unique (tabl. 15). Pour ce dernier, l'unité de senne tournante commence à être rentable à partir d'un rendement de 3.980 kg par jour de mer, assurant une rémunération de 345 F.CFA par poste de travail ou de 240 F.CFA par membre d'équipage. Le revenu des membres d'équipage est nul en dessous de 2.135 kg de poisson à farine par jour de mer, rendement qui couvre leurs frais quotidiens (mais fait perdre de l'argent à l'armateur

unique). Une augmentation de 1 F.CFA du prix du poisson, à rendement constant, abaisse le seuil de rentabilité de 12 %, ce qui montre l'extrême sensibilité du modèle aux fluctuations de prix.

	Charges	Revenu net unité de pêche (F CFA)	C.A. au seuil de rentabilité (F CFA)	kg/jour de mer
Armateur unique	1 139 000	2 585 000	5 572 530	3 981
Filet	485 000	1 581 000	4 569 100	3 263
Moteurs	150 000	5 625 500	8 613 000	6 152
Pirogue-filet	175 000	6 562 500	9 550 500	6 821
Pirogue-porteuse	329 000	12 337 500	15 325 500	10 946

TABL. 15 — Seuils de rentabilité d'une unité théorique pêchant 200 jours par an (essence 90 F CFA le litre, poisson à farine 7 F CFA/kg) [10]

Quand 3.260 kg sont nécessaires pour rentabiliser le filet, il faut ajouter 89 % pour les moteurs, 109 % pour la pirogue-filet, 235 % pour la pirogue-poisson (tabl. 15). Le système en vigueur favorise de façon outrancière le filet, élément importé. L'arbitraire de la règle : "un tiers pour le filet" est donc nettement à l'avantage de l'armateur du filet.

Les deux pirogues coûtent plus qu'elles ne rapportent dans la quasi-totalité des cas (depuis 1981, les grandes pirogues à Niodior sont rémunérées à deux parts). Nous comprenons ainsi que les unités de pêche aient connu des difficultés à leurs débuts. La faible rémunération des pirogues était tolérable du fait qu'elles étaient souvent déjà amorties : pirogue de filet maillant encerclant, ou de transport fluvial. A l'heure actuelle, la tendance est à la possession de l'ensemble de l'unité de pêche par un individu ou un groupe familial; pour l'analyse de situations concrètes, nous raisonnerons selon cette hypothèse.

IV. 6.4. Etude de quelques cas concrets

Les études initiales ont été réalisées à partir de résultats moyens relevés dans les grands centres en 1977 [STEQUERT et al., 1980]. Ces mêmes études ont été reprises en 1980-1981 par BELLEMANS (1983) qui arrive aux mêmes conclusions. L'étude détaillée de Djifère est basée sur les résultats de pêche de 5 unités retenues dans des strates d'activité annuelle différentes [10, p. 293, tabl. 14]. Ces cinq unités se situent amplement au-dessus du seuil de rentabilité de 3980 kg par jour de mer. La disparité des rendements met en relief le rôle de la technicité du capitaine, tel qu'il est illustré par l'unité B. Celle-ci voit son chiffre d'affaire quotidien passer de 43.000 à 70.000 F.CFA entre 1979 et 1980, avec des capitaines différents. Or, entre ces deux années, si l'équipement et l'équipage sont les mêmes, les rendements moyens de l'ensemble des unités de pêche ont baissé, le prix du poisson est passé de 8 à 7 F.CFA/kg, et le carburant de 85 à 90 F.CFA /l, or l'essence représente en moyenne 20% du chiffre d'affaire (fig. 37).

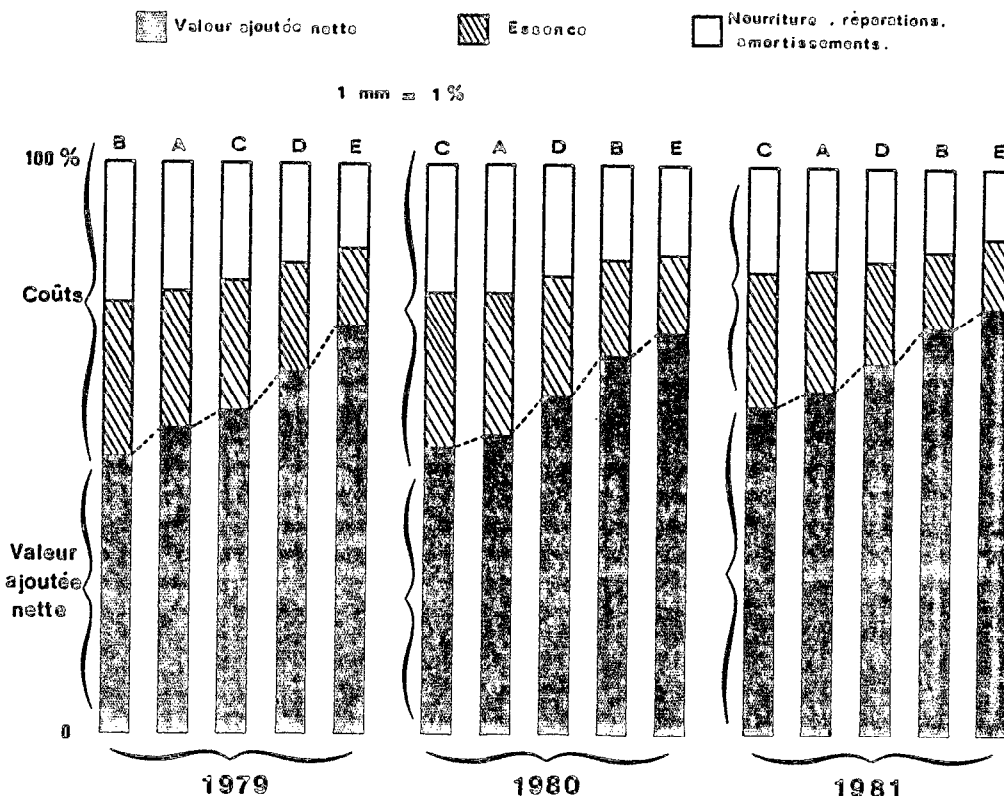


FIG 37 — Décomposition du chiffre d'affaires pour cinq unités de pêche de Niodior en 1979, 1980, 1981. Les unités sont classées par ordre croissant de productivité.

On a calculé les rémunérations annuelles d'un pêcheur dans l'hypothèse où l'unité de pêche travaille 200 jours par an dans le contexte de Djifère [10, p. 28, tabl. 18]. Ces revenus sont de 130.000 à 305.000 F.CFA environ par membre d'équipage, la moyenne se situant aux alentours de 180.000 F.CFA par an. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus à Mbour et Joal, la différence provenant essentiellement du fait qu'on a considéré dans ce dernier cas 240 jours de pêche par an et des amortissements de type comptable.

Les revenus agricoles, bien qu'approximativement estimés semblent très inférieurs. Ceci explique peut-être l'afflux de travailleurs agricoles vers la pêche artisanale, lesquels représentent 30 % environ des équipages de senne tournante au Sénégal.

Dans le cas où l'armateur -individu ou groupe- est propriétaire de l'ensemble des outils de production, son revenu net n'est jamais inférieur à 27 % du capital investi et peut atteindre 150 % de celui-ci dans notre échantillon [10, p. 28, tabl. 19]. En 1981, une baisse de 7 F.CFA/l du carburant haussa de 15 % à 39 % le revenu des armateurs.

Nos unités de pêche dégagent en moyenne une valeur ajoutée nette de 39.000 F.CFA par jour de mer, répartie à raison de 40 % pour le capital et 60 % pour le travail, ceci en 1980. La répartition de cette valeur ajoutée entre capital et travail montre qu'une hausse de productivité ou de prix du poisson profite plus aux armateurs qu'aux pêcheurs (tabl. 16).

Unités de pêche	Valeur ajoutée nette	Capital (%)	Travail (%)
A	26 850	29	71
B	40 550	35.7	64.2
C	24 367	27.6	72.3
D	35 284	32.7	67.3
E	62 234	37.6	62.4

TABL. 16- Valeur ajoutée nette des unités de pêche en 1980, par jour de mer, et répartition entre le capital et le travail. [10]

Si nous comparons la situation des sennes tournantes et filets maillants réellement observée à Joal en 1979 et 1980, nous voyons qu'il est difficile de tirer une conclusion quant à savoir quel engin rémunère le mieux les pêcheurs du fait que les résultats de ces deux années sont opposés [10, p. 30, tabl. 22]. En revanche, l'étude réalisée à Mbour en 1977 indique un avantage net pour les sennes tournantes. Cet avantage est encore plus net si, ignorant le système actuel de partage des bénéfices, on imagine que la prise en charge du matériel et la répartition des gains pourrait se faire selon un système différent de type familial ou coopératif, dans lequel la propriété serait répartie également entre tous les membres de l'équipage [STEQUERT *et al.*, 1980, tabl. 6 et 11].

On notera par ailleurs que le coût de création d'un emploi est plus élevé de 35,5 % sur le filet maillant encerclant que sur senne tournante, cette dernière employant plus de personnel [10, p. 297, tabl. 21].

IV. 6.5. Quelques éléments de la dynamique sociale et politique

Généralement, nous avons vu que l'organisation de la propriété et du travail s'opère en jouant à la fois sur le matrilignage et le patrilignage. La rémunération à la part au sein d'un système lignager renforce le contrôle des cadets par les aînés. La faible rémunération des pêcheurs par rapport à celle des armateurs confère aux aînés le contrôle de l'accumulation des richesses. Loin d'entraîner une dissolution des liens de dépendance lignager, l'insertion de ces liens dans les rapports marchands les renforce. Lorsqu'on discute avec les équipages de senne tournante, la part de l'armateur n'est jamais contestée : les revendications portent sur la faiblesse du prix de vente du poisson, le prix trop élevé du carburant et des moteurs. Les rapports de production, de type capitaliste, n'en sont pas moins imprégnés par les relations lignagères : "l'armateur est un père pour le pêcheur".

L'unité de pêche effectuera une sortie au profit exclusif d'un membre d'équipage dans le besoin à l'occasion d'une cérémonie familiale ou autre. Réciproquement, une sortie peut être faite pour le seul armateur s'il a des ennuis financiers : ces ennuis pourraient le contraindre à vendre l'équipement, privant ainsi les pêcheurs de leur emploi.

L'expansion remarquable des sennes tournantes ne s'explique pas uniquement par les rendements plus élevés qu'elles procurent par rapport aux filets maillants encerclants. En effet, le gain technologique de productivité ne profite pas directement au pêcheur membre d'équipage, mais aux armateurs qui, de ce fait vont investir préférentiellement dans ce type d'engin, lequel est créateur d'emploi dans un pays qui en a grand besoin. Ce paradoxe explique le maintien des filets maillants encerclants que l'on s'attendait à voir disparaître : les propriétaires de ce type de pêche n'ont pas de difficulté à trouver des membres d'équipages, puisqu'ils offrent un emploi très compétitif. De plus, lorsque l'abondance diminue, comme c'est le cas actuellement, la différence de rendement entre les deux engins s'amenuise, le filet maillant permettant une capture rapide des petits bancs que des sennes tournantes hésitent à encercler, devant la perte de temps que constitue la hâlage manuel d'un grand filet.

Par ailleurs, la politique volontariste d'augmentation de la production halieutique, appliquée par le gouvernement sénégalais indistinctement à tous les types de pêche artisanale, favorise en fait les sennes tournantes, grandes consommatrices de biens d'équipements et de carburant. Nous avons évalué ce que représentaient les subventions et détaxes par la différence entre les prix d'achat payés par les pêcheurs et les prix pratiqués sur le marché libre. Le taux de subvention (subvention/valeur ajoutée nette) pour nos cinq unités de pêche varie de 41 % à 105 %. Sans ces subventions, le seuil de rentabilité en 1980 à Djifère s'établissait autour de 8 t/jour au lieu de 4 t actuellement.

Pour les 230 sennes tournantes présentes au Sénégal en 1980, les subventions représentaient déjà 1,2 milliards par an, selon nos hypothèses, soit encore 180.000 F.CFA environ par homme d'équipage, ou encore 22 F.CFA/kg débarqué, c'est-à-dire trois fois le prix payé par la SOPEFINE ou l'équivalent du prix moyen pondéré à Joal en 1980 : 25,2 F.CFA/kg. Compte tenu du système de partage, toute augmentation du prix du carburant implique une baisse du revenu des membres d'équipage. En revanche, une augmentation du prix des équipements ne pénalise -sauf modification du système- que les armateurs.

Djifère absorbait, à 8 F.CFA/kg, 29 % des débarquements des sennes tournantes au Sénégal. Dans son ensemble, l'industrie absorbe au moins 35 % de ces débarquements. C'est ici l'industrie, et à travers elle le consommateur étranger, qui profite de la politique d'aide à la pêche.

Dans les centres de débarquement autres que Djifère, les prix fluctuent entre 0 et 50 F.CFA : les prix s'effondrent en saison chaude et les pêcheurs rejettent parfois les captures après avoir offert à qui veut se servir dans la pirogue. Toute l'aide a été concentrée sur la production, celle-ci étant supposée créer ses propres débouchés. Or, le poisson s'écoule très mal vers l'intérieur, en raison de l'absence d'infra-structures de froid, des limites de la transformation artisanale et de la vétusté des équipements des mareyeurs. La sardinelle achetée 25 F.CFA/kg à Mbour ou Joal est revendue à près de 200 F.CFA/kg sur l'axe Kaolack-Tambacounda, situé à 500 km dans le sud est du pays (KEBE et al., 1985).

Les frais de commercialisation l'emportent sur le prix d'achat. Les mareyeurs, sur grandes distances, partent avec plus

de glace que de poisson et doivent ajouter de la glace en cours de route, dans des camions ou des camionnettes simplement bâchées... Les risques de perte en cas de panne ou de retard sont énormes dans ces conditions, et expliquent pour partie l'importance des marges bénéficiaires pratiquées par les mareyeurs (CHABOUD, 1983). La transformation artisanale, pendant longtemps considérée uniquement comme une solution de résorption des excédents, absorbe en fait 50 % des débarquements des pêcheurs artisans et le tiers des débarquements totaux, avec une valeur ajoutée souvent supérieure à celle de la transformation industrielle. Traditionnellement aux mains des femmes, elle emploie de plus en plus de main d'oeuvre masculine. Pour les sardinelles la fabrication "kétiakh" (poisson braisé à même le sol et séché) représente le procédé de transformation privilégiée. Il permet le transport du poisson vers l'intérieur du pays et même à l'étranger, dans divers pays d'Afrique de l'Ouest (DURAND, 1981). Il est significatif d'observer que ces dernières années les sardiniers transbordent leur capture sur les pirogues afin d'obtenir un prix meilleur que celui proposé à Dakar par les usines de transformation.

La politique d'aide à la pêche, qui a réussi au-delà de toute espérance à augmenter la production, connaît un succès bien plus limité quant à son but : fournir à bas prix du poisson aux populations. De plus, en ce qui concerne les sennes tournantes, le maintien des subventions et détaxes à leur niveau actuel favorise la multiplication des unités de pêche et se traduit déjà par une baisse des rendements unitaires.

Une solution parallèle au développement des centres coopératifs de mareyage serait peut-être de transférer une partie des subventions et détaxes de la production à la commercialisation. Les objectifs étant à présent non de produire plus, mais de vendre mieux ce qui est actuellement produit, et de limiter la prolifération des sennes tournantes pour préserver les rendements par unité de pêche, donc la rentabilité de ces unités.

IV. 6.6. Conclusion

Des succès tels que ceux de la motorisation des pirogues et de la diffusion des sennes tournantes au Sénégal sont bien rares dans les annales du développement en Afrique de l'Ouest. L'usine de Djifère, qui mettait les pêcheurs en prise directe avec le marché mondial et les rendait dépendants de ce dernier, a néanmoins permis le développement des sennes tournantes en leur assurant un débouché, aussi peu rémunérateur soit-il, et en jouant un rôle de régulateur des prix pour toute la Petite Côte du Sénégal.

La diffusion de cet engin commencée en 1973 s'est faite rapidement, puisque plus de 500 unités de pêche l'utilisaient en 1983, employant plus de 10.000 pêcheurs sur les 30.000 que compte la pêche artisanale. Loin d'entraîner une dissolution des rapports lignagers, elle les a au contraire pérennisés par le jeu d'un système de partage des gains qui profite aux armateurs, lesquels sont souvent aînés de lignage et perçoivent des revenus nets annuels compris entre 30 et 150 % du capital investi.

Malgré les hauts rendements qu'autorise le nouvel engin de capture, le pêcheur reste tributaire du faible rayon d'action de son embarcation traditionnelle, ce qui a pour double cons-

équence de limiter l'accessibilité aux stocks et d'engendrer une nouvelle intensification de l'effort de pêche, vers Djifère autrefois, et maintenant sur l'ensemble de la Petite Côte. Il s'ensuit une baisse locale des rendements horaires malgré une exploitation raisonnable des stocks, considérés dans leur ensemble au niveau de la zone sénégal-mauritanienne. La situation risque de se détériorer d'avantage lorsque les pays riverains exploiteront la part des stocks qui leur revient, sinon au-delà, à l'instar du Sénégal. Dès 1981, on a pu noter que les pêcheurs commençaient à capturer des juvéniles pour palier la baisse de leurs rendements, mettant ainsi en danger les stocks concernés.

Après l'acquisition d'un nouvel engin, il reste donc aux pêcheurs artisans à modifier leur embarcation pour augmenter leur rayon d'action et ainsi accéder à d'autres fractions de stocks telles que les sardinelles rondes adultes, les chinchards et les maquereaux, lorsque ces espèces migrent sur les fonds supérieurs à 25 m.

Le succès incontestable de la senne tournante produit ses propres limites économiques et biologiques. Etait-il rationnel de transformer 20.000 t de poisson consommable en farine exportée pour l'alimentation du bétail quand les populations de l'intérieur connaissent des carences graves en protéines animales ? Il faudrait plutôt s'orienter vers une modification du mode de traitement du produit, favorisant la consommation humaine (congélation, produits déshydratés adaptés aux traditions alimentaires...), la farine ne devant être qu'un sous-produit. Les techniques de transformation artisanale, dans leur état actuel, souffrent du manque d'hygiène dans la préparation des produits, ce qui limite les possibilités d'exportation.

On devra cependant rester prudent en modifiant l'appareil de distribution du poisson car, à vouloir trop bien faire, on risque d'aboutir à des résultats opposés à ceux recherchés. En effet, la source principale de protéines pour les populations de l'intérieur du Sénégal vient actuellement des céréales ; ces populations souffrent plus d'une déficience énergétique globale que d'un manque de protéines. La qualité des protéines de poissons est très intéressante, surtout pour l'alimentation des jeunes enfants (souvent victimes de malnutrition protéino-énergétique) et la demande en protéines animales est forte. L'introduction de poisson dans ces régions est donc souhaitable mais à un coût minime car, sinon, cela risque de grever les budgets familiaux après la saison des récoltes et d'hypothéquer lourdement l'approvisionnement en céréales au moment des "soudures" (apport énergétique en particulier). On risque ainsi d'affamer en voulant trop bien alimenter (CHEVASSUS-AGNES, comm. pers.).

V. QUELQUES ASPECTS DE LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS

L'ensemble des études résumées dans ce chapitre a été entrepris sur la base des données et des travaux précédemment analysés et réalisés pour la plupart en commun comme nous l'avons vu. Cependant, il s'agit, cette fois-ci, de travaux entièrement personnels, à l'exception de l'article [13], bien que non réalisés dans une tour d'ivoire (les remerciements indiqués en fin des publications s'adressent à différents collègues qui nous ont permis de progresser dans nos études).

V.1. La variabilité des tailles à l'intérieur des cohortes et des bancs [11, 12]

V.1.1 Introduction et définitions

On désigne généralement par cohorte un groupe d'individus d'un même stock, nés à la même période. Le banc de poissons répond à une définition différente : il s'agit du regroupement physique, dans leur milieu, d'individus grégaires, "mutuellement attirés les uns par les autres" (SHAW, 1970). On parlera de la polarisation d'un banc pour indiquer que les poissons qui le constituent sont orientés dans la même direction, les corps étant plus ou moins parallèles. Le banc peut donc théoriquement contenir des individus d'âges distincts, et même d'espèces différentes.

Outre le nombre d'individus qui les constituent, les cohortes et les bancs sont essentiellement caractérisés par la taille moyenne des individus, et par la dispersion des tailles individuelles autour de la taille moyenne. Il nous a paru utile d'étudier les relations existant entre ces deux paramètres, pour les deux espèces de sardinelles prises séparément, et de comparer les résultats obtenus pour les cohortes et pour les bancs afin d'en déduire les relations entre ces deux entités. La structure des bancs comportant plusieurs espèces associées aux sardinelles a également été étudiée.

En complément à l'étude des stocks sénégalais, une autre partie des données provient du laboratoire américain de Beaufort (North Carolina, USA) et concerne la pêcherie à la senne tournante du menhaden (*Brevoortia tyrannus*). Enfin, nous avons réalisé au Vénézuéla des observations sous-marines de bancs mixtes dans des conditions très favorables.

Les résultats de ces travaux débouchent sur des applications importantes en biologie des pêches, en particulier pour l'échantillonnage des tailles et des âges.

V. 1.2. La variabilité des tailles à l'intérieur des cohortes [11]

V.1.2.1. Causes théoriques de la variabilité des tailles individuelles dans une cohorte

Trois facteurs peuvent théoriquement expliquer la variabilité des tailles individuelles au sein d'une cohorte : les écarts entre les dates de naissance, les variations de la vitesse de croissance d'un individu à l'autre, et les variations de la taille maximale qu'atteindrait le poisson en "fin" de croissance. Pour des raisons pragmatiques, on supposera que les croissances individuelles répondent à des équations de von Bertalanffy et l'on assimilera ces trois facteurs aux trois paramètres de cette équation :

$$L = L_{\infty} (1 - \exp(-K(t - t_0))) \quad (1)$$

Dans un premier temps, on envisagera l'incidence de ces trois facteurs sur la variabilité des tailles individuelles indépendamment les uns des autres. Il est évident qu'il s'agit là d'un artifice d'exposé qui ne doit pas faire oublier que les valeurs des paramètres de cette équation n'ont pas nécessairement une signification biologique.

Variations de la date de naissance

Considérons par exemple 4 individus, nés entre les instants t_{01} et t_{04} , ayant le même génotype et qui évoluent dans le même milieu, de sorte que l'on pourra supposer qu'ils auront des croissances identiques (fig. 38a). Les différences de taille entre le plus grand individu et le plus petit, à un instant donné, iront en s'accroissant de t_{01} à t_{04} . Par la suite, le phénomène s'inversera, les plus petits venant rattraper les plus grands. On peut définir la différence de taille entre deux individus par la fonction (cf. encadré fig. 38a) :

$$d\Delta t_0(t) = L_{\infty} ((\exp(Kt_{02}) - \exp(Kt_{01}))/\exp(Kt)) \quad (2)$$

Si l'on applique ce raisonnement à une cohorte, on peut affirmer que la variabilité des tailles ira nécessairement en croissant du début à la fin de la période de reproduction lorsque la cohorte se constitue. L'intervalle de variation correspondra alors à la différence entre la taille du plus grand des premiers nés et celle de la plus petite des larves. Chez les espèces pélagiques côtières, où la croissance est rapide et la période de reproduction étendue, cette différence pourra être importante. Dès la fin de la période de reproduction, la variabilité des tailles due à t_0 seulement ira en diminuant au cours du temps.

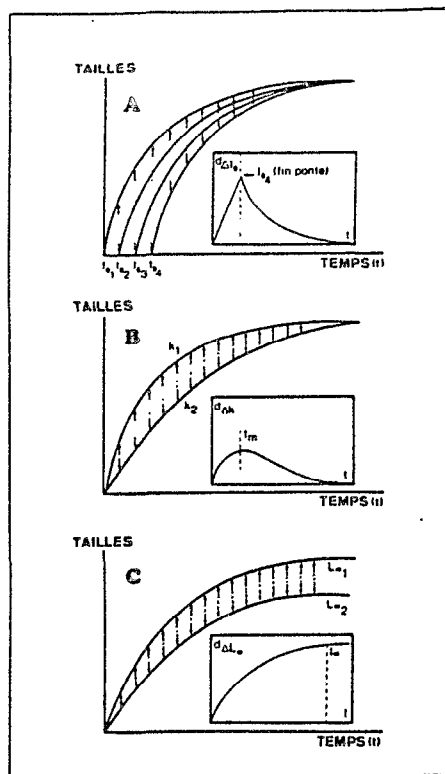


Fig. 38
Causes théoriques de la variabilité des tailles individuelles dans une cohorte dont la croissance des individus répondrait à l'équation de von Bertalanffy (voir texte):
A : Variation des dates de naissance;
B : Variation des vitesses de croissance;
C : Variation des tailles asymptotiques. [11]

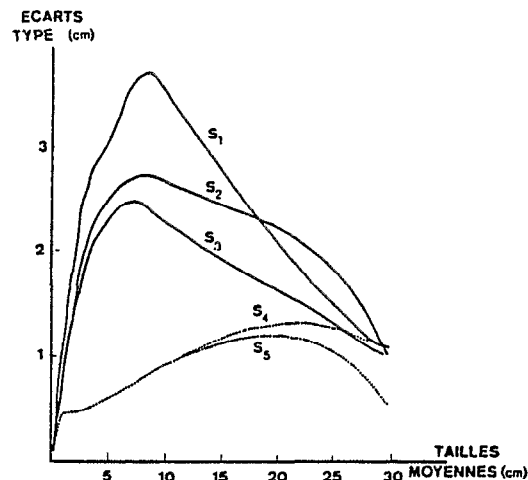


Fig. 39
Quelques exemples de simulation de la relation entre la taille moyenne des individus et l'écart type des tailles d'une cohorte fictive de 200 individus dont les paramètres de croissance seraient (voir texte):
- type pélagique côtier tropical: $t_0 = 0$ an; $\bar{K} = 1.1$; $\bar{L}_\infty = 30$ cm;
S₁: $\sigma_{t_0} = .15$ an; $\sigma_K = .10$; $\sigma_{L_\infty} = 1$ cm;
S₂: $\sigma_{t_0} = .10$ an; $\sigma_K = .10$; $\sigma_{L_\infty} = 1$ cm;
S₃: $\sigma_{t_0} = .10$ an; $\sigma_K = .18$; $\sigma_{L_\infty} = 1$ cm.
- type pélagique côtier tempéré: $t_0 = 0$ an; $\bar{K} = .3$; $\bar{L}_\infty = 30$ cm;
S₄: $\sigma_{t_0} = .05$ an; $\sigma_K = .03$; $\sigma_{L_\infty} = 1$ cm;
S₅: $\sigma_{t_0} = .05$ an; $\sigma_K = .03$; $\sigma_{L_\infty} = .5$ cm. [11]

Variations du taux de croissance

Considérons deux individus nés à la même date et ne différant que par leur propre coefficient de croissance ($K_1 \neq K_2$) celui-ci étant supposé constant au cours du temps. L'écart entre les tailles individuelles ira en augmentant au cours de la croissance, passera par un maximum, puis s'annulera pratiquement au stade adulte (fig. 38b). Ceci peut être représenté par la fonction (cf. encadré fig. 38b):

$$d\Delta k(t) = L_\infty ((\exp(K_2(t_0-t)) - \exp(K_1(t_0-t)))) \quad (3)$$

dont l'extremum sera atteint pour une valeur de t annulant la dérivée, soit:

$$t_m = (\log(K_1/K_2 - K)/K_1 - K_2)) + t_0$$

Variations de la taille maximale

Si l'on considère deux individus nés à la même date et ne différant que par la valeur de leur propre taille maximale ($L_{\infty 1} \neq L_{\infty 2}$), il est évident que l'écart entre leur taille ira en augmentant au cours du temps. L'expression analytique en sera ici (cf. encadré fig. 38c):

$$d\Delta L_\infty(t) = (L_{\infty 1} - L_{\infty 2}) (1 - \exp(K(t_0-t))) \quad (4)$$

Conséquences

Il découle de cette analyse schématique que la distribution des tailles au sein d'une cohorte résulte de la conjonction de nombreux paramètres régissant un ou plusieurs des trois facteurs précédents, ce qui rend complexes les interprétations. Ces considérations théoriques permettent d'affirmer que la variabilité des tailles ira en augmentant du début à la fin de la période de reproduction. Dès que la cohorte sera entièrement constituée, il ne sera plus possible de prévoir a priori l'évolution de la variabilité, car elle dépendra de l'action conjuguée de trois facteurs n'agissant pas dans le même sens. Afin de décrire l'espérance de la taille moyenne et sa variance au cours du temps, on a eu recours à des programmes de simulation considérant une cohorte fictive de N individus, pour lesquels on définit d'une part les moyennes t_0 , K et L_∞ , d'autre part les écarts type σ_{t_0} , σ_K et σ_{L_∞} (distributions supposées normales). L'évolution de cette cohorte en fonction du temps confirme que la dispersion des tailles autour de la moyenne sera essentiellement due : au début de la croissance à la différence entre les dates de naissance des poissons, au milieu du développement aux variations individuelles de K , et en fin de croissance à l'existence de différentes valeurs individuelles de L_∞ (fig. 39).

Le premier programme utilisé [11] SIMVAR, présenté en annexe III, ne prenait pas en compte la mortalité qui n'affecte pas toujours de la même façon les individus de taille différente, ni le taux de survie qui peut être lié à la vitesse de croissance au niveau individuel (LEE; 1972; RICKER, 1969). De même, ce modèle supposait l'indépendance entre les K et les L_∞ , bien qu'elle soit peu probable du fait de leur mode d'estimation (KNIGHT, 1968). Ces couples de paramètres s'inscrivent en réalité dans une ellipse dont l'axe principale présente une pente négative (GROS, 1980) dont on peut calculer les limites de confiance (CONAN, 1978). Nous avons depuis écrit un autre programme de simulation (SIMFREQ) qui offre la possibilité de faire varier tous ces éléments. Bien que des données aussi précises soient rarement disponibles, le modèle permet de tester quelle serait leur incidence sur les structures démographiques. Divers essais nous ont permis de constater que celle-ci reste toujours très faible, et qu'elle est négligeable au niveau de la relation : moyenne-écart type.

V. 1.2.2. Observation sur la variabilité des tailles individuelles dans une cohorte

Méthode d'approche

On ne cherche pas ici à identifier les facteurs précités susceptibles d'agir sur la variabilité de la croissance. Seule est entreprise une étude globale des observations, dans le milieu naturel ou en élevage. Les deux paramètres retenus sont la moyenne et l'écart type de la distribution des fréquences de tailles.

Afin d'obtenir une image pratiquement instantanée de la structure taille-âge de la population, non faussée par la croissance dans l'intervalle d'échantillonnage, on a cumulé les échantillons issus d'une même cohorte sur des périodes d'autant plus brèves que la croissance est rapide, i.e. que les individus sont jeunes.

Un autre obstacle méthodologique réside dans la détermination exacte de l'appartenance à une cohorte. Chez les individus suffisamment âgés pour présenter des marques saisonnières dans les structures des pièces osseuses, le problème peut être résolu si l'on connaît les périodes de reproduction. Pour les jeunes individus, c'est seulement avant le chevauchement des tailles individuelles extrêmes de deux cohortes successives, que l'on pourra déterminer avec certitude l'appartenance à une cohorte donnée, par simple analyse des distributions de fréquences de taille. Cependant, il reste illusoire de vouloir estimer avec précision l'écart type des distributions de fréquences de taille des très jeunes cohortes, car on se heurte alors aux problèmes de capturabilité et de sélectivité, qui font que les abondances relatives des divers groupes de tailles (de la larve au juvénile), sont très difficiles à estimer.

Pour les juvéniles de S. aurita, connaissant les périodes de reproduction de chaque année (R. G. S., campagnes de pêche expérimentale des oeufs et larves), on a utilisé les données regroupées de 5 jours de captures des sennes de plage, 3 mois après la fin de chacune des deux saisons annuelles de reproduction. Ensuite, les migrations de l'espèce, parallèlement ou perpendiculairement à la côte, ne rendent possible le suivi d'une cohorte dans son ensemble qu'à deux stades du développement : d'abord lors du recrutement des jeunes reproducteurs dans la pêcherie des senneurs, à une taille moyenne de 21 à 24 cm, ensuite lors du passage des adultes migrants devant le Sénégal. A ces deux stades, les chevauchements entre les deux cohortes sont importants et seul l'examen des écailles peut permettre leur discrimination. On a regroupé dans une même cohorte les seuls individus présentant de façon distincte les mêmes structures annulaires (sans que l'on soit pour autant toujours capable de déterminer leur âge avec précision).

Chez Brevoortia tyrannus en revanche, la lecture de l'âge se fait en routine.

Résultats

Concernant S. aurita, on dispose à la fois d'observations en élevage et en milieu naturel, qui ne sont pas juxtaposables pour autant. Les 110 individus placés en bassin durant 7 mois étaient issus d'un seul banc capturé en mer. Leur taille moyenne était de 3,5 cm et l'âge moyen estimé à 1,5 mois. Il est donc évident que leurs dates de naissance se situent dans un court intervalle de temps, bien inférieur à celui de la période de reproduction. On observe que l'écart type des distributions de taille croît en même temps que la taille moyenne, ce qui doit être attribué essentiellement à la variabilité des taux de croissance individuels. C'est ce que confirme l'ajustement des résultats à ceux d'une simulation où l'on a utilisé les valeurs des paramètres de croissance calculés pour cette espèce, auxquels on a associé les écarts types : $\sigma_0 = 0,0027$ an (individus supposés nés dans un intervalle de 4 jours), $\sigma_K = 0,135$ et $\sigma_L = 1,2$ cm [11, p. 461, fig. 3].

Du fait des conditions artificielles d'élevage (température et alimentation en particulier) et de la non-représentativité de notre échantillon par rapport à une cohorte, ces résultats n'ont qu'une valeur indicative. Un point important concerne cependant le comportement des individus dont le banc

initial se fractionnait souvent, au cours du dernier mois, en deux bancs distincts qui différaient par les tailles moyennes individuelles. Nous reviendrons sur ce point.

En mer, on observe chez *S. aurita* une diminution de la variabilité en fonction de la taille chez les cohortes dont l'âge moyen est de plus de 5 mois environ (fig. 40). Nous avons vu qu'il n'était pas raisonnable d'espérer mesurer l'écart type dans les cohortes avant cet âge. Des simulations ont été effectuées en retenant les valeurs moyennes des paramètres de croissance déjà mentionnées et $\sigma_0 = 0,09$ à 0,11 ans, ce qui décrit une période de reproduction de durée moyenne. Les diverses valeurs de σ_K et de σ_{L_∞} , permettant à la fois l'ajustement aux données et la figuration d'hypothèses réalistes pour la phase juvénile, varient dans des limites relativement étroites. Néanmoins, on retiendra ici essentiellement l'allure générale de la courbe obtenue qui présente un maximum accentué, car on ne peut accorder qu'une confiance limitée à la représentativité des valeurs absolues retenues. De plus, il est certain que le modèle présente des solutions multiples compte tenu du grand nombre de variables explicatives et de leur non-indépendance.

Les résultats concernant *B. tyrannus* montrent la même diminution de la dispersion des tailles dans les cohortes âgées de plus d'un an, bien que les simulations ne permettent jamais de reconstituer les fortes variations d'écart type observées si l'on retient les schémas de croissance, de migration et d'identité des stocks retenus [11]. Ceci plaide en faveur d'une modélisation séparée de plusieurs sous-stocks de jeunes (représentant des taux de mélange qui augmentent avec l'âge), mais ne remet pas en cause l'allure générale de la courbe réelle de variation des écarts type en fonction de la taille.

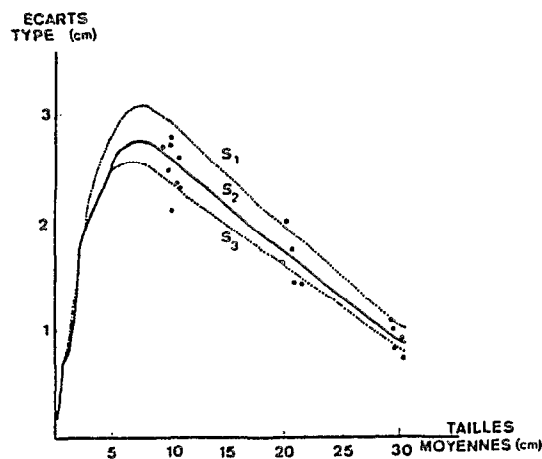


Fig. 40

Relation entre la taille moyenne des individus et l'écart type des tailles dans les cohortes de *Sardinella aurita* au Sénégal, et trois simulations de cohortes où $N = 500$; $\bar{t}_0 = 0$ an; $K = 1.206$; $\bar{L}_\infty = 30.63$ cm (voir texte) :

S_1 : $\sigma_{t_0} = .11$ an; $\sigma_K = .11$; $\sigma_{L_\infty} = 1$ cm;
 S_2 : $\sigma_{t_0} = .10$ an; $\sigma_K = .10$; $\sigma_{L_\infty} = .9$ cm;
 S_3 : $\sigma_{t_0} = .09$ an; $\sigma_K = .09$; $\sigma_{L_\infty} = .8$ cm. [11]

La décroissance précoce des variabilités avec la taille chez les deux espèces s'explique donc par le fait qu'il s'agit de poissons tropicaux dont la période de reproduction est étalée et le taux de croissance élevé, et/ou très variable. De ce fait, on atteindra rapidement la phase de variabilité maximale peu de temps après la fin de la période de reproduction, après quoi les tailles auront tendance à s'uniformiser, la variabilité des tailles maximales individuelles (σ_L) semblant jouer un rôle minime.

Dans une certaine mesure, de telles simulations appliquées à d'autres espèces peuvent contribuer à valider ou invalider diverses hypothèses sur la durée de la période de reproduction ou l'identité des stocks, ou encore le schéma de migration, comme nous le verrons dans le cas de Sardinella aurita.

V. 1.3. La variabilité des tailles à l'intérieur d'un banc [11]

Les nombreux travaux réalisés sur les bancs (HEMMINGS, 1966; SHAW, 1970; VAN OLST et HUNTER, 1970; BREDER, 1976 et WARE, 1978 par exemple) permettent de penser que la variabilité des tailles individuelles au sein d'un banc sera limitée à la fois par des contraintes d'homogénéité au niveau de la structure géométrique du banc et par les aptitudes natatoires des individus.

L'échantillonnage des bancs pose moins de problèmes que celui des cohortes car, dans les pêcheries à la senne (tournante ou de plage), et pour les espèces étudiées ici, le coup de filet est généralement pratiqué sur un seul banc qui est en totalité ou en partie capturé. Dans ce dernier cas, on peut supposer que la structure de taille des individus emprisonnés dans le filet est représentative de l'ensemble du banc.

Chez S. aurita, on observe que l'écart type des longueurs augmente quand on s'adresse à des tailles moyennes de plus en plus grandes (fig. 41). Les distributions de fréquence de taille sont, en règle générale, unimodales et symétriques. On retrouve chez S. maderensis (fig. 42) et chez B. tyrannus des résultats analogues [11].

La relation entre la taille moyenne et l'écart type des tailles dans un banc est donc de la forme :

$$\bar{L} = a \sigma_L + b \quad (5)$$

et si b est voisin de zéro, comme dans le cas de Sardinella aurita, cela revient à dire que le coefficient de variation est constant et égal à a .

Chez les espèces pélagiques côtières tropicales, on rencontre souvent des bancs comportant deux ou plusieurs espèces mélangées, appartenant souvent au même genre ou à la même famille, et dont les individus se ressemblent morphologiquement. Tel est le cas au Sénégal où l'on peut citer, parmi de nombreux exemples, les principales associations suivantes :

- Sardinella aurita, Sardinella maderensis,
- Sardinella aurita, Caranx rhonchus,
- Sardinella aurita, Scomber japonicus
- Sardinella aurita, Trachurus trecae,

- Caranx rhonchus, Trachurus trecae, \pm Trachurus trachurus
- Trachurus trecae, Trachurus trachurus

Le regroupement des espèces dans un même banc n'est pas systématique et il est rarement observé sur l'ensemble du cycle de vie des deux espèces. Il semble qu'à certains stades, les exigences des deux espèces soient trop différentes pour qu'elles puissent continuer à vivre ensemble.

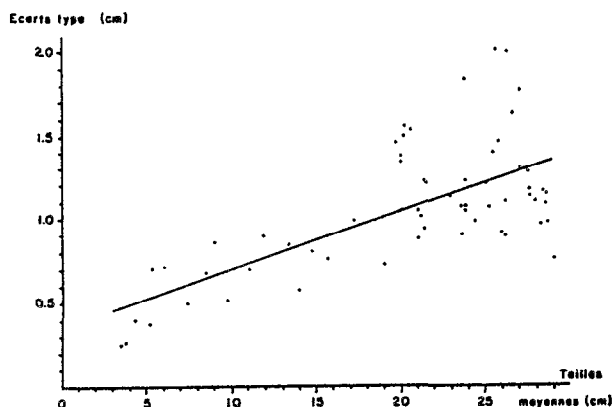


Fig. 41
Relation entre la taille moyenne des individus et l'écart type des tailles à l'intérieur des bancs de *Sardinella aurita* au Sénégal.

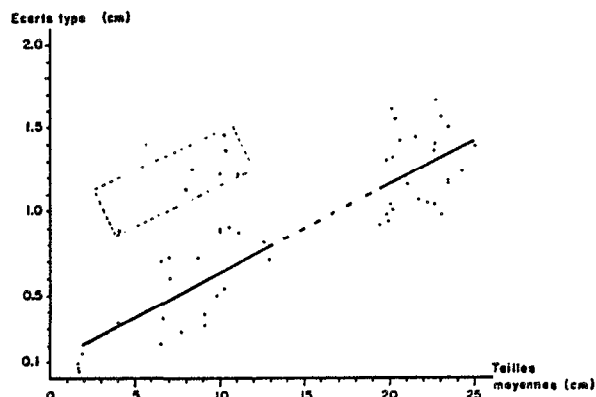


Fig. 42
Relation entre la taille moyenne des individus et l'écart type des tailles à l'intérieur des bancs de *Sardinella maderensis* (dans l'encadrement : distributions de fréquences bimodales non retenues; cf. texte).

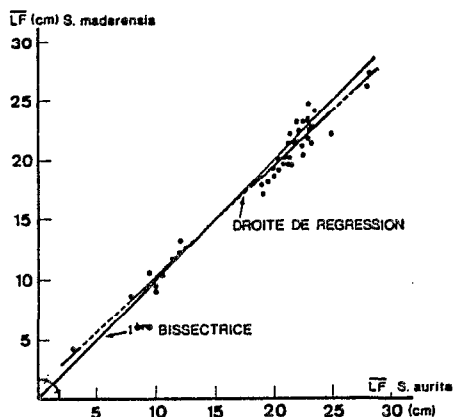


Fig. 43
Relation entre les tailles moyennes individuelles (longueur à la fourche : LF) de *Sardinella aurita* et de *Sardinella maderensis* lorsque les deux espèces se trouvent dans un même banc.

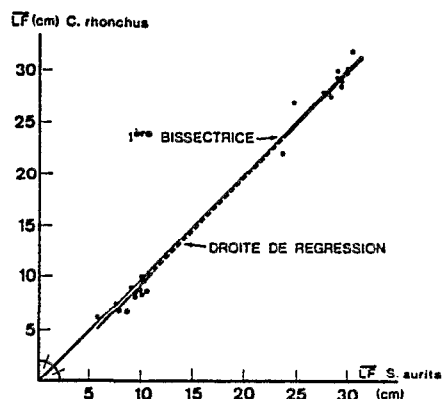


Fig. 44
Relation entre les tailles moyennes individuelles (longueur à la fourche : LF) de *Sardinella aurita* et *Caranx rhonchus* lorsque les deux espèces se trouvent dans un même banc.

L'analyse des distributions de fréquences de longueurs indique une grande similitude des tailles moyennes des diverses espèces associées dans un même banc (fig. 43 et 44). Les droites de régression obtenues sont très proches de la première bissectrice et les différences entre les tailles moyennes des individus d'espèces différentes provenant d'un même banc sont faibles. Si l'on compare la relation entre la taille moyenne des individus d'un banc et leur écart type, toutes espèces confondues, avec les mêmes relations obtenues sur des bancs mono-spécifiques, on remarque que, comme on pouvait s'y attendre, les valeurs sont très comparables. Les espèces s'associent donc par groupes de taille homogène.

On observe que l'étendue des distributions de taille à l'intérieur d'un banc, toutes espèces confondues, est bien inférieure à celle relevée pour l'ensemble de la population capturable d'une seule espèce présente au même instant dans la même zone de surface restreinte [11, p. 465, tabl. 2]. Ces déductions sont étayées par des observations réalisées en élevage. Ainsi, dans le bassin où l'on avait placé des sardinelles juvéniles appartenant aux deux espèces et quelques individus plus âgés de l'une ou de l'autre espèce, ces derniers sont toujours restés indépendants du banc compact formé au départ par les juvéniles. De tels comportements ont été également observés dans des aquariums d'eau douce contenant diverses tailles de Paracheirodon axelrodi et Paracheirodon innesis (FREON, 1974). On peut donc conclure qu'à certaines périodes, et pour certaines espèces, le gréganisme est motivé plus par une similitude des tailles (et très vraisemblablement des formes) que par une attirance intraspécifique. Les observations de CAYRE (1985) sur les thons du large confirment nos conclusions.

La répartition dans l'espace des individus des différentes espèces constituant un banc est difficile à étudier. Nos observations initialement réalisées dans un milieu très confiné (cage en filet de 2,5 m³) n'avaient pas permis de mettre en évidence une stratification du "banc" par espèce. Depuis, nous avons réalisé des observations au Vénézuéla où les pêcheurs gardent leurs captures emprisonnées dans de grands filets verticaux (chinchorros). Ces captures sont souvent réalisées à partir d'un banc mixte et nous avons pu observer à diverses reprises les associations suivantes :

- Sardinella aurita, Opisthonema oglinum
- Sardinella aurita, Harengula jaguana
- Sardinella aurita, Harengula jaguana, Opisthonema oglinum

On remarquera que l'on retrouve ici la même espèce de sardinelle ronde qu'au Sénégal. Par ailleurs, Opisthonema oglinum se rapproche de S. maderensis par sa morphologie et ses caractéristiques écologiques. Le diamètre du cercle formé par le filet est de 40 à 60 m, et il repose sur des fonds sableux de 6 m environ. Sur le plan horizontal, la surface occupée par un banc (de 20 à 80 t en général) est modeste par rapport à la surface délimitée par le chinchorro. En revanche, la faible profondeur modifie probablement la forme du banc dans le plan vertical, par rapport à des conditions naturelles en eaux plus profondes. Les poissons situés à la partie inférieure du banc délimitent un plan parfaitement parallèle au fond, à une distance de un mètre environ. Il s'agissait toujours de sardinelles dans nos observations où cette espèce était majoritaire. La partie supérieure du

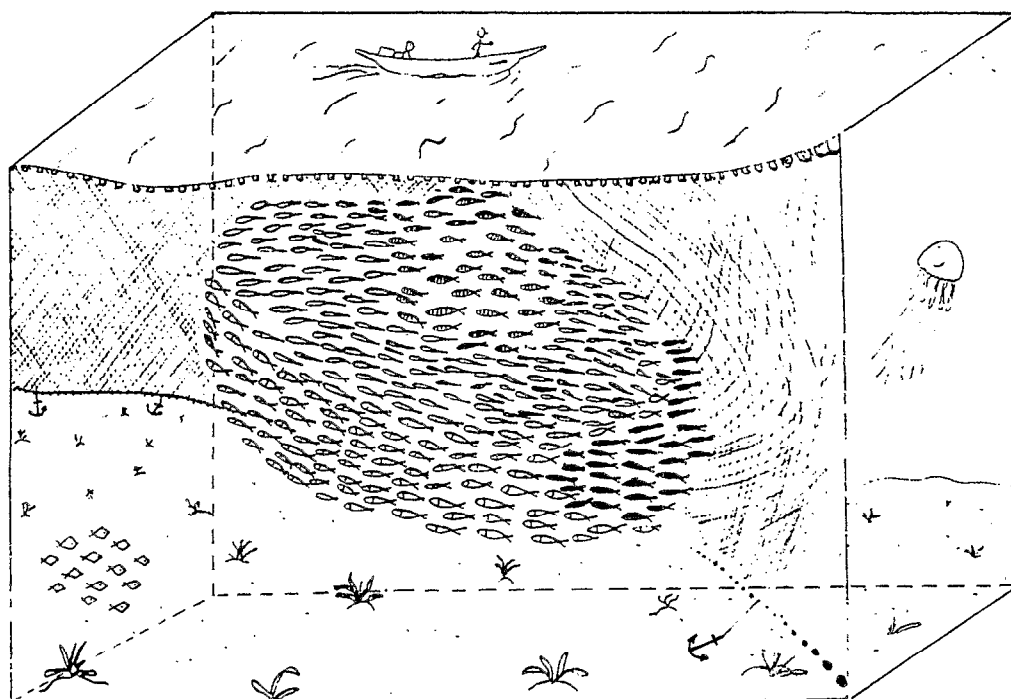
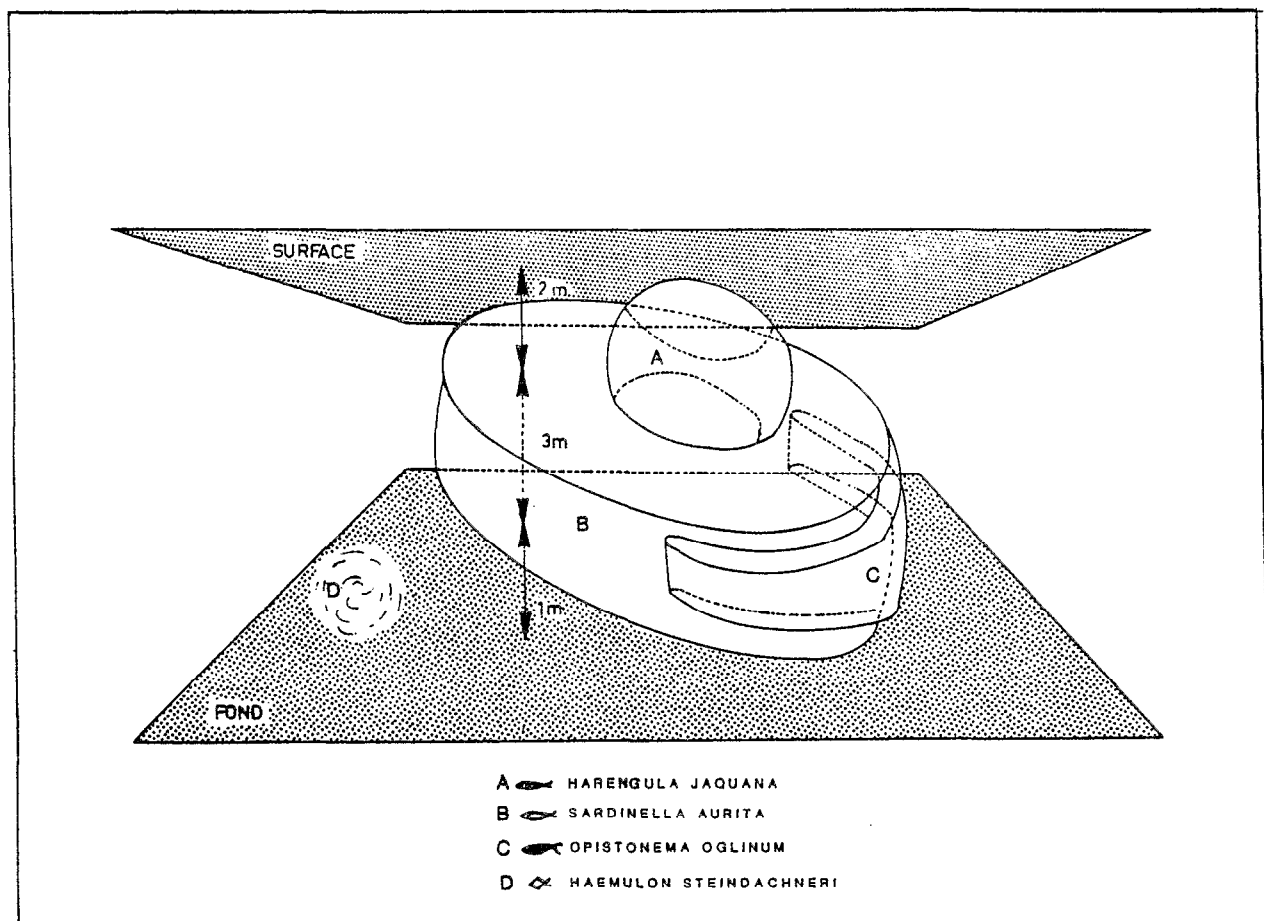


Fig. 45 - Schéma de la répartition des espèces dans un banc mixte de poissons pélagiques retenus prisonniers dans un filet fixe.

banc est également plane, parallèle à la surface et située à 2 m de celle-ci. Les Harengula jaquana se trouvaient toujours au-dessus des sardinelles, n'occupant en fait qu'une partie du dessus de la masse compacte de ces dernières. Le schéma de la figure 45 n'est que la reconstitution de plusieurs observations sous-marines des bancs, réalisés sous différents angles. La taille des bancs et la visibilité nous empêchent d'avoir une telle vue d'ensemble.

Les Opisthonema oglinum, également minoritaires dans les bancs observés, étaient situés derrière la masse des sardinelles qu'elles suivent dans leurs déplacements (d'après un pêcheur, en mer, elles "entourent" les sardinelles). Les trois espèces présentaient toujours des fréquences de taille unimodales mais, contrairement aux observations réalisées au Sénégal, leurs tailles moyennes pouvaient différer de 3 à 4 cm.

Les poissons, captifs depuis plusieurs jours lors de nos observations, s'accoutument très vite à la présence d'un plongeur immobile. Le banc est alors faiblement polarisé, les animaux effectuant des mouvements latéraux rapides par rapport au mouvement lent de l'ensemble du banc, pour s'alimenter semble-t-il. A ce stade de semi-repos, les deux ou trois espèces de clupéidés décrites restent toujours regroupés physiquement dans le même banc, même si parfois la polarisation des Harengula jaquana, qui circulent au-dessus de la masse des sardinelles, peut être en moyenne différente de celle des autres espèces. Lorsque le banc est effrayé, par des mouvements brusques du plongeur par exemple, l'ensemble des individus des différentes espèces se polarise brusquement à partir du "point source" d'où vient le stimulus, et le banc fuit en bloc.

D'autres espèces, de tailles et de familles très éloignées des clupéidés (Haemulon steindachneri par exemple), mais capturées en même temps que ceux-ci, formaient de petits bancs monospécifiques toujours bien séparés physiquement du banc multispécifique décrit plus haut.

V. 1.4. Mode d'agrégation des espèces pélagiques côtières étudiées [11]

Si l'on compare l'évolution des relations entre les tailles moyennes et les écarts types, obtenues à l'intérieur des deux entités que constituent les bancs et les cohortes, on constate que, pour les petites tailles, la dispersion devient très rapidement plus grande dans les cohortes que dans les bancs (fig. 46). La différence entre les écarts-type des deux entités est maximale peu après la fin de la période d'éclosion et elle diminue ensuite rapidement au cours de la phase exploitable. Pour les plus grandes classes de taille, les deux dispersions se confondent. On peut ainsi définir trois gammes de taille au cours de la croissance des espèces étudiées.

La première correspond au début de la phase de constitution de la cohorte, et bien que l'on en soit réduit à des hypothèses, il n'est pas inconcevable de penser que les larves écloses à quelques jours d'intervalle puissent rester regroupées dans un même essaim puis un banc, durant quelque temps.

Cependant, chez les espèces pélagiques côtières tropicales où la période de ponte est étalée et la croissance rapide,

on entrera rapidement dans la deuxième gamme, qui est celle où les différences entre les tailles seront trop grandes pour que les individus d'une même cohorte puissent tous se regrouper dans des bancs de tailles moyennes voisines. Même au niveau d'individus nés le même jour, la variabilité de la croissance individuelle sera telle que le banc, éventuellement constitué précédemment, devra éclater en plusieurs unités -comme le suggèrent les observations effectuées en élevage- lesquelles pourront fusionner ensuite avec des unités issues d'autres bancs initiaux, dont elles sont plus proches par la taille.

Au niveau de la troisième gamme, les dispersions autour de la taille moyenne sont du même ordre dans la cohorte et dans les bancs, ce qui théoriquement permettrait d'observer des bancs constitués d'individus appartenant à une seule cohorte, et dont les dates de naissance s'échelonnent tout au long de la période de reproduction. En réalité, ceci ne serait dû qu'au hasard, compte tenu du morcellement antérieur et du fait qu'à ce stade les tailles dans les cohortes successives se chevauchent déjà largement. Les bancs sont donc constitués d'individus appartenant à des cohortes distinctes, i.e. d'âges différents. Ce dernier point se vérifie directement par lecture de l'âge sur les pièces dures d'individus provenant d'un même banc, sans pour autant que la distribution des fréquences de taille soit nécessairement plurimodale [11, p. 487, fig. 13].

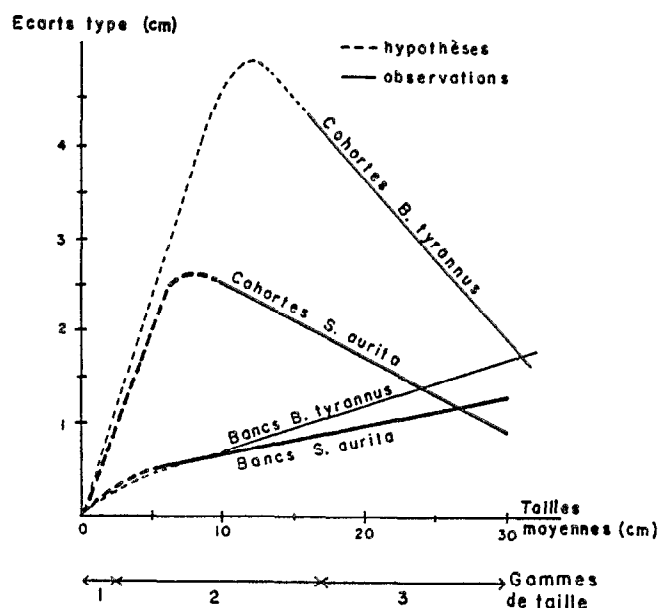


Fig. 46 -

Schéma de principe indiquant les relations apparentes entre la taille moyenne des individus et l'écart type des tailles à l'intérieur des bancs ou des cohortes de *Sardinella aurita* et de *Brevoortia tyrannus*.

Cette analyse semble s'opposer à celle de ILES (1980) qui suppose que chez les clupeidés grégaires (des eaux tempérées pour l'essentiel de son travail), les paramètres de croissance sont largement préprogrammés génétiquement, et donc peu variables. Ceci devrait assurer la constitution de bancs d'adultes de taille homogène, favorables à la coordination des activités de reproduction et d'alimentation en groupe. En fait, le même résultat peut être obtenu par la ségrégation par taille qu'opèrent pour le moins les espèces tropicales étudiées ici.

On doit donc considérer le banc de poissons comme un regroupement temporaire d'individus ayant des tailles, des morphologies et probablement des exigences écologiques voisines, à un instant donné, mais n'appartenant pas nécessairement à la même espèce. Les échanges entre bancs sont extrêmement difficiles à constater au niveau des individus en milieu naturel, mais l'on observe des fractionnements de bancs, des fusions et surtout des dissolutions par dispersion des individus, suivis de reconstitution, tous ces phénomènes étant souvent liés à des cycles nycthéméraux. Il est certain qu'en pareil cas les regroupements initiaux sont modifiés.

Nos considérations sont, dans une certaine mesure, en contradiction avec la théorie de LEBEDEV (1967), selon laquelle les individus se regroupent dans l'espace dès leur plus jeune âge en "populations élémentaires" physiologiquement homogènes, qui restent stables dans le temps. Une analyse critique des observations de cet auteur peut en fait conduire à une interprétation plus conforme à nos observations [11]. On doit cependant reconnaître que certains faits corroborent la théorie de LEBEDEV. Dans les pêcheries sénégalaises par exemple, on relève souvent que les unités de pêche travaillant sur une même concentration de poissons capturent des bancs très similaires, quant à la taille des individus (les observations de FONTENEAU et LALOE (1985) sur les listaos rejoignent les nôtres sur ce point), à leur stade de maturité sexuelle et à la composition spécifique des captures lorsqu'il s'agit de bancs plurispécifiques. On ignore actuellement si le regroupement d'espèces dans un banc correspond ou non à une nécessité écologique (commensalisme ou symbiose par exemple).

V. 1.5. Application à l'échantillonnage des tailles et des âges [12]

Pour beaucoup d'engins de pêche d'espèces pélagiques côtières, la capture correspondant à un lancer s'effectue généralement au détriment d'un seul banc, capturé en partie ou en totalité (senne tournante, senne de plage carrelet, épervier). L'échantillon qu'analysera le biologiste des pêches portera donc souvent sur un seul banc de poissons. L'utilisation de modèles de production structuraux nécessitera l'analyse d'un grand nombre de ces échantillons dont l'obtention est souvent onéreuse et l'étude toujours longue à réaliser. Il convient donc de définir l'effectif minimum, ou taille, des échantillons et d'en limiter le nombre afin d'utiliser de façon rationnelle les ressources financières et humaines disponibles (le terme "taille de l'échantillon" ne sera plus employé dans la suite du texte afin d'éviter des confusions avec la taille des individus).

V. 1.5.1. Echantillonnage d'un banc

Nous avons vu, au chapitre IV.3 de méthodologie, comment la connaissance de la relation (5) entre écart type et moyenne des tailles dans un banc, pouvait conduire à fixer l'effectif minimum n des échantillons pour estimer la taille moyenne dans un banc avec une précision donnée, par la relation :

$$n = Z_{\alpha}^2 \sigma^2 / i^2 \quad (6)$$

Concernant l'âge des individus d'un banc, le biologiste cherchera plus à obtenir la proportion des individus par classe d'âge, que l'âge moyen du banc. On peut donc rechercher l'effectif minimum théorique n de l'échantillon en fixant préalablement la largeur i du demi-intervalle de confiance que l'on souhaite obtenir de part et d'autre de la proportion observée p afin d'estimer la proportion vraie P dans le banc avec une probabilité α . Si en première approximation on remplace P par son estimation p , on obtient (COCHRAN, 1977, p. 75) :

$$n = Z_{\alpha}^2 pq / i^2 \quad (7)$$

En prenant en compte la correction de continuité des limites et le fait que l'intervalle de confiance sur P est dissymétrique (FRONTIER, 1980), on aboutit à des formules plus complexes. Cependant, dans les cas qui nous intéressent, les résultats diffèrent peu en fonction de la formule retenue. Ils montrent que l'obtention d'une précision relative raisonnable sur l'estimation de la proportion d'une classe d'âge dans un banc nécessite des effectifs très élevés, même si l'on néglige la précision sur les classes peu représentées. [12, p. 89, tabl. 2].

Ainsi, pour une classe représentant 50 % de la population d'un banc échantillonné, si l'on veut obtenir une estimation de cette proportion à ± 3 % (soit une précision relative de ± 6 %) avec un seuil de sécurité de 95 %, il faudra en théorie déterminer l'âge de plus de 1 000 individus. Ces résultats n'ont qu'un intérêt indicatif, car, en pratique, on s'intéresse à l'âge ou à la taille de l'ensemble de la population exploitée, et non à celle d'un seul banc. Le plan d'échantillonnage sera donc plus complexe, mais moins lourd pour un échantillon donné, i.e. d'un banc.

V. 1.5.2. Echantillonnage des tailles de l'ensemble de la population exploitée

On a vu que, pour beaucoup d'espèces pélagiques, les individus sont regroupés en bancs, eux-mêmes rassemblés en concentrations souvent homogènes.

La faible variance des tailles à l'intérieur des bancs montre que l'on aura intérêt à limiter l'effectif des échantillons au profit de leur nombre, et à stratifier l'échantillonnage (COCHRAN, 1977; LAUREC, et al., 1983), mais le choix des strates à retenir peut s'avérer très complexe dans le cas des espèces pélagiques côtières. En effet, les bateaux se rassemblent souvent sur une ou plusieurs concentrations, sans que l'on puisse noter systématiquement des associations privilégiées. Cependant, on observe souvent une large variabilité des tailles à l'intérieur de strates spatio-temporelles restreintes, en raison du caractère migrateur des espèces considérées. Une stratégie adéquate serait

de pouvoir effectuer un échantillonnage à trois niveaux : la concentration, le banc, et le sous-échantillonnage de poissons mesurés. En pratique, ceci est souvent irréalisable du fait que les limites spatio-temporelles de la concentration ne peuvent être déterminées qu'a posteriori et à la condition de pouvoir analyser un grand nombre d'échantillons.

On a pu résoudre le problème dans le cas des pêcheries sénégalaises par l'emploi d'une stratification par catégories de tailles, en usage chez les pêcheurs sous le nom de "moules", comme nous l'avons vu. Ceci nous a conduit à réaliser pour chaque espèce une stratification à trois niveaux : mois, zone de pêche (combinant bathymétrie et aire) et moule. Chaque pêcherie constitue donc un cas particulier et des solutions appropriées devront être recherchées cas par cas.

V. 1.5.3. Echantillonnage des âges de l'ensemble des captures

Echantillonnage simple des âges

Les variables taille et âge étant liées, la répartition des classes d'âge annuelles dans le milieu ne sera évidemment pas plus aléatoire que celle des tailles, et l'on devra rechercher la meilleure stratégie d'échantillonnage. On tentera ici aussi de prendre en compte la concentration de poissons, ce qui suppose implicitement que les bancs qui la constituent présentent une certaine homogénéité dans les proportions des différentes classes d'âge. Ceci semble se vérifier pour Brevoortia tyrannus [12, p. 91, tabl. 3], mais on manque d'observations pour pouvoir généraliser ce cas.

Double échantillonnage selon la taille et les âges

Cette méthode (KETCHEN, 1950; KIMURA, 1977), suppose implicitement une contrainte plus rigide encore que dans le cas précédent : les espérances des proportions de divers groupes d'âges à l'intérieur des classes de taille, devront être les mêmes parmi les divers échantillons disponibles, i.e. les bancs dans la plupart des cas. Au niveau des poissons regroupés par bancs, même si l'on choisit des strates spatio-temporelles qui correspondent à des concentrations distinctes, l'hypothèse pourrait ne pas être respectée : on peut imaginer que d'un banc à l'autre le jeu des regroupements serait tel que la structure âge-taille serait différente, bien que les tailles moyennes puissent être identiques. Les données mises à notre disposition sur le menhaden (B. tyrannus) ne semblent pas l'indiquer et montrent une assez bonne homogénéité des structures âge-taille inter-banc dans une même concentration [12, p. 92, fig. 13]. Cependant, les effectifs sont bien trop faibles pour obtenir une réponse satisfaisante par des tests statistiques, et ce sujet mériterait d'être approfondi.

Clé âge / longueur

Dans certains cas, où la détermination de l'âge est longue et onéreuse, on est tenté de restreindre les lectures d'âge en utilisant une clé unique âge/longueur, déterminée à partir d'un nombre limité d'individus provenant d'une faible partie des échantillons prélevés pour l'étude des tailles, voire d'échantillons indépendants. Cette pratique peut être source de lourdes erreurs. Hormis les aléas bien connus liés aux variations spatio-

temporelles de la croissance (WESTHREIM et RICKER, 1978), on se heurte une fois de plus, dans le cas des poissons pélagiques, aux conséquences du phénomène d'agrégation. En effet, celle-ci se fait par taille et non par âge, de telle sorte que dans certains bancs on surestime la taille moyenne des jeunes individus d'un âge donné, ou l'on sous-estime celle des plus âgés : souvent, dans un banc où se regroupent plusieurs classes d'âge, les individus les plus petits du banc sont en fait les plus gros de leur classe d'âge et vice-versa (fig. 47 bancs B2 et B3). Ceci est en tous points comparable au biais mentionné par RICKER (1975) dans l'estimation des âges à partir d'échantillons provenant d'un engin de pêche sélectif : le banc joue ici le rôle de la sélectivité du filet. Si, pour diverses raisons, on est conduit à déterminer une clé âge-longueur à partir d'échantillons ne pouvant provenir d'un double échantillonnage systématique, on s'attachera à obtenir une allocation de ces échantillons à peu près proportionnelle à celle des captures totales, pour une taille modale et une saison données.

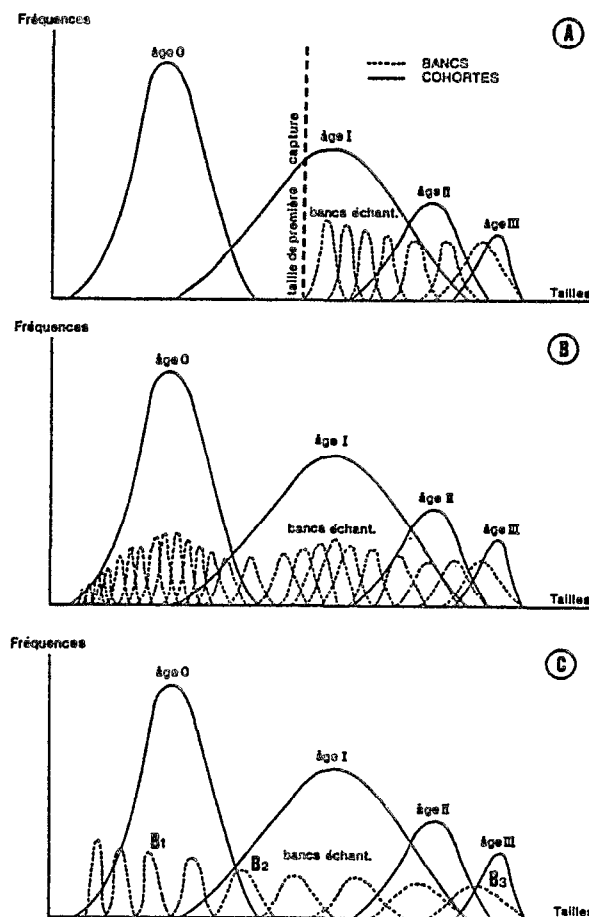


Fig. 47 -

Différents schémas d'échantillonnage des bancs pour la détermination de la croissance (bancs échantillonnés en pointillé) :

A : Cas le plus défavorable (âge I) : utilisation des captures commerciales uniquement (surestimation de la taille moyenne, sous-estimation de la variance).

B : Cas idéal : utilisation de données expérimentales et commerciales, avec pondération des effectifs de divers types de banc par leur abondance relative dans le milieu.

C : Compromis : répartition uniforme des bancs (bonne estimation des tailles moyennes, surestimation de la variance).

Opportunité de ces techniques dans le cas des espèces pélagiques côtières tropicales

Devant ces nombreuses difficultés, on conçoit aisément qu'il soit souhaitable de pratiquer le double échantillonnage fixe des âges. Cependant, les calculs d'effectifs théoriques, pour obtenir une précision acceptable des proportions des classes d'âge, indiquent que même dans les cas les plus favorables, on devra déterminer l'âge de plusieurs milliers, voire dizaines de milliers d'individus par an. C'est ce que montre une étude que nous avons réalisée à partir de l'exemple de la pêche sénégalaise en modifiant le programme AGEKOM (MACKETT, 1963; ABRAMSON, 1971), afin de rechercher quels seraient les effectifs minimum à mesurer et à "âger" afin d'obtenir une précision relative de $\pm 5\%$, avec une sécurité de 95 % sur les proportions P des différentes classes d'âge ($1.96\sigma_P/P = 0,05$), en fonction du rapport entre le coût d'une détermination d'âge et celui d'une mensuration. Dans le meilleur des cas les effectifs dont on devra déterminer l'âge sont de plusieurs milliers par mois (12, p. 94, tabl. 4).

Ces considérations s'ajoutant aux difficultés de lecture d'âge en milieu tropical, aux insuffisances des modèles structuraux appliqués aux espèces pélagiques côtières, et souvent aux faibles ressources financières dont disposent les pays des régions intertropicales, incitent à une réflexion approfondie avant de lancer de tels programmes d'échantillonnage à long terme. Au-delà d'études ponctuelles permettant de connaître les grands traits de la structure des prises par grand groupe d'âge et d'appliquer des modèles "semi-structuraux" (DERISO, 1980), on risque de peu valoriser les données recueillies à grands frais.

V. 1.5.4. Choix des données pour l'étude de croissance

Si l'on étudie la croissance des espèces pélagiques côtières par l'interprétation des pièces anatomiques, on encourt le même risque de biais que celui mentionné pour l'établissement de la grille âge/longueur, mais ici le palliatif sera différent : on ne cherchera pas à obtenir une image de la répartition des âges pour les classes de tailles exploitées (fig. 47A), mais plutôt pour l'ensemble de la population cible. Nous avons vu que ceci est pratiquement impossible, en particulier pour les jeunes individus.

On pourra limiter les biais en choisissant des échantillons, i.e. dans des bancs dont les tailles modales se répartiront de façon uniforme sur la gamme de tailles accessible par pêche (fig. 47C) : la taille moyenne par âge sera dans ce cas probablement bien estimée; en revanche, la distribution des tailles autour de cette moyenne sera faussée (surestimation de l'écart type).

En pratique, le problème se pose souvent de façon différente, particulièrement en milieu tropical où la croissance est très rapide et où la détermination de l'âge par l'intermédiaire des pièces anatomiques est souvent impossible avant un an, c'est-à-dire au cours d'une phase pouvant correspondre à plus de la moitié de la croissance en taille d'un animal donné. On utilise alors l'analyse des fréquences de longueur selon diverses techniques dérivées de la méthode de Petersen. Une fois de plus,

le mode d'agrégation en bancs de certaines espèces va venir fausser, dans bien des cas, les interprétations des figures obtenues. En effet, le risque sera d'attribuer à une classe d'âge une taille modale qui proviendrait en fait du suréchantillonnage d'un seul banc ou d'une concentration homogène en taille : celle-ci, comme nous l'avons vu, peut représenter un mélange de plusieurs cohortes, ou au contraire, correspondre à une fraction de jeune cohorte pas nécessairement représentative de la taille moyenne de tous les individus du même âge dans la population. On pourra limiter ce risque par un échantillonnage stratifié, ou bien à plusieurs niveaux, sans être certain, comme nous l'avons vu, que celui-ci atteigne parfaitement son but.

Ici encore, le recrutement dans la pêcherie peut n'intéresser que la fraction des individus les plus gros d'une cohorte (fig. 47A), le pêcheur ou son engin de pêche sélectionnant les bancs d'individus présentant une taille suffisamment grande. Dans ce cas, le premier mode observé ne sera pas représentatif de l'ensemble de la cohorte. De plus, si la reproduction est étalée dans le temps, on pourra observer un premier mode (voire plusieurs) stationnaire. Tel est le cas pour les sardinelles du Sénégal où, en dépit d'une vitesse de croissance très rapide, on observe durant plusieurs mois une étonnante stabilité des tailles capturées, liée également au phénomène d'émigration (Annexe I).

Dans le cas de reproduction étalée au long de l'année, la tentation est grande de vouloir appliquer la méthode de PETERSEN sur les fractions de cohorte, ce qui sous-entend qu'il y aurait des pulsations dans la reproduction. Plusieurs exemples existent dans la littérature et nous avons également appliqué ce raisonnement pour établir la croissance des jeunes Sardinella aurita au Sénégal. On peut alors utiliser deux procédures : la première consiste à rassembler les fréquences de taille d'un maximum d'échantillons prélevés sur une courte période (une semaine par exemple), et à rechercher les modes et leur progression dans le temps. Il s'agit là de la méthode de PETERSEN appliquée à de courts intervalles de temps, mais les filiations modales ne sont pas toujours aisées à établir, et parfois une même figure peut conduire à différentes interprétations. La deuxième procédure est encore plus hasardeuse : elle consiste à rechercher la filiation modale d'un échantillon à l'autre, c'est-à-dire d'un banc à l'autre dans le cas des jeunes poissons pélagiques côtiers. Or on ignore s'il existe une phase suffisamment longue de stabilité du regroupement (gamme de taille 1, fig. 46) pour permettre de telles études sur plusieurs mois, ou si, au contraire, les échanges entre bancs sont permanents et très précoces (gamme 2), se produisant bien avant que l'on puisse les mettre en évidence par lecture des pièces anatomiques. Pour Sardinella aurita tout au moins, cette dernière hypothèse nous semble la plus probable, compte tenu des observations éthologiques mentionnées dans la première partie de cette étude. Nous avons vu que les deux procédures ont été utilisées pour l'étude de la croissance de cette espèce au Sénégal ; aussi les résultats doivent-ils être considérés comme provisoires, même si l'on considère que l'étude des moyennes vertébrales permettrait de s'assurer que l'on suivait toujours la même cohorte saisonnière.

V. 1.5.5. Calcul des paramètres de l'équation de VON BERTALANFFY

Du fait que la croissance des différents individus d'une même cohorte est fortement variable, le mode de calcul des paramètres de l'équation de Von Bertalanffy introduit une sous-estimation de la valeur moyenne de K, comme l'a montré SAINSBURY (1980). Le biais sera surtout important si l'on analyse des données d'accroissement de taille (marquage ou méthode de Petersen par exemple), et si la variabilité relative de K (coefficient de variation) est importante ; l'étude des écarts types par classe d'âge suggère que tel est bien le cas chez les espèces pélagiques côtières que nous avons étudiées.

En conséquence, lorsque l'on utilise la méthode de Petersen ou une méthode dérivée, il est recommandé de tenter de déterminer une date de naissance moyenne des groupes d'âge, par l'étude de l'ichtyoplancton et de la maturité sexuelle en particulier, afin d'utiliser les formules relatives aux âges absolus plutôt qu'aux âges relatifs. Par ailleurs, lorsque la croissance présente de fortes variations saisonnières, on aura intérêt à utiliser un ajustement à une courbe de croissance incorporant une fonction trigonométrique liée au temps (BUESTEL et LAUREC, 1975).

Afin de pallier les difficultés liées d'une part à la décomposition des fréquences de taille plurimodales, et d'autre part à l'estimation des paramètres de croissance, SCHNUTE et FOURNIER (1980) ont proposé une approche originale qui consiste à effectuer simultanément les deux tâches. Poursuivant cette approche, FOURNIER et BREEN (1983) envisagent d'estimer également la mortalité totale à partir du même jeu de données. Ceci présente l'avantage de fournir une interprétation des données plus objective et cohérente. En contrepartie, la méthode impose d'effectuer des hypothèses déterminantes sur la structure des écarts type à l'intérieur des classes d'âge, faute de quoi le modèle présente trop de degrés de liberté et peut donc conduire à des solutions multiples. Ce problème se rencontre également dans les programmes qui n'effectuent que la décomposition d'un mélange de distributions normales, tels que NORMSEP (HASSELBLAD, 1966 ; ABRAMSON, 1971).

Une meilleure connaissance des relations entre taille moyenne (ou âge) et écart type à l'intérieur des cohortes peut permettre de réduire le nombre de degrés de liberté, et par là, d'effectuer des choix décisifs entre des solutions opposées à l'aide des programmes précédents. Ceci peut être obtenu à l'aide d'estimations approximatives de la durée de la période de ponte, de la vitesse de croissance et de sa variabilité. Le programme de simulation (en basic étendu) utilisé pour les calculs présentés dans la première partie de ce travail (fig. 39) est mis à disposition. Le but est d'obtenir une évaluation grossière des paramètres de la relation entre les tailles moyennes L et les écarts types. Comme nous l'avons vu, pour la phase exploitée, cette relation est souvent de forme linéaire et peut-être décrite par l'équation (5). FOURNIER et BREEN (1983) utilisent dans leur modèle la relation $\sigma_i = a + b \cdot i$, où σ_i est l'écart type des tailles et i l'âge, mais ils n'estiment pas les paramètres a et b indépendamment des autres.

Les valeurs des paramètres de la régression (5) n'ont pas de signification statistique, en raison de la structure des

données. Ils représentent cependant une approximation suffisante pour ce type d'approche, qui a pour unique finalité d'obtenir des valeurs initiales raisonnables, pour des calculs définitifs.

Si la décomposition des fréquences plurimodales se réalise plus facilement avec les valeurs des paramètres de la relation (5) obtenus à partir des bancs, qu'avec ceux obtenus à partir des cohortes, il est fort probable que l'on dissocie des bancs ou des concentrations, mais non des cohortes (voir chapitre précédent).

V. 1.6. Application au cycle de vie de *Sardinella aurita*

V. 1.6.1. Caractéristiques des structures de tailles

Les histogrammes de fréquences de taille obtenus par un échantillonnage intensif et stratifié des captures des sardiniers dakarois depuis 1966, et de celles des pirogues des artisans depuis 1977, présentent quelques caractéristiques remarquables dont nous rappellerons l'essentiel (cf. Chapitre III et IV).

Hormis quelques tendances à long terme sur l'importance relative des différentes classes d'âge (tabl. 17), on retiendra la relative stabilité du schéma général et une certaine similitude des deux pêcheries à la senne tournante.

Les juvéniles constituent rarement la cible des pêcheurs, si ce n'est parfois en début d'année lorsque les individus plus âgés ne sont pas disponibles ou non détectés. Leur présence dans les captures n'est donc pas représentative de leur abondance réelle (Annexe I; fig. 48 et 49).

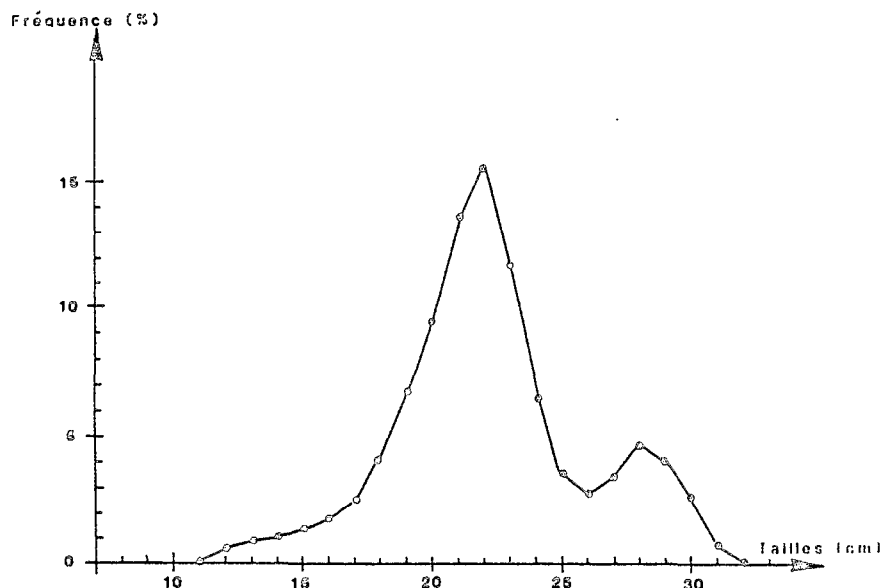


Fig- 48 - HISTOGRAMME DE DISTRIBUTION DES FREQUENCES DE TAILLES DES CAPTURES TOTALES DE S. AURITA PAR LES SARDINIERS DAKAROIS DE 1966 A 1984

ANNEE	S.aurita		S. maderensis		TOTAL	
	% nombre	% poids	% nombre	% poids	% nombre	% poids
66	5	16	0	0	3	11
67	8	24	0	0	4	16
68	15	39	0	0	11	31
69	11	27	0	1	7	18
70	15	39	1	2	9	27
71	3	11	0	1	3	9
72	8	16	1	2	6	13
73	9	17	1	2	6	13
74	17	34	2	4	10	23
75	7	14	3	6	5	11
76	22	36	5	9	14	24
77	41	53	13	20	27	39
78	36 (11)	56 (22)	8	14	26	43
79	19 (15)	36 (30)	7	13	14	27
80	42 (9)	61 (19)	10	17	26	44
81	34	56	6	13	18	38
82	40	64	6	12	14	29
83	50	69	2	4	13	26
84	13	35	4	8	7	18
Moyenne pondérée	19	37	3	7	9	24

Tabl. 17 Proportions de sardinelles adultes dans les captures annuelles des sardiniers dakarois, exprimées en pourcentage des prises totales en nombre et en poids (entre parenthèses : valeurs pour la pêche artisanale à MBOUR et JOAL).

MOIS	S. aurita		S. maderensis		TOTAL	
	% nombre	% poids	% nombre	% poids	% nombre	% poids
I	34	49	3	5	15	22
II	63	76	6	6	30	36
III	52	64	6	9	26	31
IV	56	64	16	20	27	31
V	36	47	16	22	16	23
VI	14	23	8	13	7	12
VII	1	2	5	8	3	5
VIII	1	2	3	5	3	4
IX	1	1	3	4	2	3
X	1	2	1	2	1	1
XI	5	7	0	0	2	3
XII	21	32	2	3	9	13
Moyenne pondérée	21	37	4	7	12	24

Tabl. 18 Proportion moyenne (non pondérée) des sardinelles adultes dans les captures mensuelles des sardiniers dakarois de 1966 à 1984, exprimées en pourcentage des prises totales en nombre et en poids.

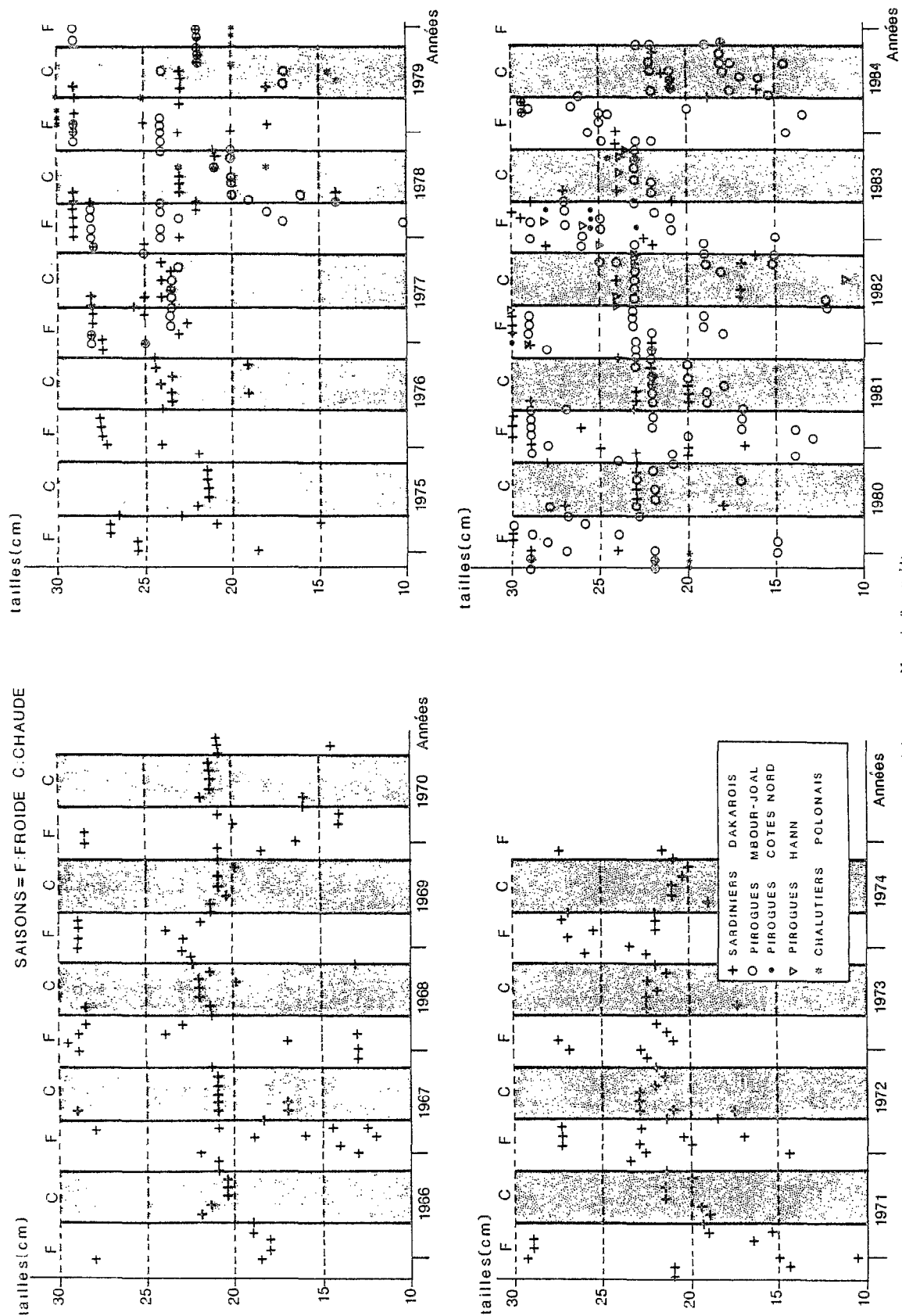


Fig. 49- Tailles modales mensuelles de *S. aurilla* observées dans les débarquements des principaux flotilles de la Petite Côte du Sénégal, de l'été 1984.

Les jeunes reproducteurs sont présents toute l'année sur la Petite Côte, même s'ils disparaissent parfois des captures des sardiniers lorsque, en saison froide, abondent les individus adultes. Au cours de cette saison, leur taille modale dans les captures présente une certaine variabilité intra-saisonnière et surtout inter-annuelle : selon les années, elle oscille entre 19 et 24 cm, ce premier mode étant plus souvent observé dans les débarquements de la pêche artisanale, opérant plus au sud que les sardiniers. Mais c'est au cours de la saison chaude que l'on observe le premier phénomène très caractéristique et paradoxal dans cette pêcherie : les jeunes reproducteurs représentent alors l'unique classe d'âge capturée et leur taille modale, qui selon les années se situe entre 21 et 23 cm est remarquablement stable durant 5 à 6 mois au cours d'une même saison, ne présentant pas plus d'un centimètre de variation. Les exceptions sont mais on observe alors, soit une légère progression modale (1971) soit, au contraire, une légère régression (1972, 1978), qui de surcroît ne concerne que 3 ou 4 mois. Cette stagnation modale paraît en contradiction flagrante avec le schéma de croissance rapide retenu (22 cm à un an).

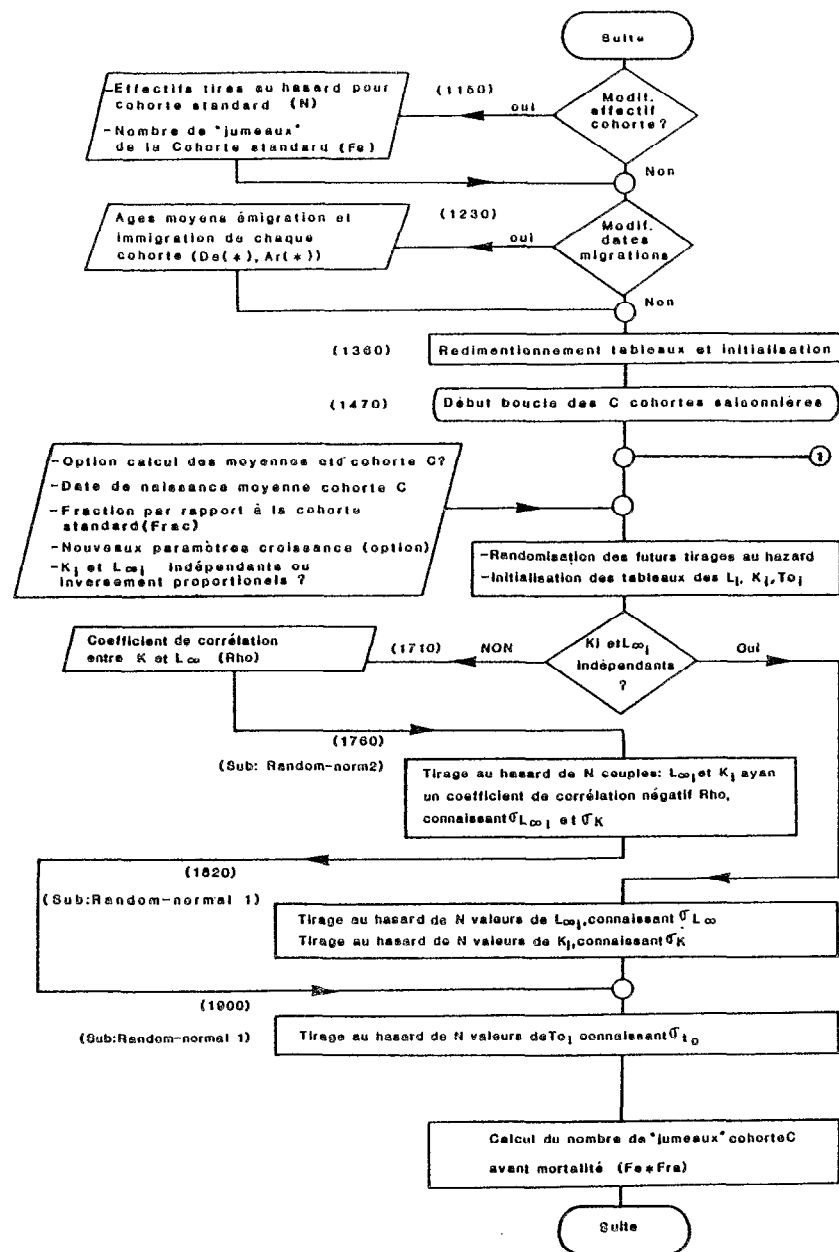
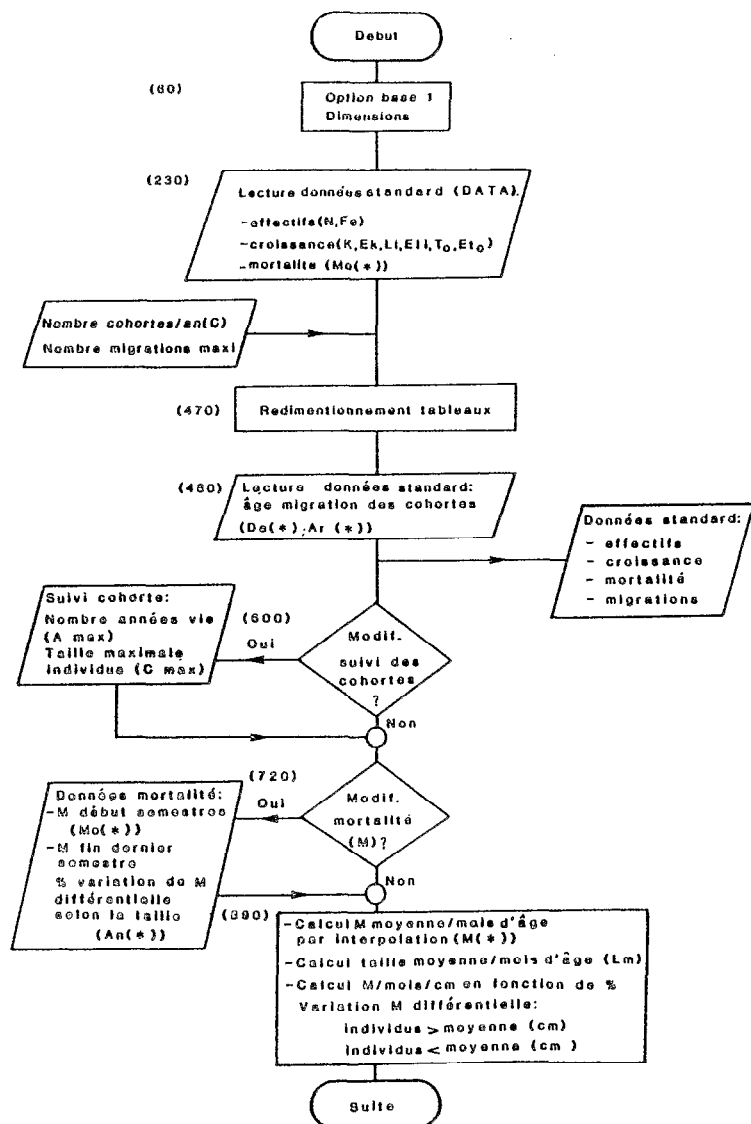
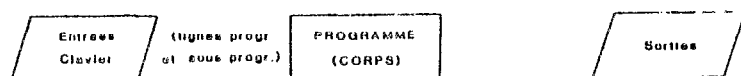
La deuxième caractéristique est la quasi absence d'individus de taille modale intermédiaire entre les jeunes reproducteurs et les adultes, soit 25 à 27 cm (fig. 48 et 49). Ils ne sont présents qu'en faible quantité vers le mois de février au cours des années 1972 à 1975, en 1977 durant quelques mois et juin 1980. Nous avons vu (Chapitre III) que cette constatation a été déterminante dans le choix de l'hypothèse d'une croissance rapide avec deux annuli par an, et que BOELY (1980) supposait que les modes absents de la pêcherie sénégalaise se trouvaient en Mauritanie au cours de la saison chaude, hypothèse qui est maintenant pleinement vérifiée à partir des statistiques de pêche des pays de l'est. Cependant, les chercheurs de ces pays proposent des schémas de croissance lente.

Rappelons enfin, que les adultes sont présents dans les prises de saison froide uniquement (tabl. 18). Leurs dates d'apparition et de disparition sont variables d'une année à l'autre, en fonction des conditions hydrologiques et de leur capturabilité. Celle-ci diminue très probablement lors de la ponte principale de mai-juin. Leur taille modale est très stable au cours d'une saison et aussi d'une année à l'autre, se situant entre 29 et 30 cm.

V. 1.6.2. Programme de simulation des structures de taille

On a cherché à vérifier si les distributions de fréquence observées dans les captures mensuelles étaient compatibles avec les schémas de reproduction, de croissance et de migration proposés jusqu'à présent par les chercheurs du C.R.O.D.T. Pour cela, nous avons utilisé un modèle de simulation (SIMFREQ) prenant en compte les divers paramètres obtenus (fig. 50 et annexe IV).

Ces nombreux paramètres sont inclus dans le programme (instructions DATA) afin d'éviter le renouvellement fastidieux de leur entrée manuelle lors de chaque essai. Ce programme, écrit en langage Basic pour ordinateur HP 9845, est conversationnel et propose un menu de modifications éventuelles de chacun des paramètres de base (fig. 50).



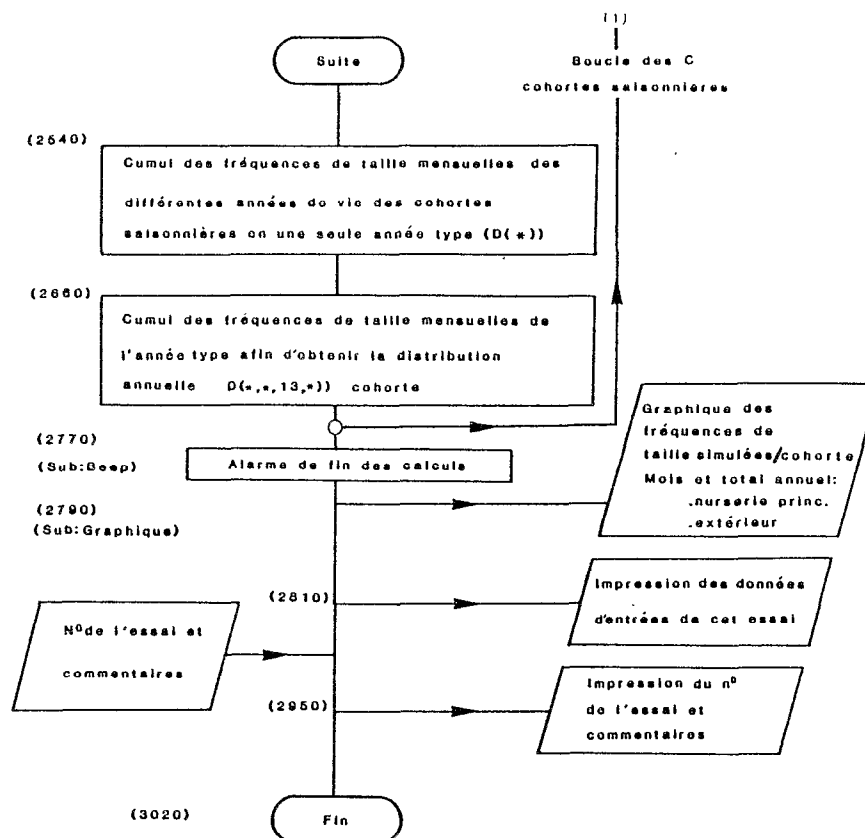
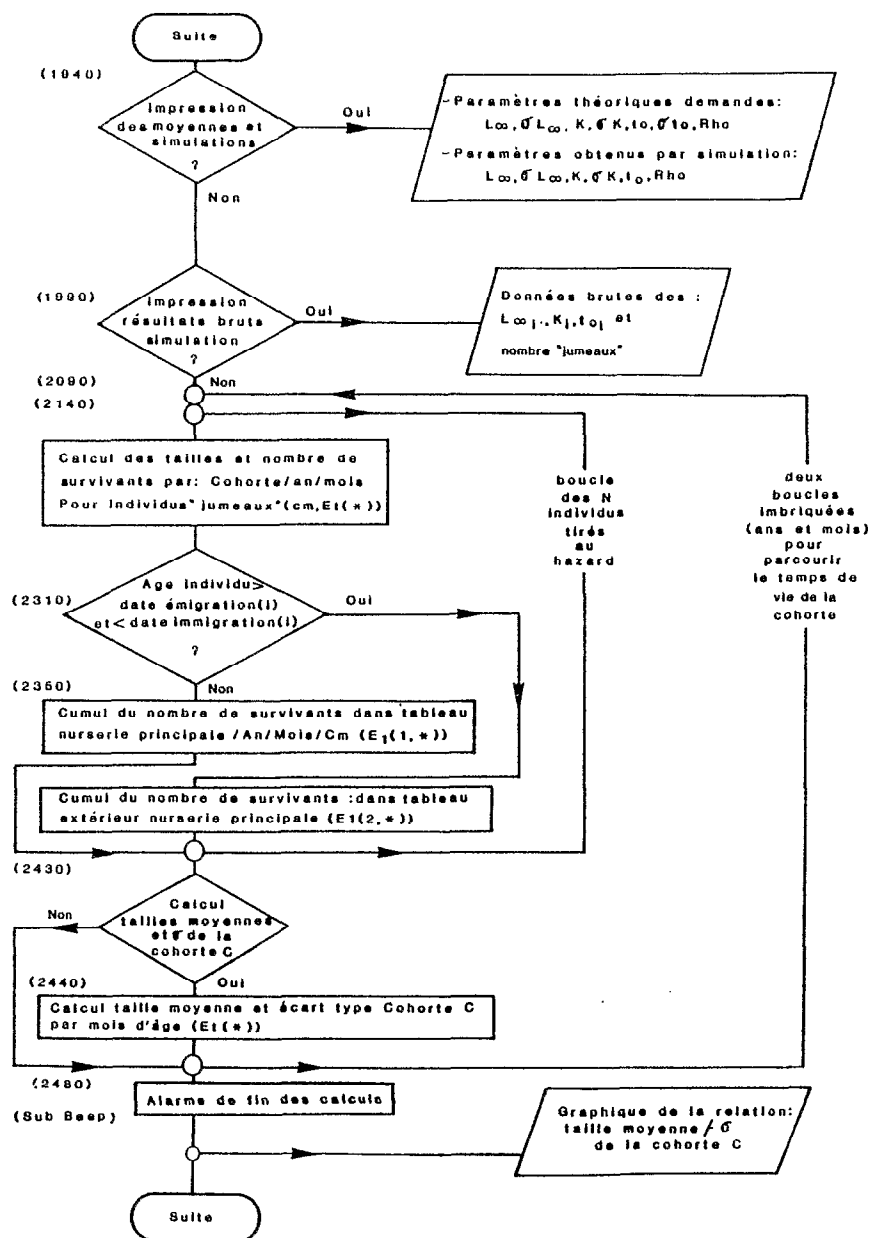


Fig.60 - Organigramme simplifié du programme SIMFREQ de simulation des fréquences de taille en fonction de divers paramètres de croissance, mortalité et migrations pour plusieurs cohortes saisonnières.

On indique d'abord le nombre de cohortes saisonnières et le nombre d'individus N d'une cohorte-type dont on tirera au hasard les paramètres de croissance K , L_∞ et t_0 en fonction de leurs écarts type respectifs σ_K , σ_{L_∞} et σ_{t_0} précédemment définis et estimés par le programme SIMVAR. On supposera que ces paramètres suivent une distribution normale, mais on pourra sur option décider que K et L_∞ sont indépendants ou au contraire inversement proportionnels, et dans ce dernier cas, imposer un coefficient de corrélation entre ces deux variables.

Afin de limiter les temps de calcul, il est préférable de choisir N inférieur à 500 individus. Si l'on veut pour autant obtenir, en fin de croissance, un nombre suffisant de survivants, on peut recourir à l'artifice qui consiste à employer un facteur d'extension commun F_c à chaque individu (de l'ordre de 10^5). Ceci revient à considérer que chacun des N individus tirés au hasard possède F_c "jumeaux homozygotes" qui auront potentiellement le même cycle de vie, mais qui subiront au hasard les lois de mortalité.

La matrice des mortalités mensuelles par âge et par classe de taille centimétrique est calculée à partir d'un vecteur de mortalité totale pour le début de chaque semestre, et d'un vecteur semestriel de pourcentage de variation de cette mortalité par centimètre d'écart à la taille moyenne : à chaque taille moyenne mensuelle calculée selon l'équation de von Bertalanffy, correspond une mortalité moyenne mensuelle calculée par interpolation linéaire, après quoi les mortalités des individus de taille supérieure puis inférieure à cette moyenne sont calculées par retrait ou addition d'un certain pourcentage. On n'a pas séparé ici la mortalité naturelle M de la mortalité par pêche F .

Nous avons vu que, pour des raisons pragmatiques, t_0 correspondait à la variabilité des dates de naissance, variabilité qui est ici estimée à partir de l'étalement de la période de ponte. Afin de simuler les entrées et sorties de la nurserie, qui -on le sait- ne s'effectuent pas en un jour pour l'ensemble des individus d'une cohorte, on avait le choix entre imposer un âge fixe ou une date fixe associée à une variance. Nous avons retenu la première solution qui présente le double avantage d'être la plus économe en temps calcul et probablement la plus proche d'une réalité sans aucun doute complexe. En effet, s'il est certain que les migrations d'une cohorte sont largement liées aux conditions hydrologiques et trophiques (cf. Chapitre III), et donc à une époque, il est néanmoins probable que l'étalement des dates de migration individuelles, au cours de cette époque, dépendra plutôt d'un stade de développement ou d'un état physiologique qui a toutes les chances d'être lui-même lié à l'âge individuel. Grâce à des marquages magnétiques, KROGER et GUTHRIE (1973) ont montré qu'à l'intérieur d'une même cohorte de menhaden, les individus les plus grands migraient le plus tôt et le plus loin.

Cette hypothèse nous permet d'éviter l'introduction d'un paramètre de variabilité de la migration en considérant que cette variabilité est identique à celle des dates de naissance. Dans notre modèle, tout se passe donc comme si une horloge physiologique interne déterminait la date d'émigration à un âge fixe, pour une année, aux conditions hydrologiques typiques.

Une fois connus tous ces paramètres, le programme demande, pour chaque cohorte saisonnière : la date de naissance moyenne, l'importance relative de cette cohorte par rapport à une cohorte standard et propose d'éventuelles modifications des paramètres de croissance par rapport à cette dernière. Après tirage au hasard de N individus ayant des caractéristiques précises (K_i , L_{oi} , toi), on pourra éventuellement imprimer un tableau comparatif des paramètres théoriques imposés et des résultats obtenus, ainsi que le tableau des données brutes individuelles.

Ensuite, le programme calculera, pour chaque mois de la vie de chacun des N individus, leur taille, le nombre de "jumeaux" survivants en fonction de la matrice de mortalité, puis il répartira ces individus en deux groupes géographiques : l'intérieur de la nurserie principale (la Petite Côte dans notre exemple) et l'extérieur de cette nurserie, ceci en fonction du schéma de migration.

Tout comme dans le programme SIMVAR, la relation entre tailles moyennes et écarts types de la cohorte est calculée et présentée sous forme graphique, mais ici, l'effet de la mortalité est intégré et l'on peut vérifier son importance sur l'ajustement aux données de terrain et donc, si nécessaire, modifier à ce niveau certains paramètres.

Reprenant la solution simplificatrice classique de l'analyse des populations virtuelles (VPA), nous avons considéré que le cycle de vie d'une cohorte sur n années donne une image représentative de la juxtaposition de n cohortes vivant au cours de la même année. Les fréquences de tailles mensuelles des différentes années de vie de chaque cohorte saisonnière sont donc cumulées dans un tableau D à quatre dimensions : C cohortes saisonnières, 2 lieux, 13 mois et C_{max} classes de taille, (le "treizième mois" résultant du cumul des douze précédents).

Les résultats sont présentés sous forme de graphiques mensuels pour l'intérieur et l'extérieur de la nurserie principale (fig. 51), suivis des paramètres de la simulation et de commentaires éventuels. On remarquera que ce programme, tout comme SIMVAR, n'effectue aucun ajustement par rapport aux données de terrain ; les paramètres à maîtriser étant ici trop nombreux et interdépendants. Par ailleurs, il est certain que dans la plupart des cas le pêcheur, ou son engin, sélectionne des cohortes en période d'abondance, même au-delà de la taille de recrutement. De ce fait, les simulations indiquent toujours des gammes de fréquences plus larges que celles relevées au débarquement.

L'objectif de ce modèle ne saurait être en aucun cas de prouver la validité des paramètres d'un cycle de vie, mais peut permettre de vérifier leur cohérence. Ainsi, on peut invalider certaines combinaisons de paramètres ne permettant pas de simuler au cours d'un mois de l'année, les tailles modales capturées, mais non valider celles qui procurent les résultats escomptés. Un autre intérêt non négligeable du modèle, en cas d'échec des simulations, est de rechercher empiriquement des schémas de cycle de vie reproduisant la réalité et d'orienter les recherches vers de nouvelles strates spatio-temporelles de reproduction ou de concentration, ou encore de remettre en cause le schéma de croissance. FONTENEAU (1974) avait déjà utilisé ce genre d'approche, mais uniquement pour l'étude des clés âge-longueur de l'albacore. Par rapport à son programme, l'originalité de SIMFREQ

est d'inclure le schéma de migration, de travailler sur une base mensuelle, de prendre en compte plusieurs cohortes saisonnières et d'être conversationnel.

D'un point de vue plus théorique, SIMFREQ confirme que, hormis les phénomènes d'agrégaions déjà soulignés chez les pélagiques côtiers, les chevauchements de taille des individus appartenant à différentes cohortes sont très importants. Il peut paraître illusoire (en particulier en milieu tropical) de vouloir déterminer à la fois tous les principaux paramètres biologiques et dynamiques d'une population à partir des seules données de fréquence de taille, comme l'ont fait PAULY et TSUKAYAMA (1983). A ce titre, il serait intéressant de vérifier, à partir d'un stock dont on connaîtrait avec précision et par différentes approches tous les paramètres, si les résultats fournis par les programmes de la série ELEFAN (PAULY, 1982) permettent de simuler à l'aide de SIMFREQ les structures de tailles des débarquements. Au moment où nous écrivions ces lignes, nous avons appris que dernièrement, divers auteurs avaient abordé différemment ce sujet, à partir de simulations de structures de populations. Ils concluent que les programmes ELEFAN peuvent conduire à de larges erreurs dans l'estimation des paramètres des populations lorsque l'on simule des situations complexes, i.e. proches de la réalité (HAMPTON et MAJKOWSKI, sous-presse; ROSENBERG et BEDDINGTON, sous-presse). A la différence de SIMFREQ, leurs modèles incluent une saisonnalisation de la croissance (et non une croissance différente selon les cohortes) mais ne prennent pas en compte les migrations, ni l'éventualité d'une mortalité naturelle différentielle selon la clé âge-longueur. De plus, la visualisation des distributions des tailles ne semble pas distinguer les cohortes successives.

V. 1.6.3. Résultats et interprétation

Généralités

Les temps de calcul étant relativement longs (une heure par cohorte simulée en utilisant un ordinateur de bureau), on n'a pu effectuer des essais exhaustifs correspondant à toutes les combinaisons souhaitables des divers paramètres. Cependant, les résultats obtenus montrent que le vecteur de mortalité influence peu la position des tailles modales, même lorsque l'on utilise une mortalité différentielle selon la vitesse de croissance. Ce vecteur influence surtout l'importance relative des effectifs des différents groupes de tailles et leur symétrie par rapport à la valeur modale.

Dans un premier temps, on n'a considéré que les individus issus des deux pontes principales dans la nurserie de la Petite Côte (1^{er} juin et 1^{er} octobre), dans le but de vérifier si les distributions de fréquence de taille des jeunes reproducteurs pouvaient être générées uniquement à partir d'individus autochtones -nés sur la Petite Côte- comme le suppose le schéma du cycle de vie déjà décrit (chapitre III). On a ensuite introduit deux cohortes supplémentaires : l'une correspondant à la nurserie mauritanienne, l'autre, plus théorique, étant née en saison froide, sur la Petite Côte ou plus au sud.

FREQUENCES NURS.

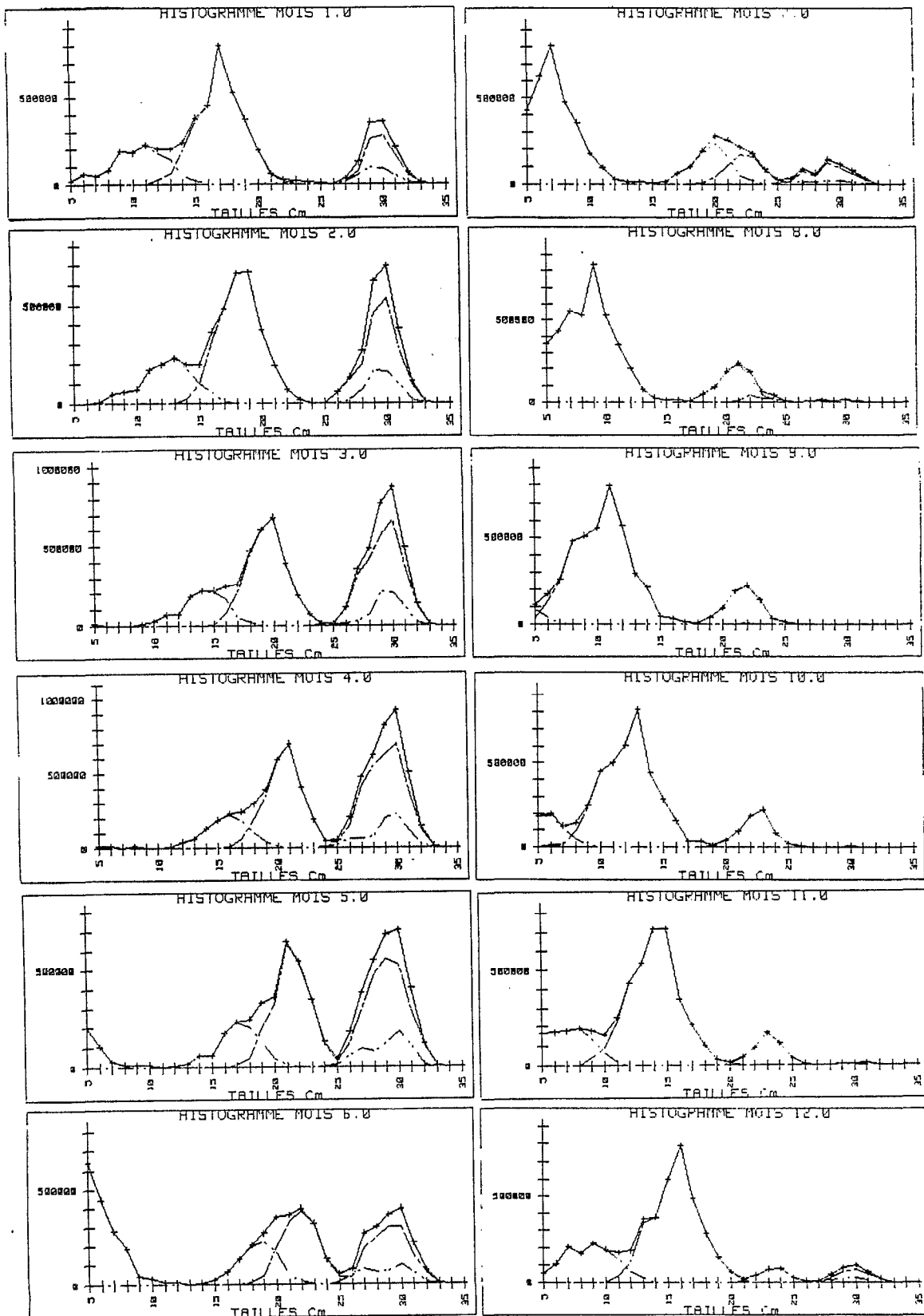
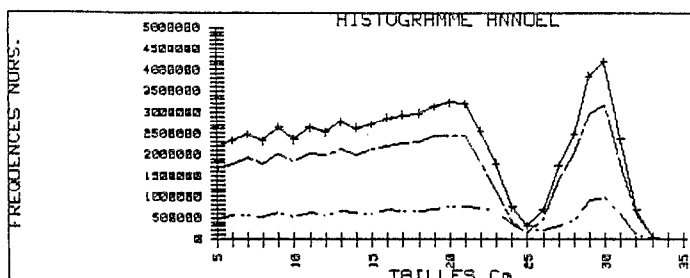


Fig. 51 a (début)



DONNÉES DE CET ESSAI:

N= 300 F= 17000

DERNIERE COHORTE (2) K= 1.206 Ek= .1 Li= 30.63 Eli= .9 Rho= 0
to= -.062 Eto= .09

N° D'ANNEES DU SUIVI DE LA COHORTE: 6 TAILLE MAXI: 35

VECTEUR MORTALITE PAR SEMESTRE:

.8	.7	.6	.4
.4	.4	.6	.6
.9	.9	.9	.9
10			

VECTEUR % ECART A LA MOYENNE DE LA MORTALITE PAR CM:
5 5 3 2 2 2 2 2 2 2 5 5

NOMBRE D'EMIGRATIONS/IMMIGRATIONS MAXIMUM / COHORTE: 6

AGES EMIGRATION NURS. / COHORTE

12.75	24.25	36.25	48.25	60.25	72.25
14	20.25	32.25	44.25	56.25	68.25

AGES IMMIGRATION NURS. / COHORTE

21.5	31.75	43.75	55.75	67.75	79.75
19	27.75	39.75	51.75	63.75	75.75

DATES DE NAISSANCE MOYENNE DES COHORTES (EN MOIS ENTIERES)

60 3

RELATION ENTRE K et Li:

I
I

FRACTION DES DIFFERENTES COHORTES PAR RAPPORT A LA COHORTE STANDARD:

1 .3

PARAMETRES MODIFIES DE L'ESSAI N°:14/2/86 DEUX COHORTES

EFFET RECHERCHE ET RESULTAT OBTENU:OK

DONNÉES DE DEPART K, L, Rho, To COHORTE: 1

Graine: .303141592654
K moyen: 1.2060 Ek : .1000
Li moyen: 30.6300 Eli: .9000 Rho:0.0000
To+DatNais: .3547 Eto: .0900

DONNÉES SIMULEES K, L, Rho, To COHORTE: 1

K moyen: 1.2039 Ek : .1032
Li moyen: 30.6314 Eli: .9503 Rho: .0200
To+Date Naissance: .3550 Eto: .0874

DONNÉES DE DEPART K, L, Rho, To COHORTE: 2

Graine: .909424777962
K moyen: 1.2060 Ek : .1000
Li moyen: 30.6300 Eli: .9000 Rho:0.0000
To+DatNais: .6800 Eto: .0900

DONNÉES SIMULEES K, L, Rho, To COHORTE: 2

K moyen: 1.2143 Ek : .0947
Li moyen: 30.6472 Eli: .8922 Rho:-.0351
To+Date Naissance: .6894 Eto: .0861

Fig. 51a (suite) : Histogrammes de fréquences de tailles de S. aurita sur la Petite Côte; simulations par le programme SIMFREQ et paramètres utilisés pour cet essai (2 cohortes saisonnières)

Juvéniles (<18 cm)

On ne dispose pas d'indices d'abondance représentatifs pour les juvéniles. Cependant, les fréquences de tailles obtenues à partir des sennes de plage de 1967 à 1972, ainsi qu'en 1977 (BOELY, 1980; [BOELY *et al.*, 1982]), indiquent la présence permanente de juvéniles de 5 à 12 cm sur la Petite Côte. Si l'on se limite à deux cohortes, le programme SIMFREQ ne permet pas d'obtenir ces juvéniles en fin de saison froide (fig. 51a). On doit donc supposer qu'il existe une période de reproduction vers le mois de janvier-février, si l'on utilise la courbe de croissance déjà décrite. Nous avons vu que les larves sont peu abondantes dans les échantillons prélevés sur la Petite Côte durant cette période, sauf certaines années (CONAND et FAGETTI, 1971). SEDLETSKAIA (1979) indique également de fortes abondances larvaires de part et d'autre de la presqu'île du Cap-Vert en janvier, mais on ignore sur quelle(s) année(s) porte(nt) ses observations. Par ailleurs, BOELY (1980) observe également des RGS élevés à cette saison, certaines années, et pense qu'une ponte peut alors avoir lieu sur le rebord du plateau continental. Cette ponte serait suivie de recrutement lorsqu'elle a lieu près de la presqu'île du Cap-Vert où des courants rapprocheraient les larves de la côte.

Jeunes reproducteurs (18 à 25 cm)

Les simulations réalisées en utilisant deux cohortes seulement donnent des résultats relativement satisfaisants pour la saison chaude où l'on arrive à provoquer des modes stationnaires par le jeu des deux recrutements associés à des émigrations. Toutefois, on relèvera que dans les données simulées, les deux cohortes saisonnières de jeunes reproducteurs ne fusionnent pas parfaitement au début de la saison chaude, mais forment au contraire un groupe de tailles bimodal, alors que les débarquements présentent généralement des structures unimodales. On remarquera que cette taille modale unique se situe vers 22-23 cm pour les sardiniers, et correspondrait donc en majorité aux individus nés en juin (1^{ère} cohorte), mais on observe également des tailles modales situées vers 18-19 cm dans les débarquements des pêcheries artisanales de Mbour et Joal, situées plus au sud, en début de saison chaude (fig. 49, 51a et Annexe IV). Ces individus proviendraient donc de la 2^{ème} cohorte en majorité. Si des structures de tailles bimodales de jeunes reproducteurs apparaissent parfois dans les histogrammes mensuels correspondant aux débarquements de la pêche artisanale, voire dans ceux des sardiniers certaines années, on observe qu'au niveau des coups de filet pris individuellement, les structures restent unimodales. Bien que les bancs correspondants soient probablement constitués d'un mélange d'individus en provenance des cohortes, il semblerait que ce mélange soit relativement faible en début de saison chaude (si l'on retient les hypothèses de croissance et de migrations précédentes). Les individus de la 2^{ème} cohorte seraient donc situés préférentiellement dans le secteur sud de la Petite Côte à cette époque. On les trouvera également dans les quelques captures des chalutiers polonais réalisées dans ce secteur (fig. 49). La limitation à 12 miles des côtes qui leur était imposée leur interdisait l'accès à la partie nord de la Petite Côte où opèrent en majorité les sardiniers dakarois.

Au coeur de la saison froide, durant le premier trimestre, les simulations ne procurent qu'une taille modale progressant de 17 à 19 cm pour les jeunes reproducteurs. Cette taille est communément observée dans les débarquements des pêches artisanales à cette saison, et une année sur deux en moyenne pour la pêche semi-industrielle. En revanche, la taille modale 22-23 cm est très bien représentée dans les débarquements des deux types de pêche, alors qu'elle est totalement absente des histogrammes résultant des simulations. Ceci milite encore en faveur de l'existence d'une 3^{ème} cohorte, née en saison froide de l'année précédente, qui procurerait certaines années les classes de tailles manquantes dans les simulations. A la différence du problème posé par les juvéniles, on peut ici imaginer que cette cohorte proviendrait d'une autre nurserie et arriverait sur la Petite Côte vers l'âge de un an. Si l'on se réfère aux campagnes de prospection larvaire (CONAND, 1977; SEDLETSKAIA, 1979) et au schéma de migration des adultes, on peut supposer qu'une nurserie pourrait exister au sud du cap Roxo, en Guinée Bissau ou en Guinée. Les campagnes de chalutage réalisées en octobre 1985 indiquent la présence de jeunes individus, bien que le chalut de fond utilisé ne permette pas d'évaluer correctement leur abondance (DOMAIN, comm. pers.). La présence, sur la Petite Côte, de jeunes reproducteurs en provenance du sud, si elle était démontrée, nous ramènerait à l'ancienne hypothèse de la population guinéo-sénégalaise (BOELY *et al.*, 1969) et remettrait en cause le schéma de migration des jeunes reproducteurs ainsi que les modèles de production que nous utilisons (cf. infra). On peut difficilement rejeter cette hypothèse compte tenu de l'insuffisance de nos connaissances actuelles, même s'il est plus rassurant de supposer que cette troisième cohorte ne provient que de la ponte de janvier-février au niveau de la presqu'île du Cap-Vert, ce qui a le mérite d'expliquer du même coup la présence des juvéniles sur la Petite Côte en fin de saison froide.

Si l'on utilise, pour cette 3^{ème} cohorte, les mêmes paramètres de croissance et de durée de reproduction que pour les précédentes, on doit alors supposer qu'elle quitte la Petite Côte dès le mois d'avril à l'âge de 14 mois (fig. 51b), faute de quoi le programme générerait des tailles modales de 24-25 cm, ce qui demeure exceptionnel dans la réalité. Cette hypothèse rejoint l'idée, déjà exposée, d'une date de migration liée à un état physiologique autant qu'à l'environnement. Une autre solution consisterait à attribuer une croissance plus lente à ces individus et une date de naissance plus précoce, mais cette hypothèse ne serait soutenue par aucune observation.

Adultes (>25 cm)

Concernant les individus adultes, les simulations sont proches des données de terrain, constatation en partie triviale car ces individus ayant alors une vitesse de croissance faible, le modèle maîtrise leur présence/absence essentiellement à partir des entrées des dates d'émigration/d'immigration. On a supposé ici un départ de ces adultes après la ponte, le 7 juin en moyenne, ce qui entraîne leur présence dans les histogrammes simulés jusqu'en juillet, alors qu'ils sont absents des débarquements au cours de ce mois. Nous avons vu que ceci pourrait être expliqué par une capturabilité pratiquement nulle à ce stade sexuel (paragraphe III. 2.1.). Les classes d'âge annuelles des différentes cohortes sont alors confondues dans un seul groupe de tailles unimodal.

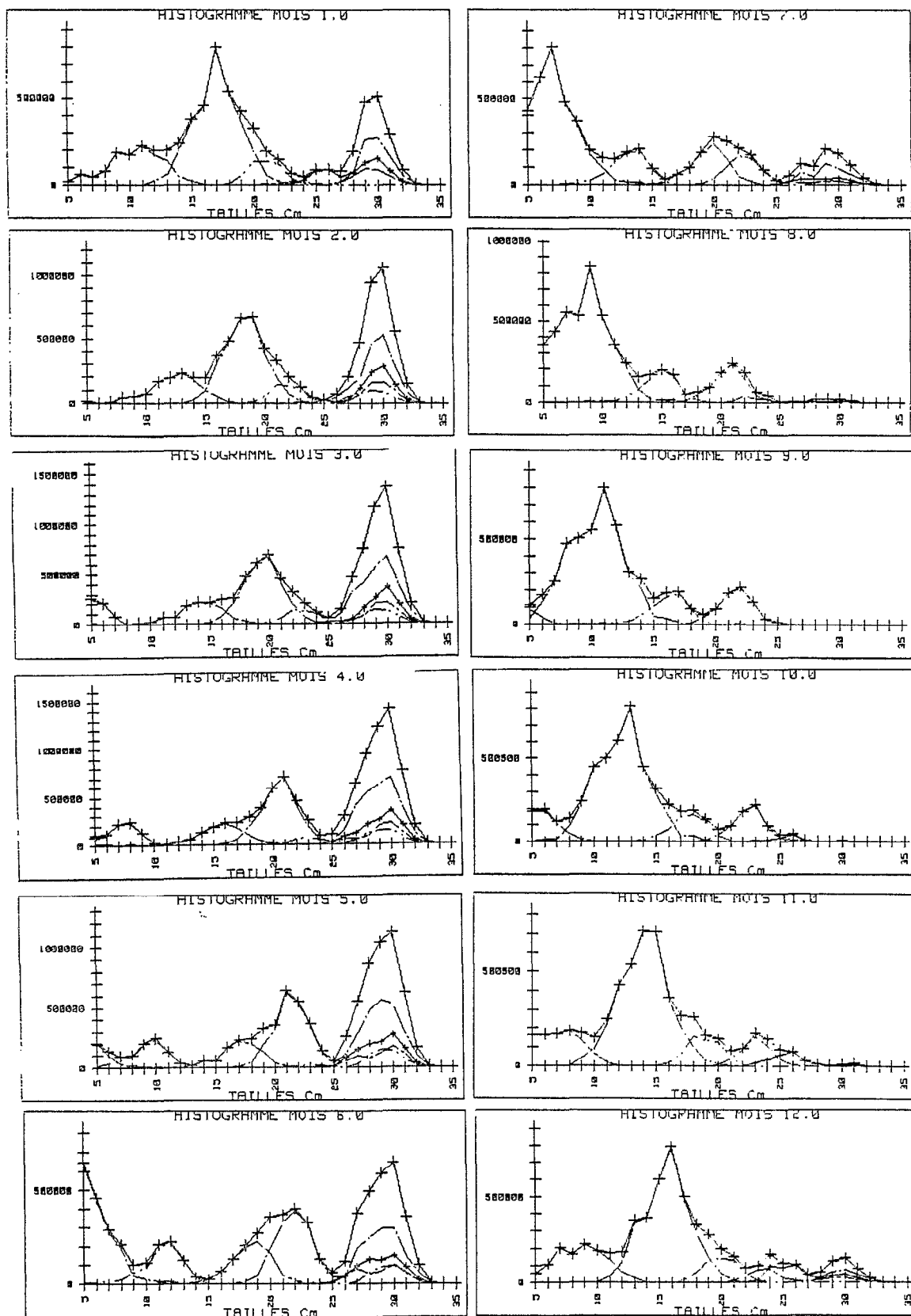


Fig. 51b (début)

DONNÉES DE CET ESSAI:

N= 300 Fe= 17000

DERNIERE COHORTE (4) K= 1.206 Ek= .1 Li= 30.63 Eli= .9 Rho= 0
to= -.062 Eto= .09

N° D'ANNEES DU SUIVI DE LA COHORTE: 6 TAILLE MAXI: 35

VECTEUR MORTALITE PAR SEMESTRE:

.8	.7	.6	.4
.4	.4	.6	.6
.9	.9	.9	.9
10			

VECTEUR X ECART A LA MOYENNE DE LA MORTALITE PAR CM:
5 5 3 2 2 2 2 2 2 2 5 5

NOMBRE D'EMIGRATIONS/IMMIGRATIONS MAXIMUM / COHORTE: 6

AGES EMIGRATION MURS. / COHORTE

12.75	24.25	36.25	48.25	60.25	72.25
14	20.25	32.25	44.25	56.25	68.25
14	20.25	40.25	52.25	64.25	76.25
0	17.5	22.75	34.75	46.75	58.75

AGES IMMIGRATION MURS. / COHORTE

21.5	31.75	43.75	55.75	67.75	79.75
19	27.75	39.75	51.75	63.75	75.75
23.75	35.75	47.75	59.75	72.75	84.75
16.5	21	30.25	42.25	54.25	66.25

DATES DE NAISSANCE MOYENNE DES COHORTES (EN MOIS ENTIERS)

60 100 12 6.5

RELATION ENTRE K et Li:

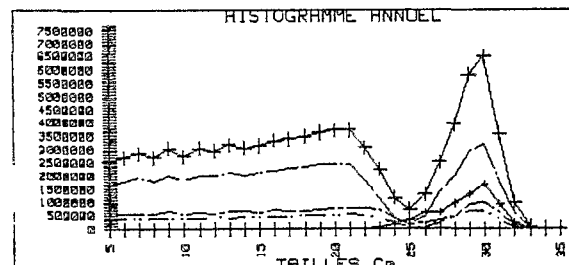
I
I
I
I

FRACTION DES DIFFERENTES COHORTES PAR RAPPORT A LA COHORTE STANDARD:

1 .3 .2 .5

PARAMETRES MODIFIES DE L'ESSAI N°:

EFFET RECHERCHE ET RESULTAT OBTENU:



DONNÉES DE DEPART K, L, Rho, To COHORTE: 1

Graine: .303141592654
K moyen: 1.2060 Ek: .1000
Li moyen: 30.6300 Eli: .9000 Rho: 0.0000
To+DatNaiss: .3547 Eto: .0900

DONNÉES SIMULEES K, L, Rho, To COHORTE: 1

K moyen: 1.2039 Ek: .1032
Li moyen: 30.6514 Eli: .9603 Rho: .0200
To+Date Naissance: .3558 Eto: .0974

DONNÉES DE DEPART K, L, Rho, To COHORTE: 2

Graine: .909424777962
K moyen: 1.2060 Ek: .1000
Li moyen: 30.6300 Eli: .9000 Rho: 0.0000
To+DatNaiss: .6880 Eto: .0900

DONNÉES SIMULEES K, L, Rho, To COHORTE: 2

K moyen: 1.2143 Ek: .0947
Li moyen: 30.6472 Eli: .8922 Rho: -.0351
To+Date Naissance: .6894 Eto: .0861

DONNÉES DE DEPART K, L, Rho, To COHORTE: 3

Graine: .606283185308
K moyen: 1.2060 Ek: .1000
Li moyen: 30.6300 Eli: .9000 Rho: 0.0000
To+DatNaiss: .0213 Eto: .0900

DONNÉES SIMULEES K, L, Rho, To COHORTE: 3

K moyen: 1.2023 Ek: .1042
Li moyen: 30.6168 Eli: .8973 Rho: -.1081
To+Date Naissance: .0190 Eto: .0934

DONNÉES DE DEPART K, L, Rho, To COHORTE: 4

Graine: .151570796327
K moyen: 1.2060 Ek: .1000
Li moyen: 30.6300 Eli: .9000 Rho: 0.0000
To+DatNaiss: .4797 Eto: .0900

DONNÉES SIMULEES K, L, Rho, To COHORTE: 4

K moyen: 1.2053 Ek: .0990
Li moyen: 30.6406 Eli: .9173 Rho: .0400
To+Date Naissance: .4766 Eto: .0887

Fig. 51b(suite): Histogrammes de fréquences de tailles de *S. aurita* sur la Petite Côte du Sénégal ; simulations par le programme SIMFREQ et paramètres utilisés pour cet essai (4 cohortes saisonnières)

Toutefois, on notera que l'étalement des fréquences de taille de ces individus est légèrement plus important dans les observations de terrain. On peut réduire cette différence en faisant revenir sur la Petite Côte les plus jeunes de ces adultes plus tardivement que leurs congénères qui ont pratiquement terminé leur croissance. On retrouve ici la nécessité d'une migration différentielle selon l'âge. Les expériences de marquage réalisées sur d'autres espèces de clupéidés démontrent que de tels schémas sont courants. Ainsi, CLARK et JANSSEN (1945) ont montré que chez Sardinops caerulea les individus les plus grands migrent les premiers et le plus loin. NICHOLSON (1971) arrive à des conclusions similaires pour B. tyrannus.

Une 4ème cohorte a été rajoutée, correspondant aux individus nés dans la nurserie mauritanienne début juillet et qui n'apparaîtraient sur la Petite Côte que de façon éphémère en décembre-janvier lors de sa migration vers le sud, expliquant ainsi la présence de tailles modales de 26-27 sur la petite côte certaines années, comme le note BOELY (1980). Ces individus réapparaîtraient sur la Petite Côte en Avril, lors de leur remontée vers le Nord, où leur taille se confond avec celle des adultes (fig. 51b).

Par ailleurs, on note que les figures de simulation obtenues pour l'extérieur de la nurserie correspondent bien aux observations réalisées au large de la Mauritanie et du Sahara, aussi bien en ce qui concerne les adultes proprement dits (tailles modales 25-27 cm) qu'en ce qui concerne les individus de taille intermédiaire entre les adultes et les jeunes reproducteurs (taille modale 25 cm). Ces derniers, absents de la Petite Côte, se trouvent ici en abondance, en particulier au cours des deux derniers trimestres (saison chaude) (fig. 51c).

Conclusion

Les diverses données déjà publiées sur le cycle de vie de S. aurita (croissance, migration, reproduction) ne permettent de reproduire les fréquences de tailles observées qu'au prix de certaines hypothèses, venant préciser ou confirmer certaines de celles déjà émises par différents auteurs.

1 - Une poussée de reproduction doit avoir lieu en début de saison froide (1^{er} février dans nos simulations), certaines années pour le moins (BOELY, 1980)

2 - Bien qu'il existe dans les captures un certain taux de mélange des différentes cohortes saisonnières de jeunes reproducteurs, selon le secteur de pêche et les années, l'une ou l'autre de ces cohortes prédomine largement, assurant une certaine homogénéité des histogrammes de fréquence de tailles mensuels (classes unimodales réparties sur 4 ou 5 cm).

3 - Il existe un processus continu d'émigration/immigration au niveau de la Petite Côte. Les dates de ces déplacements seraient conditionnées par trois facteurs, agissant à un niveau temporel de plus en plus précis et dont l'ordre serait le suivant :

- la saison déterminerait le schéma général,
- la classe d'âge serait responsable de décalages dans

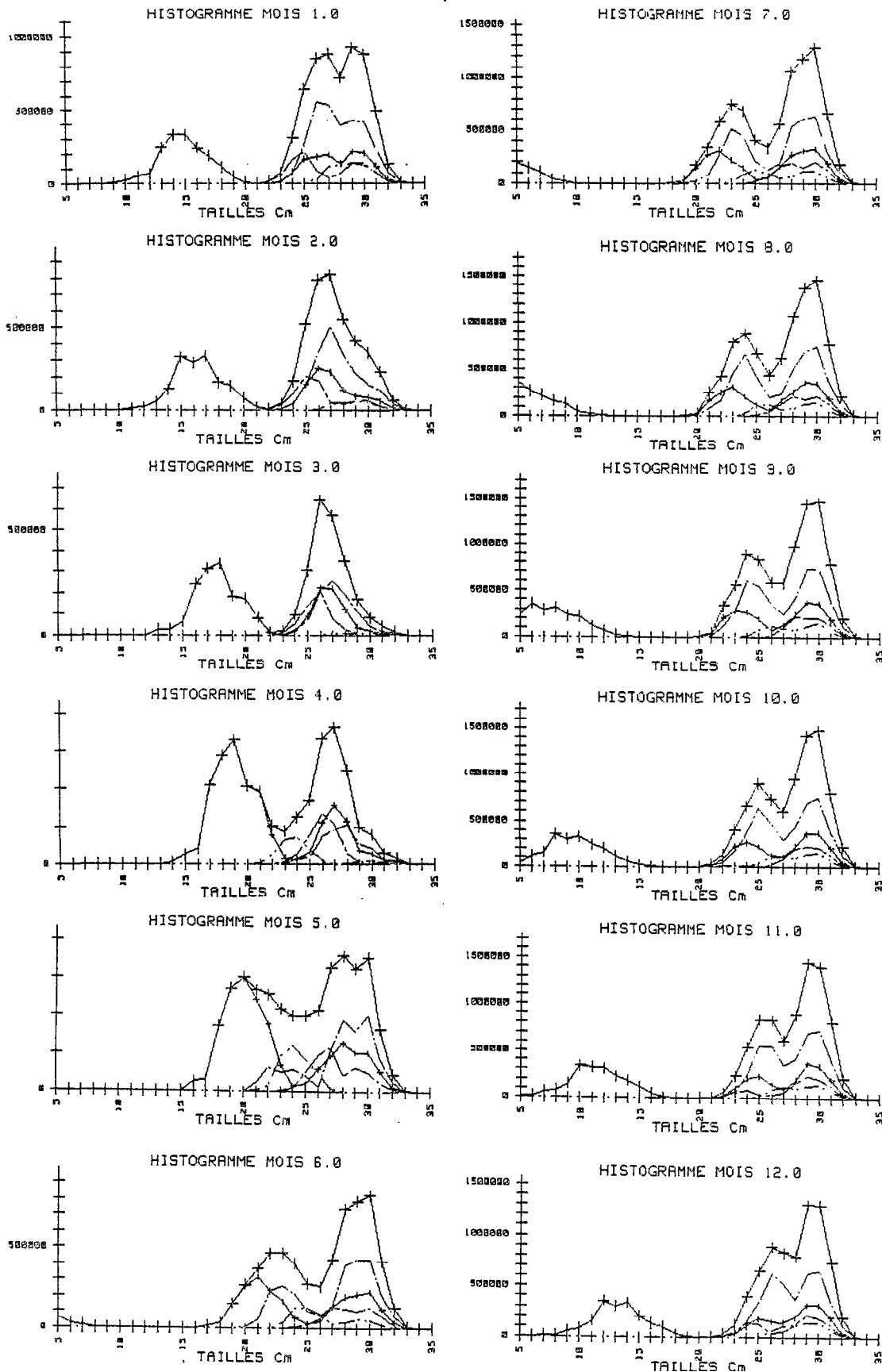


Fig.51c. Histogramme de fréquences de tailles de *S. aurita* à l'extérieur de la nurserie de la Petite Côte (Mauritanie essentiellement); simulations par le programme SIMFREQ. Paramètres : idem Fig. 51a.

les départs, les individus adultes migrant avant les jeunes reproducteurs,

- enfin, au sein d'une même classe d'âge, il semble exister une migration différentielle selon la taille (liée uniquement à la date de naissance dans notre programme de simulation, mais, selon toute vraisemblance, liée également à la vitesse de croissance dans la réalité).

Le déterminisme précis de la migration reste mal connu. Cependant, de façon schématique on peut supposer que la migration saisonnière a une causalité trophique, tandis qu'aux différentes classes d'âge correspondraient des capacités migratrices différentes, en particulier au niveau de la résistance à la nage (les jeunes reproducteurs attendraient la "date limite" du signal saisonnier afin d'atteindre un développement maximal et d'accumuler suffisamment de réserves avant le départ). Enfin, les migrations différentielles selon la taille ou la date de naissance au sein d'une même cohorte pourraient être liées à un stade physiologique que devrait atteindre le poisson avant le départ : émission de gamètes ou, ici encore, stade d'engraissement.

Ce schéma est bien sûr simpliste, et seules des expériences de marquage permettront de cerner une réalité sans aucun doute complexe et changeante selon les années. Il est certain, par exemple, que tous les individus adultes ne migrent pas et qu'une partie de la population se sédentarise, ou effectue des migrations de faible amplitude. On en a la preuve directe pour les sardinelles adultes qui sont observées toute l'année, y compris en saison froide, au large de la Mauritanie et du Sahara (fig. 13) (en revanche l'équivalent ne semble pas se produire au Sénégal). Dans le même ordre d'idée, le déterminisme trophique de la migration n'est pas évident : si l'on s'explique bien le départ du Sénégal en début de saison chaude, au moment où les eaux s'appauvrissent en plancton, on comprend mal pourquoi les poissons quittent le nord de la zone en début de saison froide : s'il est vrai que l'upwelling s'y affaiblit, le transport d'Ekman reste cependant toujours plus fort qu'au Sénégal. Les sardines S. pilchardus "ne s'y trompent pas" puisqu'elles présentent alors leur maximum d'abondance en saison froide dans cette zone (stock C). On a ici encore parlé de preferendum thermique, mais l'argument ne tient pas plus que pour les sardines car, en saison froide, les eaux sont pratiquement aussi froides au Sénégal que dans le nord de la région. On a également pensé que les sardinelles suivaient le déplacement d'un front thermique qui oscillerait entre 10° et 22° N [1]. En fait, grâce aux observations récentes (par satellite en particulier) nous savons maintenant qu'il n'existe pas un front unique mais un ensemble de cellules d'upwelling qui apparaissent et s'effondrent successivement. (cf chap. III). Par ailleurs, les sardinelles adultes se trouvent généralement très en retrait par rapport à ces fronts.

Ces constatations nous amènent à formuler deux hypothèses, non exclusives, pour expliquer ces migrations. Nous avons déjà parlé de la première (paragraphe V.2.6.) au sujet de la prédominance des sardines sur les sardinelles dans le nord de la zone : il est possible qu'un upwelling trop intense ne fournisse pas les proies optimales (taille ou espèce) pour les sardinelles qui iraient vers le sud pour rechercher des conditions plus favorables. La deuxième hypothèse s'inscrit dans la stratégie démographique de type r des populations de clupéidés (COLE,

1954; MAC ARTHUR et WILSON, 1967). Ceux-ci ont en effet tendance à coloniser au maximum l'habitat disponible en occupant toutes les strates spatio-temporelles où elles peuvent survivre, et en se reproduisant quasiment en permanence. Leur forte fécondité leur permet de pouvoir "gaspiller" des gamètes dans des strates non favorables au développement des larves ou des juvéniles certaines années, mais qui pourront le devenir l'année suivante. Les fortes mortalités directement observées sous forme d'échouages massifs de juvéniles (plusieurs dizaines de tonnes) certaines années sur les plages de la presqu'île du Cap-Vert, en saison froide, relèvent sans doute de ce phénomène.

V. 2. Approche structurale de la dynamique du stock de Sardinella aurita

V. 2.1. Généralités

L'approche structurale ne sera abordée que pour les sardinelles rondes, les paramètres de la courbe de croissance des sardinelles plates n'étant pas encore disponibles.

Il n'est pas envisageable, dans l'état actuel des données disponibles et de nos connaissances, d'utiliser des méthodes intégrant la totalité du cycle vital, ni même d'effectuer des analyses de cohortes, pour les raisons suivantes:

1. Les individus adultes, présents au Sénégal en saison froide, sont pour la plupart issus de nurseries situées à l'extérieur de ce pays, ce qui empêcherait sans aucun doute l'observation de convergences dans l'analyse des cohortes.

2. On ne connaît pas le total des captures annuelles réalisées à l'extérieur de la Petite Côte sur les autres fractions du stock (seules les captures des deux espèces de sardinelles confondues ont pu être estimées). Or le recrutement sur la Petite Côte dépend en grande partie du sous-stock d'adultes.

3. La structure en taille de ces captures étrangères au Sénégal n'est connue que pour quelques années, à partir d'échantillonnages faibles.

4. En supposant que soient résolus les trois points précédents, et si l'on admet que les paramètres de la courbe de croissance sont représentatifs, on voit qu'il serait extrêmement difficile de convertir les structures de taille en structures d'âge passé l'âge de deux ans. La croissance est alors très faible et la relation taille-âge est très variable, d'où un chevauchement quasi complet des classes d'âges (cf. paragraphe V. 1.5.3.). Nous avons vu que seul un échantillonnage lourd des âges (ou des âges et des tailles) permettrait de résoudre ce problème, avec une forte contrepartie financière, compte tenu des difficultés de détermination de l'âge.

Dans ces conditions, hormis l'analyse des rendements par recrue (Y/R) que nous allons aborder, la seule approche raisonnable serait celle introduite par DERISO (1980). Elle constitue un compromis entre les modèles globaux et structuraux, utilisant des grands groupes d'âge (adultes et jeunes). Elle ne pourra être appliquée telle quelle que lorsque la structure en taille des captures étrangères au Sénégal sera connue et que l'on disposera d'un indice d'abondance représentatif pour l'ensemble du stock d'adultes. Ce dernier point ne peut être résolu par l'utilisation des p.u.e. des individus adultes au Sénégal, puisque celles-ci reflètent essentiellement la disponibilité du stock, liée aux conditions climatiques sur l'ensemble de la région sénégal-mauritanienne (cf. paragraphe V. 3.4.2.). On pourrait envisager de modifier ce modèle pour l'appliquer à des fractions de stock, en incluant la particularité qu'ont ici les jeunes recrues à se reproduire très précocement.

Il n'a pas été jugé opportun d'utiliser la formule de BEVERTON et HOLT (1957) permettant de calculer Z à partir de la

courbe de croissance, de la taille moyenne des poissons capturés et de leur taille à la première capture ; cette formule est très sensible aux variations de ces deux derniers paramètres, lesquels sont difficiles à estimer avec précision pour l'ensemble du stock.

V. 2.2. Estimation de la mortalité naturelle.

Du fait de l'impossibilité actuelle d'estimer la mortalité totale Z et la mortalité par pêche F , on est réduit à l'utilisation de méthodes indirectes, associées à leur cortège d'imprécisions.

On a d'abord utilisé la méthode de TAYLOR (1959), basée sur le principe selon lequel, plus la durée de vie d'une espèce est courte, plus sa mortalité naturelle doit être élevée. Le paramètre A_{95} a été estimé à partir des paramètres de la courbe de croissance. On obtient ainsi : $M=1,24$.

On a ensuite appliqué la méthode de PAULY (1980) qui, en supplément des paramètres de croissance, utilise la température moyenne de l'eau dans laquelle vivent les individus. Ceci pose un problème pour le stock qui nous intéresse. Si les adultes se rencontrent dans une gamme de température de l'eau relativement étroite (15° à 20°C) il en va différemment des jeunes individus. Ces derniers sont observés dans des eaux dont les températures varient de 15° à 29°C . Nous avons effectué deux estimations pour deux températures moyennes extrêmes : 17°C et 27°C . On a appliqué aux résultats le facteur correctif de 0,6, recommandé par PAULY (1980) pour les poissons pélagiques (ce qui semble indiquer que ce groupe se prête mal à cette méthode d'évaluation de M). Les deux valeurs de M ainsi obtenues sont : 0,96 (pour 17°C) et 1,19 (pour 27°C).

Les résultats de ces différentes méthodes ne diffèrent donc pas énormément et se situent autour de 1,0. Cette valeur a été également obtenue par BEBARS (1981) sur la même espèce à partir de données de pêche expérimentales réalisées sur un stock inexploité en Egypte. Des valeurs aussi élevées sont la règle chez les petites clupéidés à vie courte. BELVEZE estime que M est compris entre 0,5 et 0,7 pour les sardines marocaines et cite d'autres exemples de clupéidés pour lesquels les valeurs varient de 0,4 à 1,12, cette dernière valeur correspondant à une autre espèce de sardinelles (Sardinella longiceps), très proche de S. aurita et vivant en Inde ($M=0,67$ à 1,12).

A partir de ces éléments, on a estimé que, pour le stock nous intéressant, M devait être compris entre 0,8 et 1,2. Dans la suite des calculs, trois valeurs seront utilisées (0,8 ; 1,0 ; 1,2) correspondant à trois hypothèses de travail.

V. 2.3. Evolution de la biomasse et de la fécondité d'une cohorte non exploitée.

Connaissant pour chaque âge t : le poids moyen P_t , la proportion de femelles dans la population St , la proportion de femelles matures F_t , la fécondité moyenne F_t (BOELY, 1980 ; CO-NAND C. 1977), le nombre de pontes par an n et la mortalité naturelle M , il est possible de calculer l'évolution théorique de la biomasse instantané B_t et de la fécondité potentielle instantané

Fpit d'une cohorte théorique de N individus (tabl. 19; fig. 52) :

$$B_t = N e^{-M_t} P_t$$

$$F_{pit} = N e^{-M_t} S_t F_t n$$

Age (an)	LF (cm)	Poids (g)	Sex-ratio	% ♀ matures	Fécondité ind.10 ³	Effectif	Fécondité cohor.10 ³	Biomasse (kg)
0,25	9,7	11	0,6	0	0	1000	0	11
0,5	16,2	58	0,6	10	11	779	10	45
1,0	21,6	149	0,5	90	34	472	144	70
1,5	25,4	254	0,6	100	64	287	220	73
2,0	28,2	358	0,6	100	96	174	200	62
2,5	28,9	388	0,7	100	107	105	158	41
3,0	29,7	424	0,7	100	119	64	106	27
3,5	30,2	448	0,7	100	127	39	68	17
4,0	30,6	468	0,8	100	133	24	50	11
4,5	31,1	493	0,8	100	142	14	32	7
5,0	31,7	525	0,8	100	153	9	22	5
5,5	31,9	536	0,8	100	157	5	14	3
6,0	32,1	547	0,8	100	160	3	8	2

Tabl.19-Caractéristiques démographiques d'une cohorte de 1000 individus à l'âge de 3 mois, subissant une mortalité naturelle M=1 (la fécondité de la cohorte suppose deux pontes par an et par individu, quel que soit l'âge)

Concernant la biomasse, l'âge critique t_{cri} , à partir duquel le poids de la cohorte diminue, varie de 1,05 an (pour M=1,2) à 1,5 an (pour M=0,8).

Concernant la fécondité, l'âge critique varie de 1,05 à 1,75 ans pour les mêmes valeurs de M.

Les résultats appellent deux remarques :

- l'âge critique pour la biomasse étant généralement proche de l'âge de première reproduction (ici 8 à 10 mois), la valeur minimale de M paraît peu réaliste (à moins que la croissance ne soit surestimée).

- avant même d'utiliser des modèles de production structuraux prenant en compte l'influence de l'exploitation, on voit qu'il n'y aura aucun bénéfice à laisser grossir les sardinelles après deux ans. Ceci signifie, pour les pêcheries de la Petite Côte, qu'il vaut mieux exploiter les jeunes reproducteurs avant leur départ de la nurserie, plutôt que d'attendre leur retour à l'âge adulte.

On notera, cependant, que les calculs de fécondité potentielle instantanée que nous avons effectués supposent qu'il n'y a que deux pontes par an et par individu ($n=2$). Un changement de n ne modifierait pas la valeur de t_{cri} mais, en revanche, si n augmentait avec l'âge, le schéma serait considérablement modifié. Bien que l'on ne dispose d'aucune observation sur la fécondité individuelle, on sait que la période de reproduction des adultes est plus étendue que celle des jeunes reproducteurs, alors que la proportion de femelles matures ne change pas, ce qui donne à penser qu'un individu adulte se reproduit plus souvent ou plus longtemps qu'un jeune. Quoiqu'il en soit, l'incidence du

nombre de pontes selon l'âge sur le recrutement reste difficile à estimer, du fait que les probabilités de survie des oeufs et larves varient selon les lieux et dates de ponte : il est possible que les pontes des jeunes reproducteurs, bien calées dans le temps et l'espace, soient en moyenne plus productives de recrues que celles des adultes, dont la stratégie de reproduction est plus opportuniste.

Compte tenu de la décroissance exponentielle de la fécondité instantanée après deux ans dans notre schéma théorique, pour obtenir une courbe en plateau après cet âge, il faudrait que le nombre de pontes par individu suive une progression géométrique de raison 2. Ceci est peu probable, après l'âge de 3 ans tout au moins.

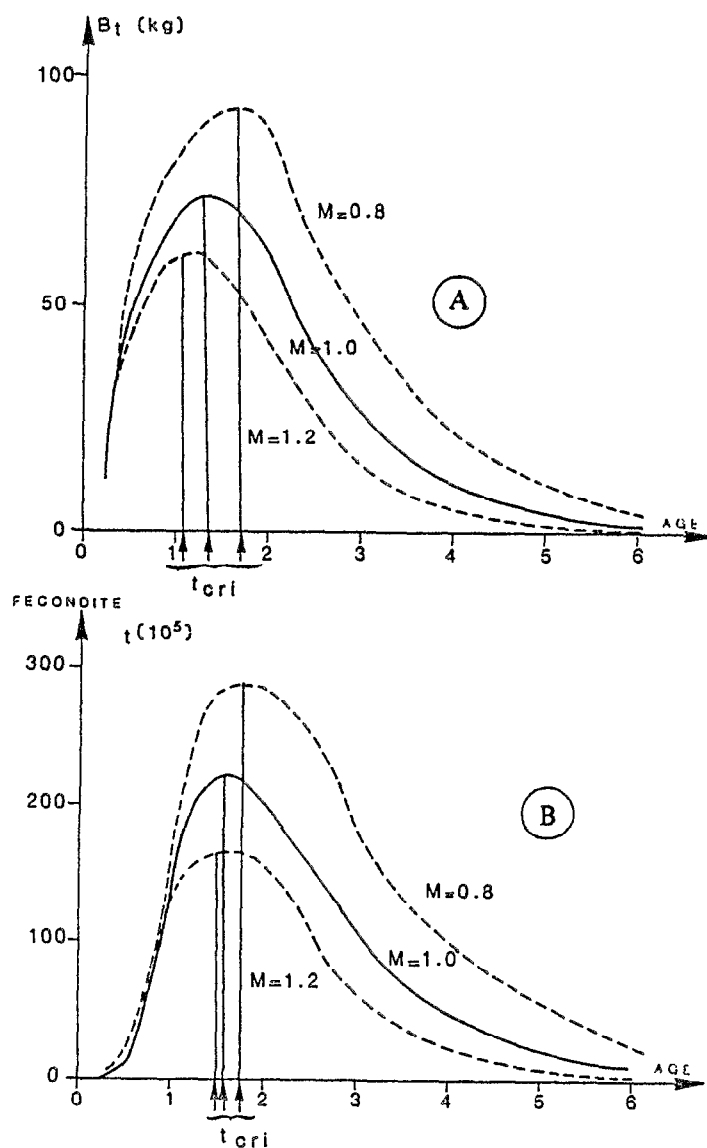


FIG-52 - EVOLUTION DE LA BIOMASSE INSTANTANÉE (A) ET DE LA FECONDITE INSTANTANÉE (B) D'UNE COHORTE THÉORIQUE DE SARDINELLA AURITA D'EFFECTIF 1000 INDIVIDUS À 3 MOIS, SUBISSANT DIVERSES MORTALITÉS NATURELLES ($M=0.8, 1.0, 1.2$)

V. 2.4. Modélisation de la phase recrutée.

Compte tenu de l'allométrie de la croissance de S. aurita ($n=3,274$) et de la vitesse de cette croissance, on a retenu le modèle dit B.W. JONES (1976) formulé par THOMSON et BELL (1934), en discrétisant l'échelle du temps par intervalle de 6 mois (programme fourni par la DRV de l'IFREMER).

En l'absence de critère objectif sur le vecteur des mortalités par âge, on a supposé F constant : bien que les individus de taille modale 26 - 27 cm (18 mois à 2 ans) soient peu exploités sur la Petite Côte, ils sont capturés en quantité au nord de la région mauritanienne (chapitre III). On raisonnera donc ici en terme de rendement par recrue pour l'ensemble du stock exploité sur toute la région. Ceci suppose par ailleurs que les paramètres de la courbe de croissance sont les mêmes pour toutes les nurseries.

L'âge à la première capture t_c est d'environ 0,5 an (16 cm) si l'on néglige les captures réalisées par les sennes de plage et les thoniers canneurs. Il est donc inférieur à t_{cri} et l'on doit voir le rendement par recrue diminuer pour de fortes valeurs de F . Ceci n'apparaît pratiquement pas sur les figures d'isoplètes de rendements par recrue (si ce n'est pour $M=0,8$) du fait qu'elles ne représentent que des valeurs de F inférieures à 2,5 (fig. 53). Il faudrait atteindre des valeurs de F extrêmes, ou exploiter des individus très jeunes pour se trouver dans cette situation.

Les courbes eumétriques TV (BEVERTON et HOLT, 1957) montrent qu'augmenter l'âge à la première capture n'apporterait aucun bénéfice pour des valeurs de F inférieures à 0,5, et un faible bénéfice pour des valeurs de F élevées, si ce n'est pour $M=0,8$. Au-delà de 1 an (pour $M=1,2$) ou 1,5 an (pour $M=0,8$) l'augmentation de t_c conduirait à une diminution du rendement par recrue.

Les courbes eumétriques TH (BEVERTON et HOLT, 1957), maximisent les rendements pour un t_c donné, correspondant à des valeurs de F supérieures à 1, voire à 2 si l'on retient $M=1,2$.

On manque d'éléments pour situer l'impact actuel des pêcheries en terme de mortalité par pêche, et donc pour se positionner sur les isoplètes. Cependant, l'importance des prélèvements réalisés sur l'ensemble de la zone sénégal-mauritanienne, par rapport aux évaluations de biomasse obtenues par écho-intégration (pour aussi imprécises que soient ces dernières) indiquent que le niveau d'exploitation du stock est élevé. Par ailleurs, nous verrons que l'approche par les modèles globaux indique que l'on a probablement dépassé l'effort optimum. Il est donc vraisemblable que F soit actuellement supérieur à M . On ne peut donc espérer augmenter, d'une façon ou d'une autre, le rendement par recrue.

Le risque actuel est au contraire de diminuer ce rendement par recrue en capturant des individus âgés de moins de 6 mois. Jusqu'en 1980, ces captures de juvéniles étaient le fait des sennes de plage et des thoniers canneurs, et secondairement des sardiniers en saison froide. Au cours de ces dernières années, la proportion des captures de juvéniles par les pêcheurs artisans va en augmentant. Si les quantités capturées restent encore modestes, la tendance n'en est pas moins inquiétante.

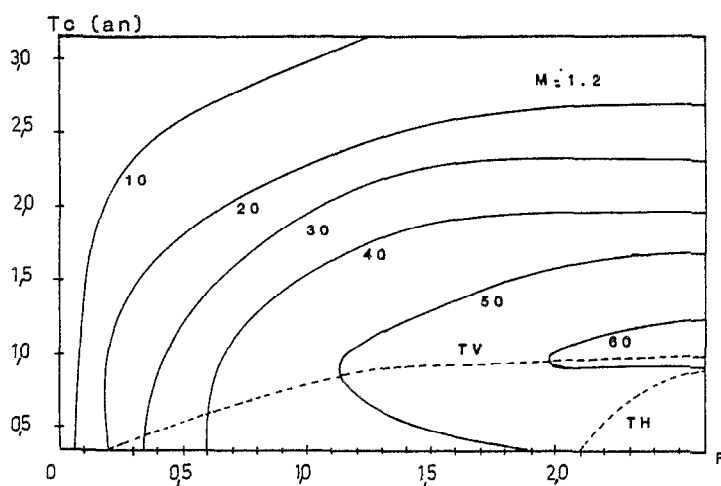
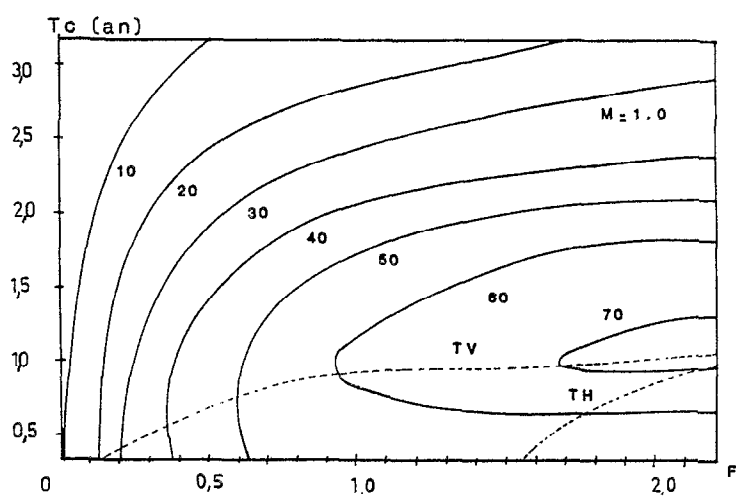
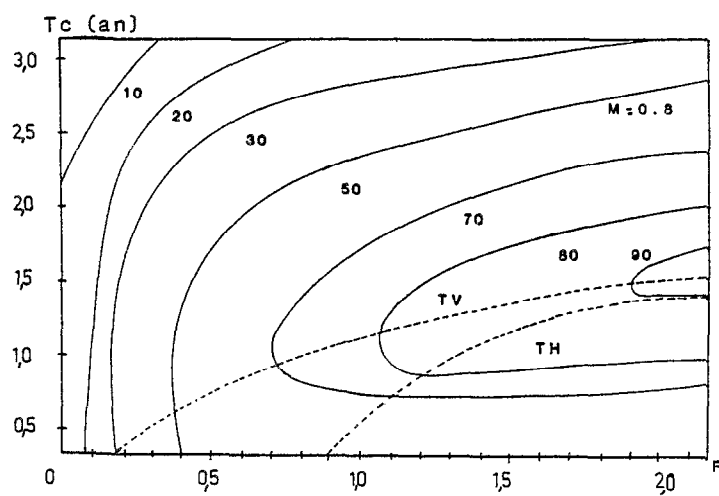


Fig. 53- Isoplètes de rendement par recrue pour *Sardinella aurita* d'après le modèle de B.-W. JONES pour différentes valeurs de la mortalité naturelle ($M=0,8$; $1,0$; $1,2$)

V. 3. Réactions des stocks aux variations hydroclimatiques

Après avoir passé en revue les plus remarquables fluctuations d'abondance des stocks halieutiques d'Afrique de l'ouest au cours des vingt dernières années, on s'attardera sur celles qui ont fait l'objet d'un travail personnel.

V. 3.1. Climat et pêche en Afrique de l'ouest

Nous avons vu que l'hydroclimat de la région sénégalomauritanienne s'était considérablement modifié lors des deux dernières décennies (chapitre II). Il en est de même des régions avoisinantes : plus au nord, BELVEZE (1984) note d'importantes modifications de la pluviométrie et de l'intensité des vents responsables de l'upwelling dans le sud marocain tout comme au niveau des côtes du Sahara, tandis que plus au sud l'étude des températures de surface et de la salinité indique de grandes variations de l'intensité de l'upwelling de Côte-d'Ivoire (ORSTOM 1976 ; [COPACE, 1982] ; CURY et ROY, 1985]). Par ailleurs, l'abondance des stocks pélagiques ou semi-pélagiques a grandement fluctué au cours de la même période, sans que la pêche puisse toujours en être tenue pour responsable, comme nous le verrons. On observe également de grandes fluctuations d'abondance chez les communautés démersales de la région (GULLAND et GARCIA, 1984).

Les études de sédimentation des écailles au cours des derniers siècles, telles que celles réalisées par SOUTAR et ISAAC (1974) en Californie, montrent bien que de larges variations d'abondance peuvent se produire à long terme, même lorsque le taux d'exploitation est négligeable et stable dans le temps. On est donc amené à supposer que l'environnement est responsable des changements d'abondance ou capturabilité des stocks. Ceci a déjà été vérifié -voire quantifié- en de nombreuses occasions ; on en trouvera des exemples dans les travaux de synthèse tels que ceux publiés ou édités par SAVILLE (1980), LE GUEN et CHEVALIER (1983), ou SHARP et CSIRKE (1983).

Dans la région ouest-africaine, nous avons déjà signalé l'apparition régulière de Sardinella maderensis adultes dans les captures des sardiniers en avril-mai depuis 1977, sans que l'on puisse confirmer pour autant que ce phénomène soit en liaison avec les fluctuations de l'upwelling ou de la pluviométrie dans la zone. Par ailleurs, nous avons souligné que la sardine (Sardina pilchardus), jusque-là pratiquement absente des côtes nord mauritaniennes (CADENAT et MOAL, 1955; FURNESTIN, 1955), avait montré une véritable explosion démographique à partir de 1972, conduisant à des captures de l'ordre de 500.000 t entre 1974 et 1977. Le phénomène se rattache ici assez clairement à l'augmentation d'intensité de l'upwelling côtier : au fur et à mesure que ce dernier s'intensifiait, les captures augmentaient et la limite sud des concentrations exploitables descendait de 25°N en 1966 à 17°N en 1977, provoquant même l'apparition de quelques individus au Sénégal en saison chaude (COPACE, 1978 ; DOMANEVSKI et BARKOVA, 1979 ; SEDIKH, 1979 ; [13 ; COPACE, 1980a]). Ceci est en concordance avec les premières observations effectuées en Mauritanie par MAIGRET (1974), qui remarquait que l'apparition des captures de sardines correspondait à une période de refroidissement des eaux. Au cours de ces dernières années, la diminution d'intensité de l'upwelling s'est accompagnée d'une diminution des captures de sardines au nord de la zone, tout comme de celle des sardinelles au Sénégal (tabl. 5).

Au cours de cette même période se développait, plus au sud, un autre bouleversement majeur : l'explosion démographique des balistes (Balistes caprisious) au Ghana en 1972, accompagnée de l'effondrement du stock ivoiro-ghanéen de Sardinella aurita, sans que les deux phénomènes puissent être reliés de façon évidente (ORSTOM, 1976 ; [COPACE, 1980b]). Cette "invasion" allait peu à peu s'étendre le long des côtes africaines, vers le sud tout comme vers le nord, pour atteindre le Cap-Vert en 1978 et même la Mauritanie en saison chaude de 1979. Bien que l'explication de ce phénomène reste incertaine, l'hypothèse la plus vraisemblable est celle de l'intervention des facteurs climatiques (CAVERIVIERE et al., 1980).

Au nord de notre zone d'étude, le Maroc n'échappait pas à ces bouleversements : des espèces jusqu'alors secondaires, les bécasses de mer (Macroramphus spp.) allaient montrer de fortes biomasses durant quelques années (1971 à 1976 environ) puis pratiquement disparaître (POINSARD, 1974 ; LAMBOEUF et al., 1976 ; BRETHES, 1979 ; BELVEZE, comm. pers.), tandis que la proportion de maquereaux (Scomber japonicus) dans les captures s'accroît lentement depuis cette période, au détriment du stock de sardines. La diminution des débarquements de cette dernière espèce est nettement en rapport avec des variations de disponibilité, elles-mêmes liées aux fluctuations de l'upwelling côtier (BELVEZE, 1984).

En définitive, ces exemples montrent bien que si la liaison entre le climat et la pêche n'est pas toujours évidente dans le détail, il est troublant de constater que dans l'ensemble de la région ouest-africaine, les bouleversements majeurs d'écosystèmes ont tous eu lieu au cours de la période 72-78, à une époque où l'environnement se modifiait profondément.

V. 3.2. Etude du stock de sardines au nord-Sahara

La population de Sardina pilchardus vivant entre Safi et El Ayoun constitue un stock unique, saisonnièrement divisé en deux sous-stocks correspondant à deux pêcheries bien individualisées jusqu'en 1980. Le premier était exploité par la pêcherie marocaine d'Agadir, Essaouira et Safi dans la région nord, dite zone A ; le second était exploité par la flotte espagnole basée aux îles Canaries, dans la région sud, dite zone B, où semble se regrouper la quasi-totalité de la population en hiver (fig. 54). La flotte marocaine exploitait essentiellement les jeunes classes d'âge, tandis que la flotte espagnole capturait des individus plus âgés de un à deux ans en moyenne (tabl. 20), pour les conserveries (COPACE 1978, [1980a] ; BRAVO DE LAGUNA et al. 1980 ; BELVEZE, 1984). Cette situation s'étant profondément modifiée depuis 1981, nous limiterons notre étude à la période antérieure.

On dispose des prises totales dans les deux zones. Pour la zone A, un effort annuel effectif, standardisé et très élaboré a été calculé à partir de 1968. Il prend en compte les puissances de pêche des différents bateaux et les fluctuations spatio-temporelles d'abondance au niveau intra-annuel, ce que justifie l'évolution qu'a connu la pêcherie, depuis 1971 en particulier (BELVEZE, 1984). Un effort de pêche ne prenant en compte que les puissances de pêche est disponible à partir de 1962 [COPACE, 1980a]. Ces deux séries d'effort diffèrent peu de 1962 à 1967, à une époque où la pêcherie était stable (tabl. 21).

Pour la zone B, on dispose d'un effort de pêche grossièrement standardisé (indépendamment du premier) depuis 1965, ce qui correspond au début du développement de cette pêcherie (BRAVO DE LAGUNA et al., 1980). On a estimé les efforts antérieurs qui, de toute façon, étaient négligeables (tabl. 21).

Zone de pêche (flotte principale)	CLASSE D'AGE								
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
A (Maroc)	1	27	40	25	5	2	0	0	0
B (Espagne)	0	15	31	19	16	10	6	2	1

Tabl.- 20- Abondances relatives des différentes classes d'âge de sardine (Sardina pilchardus) dans les captures réalisées dans les zones A (moyenne de 1968 à 1980) et B (moyenne de 1976 à 1980), exprimées en pourcentage du poids total (calculé d'après les données publiées par BELVEZE (1984)).

ANS	EFFORTS		PRISES			P.U. E. MAROC (A)	INDICE UPWELLING
	MAROC (A)	ESPAGNE (B)	MAROC (A)	ESPAGNE (B)	TOTAL		
62	508	(100)	120 000	(2 000)	122 000	236	4.13
63	963	(100)	119 000	(2 000)	121 000	123	2.83
64	1 045	(300)	128 000	(6 000)	134 000	122	2.39
65	922	900	148 500	14 600	163 100	161	3.30
66	1 023	1 090	237 700	20 900	258 600	232	4.02
67	921	1 590	196 600	28 600	225 200	213	2.83
68	870	1 700	155 400	32 300	187 700	179	2.74
69	812	1 940	157 200	36 000	193 200	194	3.14
70	996	3 480	150 200	50 500	200 700	151	3.18
71	1 204	3 270	172 700	55 500	228 200	144	3.15
72	1 292	2 470	159 200	46 900	206 100	123	2.66
73	1 350	3 430	326 300	67 600	393 900	242	4.59
74	1 250	3 620	204 200	86 200	290 400	163	3.51
75	1 199	7 340	146 600	135 700	282 300	122	2.73
76	1 430	5 860	176 200	128 900	305 100	123	1.79
77	1 306	5 850	101 900	133 500	235 400	78	2.59
78	1 325	7 550	91 100	140 500	231 600	69	2.40
79	1 457	4 210	163 400	90 900	254 300	112	2.29
80	1 516	4 250	181 200	85 000	266 200	120	2.50

Tableau 21 Statistiques de pêche du stock nord saharien de Sardina pilchardus et indice d'upwelling, de 1962 à 1980.

() données estimées

Sources : COPACE 1980 ; BRAVO DE LAGUNA et al., 1980 ; BELVEZE, 1984.

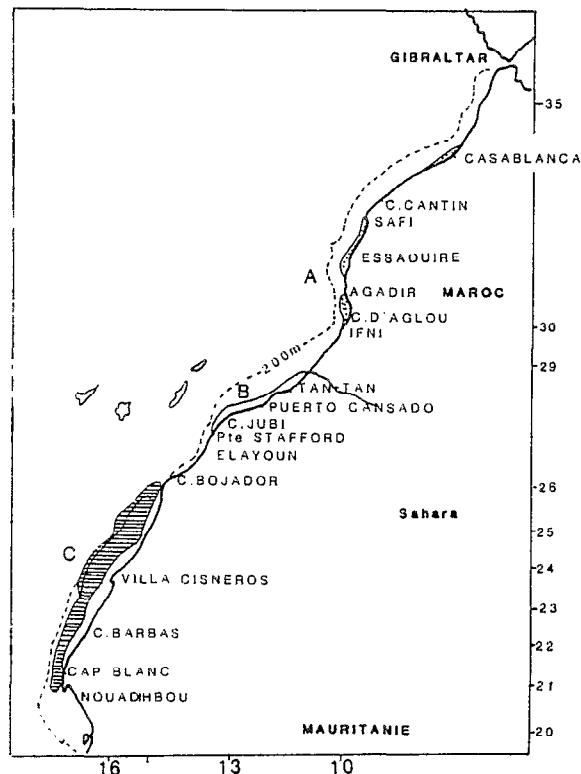


Fig-54- ZONES DE PECHE DE LA SARDINE
(*Sardina pilchardus walb.*) (COPACE, 1985)

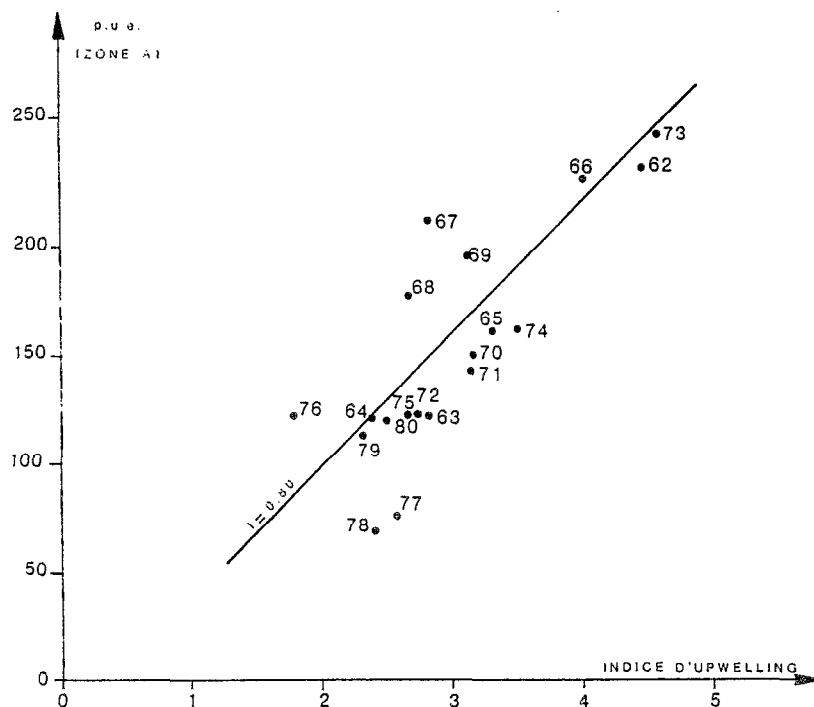


Fig- 55- RELATION ENTRE L'INDICE D'UPWELLING ET LA PRISE PAR
UNITE D'EFFORT (p.u.e.) POUR LE STOCK NORD SAHARIEN
DE SARDINE (*Sardina pilchardus*) DE LA ZONE A
(Source voir texte)

Selon BELVEZE (1984), les migrations estivales des sardines de la zone B vers la zone A sont liées à l'intensité de l'upwelling dans cette dernière. D'après ce même auteur, le meilleur indice utilisable serait la racine carrée du produit de la moyenne des carrés des vitesses hebdomadaires du vent, par la variance de cette moyenne. Cette série de données n'étant disponible qu'à partir de 1968, nous avons utilisé la racine carrée des produits des vitesses moyennes annuelles par la variance de cette moyenne, à partir des données collectées par RICHEBE (in : BELVEZE, 1984). La forte corrélation entre les p.u.e. et l'indice d'upwelling entre 1962 et 1980 dans la zone A (fig. 55) confirme les observations de BELVEZE (1984) qui, pour plus de rigueur, ne commençaient qu'en 1968. Cette relation a constitué le principal obstacle à la standardisation des efforts de pêche des flottes marocaines et espagnoles.

Nous avons jugé actuellement possible d'effectuer cette standardisation en deux temps et sous certaines hypothèses, grâce à la longueur de la série de données disponibles et aux résultats des travaux précédemment cités. En effet, si l'on retient l'hypothèse d'un stock unique et si l'on admet que les poissons capturés dans la zone A étaient en moyenne un à deux ans plus jeunes que ceux capturés dans la zone B jusqu'en 1980, on peut alors supposer que, en dépit des fluctuations interannuelles de capturabilité liées à l'upwelling dans la zone A, le coefficient moyen de standardisation s sera égal au rapport des p.u.e. moyennes de 1965 à 1980 dans la zone B, aux p.u.e. de 1963 à 1978 dans la zone A, soit $s = 0,12$. Nous verrons lors de la modélisation de la production de ce stock, comment on peut estimer, dans un deuxième temps, un coefficient de standardisation annuel.

L'analyse de cette série de données (tabl. 21) montre bien que l'intensité de l'upwelling explique la majeure partie de la variance des p.u.e. en zone A, tandis que la pression de pêche subie par le stock, en A comme en B, ne permet pas à elle seule d'expliquer la baisse des rendements marocains.

V. 3.3. Etude de la descente de *Sardina pilchardus* vers le Sénégal [13].

La limite sud de la zone de pêche habituelle de *Sardina pilchardus* en Afrique de l'ouest était approximativement de 26°N depuis les débuts de la pêche hauturière dans les années soixante. Dès 1969, cette espèce apparaît dans les statistiques de pêche des pays de l'est (80.000 t) au-dessous du cap Bojador, au sud Sahara, mais c'est à partir de 1973 que va se produire l'explosion démographique, permettant aux différentes flottes de capturer jusqu'à 650.000 t en 1976, dans cette nouvelle zone de pêche qui sera dénommée "zone C" par les chercheurs de la région, et qui se détache nettement des deux zones traditionnelles (A et B) situées plus au nord (fig. 54). Depuis 1978, les captures ne cessent de décroître et n'étaient plus que de 170.000 t en 1983 (COPACE, 1979b, [1980], 1985).

Au Sénégal, d'après les renseignements obtenus auprès des patrons thoniers canneurs, il apparaîtrait qu'à Dakar, les rares prises de jeunes sardines aient toujours été réalisées en saison froide dans des eaux dont les températures sont proches du preferendum thermique de cette espèce (16° et 19°C), le long des

côtes nord-africaines. Au contraire, en 1976 de jeunes Sardina pilchardus ont été capturées en pleine saison chaude dans des eaux de 25° à 28°C, par les sennes de plage opérant dans la baie de Gorée (14°43'N).

En juin et août 1954, la présence de jeunes sardines dans les mêmes lieux et dans des conditions similaires de température avait déjà été signalée (MOAL, 1957). Compte tenu de l'importance du phénomène et vu le faible échantillonnage qu'a pu réaliser cet auteur (17 individus), il a été jugé nécessaire de reprendre et d'approfondir ce travail par une étude détaillée de la biométrie [13].

Si l'on se réfère aux trois critères de détermination des sous-espèces ou des races géographiques généralement admis, il résulte de ce travail que les sardines prises à Dakar diffèrent totalement de celles décrites ailleurs (tabl. 22 et 23): leur indice céphalique est très élevé (24,5 à 28,3 %) ainsi que le nombre de leurs branchiospines (59 à 90) si l'on considère la petite taille des individus ; en revanche leur moyenne vertébrale est basse (50,45).

RACES	MOYENNE VERTÉBRALE	INDICE CÉPHA- LIQUE MOYEN
atlantique septentrionale	> 52	20
ibérique (atlantique méridionale)	51,20	21
marocaine	50,50	21 : 22
saharienne	< 50,30	22
Individus capturés au Sénégal	50,45	26,4

Tabl.22.- Races de sardine d'après FURNESTIN et FURNESTIN (1970) comparées aux caractéristiques des individus capturés au Sénégal.

SOUS-ESPECES ZONES	lcpl	NB	MV
<i>Sardina pilchardus pilchardus</i> Côtes atlantiques de l'Europe	20,0 à 23,0	> 60	51,2 à 52,4
<i>Sardina pilchardus sardina</i> Méditerranée et côtes atlantiques de l'Afrique du Nord	18,5 à 21,0	44 à 68	50,5 à 51,4
<i>Sardina pilchardus</i> du Sénégal	24,5 à 28,2	59 à 90	50,45 (bornes : 47 à 51)

Tabl. 23.- Sous-espèces de sardine usuellement retenues (voir ANDREU (1969) pour l'historique) comparées aux caractéristiques des individus capturés au Sénégal.

Dans le cadre des relations généralement admises entre les différents paramètres biométriques, seul le nombre de branchiospines élevé ne répond pas au schéma habituel. En effet, il a été démontré que pour la plupart des clupéidés (ou autres poissons) les valeurs des caractères méristiques décroissent dans les eaux chaudes. Les températures relativement élevées dans notre région permettraient donc de s'attendre à un nombre moyen de branchiospines faible, contrairement à ce que nous avons observé. L'augmentation de leur nombre en fonction de la taille peut être expliquée par la présence d'un upwelling périodique dans la région, si l'on se réfère à la théorie de ANDREU (1969) sur les variations géographiques de ce paramètre.

Les basses moyennes vertébrales que nous avons relevées sont conformes au schéma général et, de plus, leur association à de hauts indices céphaliques est en concordance avec la règle de corrélation inverse existant entre ces deux valeurs (CREACH, 1951; FURNESTIN et FURNESTIN, 1970). Ces deux derniers auteurs considèrent que cette association serait un bon critère de distinction des groupes raciaux.

Bien que les spécimens capturés à Dakar se rapprochent plus des races marocaines et sahariennes que des autres [13], on a envisagé qu'ils appartiennent à une nouvelle race géographique.

Cette race pourrait être individualisée par les six caractères suivants :

- indice céphalique très élevé [13, p. 81, fig. 7],
- moyenne élevée du nombre de branchiospines par rapport à la taille (fig. 56),
- moyenne vertébrale basse [13, p. 86, fig. 9],
- facteur net de condition moyenne élevé,
- développement des gonades important par rapport à la taille et maturation précoce,
- croissance rapide.

On remarquera que pour tous ces caractères il est difficile de distinguer la part qui revient au génotype de celle qui est simplement phénotypique et traduit l'influence des conditions du milieu (le terme de "race géographique" rend bien compte de cette dualité). A ce sujet, les travaux de SEDYKH et al. (1979) et de BARKOVA et DOMANEVSKY (1985) ont montré l'influence de l'intensité de l'upwelling sur la taille à la première maturité sexuelle, sur le recrutement et sur la vitesse de croissance de Sardina pilchardus dans la région mauritanienne. Ceci peut s'expliquer par l'action eutrophisante de l'upwelling qui assure un développement planctonique favorable à l'alimentation des reproducteurs et à la survie des larves et des juvéniles. En 1976 l'upwelling a été intense, entraînant une croissance plus rapide et une reproduction plus précoce ; nos observations rendent compte du même phénomène.

Il est donc difficile d'être catégorique quant à l'appartenance des spécimens étudiés malgré leurs particularités biométriques évidentes. Toutefois, qu'il s'agisse d'une nouvelle race à part entière ou d'une race déjà décrite, la provenance des individus capturés à Dakar et la signification de leur présence dans la région restait à déterminer.

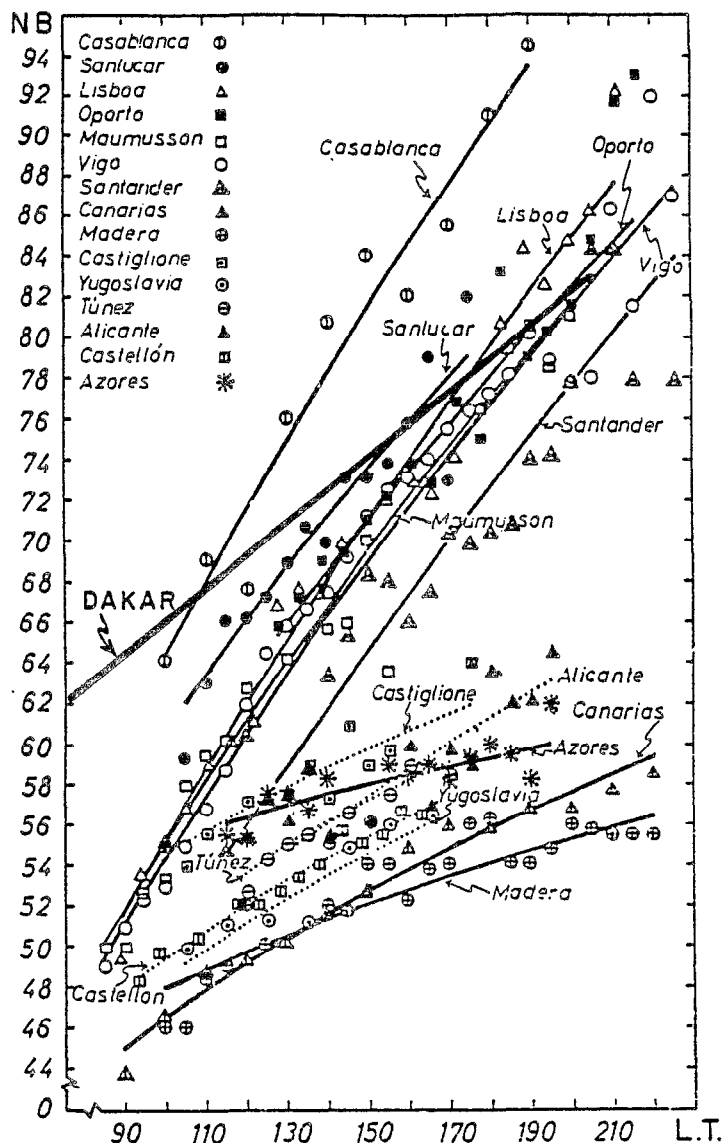


Fig. 56—Droites de régression du nombre de branchiostomes (NB) selon la taille (L.T.) obtenues pour différentes régions. D'après Andreu (1969), figure complétée par les observations effectuées à Dakar. [13]

Par certains de leurs caractères biométriques, ces poissons se rapprochent des populations de sardines des côtes atlantiques de l'Europe ; il paraît cependant improbable qu'ils proviennent de ces régions après avoir effectué une migration de grande amplitude jusqu'au Sénégal, ce qui serait un comportement inhabituel pour cette espèce.

Il est plus réaliste de rattacher ces individus à la population de la race saharienne (zone C) dont l'aire de répartition géographique s'étend certaines années "froides" jusqu'au Sénégal, bien que l'abondance dans ce pays ait toujours été négligeable.

Au Sénégal, nous avons vu que des variations hydroclimatiques parallèles ont été observées, et que depuis 1971 on a pu remarquer une augmentation très nette de la composante du vent responsable de l'upwelling et, associé à ce phénomène, l'entrée dans une période de refroidissement général des eaux. On peut penser que, de plus, le refroidissement général observé dans la région rapproche la température de l'eau du preferendum thermique

de l'espèce qui se situe entre 17° et 19°C pour les adultes, mais semble plus élevé pour les jeunes (BARKOVA et DOMANEVSKY, 1985). On notera que, paradoxalement, au Sénégal, certaines captures ont lieu en saison chaude dans des eaux de température souvent supérieure à 26°C. La raison en est vraisemblablement le fait que les eaux de la baie de Gorée sont plus froides que celles des environs de la presqu'île du Cap-Vert durant neuf mois de l'année, en raison de l'existence -déjà mentionnée- d'un vortex (REBERT, 1977), et peuvent donc constituer un piège thermique pour les sardines, les empêchant de remonter vers le nord.

En conclusion, on peut supposer que les quelques tonnes de sardines capturées par les thoniers canneurs et par les sennes de plage près de Dakar appartenaient au stock exploité au niveau de la Mauritanie ces dernières années, dont la moyenne vertébrale (49,7) était très proche de celle que nous avons observée (KRZEPTOWSKI, 1975). La limite d'extension maximale était le Sénégal, en raison des conditions climatiques favorables qui régnaient à cette époque. Depuis 1977, l'intensité de l'upwelling a notablement diminué dans la région et, confirmant nos prévisions [13], le stock a régressé vers le nord et les sardines n'apparaissent plus au Sénégal en saison chaude. Elles ont été signalées uniquement en saison froide 1985 (LEVENEZ, comm. pers.), les alizés intenses assurant un upwelling probablement comparable à celui de la décennie précédente.

V. 3.4. Interprétation des variations de rendement sur les sardinelles au Sénégal [14]

V. 3.4.1. Rendements totaux annuels des deux espèces

On a analysé l'évolution des rendements des sardiniers dakarois en fonction de l'effort de pêche total (sardiniers plus pirogues) déployé sur la Petite Côte. Ce dernier a été estimé en divisant les prises totales par la p.u.e. des sardiniers. Les valeurs obtenues de 1966 à 1983 pour Sardinella aurita et pour Sardinella spp. indiquent que la p.u.e. moyenne annuelle et l'effort de pêche varient en sens inverse, mais l'on constate que l'ajustement est peu satisfaisant 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 groupes, il apparaît nettement que l'on peut tracer deux droites (ou deux courbes) décroissantes et légèrement divergentes (fig. 57a et 57b). Ceci suggère que les variations de p.u.e. seraient expliquées par un deuxième facteur, indépendant de l'effort de pêche et qui aurait brutalement changé en 1972 et en 1982. 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).

Nous avons vu que les deux espèces de sardinelles se situent dans les premiers maillons de la chaîne trophique puisqu'elles sont phytoplanctonophages 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 matière organique des détritiques, laquelle dépend de l'intensité de l'upwelling.

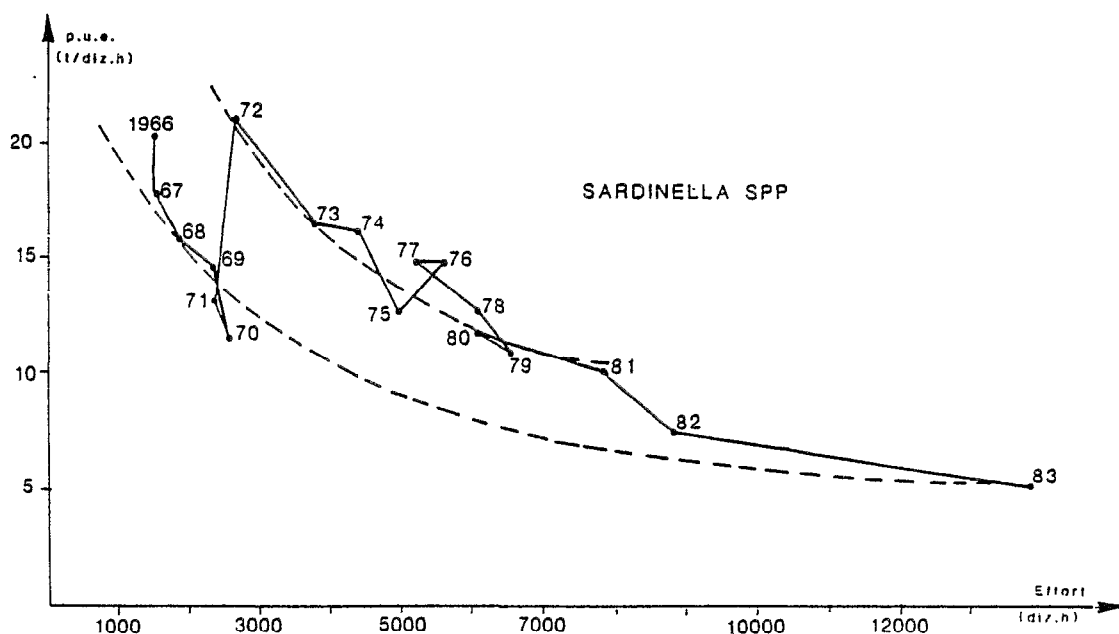
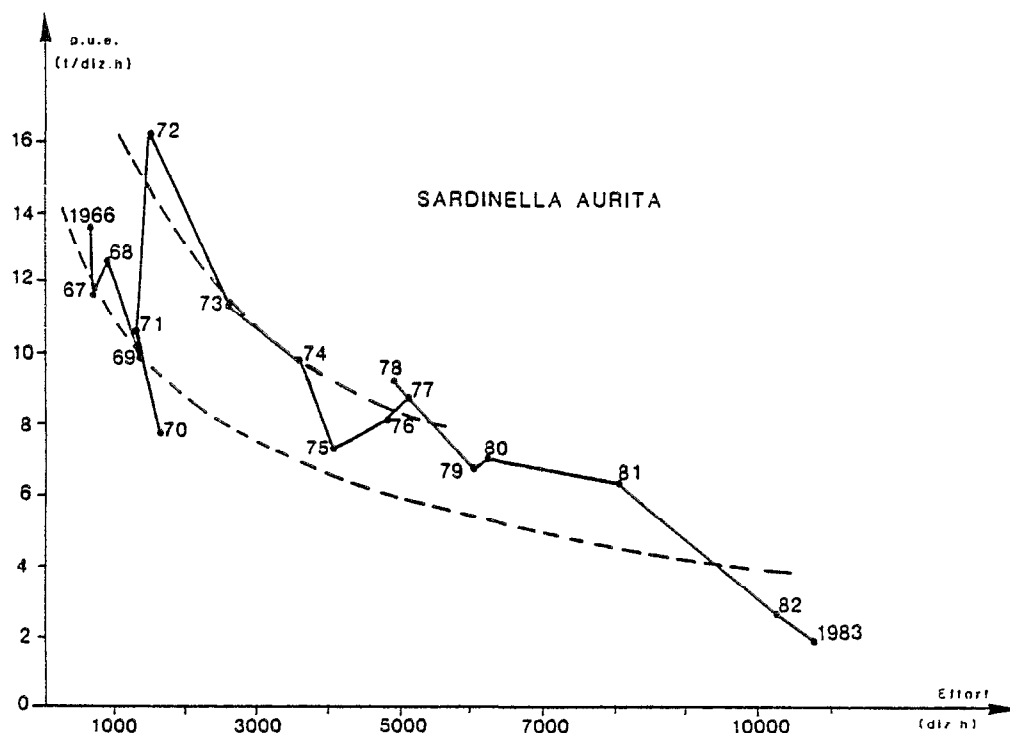


Fig- 57- RELATION APPARENTE ENTRE L'EFFORT DE PECHE ET LES RENDEMENTS (p.u.e.)
SUR LA PETITE COTE DU SENEGAL ENTRE 1966 ET 1983 POUR LES SARDINELLES

Lorsque l'on met en parallèle la relation entre p.u.e. et effort (pour Sardinella aurita et 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 1983, on peut délimiter deux périodes de faibles valeurs (1966 à 1971 et 1978 à 1983) encadrant une période de fortes valeurs (fig: 8).

En raison de l'existence d'un certain degré de corrélation ($r = 0,57$) entre l'intensité des vents de 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 en cours, ou si la saison précédente a également une influence, celle-ci étant prévisible du fait que la majorité des individus capturés sont âgés de 8 à 18 mois (tabl. 24). Une hypothèse générale semble toutefois se dégager : une saison d'alizés prolongée entraîne la même année une saison de pêche étendue (année (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 (année 74 et 80) ; en revanche, il semble que les faibles vents de la saison d'alizés précédente puissent en être la cause. Nous verrons que l'analyse statistique des données apporte peu d'éclairage sur ce point.

	Année	p.u.e. _i	f _i	f _{i-1}	\bar{V}_i	\bar{V}_{i-1}	V _i
Année	+ 1.0						
p.u.e. _i	- .78	+ 1.0					
f _i	+ .93	- .85	+ 1.0				
f _{i-1}	+ .93	- .84	+ .96	+ 1.0			
\bar{V}_i	+ .18	+ .23	+ .01	- .06	+ 1.0		
\bar{V}_{i-1}	+ .32	- .11	+ .21	+ .26	+ .77	+ 1.0	
V _i	+ .11	+ .32	- .07	- .01	+ .95	+ .55	+ 1.0
V _{i-1}	+ .26	+ .01	+ .13	+ .17	+ .81	+ .95	+ .58

Tabl. 24 .- Extraits des matrices de corrélation, autocorrélation et cross-corrélation des variables annuelles : Année, p.u.e. (rendement de Sardinella spp), f (effort de pêche sur cette espèce) et des variables saisonnières : \bar{V} (vent moyen pondéré de deux saisons d'upwelling) et V (vent moyen de la saison d'upwelling) de 1966 à 1983 sur la Petite Côte (d.d.l.=16)

Par ailleurs, les travaux édités par SHARP (1980), ont montré que la turbulence de la couche superficielle du milieu (proportionnelle au cube du vent) et le transport d'Ekman vers le large, pouvaient avoir un effet dépressif sur la survie larvaire. Les individus capturés sont âgés de huit mois à un an et demi en majorité et la reproduction des deux espèces a lieu essentiellement durant la saison chaude. Aussi, dans nos premières modélisa-

tions [14], avons-nous introduit l'intensité moyenne du vent durant les mois de juin et octobre-novembre de l'année précédant les captures 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). Cette approche a permis de confirmer l'action positive des alizés de la saison froide sur la production, comme nous le verrons, mais l'effet négatif des vents en saison chaude, s'il paraît probable, n'a pu être prouvé statistiquement sur les données étudiées.

V. 3.4.2. Rendements mensuels de Sardinella aurita

Données utilisées

Pour cette espèce, on a réparti les prises en deux groupes d'âges : celui des adultes et celui des jeunes (juvéniles + jeunes reproducteurs). Cette répartition a été réalisée à partir des structures démographiques par séparation de part et d'autre de 25,9 cm (méthode du "hachoir"). Une décomposition plus fine par classe modale (programme NORMSEP par exemple) n'apporterait ici qu'un gain minime, compte tenu du faible taux de recouvrement des tailles des deux groupes qui nous intéressent (à l'exception de 1983-84). Nous avons vu que cette structure particulière était liée à l'émigration d'une classe d'âge, mais n'empêchait pas de très forts recouvrements des autres classes d'âge, de part et d'autre de ces hiatus. Ces structures démographiques des captures des artisans ne sont disponibles que pour quelques années (tabl. 17). On voit que la part des adultes dans ces captures est en moyenne deux fois plus faible que celle des sardiniers. Bien que cette proportion soit variable d'une année à l'autre, on a estimé la part des adultes dans les captures des piroguiers, pour les années où l'échantillonnage n'était pas réalisé, en appliquant la moitié du pourcentage observé chez les sardiniers. Cette estimation ne sera utilisée que pour les modèles de production développés postérieurement. Dans l'immédiat, notre analyse ne porte que sur les p.u.e. mensuelles des sardiniers.

Jeunes individus

REBERT (1979) avait tenté sans succès de relier les anomalies mensuelles de p.u.e. des sardinelles rondes sur la Petite Côte aux anomalies d'intensité des vents dans la région (composante nord-sud). Aucune relation n'avait pu être mise en évidence avec les données de vent disponibles sur la côte sénégalaise, même en introduisant un déphasage de quelques mois entre les deux séries.

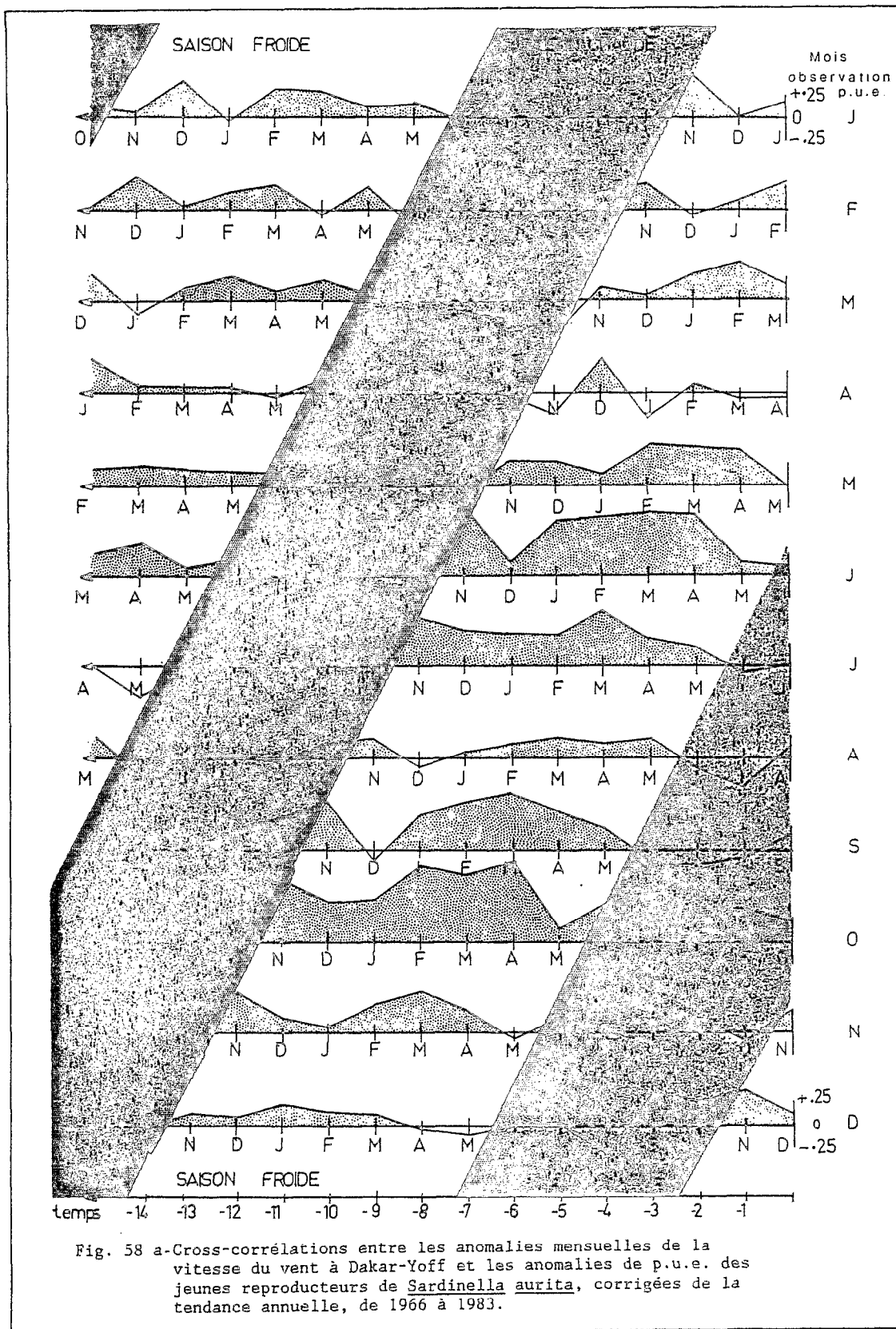
Nous avons repris cette étude avec maintenant davantage de données et en y apportant quelques aménagements. Les anomalies du vent moyen mensuel à Dakar-Yoff ont été ici utilisées, ainsi que la température de surface à Thiaroye. Les anomalies mensuelles de p.u.e. des jeunes reproducteurs de 1966 à 1983 ont été corrigées de leur tendance à la baisse à partir du calcul de la droite de régression linéaire entre les anomalies et les millésimes des années, suivant en cela REBERT (1979) (une correction réalisée à partir de l'effort de pêche aurait eu sensiblement le même effet).

Lorsque l'on considère tous les couples de valeurs disponibles (203), on constate que les anomalies mensuelles de p.u.e. des jeunes individus ne semblent pas reliées aux anomalies de température du même mois ni du mois antérieur ($r=-0,06$ et $-0,15$ respectivement). Il en est de même pour les anomalies du vent ($r=0,10$ dans les deux cas). Ceci indique que l'effet de ces deux variables ne semble pas jouer sur la capturabilité. D'autres coefficients de la table de cross-corrélation (tabl. 25) sont plus délicats à interpréter car ils sont proches de la valeur significative au seuil de 95% (soit $r=0,254$). On rappellera ici les limites de telles analyses : les variables ne représentent pas toujours une distribution normale (le coefficient de kurtosis des anomalies de p.u.e. est égal à 2,37) et l'augmentation du nombre de coefficients examinés accroît la probabilité d'en rencontrer un significatif par simple hasard. On ne considérera donc pas comme thaumaturgique la méthode employée (BLANC et LAUREC, 1976). Les résultats présentés ici n'ont d'autre prétention que d'émettre certaines hypothèses. Ces réserves étant faites, on constate que tous les coefficients de corrélation concernant les anomalies de vent des 5 mois précédant les captures sont de signe positif, et que celles antérieures de 2 à 4 mois et de 7 à 8 mois procurent des coefficients supérieurs à 0,2. On notera par ailleurs que les séries de p.u.e. et de vent sont fortement autocorrélées, et ceci à plus d'un an d'intervalle pour ces dernières, ce qui complique l'interprétation. Par ailleurs, les anomalies de p.u.e. des jeunes sont inversement corrélées à celles des adultes ($r = -0,26$), ce qui s'explique facilement par un report de l'effort de pêche vers l'une ou l'autre de ces "cohortes cibles", selon leur abondance respective.

	p.u.e. J_i	p.u.e. A_i	T_i	T_{i-1}	V_i	V_{i-1}	V_{i-2}	V_{i-3}	V_{i-4}	V_{i-5}
p.u.e. J_i	+1.0									
p.u.e. A_i	-0.26	+1.0								
T_i	-0.05	-0.10	+1.0							
T_{i-1}	-0.15	-0.08	+0.60	+1.0						
V_i	+0.10	-0.06	-0.33	-0.25	+1.0					
V_{i-1}	+0.10	-0.01	-0.31	-0.34	+0.54	+1.0				
V_{i-2}	+0.25	-0.03	-0.24	-0.30	+0.45	+0.54	+1.0			
V_{i-3}	+0.21	-0.04	-0.25	-0.25	+0.38	+0.45	+0.55	+1.0		
V_{i-4}	+0.28	-0.03	-0.25	-0.25	+0.30	+0.37	+0.45	+0.53	+1.0	
V_{i-5}	+0.14	+0.02	-0.21	-0.25	+0.33	+0.30	+0.37	+0.45	+0.52	+1.0
V_{i-6}	+0.18	-0.05	-0.23	-0.20	+0.27	+0.33	+0.29	+0.36	+0.45	+0.51
V_{i-7}	+0.23	-0.04	-0.27	-0.22	+0.32	+0.27	+0.32	+0.29	+0.36	+0.45
V_{i-8}	+0.24	-0.03	-0.17	-0.26	+0.31	+0.32	+0.26	+0.32	+0.29	+0.35
V_{i-9}	+0.16	-0.03	-0.17	-0.17	+0.34	+0.31	+0.31	+0.26	+0.31	+0.29
V_{i-10}	+0.14	+0.07	-0.14	-0.17	+0.27	+0.34	+0.31	+0.31	+0.26	+0.31
V_{i-11}	+0.13	+0.01	-0.11	-0.13	+0.36	+0.27	+0.34	+0.31	+0.30	+0.26
V_{i-12}	+0.12	+0.03	-0.11	-0.11	+0.33	+0.36	+0.27	+0.34	+0.31	+0.30
V_{i-13}	+0.11	+0.04	-0.07	-0.11	+0.36	+0.33	+0.36	+0.27	+0.34	+0.31
V_{i-14}	+0.06	+0.01	-0.10	-0.06	+0.35	+0.36	+0.33	+0.36	+0.27	+0.34
V_{i-15}	+0.15	-0.06	-0.10	-0.09	+0.27	+0.34	+0.36	+0.32	+0.36	+0.26

d.d.l. = 201

Tabl. 25 - Extraits des matrices de corrélation, autocorrélation et cross-corrélation des variables mensuelles : p.u.e. J (anomalies de rendements des jeunes *S. aurita* corrigées de la tendance pluriannuelle), p.u.e.G (anomalies de rendement des *S. aurita* adultes, T (température de surface à Thiaryo) et V (vents moyens à Dakar-Yoff) de 1966 à 1983 (les indices i sont exprimés en mois).



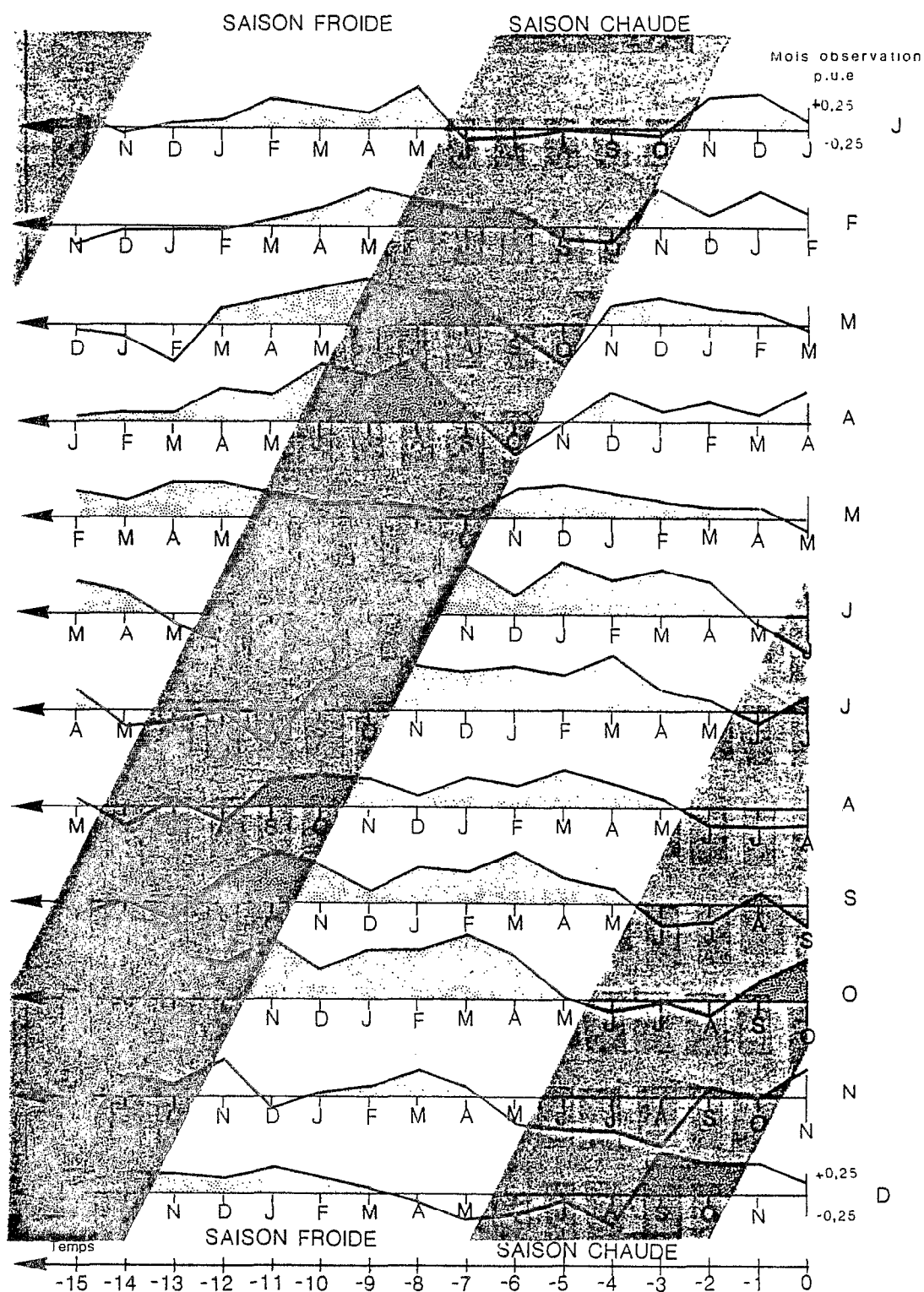


Fig. 58 b-Cross-corrélations entre les anomalies mensuelles de la vitesse du vent à Dakar-Yoff et les anomalies de p.u.e. des jeunes reproducteurs de *Sardinella* spp., corrigées de la tendance annuelle, de 1966 à 1983.

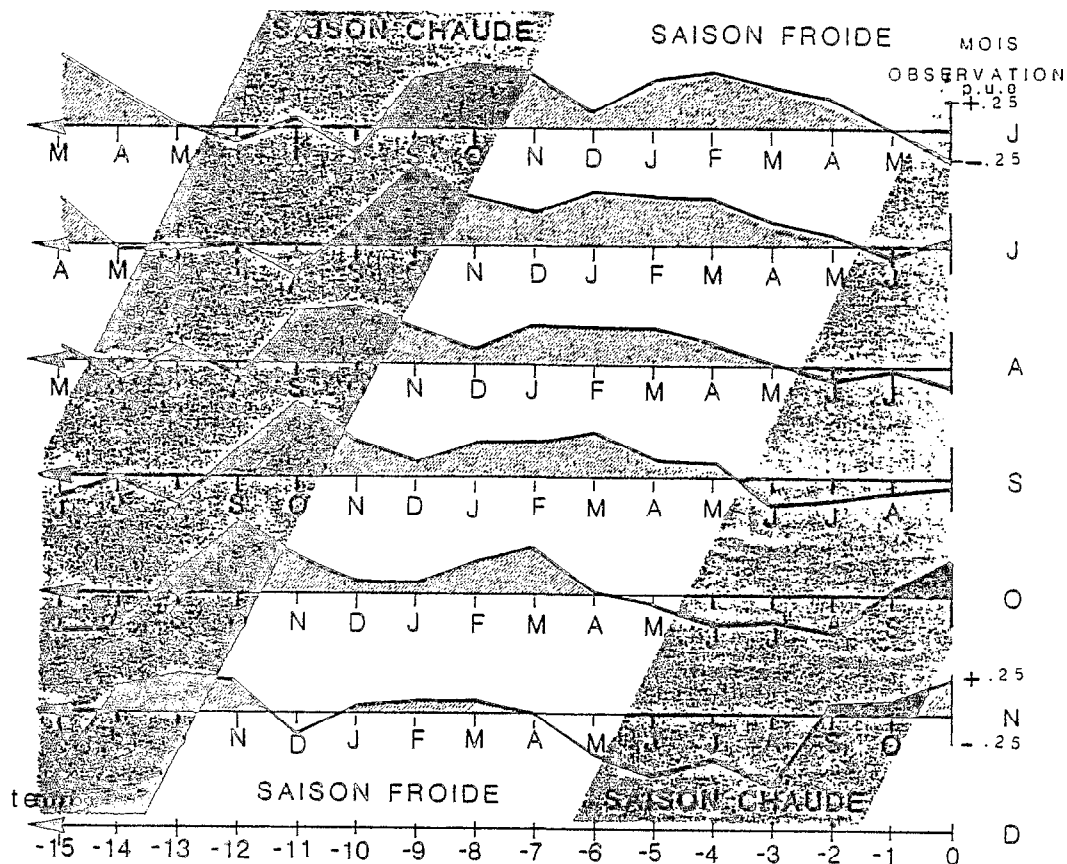


Fig. 58 c-Cross-corrélations entre les anomalies mensuelles de la vitesse du vent à Dakar-Yoff et les anomalies de p.u.e. des jeunes reproducteurs de *Sardinella maderensis*, corrigées de la tendance annuelle, de 1966 à 1983.

Afin de mieux étudier les variations saisonnières des relations précédentes, on a calculé les cross-corrélations mois par mois pour les 18 années d'observation (fig. 58a). On devra être ici encore plus prudent que précédemment dans l'interprétation des résultats car le nombre de degrés de liberté (d.d.l.) est faible (15 ou 16) et le nombre de corrélations étudiées est considérable (180). Les résultats semblent cependant cohérents et sont en accord avec les hypothèses émises. Bien qu'en saison froide les changements de cohorte cible masquent les phénomènes, on voit que les vents au cours de la saison d'upwelling semblent retentir sur les p.u.e., avec 2 à 4 mois de décalage en saison froide, ce décalage augmentant nécessairement en saison chaude où l'upwelling est inexistant. Ceci montre la difficulté de mettre en évidence l'effet de ce dernier par des modèles multivariés et auto-régressifs simples, prenant en compte un décalage temporel constant entre les variables.

L'effet de l'upwelling à plus long terme -qui pourrait agir soit par l'intermédiaire de la fécondité du stock parental, soit par un effet sur la survie larvaire- est moins évident à déceler. Des relations à 10-15 mois d'intervalle semblent se dessiner, mais il n'est pas certain qu'il ne s'agisse pas que d'un effet lié à l'autocorrélation existant dans les séries de vent. Par ailleurs, cet effet se manifesterait parfois pour des

vents de saison chaude, ce qui est paradoxal, sauf si l'on songe à des incursions des alizées à cette époque ou à l'action des tornades (cf chapitre II). Quant à l'effet négatif du vent au cours des périodes suivant les pontes, il serait hasardeux de le reconnaître dans les quelques coefficients négatifs observés.

Individus adultes

Les p.u.e. des individus adultes sur la Petite Côte sont plus difficiles à analyser car elles peuvent théoriquement varier en fonction de nombreux facteurs :

- pression de pêche exercée sur la totalité du sous-stock d'adultes sur l'ensemble de la région sénégalomauritanienne,
- pression de pêche exercée sur l'ensemble des sous-stocks de jeunes individus,
- variation du recrutement dans les différentes nurseries,
- variation de la capturabilité de ces adultes sur la Petite Côte.

Cette capturabilité dépendra elle même de plusieurs facteurs dont les deux principaux sont sans doute :

- l'abondance des jeunes reproducteurs (changement de cohorte cible)
- les facteurs climatiques agissant sur la disponibilité des adultes.

C'est uniquement l'effet de ces derniers facteurs que l'on cherchera à mettre en évidence, ne pouvant espérer déceler l'influence des autres à partir des données partielles dont nous disposons (la figure 34b montre en particulier qu'il n'y a pas de relation apparente entre les p.u.e. des jeunes et celles des adultes un à quatre ans plus tard, pas plus qu'avec les indices d'upwelling saisonniers). Les variables climatiques pouvant agir sur la disponibilité peuvent être liées soit à des conditions locales au moment de la capture, soit à des conditions extérieures à la Petite Côte quelques mois auparavant. Ainsi, on peut s'attendre à ce que la situation climatique, au nord de la région et en début de saison froide, influence la date ou l'importance de la migration (une partie variable du sous-stock étant probablement plus sédentaire). De même, les conditions climatiques au sud de la région, en Casamance et en Guinée Bissau, pourraient retenir plus ou moins longtemps les adultes (il ne semble pas exister là de fraction sédentaire du sous-stock d'adultes). On ne dispose malheureusement pas de longues séries d'indices climatiques pour cette dernière région.

Les mêmes anomalies de températures et de vent utilisées précédemment pour les jeunes de la Petite Côte ont été employées, en ne retenant ici que le mois en cours et le mois antérieur. De plus, on a utilisé les valeurs mensuelles de transport d'Ekman calculées par ARFI (1986) pour le nord de la Mauritanie au cours des 5 mois précédant les captures.

Contrairement à celles des jeunes individus, les p.u.e. des adultes ne présentent pas de tendance à la baisse sur notre période d'observation. On a donc utilisé ici les données brutes d'anomalies mensuelles.

Il avait déjà été remarqué (BOELY, 1980 ; [1;2]) que les dates de descente ou de remontée du sous-stock d'adultes pouvaient être plus ou moins tardives ou précoces en fonction de la température de l'eau sur la Petite Côte à la même période (année 1966, 1967, 1968 et 1973). Cette relation ne se vérifie pas toutes les années où les anomalies de température sont élevées, et les coefficients de corrélation entre anomalies de vent et de température restent faibles (tabl. 24 et 25). Pour être pertinente, l'étude des adultes doit porter sur les mois de saison froide durant lesquels ils sont les plus abondants. On peut alors espérer que les effets de changement de cohorte cible seront réduits. C'est ce qu'indique le tableau 26 où l'on voit que les coefficients de corrélation entre les anomalies de p.u.e. des deux groupes sont faibles au cours des mois de janvier et février. En gardant à l'esprit les limites d'une telle analyse, on note que l'influence de la température et du vent local ne semble pas prépondérante sur les p.u.e. au cours de ces mois là, mais qu'en revanche les anomalies du transport d'Ekman en Mauritanie deux ou trois mois auparavant pourraient expliquer une partie des variations de ces p.u.e.. Les coefficients de corrélation étant négatifs, ceci donne à penser que le déclenchement de la migration de la Mauritanie vers le Sénégal serait lié à la baisse de l'upwelling mauritanien. Nous avons vu que dans la région, l'upwelling n'était pas uniforme tout au long de la côte mais formait des cellules (chapitre II). Il est vraisemblable que, selon l'importance et la durée d'activité de ces cellules, les sardinelles migrent plus ou moins vite vers le sud. Une étude des séries d'images fournies par les canaux infra-rouge du satellite Météosat pourrait permettre de mieux étudier ce phénomène sur l'ensemble de la région.

MOIS	Temp. Petite Côte	Vent Petite Côte	Upw. Maurit.	Upw. Maurit. mois i-1	Upw. Maurit. mois i-2	Upw. Maurit. mois i-3	Upw. Maurit. mois i-4	p.u.e. jeunes mois i
I	-.21	-.06	-.10	-.22	-.29	-.31	-.02	-.14
II	-.18	-.24	-.17	+.06	-.42	-.63	-.31	-.08
III	-.25	-.17	-.20	+.16	+.03	-.18	-.15	-.41
IV	-.23	-.14	+.08	-.02	+.49	-.05	-.16	-.36
V	-.13	+.23	-.18	-.39	+.06	+.38	-.07	-.53
I à V	-.10	-.09	-.02	-.06	-.02	-.20	-.15	-.30

d.d.l. = 15 à 16

Tabl.- 26 Coefficients de corrélation entre les anomalies mensuelles de p.u.e. des Sardinella aurita adultes sur la Petite Côte et, d'une part les anomalies mensuelles de diverses variables climatiques en saison froide de 1966 à 1982, d'autre part les p.u.e. des jeunes individus au cours de la même période (voir texte).

V. 3.4.3. Rendements mensuels de Sardinella spp. et de Sardinella maderensis

Si l'on applique aux jeunes reproducteurs des deux espèces confondues le même type d'analyse des fonctions de cross-corrélation des anomalies de p.u.e. et de vent que celui appliqué pour S. aurita, on retrouve des résultats similaires (fig. 58b). On notera cependant que l'on obtient ici des corrélations positives élevées entre les p.u.e. de saison chaude (où S. maderensis est abondante) et la vitesse des vents au cours de la saison chaude de l'année précédente.

La même analyse appliquée à S. maderensis seulement confirme qu'il s'agit bien d'un effet lié à cette espèce, et non d'une interaction entre les p.u.e. des deux espèces (fig. 58c). On observe en effet des corrélations significatives en octobre ($r > 0,5$) au cours des 5 mois de forte abondance des sardinelles plates.

Ce résultat peu paraître surprenant dans la mesure où l'on se trouve alors en dehors de la période habituelle d'upwelling. Il faut donc supposer, soit que le vent joue également un rôle dans l'eutrophisation en fin de saison chaude -comme l'indique TEISSON (1982)- soit que la vitesse du vent est corrélée à une autre variable explicative. Dans la première hypothèse, cela signifierait aussi que le recrutement des sardinelles plates répond à la richesse du milieu avec un délais plus long que pour les sardinelles rondes. Les premiers stades du cycle de vie seraient donc ici sensibles aux variations climatiques. Des études plus approfondies sont nécessaires à la confirmation de cette hypothèse.

V. 3.4.4. Conclusion sur les anomalies de rendements

Il est très vraisemblable que l'intensité de l'upwelling sur la Petite Côte agisse sur l'abondance des jeunes sardinelles dans les quelques mois qui suivent, ce qui peut s'expliquer par une diminution de la mortalité, et éventuellement par une action sur la croissance et sur le facteur de condition (on ne dispose pas de données pour le vérifier). L'action de l'upwelling à plus long terme (reproduction, survie des stades jeunes) n'est pas à exclure mais elle est plus difficile à mettre en évidence. L'influence du climat sur la capturabilité des jeunes ne semble pas prépondérante.

Pour les Sardinella aurita adultes, les rendements des sardiniers dakarois semblent au contraire dépendre d'une action de l'upwelling mauritanien sur leur disponibilité. Le cas de Sardinella maderensis prise isolément n'a pas été envisagé du fait que cette espèce constitue rarement la cible des sardiniers, si ce n'est lorsque les sardinelles rondes ne sont pas abondantes dans la zone de pêche.

ANS	PRISES PAR UNITE D'EFFORT STANTARDEISE						PRISES PAR			EFFORT TOTAL STANDARD.	INDICE UPWELLING <u>CI + Gh.</u> 2	DEBITS FLEUVES Bandama, Comoe
	Pirogues Gh.		Senneurs				Z.E.E.					
	Poli/All	Sennes plage	Ivoiriens en C.I.	Ivoiriens au Gh.	Ghanéens au Gh.	moyenne pondérée	Côte d'Ivoire	Ghana + Togo	Total			
63.	-	-	-	-	-	-	-	-	8 000	-	24.3	1 056
64	-	-	-	-	-	-	-	-	40 300	-	32.5	758
65	-	-	-	-	-	-	-	-	8 200	-	19.8	840
66	-	-	6.37	8.73	-	8.37	1 800	13 500	15 300	1 820	19.2	627
67	-	-	6.70	14.50	-	13.73	2 100	41 600	43 700	3 180	38.9	424
68	-	-	3.67	6.17	-	5.63	1 200	7 400	8 600	1 530	8.0	1 091
69	-	-	8.64	6.04	2.38	4.39	2 300	26 900	29 200	6 660	26.0	499
70	-	-	4.54	5.56	3.43	4.50	1 700	28 700	30 400	6 750	19.7	548
71	-	-	2.81	3.33	2.48	3.85*	1 100	35 000	36 100	9 370*	27.4	364
72	19.71	2.38	17.06	7.45	7.97	7.96	5 600	89 800	95 400	11 980	24.2	176
73	0.84	1.41	0.81	0	0.42	0.43	200	5 300	5 500	12 880	17.1	256
74	0.50	0.47	1.40	Arrêt	0.35	0.39	270	1 670	1 940	4 960	22.3	370
75	0.33	0.24	0.06	de la	0.18	0.18	10	2 060	2 070	11 620	26.5	335
76	4.18	3.30	9.94	pêche	2.16	2.34	1 500	14 000	15 500	6 610	28.8	197
77	1.34	7.32	4.86	1.65	7.08	4.40	900	16 200	17 100	3 880	24.9	266
78	9.02	10.86	10.37	11.93	12.64	12.20	2 000	49 000	51 000	4 180	32.1	124
79	0.67	0.47	1.84	Arrêt	4.33	4.13	400	12 900	13 300	3 220	8.4	511
80	4.68	0.71	8.10	de	5.92	6.05	1 800	22 000	23 800	3 930	17.1	242
81	-	-	44.28	la	-	-	8 800	15 000	23 800	-	-	-
82	-	-	58.54	pêche	-	-	10 700	21 000	31 700	-	-	-

Gh. = Ghana ; C.I. = Côte d'Ivoire

Tableau 27: Statistiques de pêche du stock ivoiro-ghanéen de *Sardinella aurita* (données du Togo disponibles à partir de 1976, négligeables avant) indice d'upwelling et débit des fleuves.

* données estimées par interpolation de l'effort de pêche entre 1970 et 1972

- données non disponibles.

Sources : COPACE 1982 ; BINET 1982 ; CURY com. pers.

V. 3.5. Etude du stock ivoiro-ghanéen de *Sardinella aurita*

Il s'agit d'un stock de sardinelles exploité principalement par les pêcheurs artisans du Ghana dans les eaux territoriales (63 % des captures totales de 1963 à 1982). L'exploitation par les flottilles semi-industrielles ghanéennes et ivoiriennes (18 % et 17 % des captures respectivement) s'effectue sur le plateau continental ghanéen pour les premières, et sur le plateau continental ivoirien, et certaines années ghanéen, pour les secondes (tabl. 27). Accessoirement les artisans du Togo (statistiques disponibles depuis 1976) et de la Côte d'Ivoire exploitent également ce stock. Les captures artisanales ivoiriennes, dont les statistiques sont en cours de traitement, étaient probablement négligeables pour cette espèce avant 1980 (ECOUTIN, comm. pers.). Les grands traits de la biologie de l'espèce sont connus, et l'on dispose de séries d'indices d'abondance fournis par les différents engins de pêche, qui malheureusement sont souvent incomplètes (ORSTOM, 1976) ; [COPACE, 1980b], COPACE, 1982 ; CURY, comm. pers.).

Ces différents indices d'abondance présentent la même évolution générale caractérisée par une très forte instabilité, avec cependant de fortes divergences certaines années (tabl. 27). Les données de pêche piroguière sont jugées moins représentatives de l'abondance, compte tenu de l'évolution des engins et des embarcations (motorisation, passage du filet Poli au filet Ali). On a retenu un indice moyen calculé uniquement à partir des senneurs des deux pays, après standardisation par rapport aux rendements des senneurs ivoiriens lors de leur pêche au Ghana (où les rendements saisonniers étaient environ dix fois supérieurs aux rendements moyens annuels en Côte d'Ivoire, jusqu'à ce que la pêche y soit interdite en 1979). L'effort total a été estimé en divisant la prise totale par cette p.u.e. moyenne. On voit que cet effort théorique, en dépit de son mode de calcul, est généralement proportionnel à l'abondance, ce qui traduit les facultés de réponse rapide des pêcheurs, artisans en particulier, aux fluctuations de la ressource. On relèvera cependant des exceptions notoires, plus précisément en 1970 et ensuite lors de l'effondrement du stock. Au cours de cette dernière période, l'indice d'abondance est probablement sous-estimé en raison du report de l'effort de pêche vers d'autres espèces (*S. maderensis* en particulier). Cette période n'étant pas prise en compte dans les modèles de production qui vont suivre, nous n'avons pas jugé utile d'effectuer une correction. En revanche, pour 1970, nous avons estimé l'effort théorique par interpolation, n'étant pas en mesure d'expliquer rationnellement pourquoi l'effort aurait augmenté alors que l'abondance était probablement faible. Les données postérieures à 1980 ne sont pas toutes disponibles en ce qui concerne le Ghana. En Côte d'Ivoire les données provisoires de p.u.e. ont augmenté de façon spectaculaire à partir de 1981. En l'absence de plus d'informations sur la représentativité de ces données et sur la pêche Ghanéenne, on en est réduit à des hypothèses pour expliquer ce phénomène (biais dans les données, explosion démographique, déplacement du centre de gravité du stock du Ghana vers la Côte d'Ivoire).

Les travaux précédemment cités ont montré que les p.u.e. étaient corrélées à l'intensité de l'upwelling, probablement par un double mécanisme d'action sur l'enrichissement du milieu et sur la capturabilité. L'indice d'upwelling retenu est le produit du nombre de quinzaines où la température de sub-surface est inférieure à 26°C, par l'écart moyen de ces températures à

25°C; ces températures sont mesurées au niveau de deux stations côtières : Abidjan et Tema (ORSTOM, 1976). BINET (1982) montre également une corrélation négative entre les captures et le débit des fleuves de la région, qu'il interprète par une action favorable de la sécheresse sur la disponibilité, qui prévaudrait sur une augmentation de la production secondaire liée aux apports continentaux. GULLAND et GARCIA (1984) font la synthèse de ces résultats en terme de dynamique du stock.

V. 3.6. Conclusions

Ces quelques exemples montrent que les stocks pélagiques côtiers de la région sont très sensibles aux variations de l'environnement. On trouvera d'autres exemples résumés par DICKIE (1973) et plus récemment par BELVEZE (1984) pour les grandes régions du monde bénéficiant d'un upwelling côtier. Cependant, on est rarement capable de comprendre le mécanisme exact de la réaction que présentent les stocks. S'il est clair que le renforcement des alizés provoque une remontée d'eau froide et riche en sels nutritifs, on ignore souvent si c'est le refroidissement du milieu ou son enrichissement qui bouleverse l'écosystème, pour quelles raisons certaines espèces y sont plus sensibles que d'autres, et quel niveau de leur écophase est le plus sensible à ces changements, comme le soulignait déjà DICKIE (1973). On ne dispose souvent que de la température de surface pour caractériser les modifications de l'hydroclimat in situ. Cela explique probablement pourquoi on interprète trop souvent les réactions des stocks aux changements de l'environnement en terme de preferendum thermique, alors que la température n'est peut-être que l'indicateur de phénomènes plus complexes et probablement différents d'une espèce ou d'une région à l'autre.

Dans le cas de l'Atlantique centre-est, on a pensé que le refroidissement des eaux lié à l'intensification de l'upwelling avait entraîné un glissement général des écosystèmes en direction du sud, provoquant l'apparition des sardines, espèce d'eau tempérée, dans la zone C. En fait, nous avons vu pourquoi la variabilité interannuelle des températures moyennes de saison froide était faible dans cette zone, en dépit des fluctuations des vents (paragraphe II.5.1.), contrairement à ce que l'on observe au Sénégal. C'est ce que confirment les quelques données de température de surface dont on dispose dans la zone C, qui sont de l'ordre de 16° à 17° en saison froide et dont les anomalies augmentent au fur et à mesure que l'on descend vers le sud, sans toutefois dépasser une amplitude de 1,5° au nord du cap Blanc (MAC LAIN, in : BELVEZE, 1984). Ces températures étant restées toujours très proches du preferendum thermique des sardines, elles ne suffisent probablement pas à expliquer à elles seules l'explosion démographique de cette espèce en zone C.

Si l'on retient comme explication à ce phénomène l'enrichissement lié à l'augmentation du transport d'Ekman, il reste à savoir plus précisément quel est le stade de développement qui est le plus sensible à ce changement. Par ailleurs, on peut se demander pourquoi les sardinelles n'ont pas bénéficié de cet enrichissement, alors qu'elles occupaient déjà le terrain et que leur régime alimentaire serait, d'après NIELAND (1982), très proche de celui des sardines et tout aussi opportuniste.

On en est réduit à des hypothèses pour répondre à ces questions, bien que les travaux déjà mentionnés semblent indiquer

que les sardines aient bénéficié à la fois d'un fort recrutement, d'une croissance plus importante, d'une meilleure survie et d'un taux de reproduction plus élevé. Hormis l'augmentation de la production planctonique, une caractéristique de l'intensification de l'upwelling est l'augmentation du courant de surface portant vers le large, et ceci nous conduit à émettre deux hypothèses, pas nécessairement exclusives, pour expliquer la différence de réponse des stocks de sardinelles et de sardines aux changements hydroclimatiques.

La première hypothèse est de considérer que les larves de sardines présenteraient une plus grande résistance à l'entraînement vers le large, soit en raison d'un développement plus rapide, soit du fait que les sardines sont capables d'assurer avec succès leur reproduction par des pontes en période d'upwelling fort (BARKOVA et DOMANEVSKY, 1985) alors que nous avons vu que les sardinelles pondent essentiellement en-dehors de ces périodes.

La seconde hypothèse se base sur le fait que, lors d'upwelling très intense, la production de phytoplancton est jeune et dérive rapidement vers le large (HERBLAND et al., 1973). Ceci explique probablement les différences saisonnières et inter-annuelles de répartition du stock de sardines, qui se situe d'autant plus vers le large que l'upwelling est intense, comme le remarquent BARKOVA et DOMANEVSKY (1985), bien que ces auteurs rattachent encore une fois ce comportement aux variations de température de l'eau. Nous avons vu que les sardines sont capables d'adapter leur système de filtration aux exigences du milieu (ANDREU, 1969). En particulier dans les régions d'upwelling, on note que le nombre de branchiospines augmente, et les caractéristiques des sardines capturées au Sénégal en témoignent (fig. 56). Bien que l'on observe un type d'adaptation comparable chez les deux espèces de sardinelles (BOELÝ, 1980; GHENO et FONTANA, 1981), il est possible que celles-ci ne soient pas capables de s'adapter aussi facilement que les sardines à une forte production de phytoplancton, soit en raison de leur système de filtration, soit en raison de la digestibilité de celui-là, en particulier pour les individus âgés. La tendance de ces derniers à consommer des détritiques sur le fond et à fuir les zones d'upwelling très intense en migrant vers le Sénégal en saison froide, constitue la preuve d'une certaine différence de comportement alimentaire par rapport aux sardines. De plus, la composition spécifique du plancton varie peut-être en fonction de l'intensité de l'upwelling.

Quoiqu'il en soit, on ne peut actuellement retenir l'idée d'une substitution des sardinelles par les sardines au niveau de l'ensemble des stocks concernés, ni en raison de la surexploitation des sardinelles, ni en raison d'une compétition alimentaire directe, pas plus qu'en raison d'un décalage des écosystèmes vers le sud. En effet, les captures de sardines, en provenance des zones A, B et C n'ont cessé d'augmenter de 1972 (273.000 t) à 1976 (952.000 t), c'est à dire au moment de l'exploitation de la zone C (COPACE, 1985). Dans le même temps, s'il est vrai que la composition relative des captures, exprimée en pourcentage, donne l'impression d'un remplacement d'espèces lorsque l'on ne prend en compte que les pêches hauturières (GULLAND et GARCIA, 1980), on constate néanmoins que les captures totales réalisées par l'ensemble des pêcheries sur la totalité de la zone sénégal-mauritanienne montrent au contraire une relative stabilité pour les sardinelles et les chinchards (fig. 59).

Il résulte de ce qui précède que l'environnement peut influencer les rendements des pêcheries par deux mécanismes, pas nécessairement exclusifs : soit par une action sur la capturabilité lorsque les schémas de migration ou de répartition des stocks sont modifiés (cas de Sardina pilchardus dans la zone A et au Sénégal, cas du sous-stock des Sardinella aurita adultes) soit par une action sur l'abondance (cas des jeunes Sardinella aurita sur la Petite Côte du Sénégal et de Sardina pilchardus dans la zone C après la constitution du stock). Dans le cas du stock ivoiro-ghanéen, il semble que les deux mécanismes interviennent conjointement.

Ces observations nous ont conduit à proposer pour ces stocks, un nouveau type de modèle de production global, que nous allons présenter.

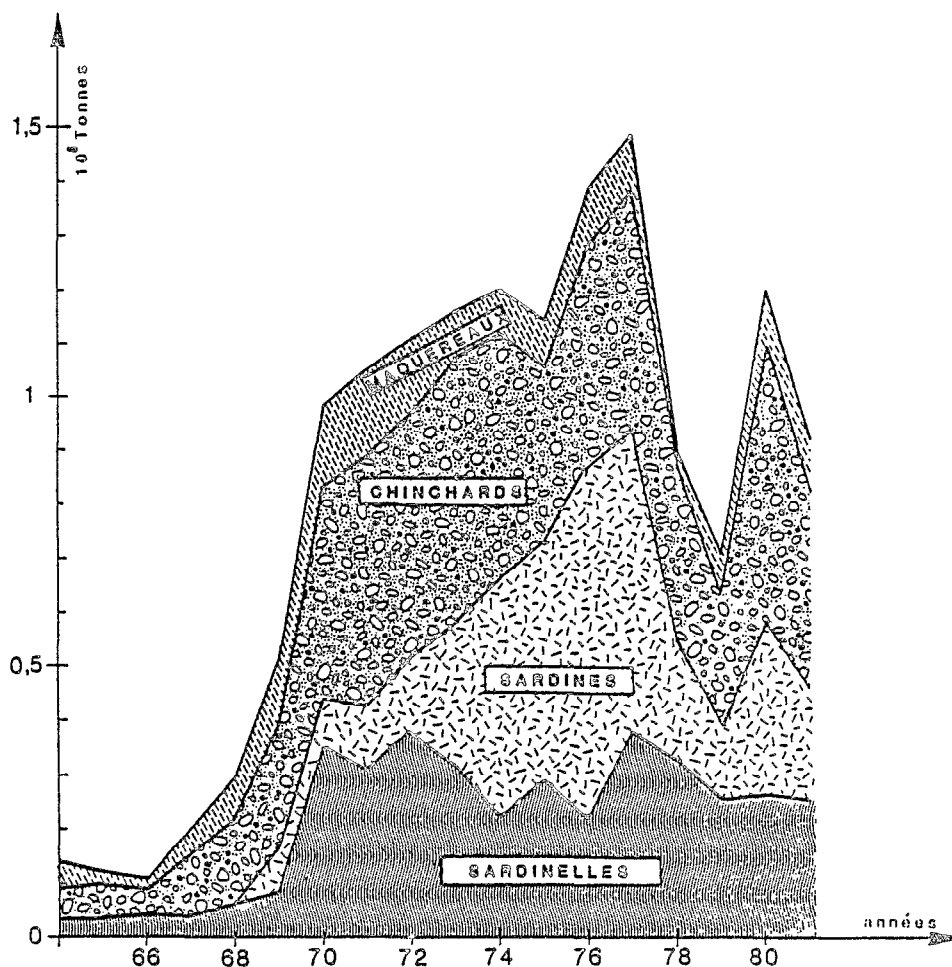


Fig-59-CAPTURES TOTALES DES PRINCIPALES ESPECES PELAGIQUES COTIERES, ENTRE 9° ET 26°N, PAR LES PECHES HAUTURIERES, SEMI-INDUSTRIELLES ET ARTISANALES, DE 1964 A 1981

Sources: COPACE (1983, 1984) et estimations

V. 4. Introduction d'une variable climatique dans les modèles globaux de production [14, 15]

V. 4.1. Définitions.

On entendra ici par variable climatique, un quelconque élément de l'environnement capable de fournir un indice mesurable, directement ou indirectement, sur un phénomène naturel influençant les rendements annuels réalisés sur un stock (exemples : température, salinité, vitesse des vents, turbidité, courants, pluviométrie, débits des fleuves, etc.). Soit V cette variable. Pour les autres composants des modèles de production, on retiendra la notation suivante, empruntée à RICKER (1975) pour l'essentiel :

- B : biomasse du stock à un instant donné
- B_i : biomasse moyenne annuelle
- B_{∞} : biomasse maximale que peut supporter l'environnement (K dans les modèles d'écologie terrestre)
- k : constante du taux d'accroissement de la biomasse (r dans les modèles d'écologie terrestre)
- t : le temps, conventionnellement exprimé en année
- F : mortalité instantanée par pêche
- f_i : effort de pêche annuel, standardisé pour être proportionnel à F_i ($F_i = qf_i$)
- Y_i : captures en poids de l'année i
- \hat{Y}_i : captures annuelles prédites par le modèle
- U_i : moyenne annuelle de la prise par unité d'effort de pêche (ou p.u.e. dans le texte).
- B_e , f_e , Y_e , et U_e : correspondent respectivement à B, f, Y et U lorsque le stock est en équilibre
- Y_{max} : production maximale équilibrée du stock
- f_{opt} : effort de pêche "optimal", permettant d'atteindre Y_{max}
- U_{opt} : prise par unité d'effort "optimale"
- ϵ : résidus d'un ajustement

V. 4.2. Relations de base retenues

Les modèles de production synthétiques linéaires sont basés sur la description de l'évolution du taux d'accroissement relatif instantané de la biomasse par la courbe logistique ; en l'absence d'exploitation :

$$\frac{dB}{dt} \frac{1}{B} = k \left(\frac{B_{\infty} - B}{B_{\infty}} \right) = k \left(1 - \frac{B}{B_{\infty}} \right) \quad (8)$$

L'effet du changement d'habitat peut être traduit de trois façons théoriques distinctes au niveau de la relation (1) : soit un effet sur k uniquement, soit sur B_{∞} uniquement, soit sur ces deux paramètres à la fois (fig. 60). Après avoir analysé en détail les avantages et inconvénients de chacune des trois méthodes, MAC CALL (1984) conclut que la dernière est la plus appropriée, particulièrement lorsque l'on retient la solution qui consiste à fixer une pente constante à la relation (8), qui peut alors s'écrire :

$$\frac{dB}{dt} \frac{1}{B} = k - hB \quad (9)$$

où k garde sa signification, h étant la pente constante du taux relatif d'accroissement instantané. Dans ces conditions, on remarquera que pour retrouver l'expression (1) on doit avoir : $h = k/B_{\infty} = \text{cte}$, et que h correspond au k_1 de SCHAEFER (1954), que cet auteur considèrerait déjà comme une constante. Si l'on considère que qfB correspond au prélèvement lié à la pêche, on obtient l'équation de base du modèle dit de SCHAEFER :

$$\frac{dB}{dt} = kB - hB^2 - qfB = hB (B_{\infty} - B) - qfB \quad (10)$$

Les phénomènes hydroclimatiques, selon cette formulation, ne peuvent intervenir qu'à deux niveaux : sur q si la capturabilité varie, ou bien sur le couple $k-B_{\infty}$ (le rapport de ces deux grandeurs étant constant), s'il s'agit de variations naturelles d'abondance. Dans ce deuxième cas, afin de faciliter l'exposé, on a généralement choisi de ne retenir que les formules faisant apparaître B_{∞} et h , et de faire varier B_{∞} en fonction de l'environnement.

On peut envisager une infinité de fonctions mathématiques reliant une variable climatique quelconque V à B_{∞} ou à la capturabilité, telles que $B_{\infty} = g(V)$ ou $q = y(V)$. Nous ne retiendrons ici que quatre types de relations, dérivées d'une seule fonction extrêmement "flexible", qui en elle-même ne sera utilisée que comme outil de calcul :

$$g(V) \text{ ou } y(V) = a + bV^c \quad (11)$$

Les quatre relations dérivées sont les cas particuliers où :

- I $a = 0$; $b \neq 0$ et $c = 1$ (soit : $g(V) = bV$)
- II $a = 0$; $b = 1$; $c \neq 0$ et $c \neq 1$ (soit : $g(V) = V^c$)
- III $a \neq 0$; $b \neq 0$ et $c = 1$ (soit : $g(V) = a + bV$)
- IV $a = 0$; $b \neq 0$ et $c \neq 1$ (soit : $g(V) = bV^c$)

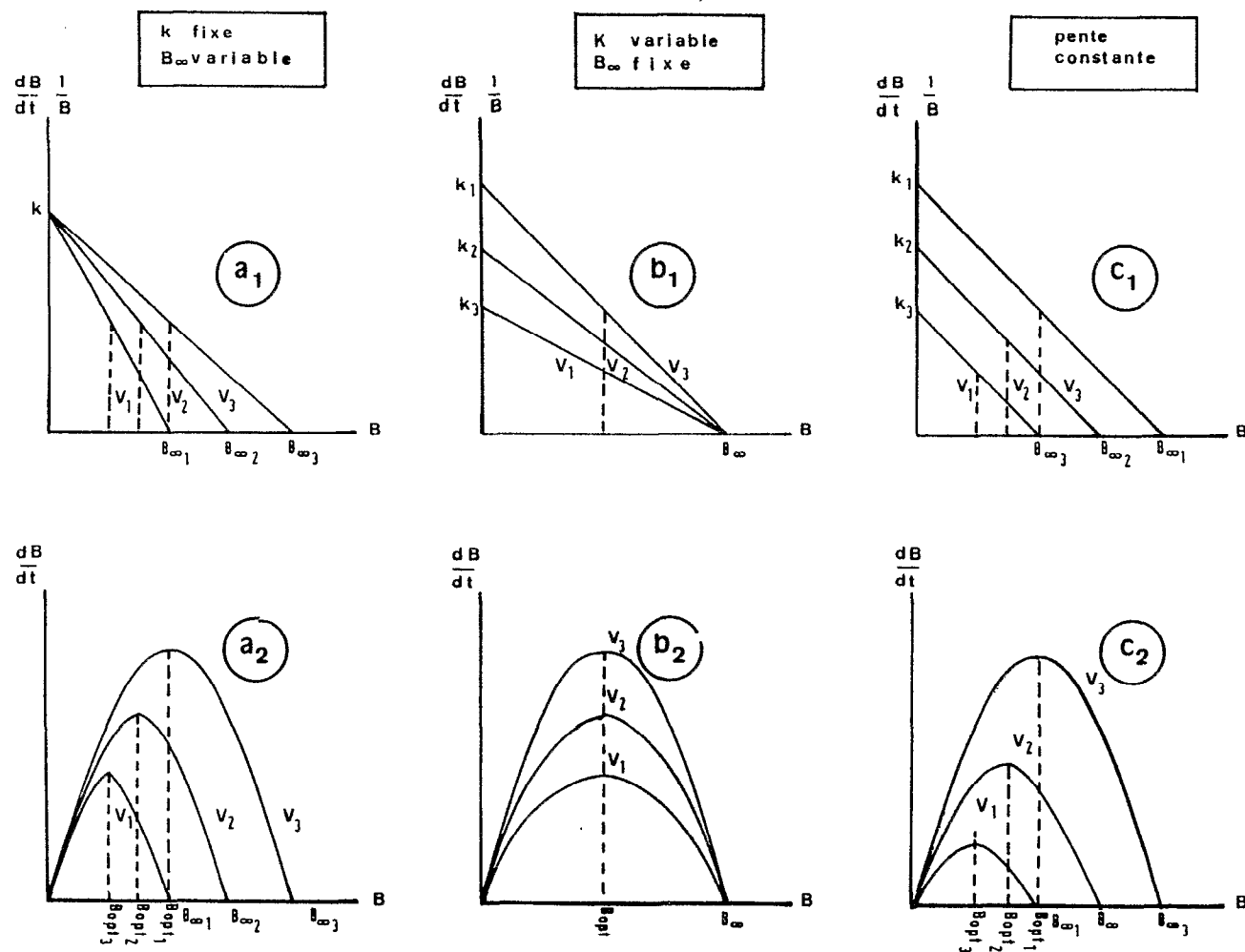
Cette dernière relation (11.IV) reste très flexible et permet de couvrir de façon satisfaisante la plupart des cas, sachant que l'on ne s'intéresse qu'au domaine où $g(V)$ est positive et monotone [15, fig. 2].

Cependant, il est des cas où $g(V)$ doit présenter un maximum dans l'intervalle d'observation, si V présente une plage optimum au-dessous et au-dessus de laquelle l'environnement est défavorable. On pourra alors utiliser par exemple la fonction parabolique :

$$g(V) = aV - bV^2 \quad (12)$$

Ces cas plus complexes ne seront envisagés que pour certains modèles.

Les valeurs des paramètres a , b et c (ou de paramètres globaux μ_i , les regroupant avec d'autres paramètres) seront déterminés par ajustement global des modèles aux données observées.



Fif. 60 - Comparaison graphique de trois types d'effets de l'environnement sur la relation entre le taux d'accroissement de la biomasse (relatif : a_1 , a_2 , a_3 , et absolu : b_1 , b_2 , b_3) et la biomasse, dans les modèles linéaires, pour 3 valeurs (V_1 , V_2 et V_3) d'une variable climatique V .

V.4.3. Phénomènes hydroclimatiques affectant l'abondance du stock

V. 4.3.1 Modèle linéaire

Le modèle de SCHAEFER suppose que, si le stock est en état d'équilibre, l'accroissement de la biomasse est nul, ce qui peut être obtenu à partir de l'équation (10) si :

$$B_e = B_\infty - \frac{q}{h} f$$

Si dans cette équation on remplace B_∞ par l'expression de la relation (11), et que l'on place le stock dans des conditions d'équilibre, non seulement avec la pêche, mais aussi avec l'environnement, on obtient (fig. 61a1) :

$$B_e = a + bV_e - \frac{q}{h} f$$

$$\text{d'où: } U_e = qB_e = aq + bqV_e - \frac{q^2}{h} f$$

si l'on suppose que la capturabilité q est constante, l'équation précédente est de la forme :

$$U_e = p_1 + p_2 V_e^{p_3} - p_4 f \quad (13)$$

où p_1 , p_2 , p_3 et p_4 sont les paramètres fixes pour un stock et une pêche donnée. On aura donc à l'équilibre :

$$Y_e = p_1 f + p_2 V_e^{p_3} f - p_4 f^2 \quad (14)$$

On obtient l'effort optimum f_{opt} , qui procure les captures maximales équilibrées Y_{max} , en recherchant la valeur de f qui annule la dérivée partielle selon f de cette équation, (tabl. 28). Il en sera de même pour les autres modèles, dont on ne présentera pas ici les calculs de dérivées.

A partir des formules ci-dessus, on peut déduire facilement les cas plus simples où la relation entre B_e et V possède une ordonnée à l'origine nulle, ou bien est de forme linéaire (tabl. 28).

Les figures résultant de ces nouveaux modèles se présentent donc en trois dimensions, f_{opt} , Y_{max} et U_{opt} n'ont plus une valeur unique, comme dans les modèles traditionnels, mais sont les fonctions de la variable hydroclimatique V (fig. 61a2).

V. 4.3.2. Modèle exponentiel

Le modèle exponentiel décrit par GARROD (1969) et FOX (1970) suppose que :

$$\frac{dB}{dt} \frac{1}{B} = k (\log_e B_\infty - \log_e B) \quad (15)$$

Dans cette formulation -qui n'est pas directement comparable à l'équation (8)- si l'on veut obtenir comme précédemment une pente constante, on doit fixer k et supposer que $B_\infty = g(V)$.

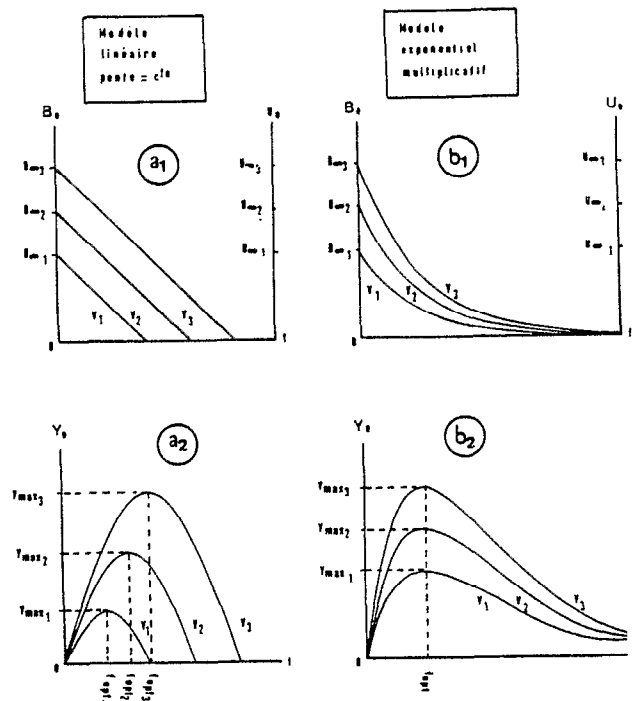


Fig. 61 - Modèles de production linéaire type SCHAEFER (1954) (a_1 et a_2) et exponentiel multiplicatif type FOX (1970) (b_1 et b_2), pour trois valeurs (V_1 , V_2 et V_3) d'une variable climatique V agissant sur la production ($B_\infty = g(V)$)

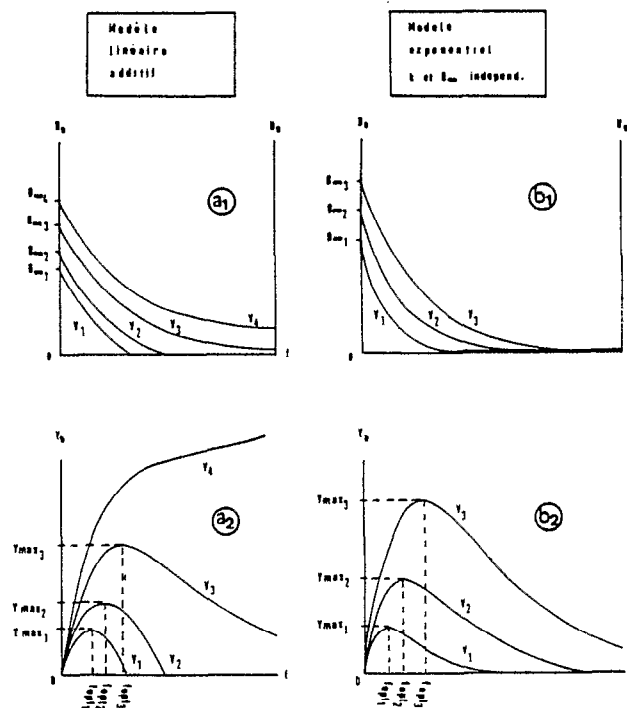


Fig. 62 - Modèles de production exponentiels de type additif (a_1 et a_2) et multiplicatif avec k et B_∞ variables et indépendants (b_1 et b_2), pour trois ou quatre valeurs (V_1 , V_2 , V_3 , et V_4) d'une variable climatique V agissant sur la production (B_∞ et $k = g(V)$)

Il est à noter que, du fait des propriétés des logarithmes, ces modèles procurent une valeur unique de f_{opt} , indépendante de la variable V (contrairement aux modèles linéaires précédents) et l'extinction théorique du stock est obtenue lorsque f tend vers l'infini, quel que soit V . Pour éliminer cet inconvénient, nous avons utilisé un autre modèle, de type exponentiel additif pour la pêche de la Petite Côte [14] (fig. 62a) :

$$U_e = a e^{-a'f} + bV + c \quad (16)$$

On remarquera cependant que ces modèles de type additif peuvent présenter la particularité de procurer des courbes de capture croissant vers l'infini lorsque l'effort augmente, aux forts niveaux de la variable climatique. Cet inconvénient peut être éliminé en imposant une valeur "raisonnable" au paramètre a' (ou aux paramètres b et c). On rejoint ici le problème de la détermination a priori de la valeur de m dans le modèle généralisé (PELLA et TOMLINSON, 1969).

Afin de donner au modèle exponentiel multiplicatif des propriétés comparables à celles du modèle linéaire lorsque V varie, une autre solution consiste à faire agir cette variable sur k et sur B_∞ indépendamment. Si l'on retient le cas simple où :

$$B_\infty = bV^c \quad \text{et} \quad k = b'V^c$$

on obtient :

$$U_e = qbV^c e^{-qfV^{c'/b'}}$$

$$\text{qui est de la forme : } U_e = p_1 V^{p_2} e^{-p_3 V^{p_4} f} \quad (17)$$

Si l'on veut voir ce modèle conserver des propriétés comparables à celles du modèle linéaire (13), on doit obtenir des valeurs de p_2 et p_4 de signes opposés et différents de zéro lors de l'ajustement (fig. 62b). Sinon, il faut soit effectuer un ajustement sous contrainte (exemple les logiciels PAR ou P3R (DIXON et BROWN, 1979) disponibles dans la bibliothèque BMDP), soit utiliser les modèles précédents.

V. 4.3.3. Modèle généralisé

L'équation de base du modèle généralisé (PELLA et TOMLINSON, 1969) peut s'écrire (RICKER, 1975) :

$$B_e = (B_\infty^{m-1} + \frac{qf}{h})^{1/(m-1)} \quad (18)$$

On n'envisage ici que le cas où $B = bV^c$, afin de limiter à quatre le nombre de paramètres du modèle. En suivant la méthode appliquée dans le cas du modèle linéaire, on obtient :

$$U_e = [(bV^c q)^{m-1} + \frac{q^m}{h} f]^{1/(m-1)} \quad (19)$$

En conservant la même notation pour m (qui gardera la même signification que dans le modèle de base), on peut écrire :

$$U_e = [(p_1 V^{p_2}) + p_3 f]^{1/(m-1)} \quad (20)$$

On envisagera maintenant les mêmes modèles dans le cas où la variable climatique agit sur la capturabilité uniquement, puis les cas où elle agit à la fois sur l'abondance et sur la capturabilité.

V. 4.4. Phénomènes hydroclimatiques affectant la capturabilité

V. 4.4.1. Modèle linéaire

Seul le cas où $q = bV^c$ sera traité ici. En suivant la procédure habituelle, on obtient :

$$U_e = bV^c B_\infty - \frac{b^2 V^{2c}}{h} f \quad (21)$$

L'expression Y_e sera donc de la forme :

$$Y_e = p_1 V^{p_2} f - p_3 V^{2p_2} f^2 \quad (22)$$

On remarquera que, pour ce type de modèle, Y_{\max} est toujours indépendant de V , variable n'intervenant ici que sur les valeurs de f_{opt} et de U_{opt} (fig. 63a ; tabl. 29).

V. 4.4.2. Modèle exponentiel

Si, dans la formulation du modèle exponentiel de FOX (1970), on considère que $U_\infty = qB_\infty$ et que $q = a + bV^c$, on obtient (fig. 63b) :

$$U_e = (aB_\infty + bV^c B_\infty) e^{-(a+bV^c)f/k} \quad (23)$$

Y_e est donc de la forme :

$$Y_e = f(p_1 p_2 + p_2 p_3 V^{p_4} e^{-(p_1 + p_3 V^{p_4})f/p_5}) \quad (24)$$

Ce modèle, comportant cinq paramètres, est peu utilisable en tant que tel. Mais, ici encore, il sert de base aux modèles qui en dérivent et ne comportent que 3 ou 4 paramètres seulement (tabl. 29).

Le modèle généralisé ne sera pas développé dans ce cas, compte tenu du trop grand nombre de paramètres qu'il nécessiterait.

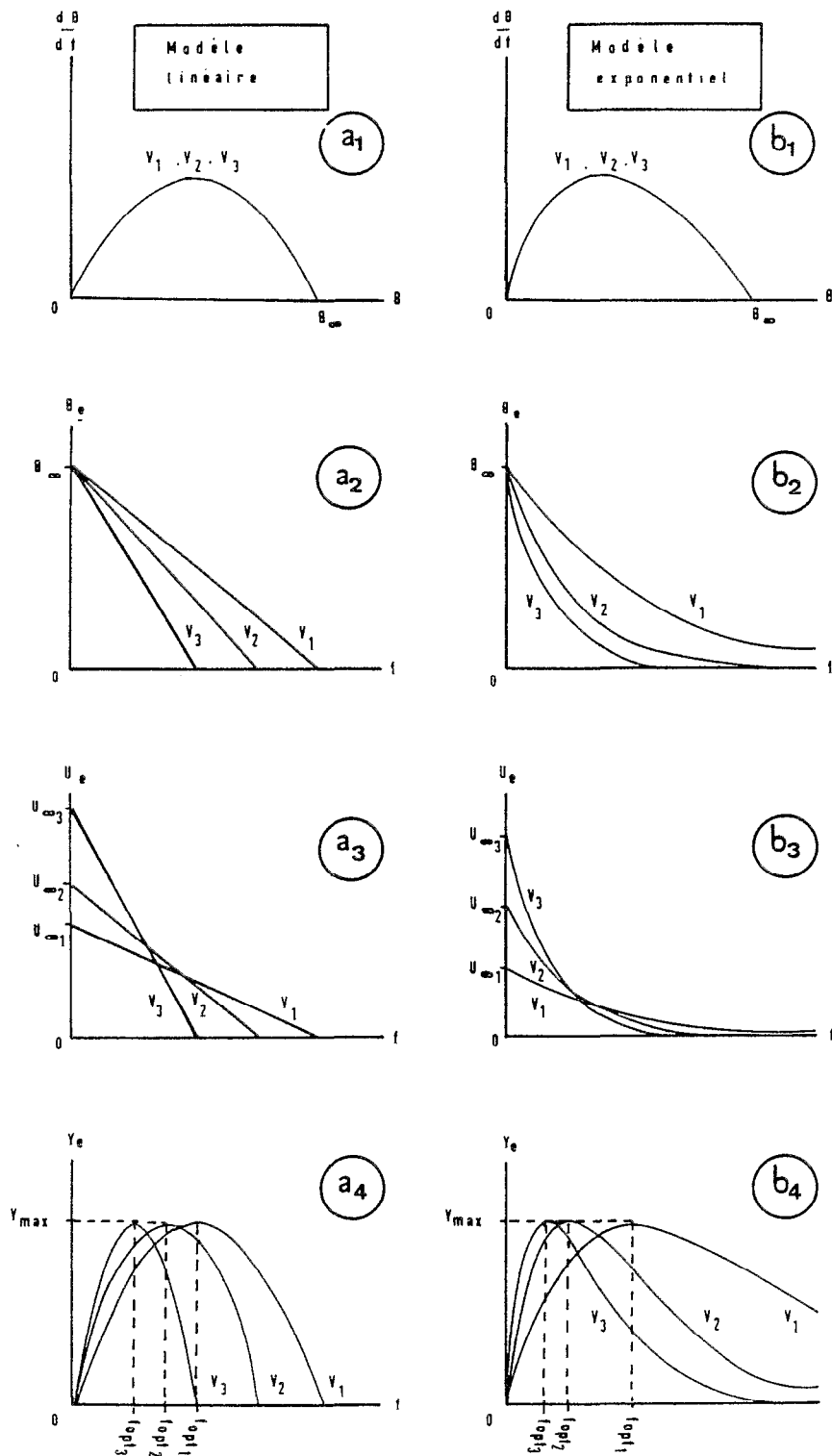


Fig. 63 - Modèles de production linéaire (a₁....a₄) et exponentiel (b₁....b₄) pour trois valeurs (V_1, V_2 et V_3) d'une variable climatique V agissant sur la capturabilité ($q = y(V)$)

	$B_{\infty} = g(V)$	Y_e	f_{opt}	Y_{max}	U_{opt}
LINEAIRES	* a + bV ^C	$P_1 f + P_2 V^{P_3} f - P_4 f^2$	$P(P_1 + P_2 V^{P_3}) / 2P_4$	$(P_1 + P_2 V^{P_3})^2 / 4P_4$	$(P_1 + P_2 V^{P_3}) / 2$
	bV ^C	$P_2 V^{P_3} f - P_4 f^2$	$P_2 V^{P_3} / 2P_4$	$P_2^2 V^{2P_3} / 4P_4$	$P_2 V^{P_3} / 2$
	a + bV	$P_1 f + P_2 V f - P_4 f^2$	$(P_1 + P_2 V) / 2P_4$	$(P_1 + P_2 V)^2 / 4P_4$	$(P_1 + P_2 V) / 2$
	bV	$P_2 V f - P_4 f^2$	$P_2 V / 2P_4$	$P_2^2 V^2 / 4P_4$	$P_2 V / 2$
	aV - bV ²	$P_1 V f - P_2 V^2 f - P_3 f^2$	$(P_1 V + P_2 V^2) / 2P_3$	$(P_1 V + P_2 V^2)^2 / 4P_3$	$(P_1 V + P_2 V^2) / 2$
EXPONENTIELS	* a + bV ^C	$(P_1 + P_2 V^{P_3}) e^{-P_4 f} f$	$1/P_4$	$P_1 + P_2 V^{P_3} / P_4 e$	$P_1 + P_2 V^{P_3} / e$
	bV ^C	$P_2 V^{P_3} e^{-P_4 f} f$	$1/P_4$	$P_2 V^{P_3} / P_4 e$	$P_2 V^{P_3} / e$
	a + bV	$(P_1 + P_2 V) e^{-P_4 f} f$	$1/P_4$	$P_1 + P_2 V / P_4 e$	$P_1 + P_2 V / e$
	bV	$P_2 V e^{-P_4 f} f$	$1/P_4$	$P_2 V / P_4 e$	$P_2 V / e$

* Pour mémoire

Tableau 28 : Modèles linéaires et exponentiels multiplicatifs où la variable climatique V intervient sur l'abondance du stock uniquement.

	$q = y(V)$	Y_e	f_{opt}	Y_{max}	U_{opt}
LINEAIRES	a + bV	$P_1 P_2 f + P_2 P_3 V f + (P_1 + P_3 V)^2 f^2 / P_4$	$P_2 P_4 / 2(P_1 + P_3 V)$	$P_2^2 P_4 / 4$	$(P_1 P_2 + P_2 P_3 V) / 2$
	bV ^C ou V ^C	$P_1 V^{P_2} f - P_3 V^{P_2} f^2$	$P_1 / 2P_3 V^{P_2}$	$P_1^2 / 4P_3$	$P_1 V^{P_2} / 2$
	bV	$P_1 V f - P_3 V^2 f^2$	$P_1 / 2P_3 V$	$P_1^2 / 4P_3$	$P_1 V / 2$
EXPONENTIELS	* a + bV ^C	$f(P_1 P_2 + P_2 P_3 V^{P_4}) e^{-(P_1 + P_3 V^{P_4}) f / P_5}$	$P_5 / (P_1 + P_3 V^{P_4})$	$P_2 P_5 / e$	$P_1 P_2 + P_2 P_3 V^{P_4} / e$
	bV ^C (Identique à V ^C après regroupement)	$f P_3 V^{P_4} P_2 e^{-(P_3 V^{P_4} f) / P_5}$ ou : $f P_1 V^{P_2} e^{-P_3 V^{P_2} f}$	$P_5 / (P_3 V^{P_4})$ ou : $1 / P_3 V^{P_2}$	$P_2 P_5 / e$ ou : $P_1 / (P_3 e)$	$P_2 P_3 V^{P_4} / e$ ou : $P_1 V^{P_2} / e$
	a - bV	$f(P_1 P_2 + P_2 P_3 V) e^{-(P_1 + P_3 V) f / P_5}$ ou : $f(P_1 + P_2 V) e^{-(P_3 + P_4 V f)}$	$P_5 / (P_1 + P_3 V)$ ou : $1 / (P_3 + P_4 V)$	$P_2 P_5 / e$ ou $(P_1 + P_2 V) / (P_3 + P_4 V) e$	$P_2 / (P_1 + P_3 V) e$ ou $(P_1 + P_2 V) / e$
	bV	$f P_2 P_3 V e^{-(P_3 V f) / P_5}$ ou : $f P_1 V e^{-P_2 V f}$	P_5 / V ou : $1 / P_2 V$	$P_2 P_5 / e$ ou $P_1 / (P_2 e)$	$P_2 / V e$ ou $P_1 V / e$

* Pour mémoire

Tableau 29 : Modèles linéaires et exponentiels où la variable climatique V intervient sur la capturabilité uniquement (deuxièmes lignes : formules après regroupement des paramètres p et changement d'indice).

V. 4.5. Phénomènes hydroclimatiques affectant à la fois l'abondance et la capturabilité

Seul le cas de la relation (11.IV) sera examiné, afin de limiter le nombre des paramètres. Cependant, on retiendra qu'il s'agit là d'une simplification, envisageable du fait de la grande flexibilité de la fonction (11.IV), mais qu'en théorie rien ne permet de supposer que $g(V)$ et $y(V)$ sont identiques. De même, on peut envisager des situations où la capturabilité et l'abondance dépendraient de deux phénomènes climatiques distincts, et introduire alors deux variables, V et V' , dans le modèle (voir l'exemple de la Côte d'Ivoire).

V. 4.5.1. Modèle linéaire: $g(V)$ et $y(V) = bVc$

Si l'on considère d'une part que $B_{\infty} = bVc$ et d'autre part que $q = b'Vc'$, en suivant la procédure habituelle, on obtient (fig. 64) :

$$\begin{aligned} B_e &= bVc - b'Vc' f/h \\ U_e &= bb'Vc+c' - b'^2V^2c' f/h \\ Y_e &= p_1 V^{p_2+p_3} f - p_4 V^{2p_3} f^2 \end{aligned} \quad (25)$$

On remarque que si $p_3 = 0$, on retrouve le cas où V n'agit que sur B_{∞} (modèle de base (7) ; tabl. 28), et si $p_2 = 0$ on retrouve bien le modèle (22) où V n'agit que sur q .

A titre d'exemple, si $g(V)$ est le type parabolique (équation 12), on obtient :

$$Y_e = (p_1 V^{1+p_2} - p_3 V^{2+p_2}) f - p_4 V^{2p_2} f \quad (26)$$

V. 4.5.2 Modèle exponentiel $g(V)$ et $y(V) = bVc$

Si, dans la formulation du modèle exponentiel de FOX (1970), on considère que $U_{\infty} = qB_{\infty}$; $B_{\infty} = bVc$ et $q = b'Vc'$, on obtient :

$$U_e = bb'V^{c+c'} e^{-b'Vc' f/k} \quad (27)$$

qui est de la même forme que l'expression (17). Il s'agit d'un modèle exponentiel multiplicatif en ce qui concerne l'effet de la variable hydroclimatique sur l'abondance.

On voit que lorsque $g(V)$ et $y(V)$ sont de signes opposés, on obtient des figures identiques à celles où V n'agirait que sur l'abondance. De même si $p_2 = p_4$, on retrouve une expression équivalente à celle obtenue lorsque l'on considère que V n'agit que sur la capturabilité (modèle de base (24) ; tabl. 29). En définitive, on voit que le modèle exponentiel (17), tout comme le modèle linéaire (15), permet bien de répondre aux trois possibilités d'intervention de la variable V :

- 1 - sur l'abondance (B_∞ et k) uniquement si p_2 et p_4 sont de signes opposés et différents de zéro,
- 2 - sur la capturabilité uniquement si $p_2 = p_4$,
- 3 - sur l'abondance et sur la capturabilité lorsque p_2 et p_4 sont seulement différents de zéro.

Dans ce contexte, le seul examen des données annuelles de prise et d'effort de pêche ne permet pas de séparer le cas 1 du cas 3 lorsque, pour ce dernier, $g(V)$ et $y(V)$ sont de signes opposés (fig. 65). On doit alors fonder le choix du modèle sur des hypothèses ou analyser d'autres informations, en particulier à des échelles temporelles inférieures à l'année.

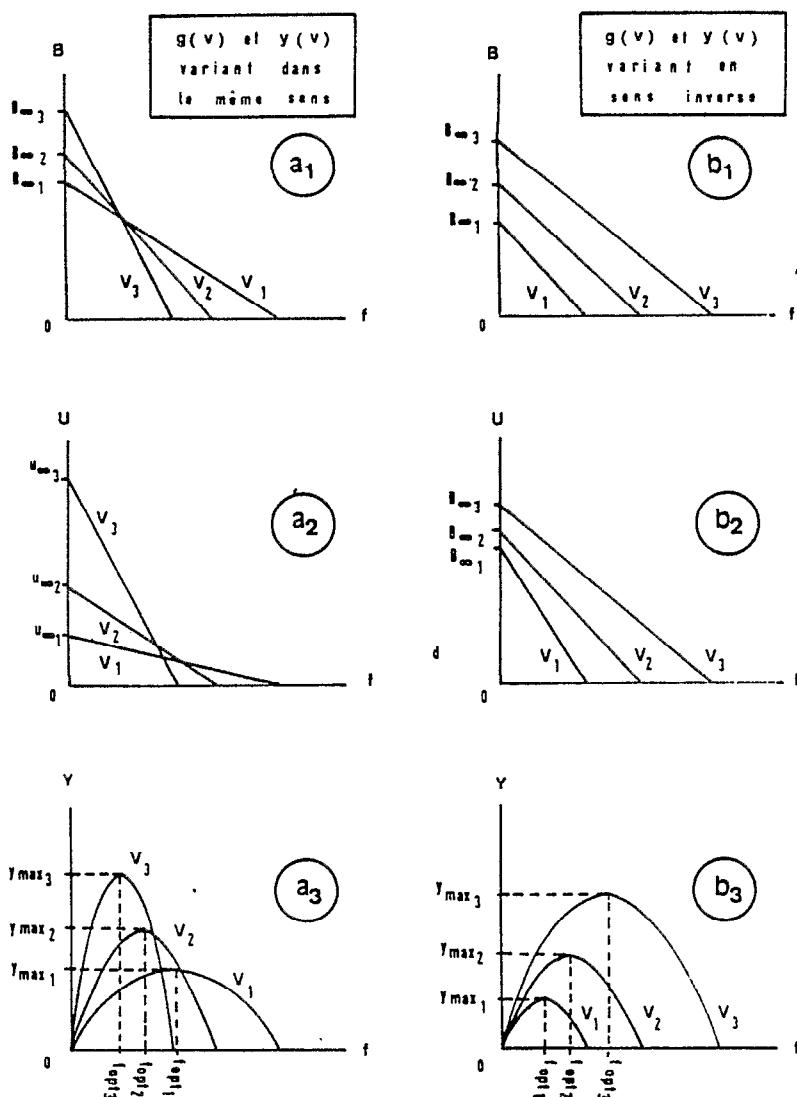


Fig.64 - Modèle de production linéaire pour trois valeurs (V_1, V_2, V_3) d'une variable climatique V agissant à la fois sur la production ($B_\infty = g(V)$) et sur la capturabilité ($q = y(V)$), selon que $g(V)$ et $y(V)$ varient dans le même sens (a_1, a_2 et a_3) ou en sens inverse (b_1, b_2 et b_3).

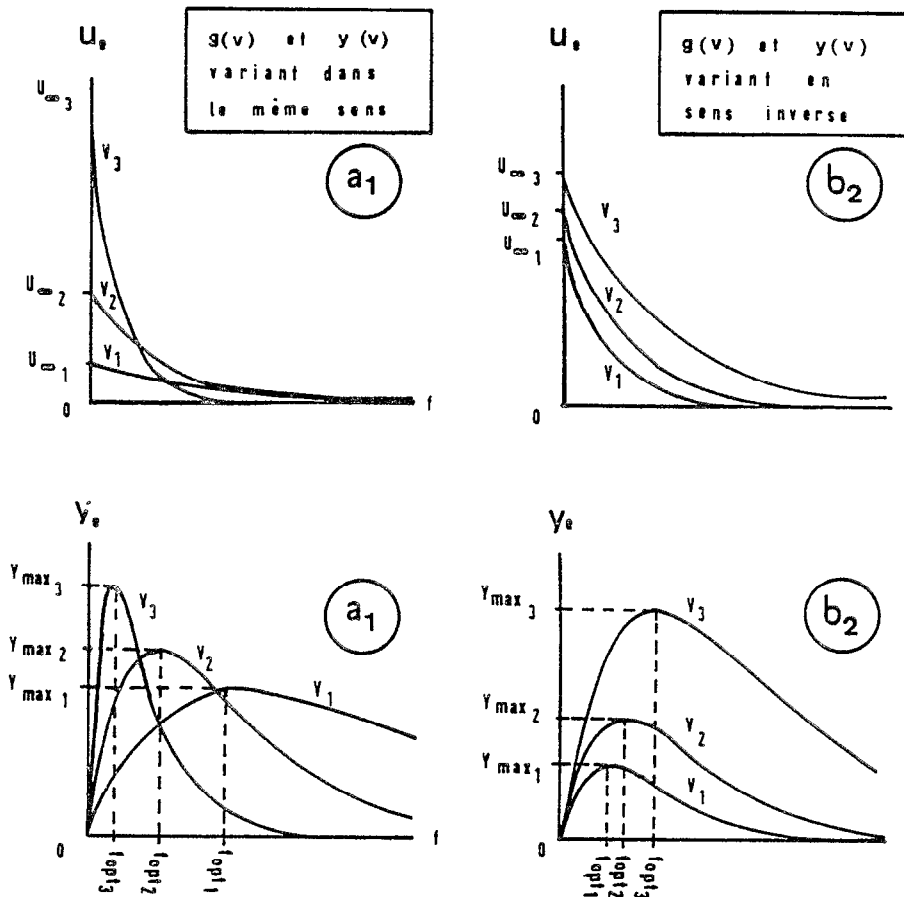


Fig. 65 - Modèle de production exponentiel pour trois valeurs (V_1 , V_2 et V_3) d'une variable climatique V agissant à la fois sur la production ($B_{\infty} = g(V)$) et sur la capturabilité ($q = y(V)$), selon que $g(V)$ et $y(V)$ varient dans le même sens (a_1 et a_2) ou en sens inverse (b_1 et b_2).

V. 4.6. Utilisation des modèles en situation de transition

Les formulations précédentes ont été effectuées en raisonnant sur des situations d'équilibre du stock, à divers niveaux stables de l'effort de pêche et de la variable climatique. Afin d'ajuster les données observées à l'un de ces modèles, on peut avoir recours à deux des trois procédés habituels pour les modèles classiques (FOX, 1976), en les adaptant à notre cas où l'environnement produit aussi des situations de transition :

- sélectionner dans la série de données quelques périodes d'équilibre,

- relier les p.u.e. de l'année i , d'une part à la moyenne des efforts de pêche des années i et antérieures (GULLAND, 1969) et d'autre part à la moyenne des indices hydroclimatiques durant les années où l'environnement a pu agir sur l'abondance des classes d'âge capturées au cours de l'année i .

Le troisième procédé (calcul intégral) serait ici extrêmement complexe. FOX (1975) ne lui trouvait pas d'avantages évidents sur les procédés précédents, il y a une dizaine d'années. Depuis, FLETCHER (1978) a proposé une restructuration du modèle de PELLA et TOMLINSON (1969) qui réduit le nombre des paramètres à estimer. Cette restructuration a permis à RIVARD et BLEDSOE (1978) de proposer une nouvelle méthode d'estimation des paramètres en imposant des contraintes au modèle, fonction des valeurs "raisonnables" de B_{∞} . La mise en oeuvre d'une telle procédure serait ici délicate puisque nos modèles sont déjà restructurés afin de réduire le nombre de paramètres, et que l'on a ici : $B_{\infty}=g(V)$ et/ou $q=y(V)$.

S'il est vrai que la méthode de GULLAND (1969) et celles qui en dérivent peuvent conduire à des biais ou à des erreurs importantes dans l'estimation des paramètres du modèle, comme le soulignent WALTERS (1975), SCHNUTE (1977) et UHLER (1980), les travaux de ce dernier auteur montrent que les meilleures estimateurs statistiques des paramètres ne fournissent pas nécessairement les meilleures estimations des valeurs de Y_{max} et f_{opt} , qui représentent pourtant les principaux objectifs des modèles globaux.

La première méthode est séduisante, mais elle a été rarement utilisée, car il est peu fréquent d'observer des périodes où le niveau d'effort de pêche reste stable durant un laps de temps au moins équivalent à l'âge maximal d'exploitation de l'espèce concernée. L'exemple de la pêcherie sardinière sénégalaise est un cas extrême où l'on peut considérer que les sardinelles sont exploitées essentiellement entre 8 et 18 mois et que la relation stock-recrutement n'est pas pour l'instant prépondérante; de ce fait, les efforts de pêche annuels (et non les moyennes pluri-annuelles) peuvent être utilisés pour l'ajustement.

La deuxième méthode, dite méthode de GULLAND ou d'approximation de l'état d'équilibre (dans le cas où seul l'effort de pêche est concerné), offre l'avantage d'une grande facilité d'emploi, bien qu'elle ne résolve pas nécessairement le problème de l'artéfact lié à l'existence d'une corrélation intrinsèque entre les séries de p.u.e. et d'efforts de pêche (ROFF et FAIRBAIRN, 1980). Elle a été modifiée par FOX (1974) qui propose d'employer une moyenne pondérée des efforts de pêche correspondant à la durée d'exploitation de l'espèce. C'est celle que nous avons adaptée (avec ou sans la modification FOX) aux cas des modèles précédents, pour des raisons pragmatiques.

L'approximation de l'état d'équilibre concernant l'action de l'environnement, lorsque celui-ci est instable, pose le problème de la connaissance du mécanisme d'intervention du phénomène hydroclimatique sur la production du stock. En effet, la démarche rationnelle voudrait que, pour le moins, on détermine précisément à quel âge de la cohorte l'action des variations de l'environnement se fait sentir sur la production de celle-ci. Schématiquement, quatre périodes d'action, ou phases critiques, sont envisageables :

1 - Avant la naissance de la cohorte par action sur la fécondité du stock reproducteur

2 - Sur les premiers stades de vie, par action sur la fécondation, et/ou sur la mortalité naturelle des oeufs et larves,

3 - Sur la phase de croissance rapide (qui généralement correspond plus ou moins à la période de pré-recrutement) par action sur la vitesse de croissance individuelle et/ou sur la mortalité naturelle ;

4 - Sur la phase du post-recrutement, par action sur la mortalité et/ou sur le facteur de condition, et secondairement sur la vitesse de croissance individuelle.

Ces quatre cas ne sont pas -bien sûr- exclusifs. En particulier, les deux derniers sont similaires, et il sera souvent difficile de savoir lequel d'entre eux est prépondérant. Nous avons envisagé diverses formules de pondération permettant de prendre en compte tous les cas envisageables, aussi bien lors d'une action de V sur l'abondance que sur la capturabilité [15].

Les méthodes proposées restent des approximations de l'état d'équilibre, qui seront plus ou moins raisonnables selon les situations. Le cas le plus favorable est celui des espèces à vie courte ou, pour le moins, dont la durée de la phase exploitée sera courte. Il sera alors plus aisé de détecter et de quantifier l'effet des variations hydroclimatiques sur la capturabilité ou sur la production. Dans ce dernier cas, cela sera d'autant plus aisé que l'action de l'environnement se fera sentir sur une courte tranche de vie ou que, dans le cas contraire, les conditions hydroclimatiques fluctueront lentement d'une année à l'autre.

En replaçant ces considérations dans le contexte de la classification usuelle des espèces selon leur stratégie démographique, telle que définie en écologie générale (COLE, 1954; MAC ARTHUR et WILSON, 1967), on voit que les espèces à stratégie de type r répondront généralement beaucoup mieux que les espèces de type K aux conditions d'une modélisation efficiente.

V. 4.7. Conséquences en matière d'aménagement

V. 4.7.1. Phénomènes climatiques agissant sur l'abondance

Si la périodicité de fluctuation du phénomène climatique n'est ni trop longue ni trop courte par rapport à la série d'observations, à la durée de la phase critique et à celle de la phase exploitée, on pourra alors considérer la variabilité de l'abondance liée à l'environnement différemment d'un bruit de fond. Il est alors envisageable d'adapter la pression de pêche à l'abondance du stock.

Dans les situations où la prévision du modèle est fiable, la difficulté de l'aménagement résultera de la dualité de son objectif : d'une part mettre à profit les surplus naturels de production en augmentant l'effort de pêche lorsque les conditions climatiques sont favorables, d'autre part éviter l'effondrement du stock en réduisant rapidement l'effort de pêche lorsque les conditions environnementales deviennent défavorables. En effet, cet effondrement peut survenir rapidement en maintenant un effort de pêche optimum ne correspondant plus au niveau actuel des conditions climatiques (fig. 66a), et ceci d'autant plus vite qu'il y aura peu de classes d'âge pour procurer un effet tampon, et que la phase critique sera courte. Cet ajustement permanent de l'effort de pêche, ce "pilotage à vue", n'est pas simple à mettre en

oeuvre du fait du déphasage existant entre les profits et la dynamique des investissements, comme nous l'avons vu dans le cas de la pêche artisanale. On trouvera une analyse de cette situation et des diverses solutions envisageables dans le rapport d'un groupe de travail [CSIRKE et SHARP, 1983]. La régulation de la pêche peut alors se réaliser en fixant, soit des quotas variables dans le temps, soit des plafonds d'efforts variables.

V. 4.7.2. Phénomènes climatiques agissant sur la capturabilité

On retrouve dans cette situation le même risque d'effondrement brutal du stock lié aux variations climatiques, mais ici, on devra craindre le passage des conditions défavorables à la capturabilité, aux conditions favorables à celle-ci. En effet, les premières, si elles durent plusieurs années et si les bas rendements restent rentables, peuvent permettre le développement progressif d'un effort de pêche important (augmentation des effectifs de la flotte et/ou améliorations technologiques), afin d'arriver à un niveau de capture proche de Y_{max} (fig. 66b); si surviennent alors des conditions favorables, les rendements et les captures vont augmenter brutalement, plaçant le stock en situation de déséquilibre et provoquant rapidement son extinction.

Dans ce cas, l'aménagement de la pêche aura probablement intérêt à se baser sur un quota fixe plutôt que sur des plafonds d'effort variables, lesquels seront plus imprécis et souvent plus difficiles à faire respecter.

V. 4.7.3. Phénomènes climatiques agissant sur l'abondance et sur la capturabilité

Selon que l'environnement agira sur B_0 et sur q dans le même sens ou dans des sens opposés, $g(V)$ et $y(V)$ seront des fonctions présentant le même sens de variation ou un sens inverse, et les figures résultantes seront alors très différentes (fig. 64a et 64b, où $p_2 > p_3$ dans la formulation 25). On étudiera ici les deux cas extrêmes, sachant qu'il existe de nombreux cas intermédiaires (exemple de la Côte d'Ivoire), en particulier celui où f_{opt} présente une valeur unique (si $p_2 = p_3$).

Dans le premier cas, le stock sera peu sensible au risque d'effondrement directement lié à l'apparition brutale de conditions climatiques défavorables à l'abondance, puisque alors la capturabilité est faible. En revanche, lorsque les conditions climatiques sont favorables à l'abondance et à la capturabilité, si l'exploitation n'est pas régulée par un phénomène de saturation du marché ou par une forte élasticité des prix, l'effort de pêche aura naturellement tendance à dépasser l'effort optimal (fig. 66c). Une gestion coercitive s'impose donc dans cette situation.

Si au contraire les fortes productions sont associées à de faibles capturabilités, le risque majeur pour le stock proviendra de l'arrivée brutale de conditions climatiques défavorables à l'abondance à un moment où l'effort de pêche est déjà proche de l'optimum le plus élevé (fig. 64b3). Cette situation est comparable au cas où l'action de l'environnement ne s'exerce pas que sur l'abondance (fig. 61a), avec ici une sensibilité accrue aux risques d'effondrement.

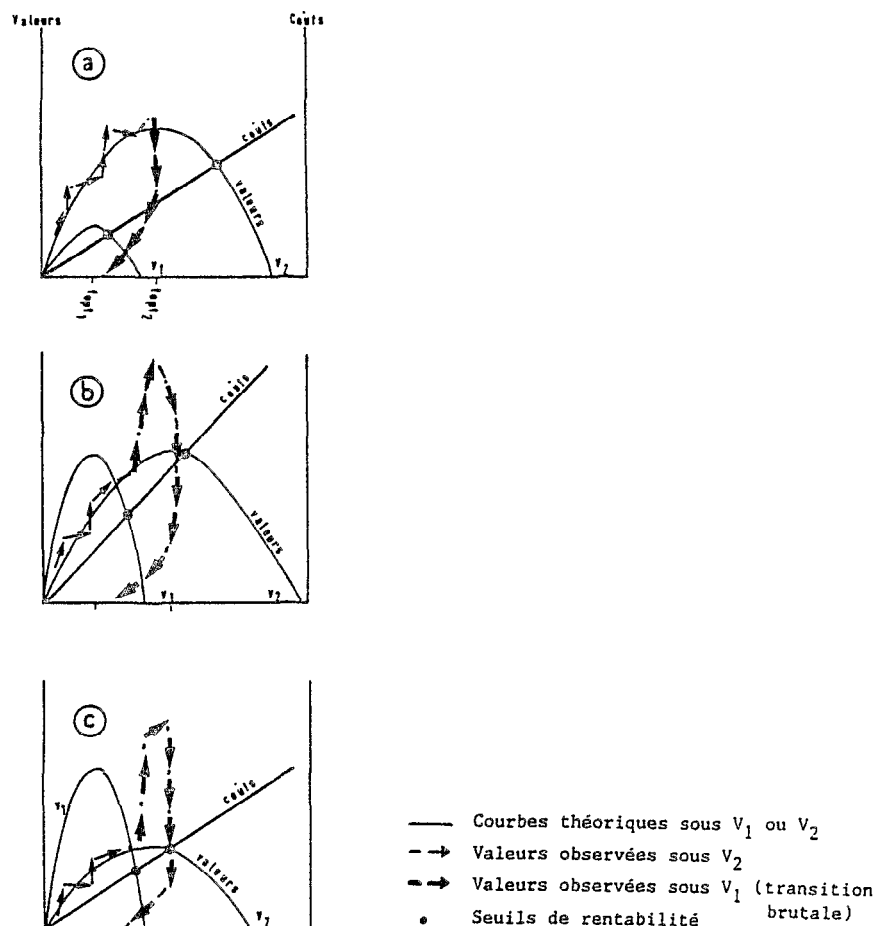


Fig. 66 - Modèles de production bio-économiques et exemples schématiques d'extinctions des stocks selon que l'environnement agit sur l'abondance (a), sur la capturabilité (b) ou sur l'abondance et la capturabilité dans le même sens (c), pour deux valeurs (V_1 et V_2) de la variable climatique V .

V. 4.8. Choix d'un modèle et ajustement

Devant la profusion de formules présentées ici, le chercheur non familiarisé aux modèles globaux peut rester perplexe sur le meilleur choix à effectuer et pourrait être tenté de ne retenir que celle qui procure le meilleur ajustement.

Les critères de choix peuvent se subdiviser en deux catégories. On doit tout d'abord décider si le phénomène hydro-climatique agit sur la production du stock ou sur sa capturabilité. Le cas où l'on retient une modalité d'action mixte doit être étayé par des observations, et non représenter une solution de facilité. On doit ensuite opter pour un modèle de type linéaire ou exponentiel, voire généralisé dans certains cas où le nombre de paramètres n'est pas prohibitif. Si le stock n'a pas été exploité au-delà des "efforts optima", les trois types de modèles procurent des ajustements de qualité voisine. Il n'en demeure pas moins vrai que les courbes divergent fortement au-delà de ces optima, ce qui a des conséquences importantes si l'on veut utiliser le modèle à des fins prévisionnelles.

Dans certains cas, des informations complémentaires aux données de prise et d'effort peuvent permettre de choisir entre un modèle linéaire pessimiste et un modèle curviligne où l'effondrement du stock est moins rapidement atteint (faible durée de vie de l'espèce, division en sous-stock, réserve naturelle où la pêche est impraticable, sélectivité de l'engin de pêche, etc.). Si le stock a été largement surexploité, les données de prise et d'effort de pêche fournissent directement un élément de décision.

Pour réaliser l'ajustement, on aura recours à des méthodes non linéaires, telles que celles dérivées de l'algorithme de MARQUARD (1963) ou la méthode de GAUSS-NEWTON modifiée (DIXON et BROWN), 1979 ; GENSTAT, 1980). Ces méthodes itératives minimisent généralement la somme des carrés des résidus (méthode des moindres carrés). On peut sophistiquer la méthode en effectuant diverses pondérations sur les résidus (FOX, 1971).

V. 4.9. Critiques des modèles proposés

L'introduction d'une variable climatique dans les modèles globaux s'accompagne toujours de l'augmentation du nombre de paramètres dans les formules finales, ce qui engendre trois inconvénients :

- si l'ajustement s'en trouve facilité, en revanche les intervalles de confiance des paramètres sont souvent élevés et le modèle peut être instable, comme nous l'avons vu,

- il sera difficile de déterminer quelle est la part réelle de l'incidence respective des deux variables en raison des possibilités d'interaction, et/ou de leur colinéarité.

- en augmentant le nombre des variables explicatives, on augmente aussi la probabilité d'obtenir de bonnes corrélations dues seulement au hasard, et non au phénomène biologique que l'on pensera avoir pris en compte en introduisant une variable climatique dans le modèle (RICKER, 1975 p. 227-279).

Nous avons vu que ces difficultés, propres à toute régression multiple, pouvaient être en partie surmontées par le choix raisonné des variables explicatives (si possible conforté par des observations biologiques sur le stock concerné), et en se montrant plus prudent lors de l'utilisation du modèle à des fins prévisionnelles, d'autant plus prudent que l'on s'écartera de l'intervalle d'observation des variables.

Les espèces dont la sélection est du type *r* semblent satisfaire le mieux aux conditions requises par les modèles précédents mais, paradoxalement, leur caractère opportuniste les rend aptes à réagir aux variations de l'environnement en modifiant leur zone de répartition géographique et les strates spatio-temporelles où leur reproduction sera fructueuse. Cela aura deux conséquences fâcheuses pour l'application de ces modèles : d'une part il sera souvent difficile de mesurer l'abondance totale du stock par l'indice que fournissent les rendements dans la pêcherie traditionnelle, d'autre part ces phénomènes de régulation peuvent imposer de modéliser séparément divers sous-stocks géographiques. Ces derniers correspondront chacun à une zone de reproduction déterminée, et ne seront pas soumis aux mêmes pressions de la pêche et de l'environnement que l'ensemble du stock.

C'est la solution qui a été retenue pour les sardinelles du Sénégal.

Rappelons aussi que ces modèles restent monospécifiques et ne prennent donc pas en compte les interactions des différentes espèces du milieu. Un palliatif à ce problème peut être trouvé si deux espèces en compétition occupent la même niche écologique, en considérant qu'elles constituent une communauté homogène, et en les modélisant comme s'il s'agissait d'une seule espèce. Dans ce cas, ce n'est plus sur la production d'un stock que l'on travaille, mais sur la productivité d'un échelon de l'écosystème. De plus, cette méthode présente l'avantage de supprimer les problèmes inhérents aux changements d'espèce cible dans la pêcherie (à condition que les deux espèces soient exploitées par les mêmes flottes). C'est de nouveau la méthode qui a été utilisée pour le stock de sardinelles du Sénégal.

Pour terminer, signalons qu'une nouvelle école de pensée, dont WALTERS (1985) se fait le porte-parole, prône l'idée selon laquelle étudier les sources de variation de l'abondance des stocks est sans objet pour leur gestion rationnelle. Cet auteur brosse au noir un tableau des recherches traditionnelles sur la biologie et la dynamique des espèces exploitées, visant à démontrer qu'il est pratiquement impossible d'en estimer correctement les principaux paramètres, et encore plus difficile de les considérer comme stables en fonction du temps et du taux d'exploitation. Par ailleurs, il mentionne que rien ne servirait d'être capable de prédire la production à partir du climat, si l'on n'est pas en mesure de prédire ce dernier.

Plutôt que d'utiliser des modèles dans lesquels on introduirait des valeurs historiques des variables climatiques pour prédire la production, les chercheurs de cette école proposent de tirer directement parti des observations des séries de capture. Ils soulignent que dans ces dernières, aussi longues soient-elles, seuls sont informatifs quelques points pour lesquels l'environnement ou l'effort de pêche prennent des valeurs extrêmes. Ils remarquent aussi que la politique conservatrice de gestion des stocks unitaires, défendue par les biologistes des pêches, n'est pas forcément celle qui convient le mieux aux pêcheurs. Ces derniers ont parfois intérêt à maximiser leurs rendements sur un stock déterminé, au risque de le voir s'effondrer et disparaître pour quelques années, et passer alors à l'exploitation d'un autre stock.

A partir de ces considérations, les défenseurs de cette école de pensée envisagent de nouvelles méthodes de gestion basées en particulier sur la flexibilité du système d'exploitation et sur la création de mécanismes économiques régulateurs (taxes, assurances) qui, par ailleurs, permettraient d'éviter le surinvestissement au cours des phases prospères de la pêcherie. Ils proposent également l'alternance de politiques conservatrices des stocks avec des politiques à haut risque, permettant d'obtenir des points informatifs aux limites d'effort que peut supporter le stock.

On doit reconnaître aux idées ci-dessus exposées certains fondements et, malgré les jugements exagérément défaitistes portés sur la biologie des pêches, en tirer des leçons de modestie. Cependant, la méthode de gestion proposée comporte des limites, en particulier dans le cas des pays en voie de développement. En effet, dans ces derniers où règne souvent la

malnutrition, on ne peut se permettre de prendre le risque de tarir une source de protéines aussi importante que le poisson. Par ailleurs, on sait que les effondrements de stock ne sont pas toujours réversibles et peuvent laisser place à d'autres espèces, pas nécessairement appréciées des consommateurs (dans bien des cas, même la faim n'a pas raison des habitudes et tabous alimentaires). De plus, on notera que dans ces pays, on dispose souvent de séries de statistiques de pêche bien plus courtes que celles de l'environnement. Bien que nos modèles se prêtent mal à l'extrapolation, si les séries climatiques montrent des intervalles de variation supérieurs à ceux observés au cours de l'histoire de la pêche, on pourra parfois en tirer des leçons, optimistes ou pessimistes selon les cas. Notons enfin que la plupart des variables climatiques présentant une forte autocorrélation, un minimum de prévision à court terme est envisageable comme nous le verrons.

V. 4.10. Conclusion

Les modèles proposés ci-dessus permettent d'intégrer l'action d'un phénomène climatique sur les débarquements et, par là, de s'affranchir partiellement de deux des hypothèses de base très contraignantes des modèles globaux et traditionnels : d'une part les données de pêche doivent couvrir une période où les conditions hydroclimatiques influençant l'abondance sont stables (ou varient de façon aléatoire sur une longue période d'observation), d'autre part la capturabilité ne doit pas varier sensiblement d'une année à l'autre en raison des conditions de milieu. Ceci permet donc en principe d'allonger la longueur des séries chronologiques utilisables pour appliquer ces modèles. La contre-partie en est l'augmentation du nombre de paramètres à estimer. La décision d'utiliser soit le modèle de base, soit l'une des versions modifiées proposées ici, résultera du meilleur compromis.

Cependant, ces nouveaux modèles demeurent synthétiques, et sont donc limités dans leur capacité explicative, tout en restant soumis aux autres hypothèses de base de ce type de modèle :

- stabilité de la capturabilité totale liée aux facteurs non climatiques ;
- stabilité de la capturabilité relative des différentes classes d'âges ;
- obtention d'une p.u.e. qui soit un indice représentatif de l'abondance (pour le moins locale) et dépourvu de biais ;
- unité du stock (sinon des aménagements ou bien des limitations doivent être apportés au modèle) ;
- absence de délais dans la réponse du stock à l'exploitation.

Malgré leurs contraintes, ces modèles demeurent fréquemment la moins mauvaise solution, particulièrement dans les régions tropicales où les conditions hydroclimatiques sont prépondérantes sur la variabilité de la production. En effet, les lectures d'âge sont difficiles, coûteuses et de surcroît nécessaires en très grand nombre dans le cas des espèces pélagiques tropicales, rendant ainsi les méthodes analytiques difficilement

applicables. Si nos modèles peuvent s'affranchir de la nécessité de données biologiques quantitatives, il n'en demeure pas moins vrai qu'un minimum de connaissances qualitatives de l'écologie des espèces reste indispensable à leur mise en oeuvre.

Les intervalles de confiance sur les valeurs des paramètres des modèles seront souvent tels que des prévisions à l'intérieur de l'intervalle d'observation seront déjà incertaines, et qu'il serait hasardeux de vouloir effectuer des projections pour les estimations d'effort de pêche et/ou des variations hydroclimatiques situées en dehors de cet intervalle. "L'interpolation est une science, l'extrapolation est un art" (LAUREC, comm. pers.).

Le concept de MSY (prise maximale équilibrée) a été fortement remis en question, au cours des dernières années, en particulier du fait qu'un point unique ne peut caractériser valablement une pêcherie. Dans nos modèles, à chaque niveau de la variable climatique correspond une prise maximale équilibrée ou, pour le moins, un effort optimum. Par ailleurs, ces modèles rendent compte du fait que, à partir d'une situation d'équilibre de la pêcherie, on puisse obtenir de grandes fluctuations des captures (pouvant aller jusqu'à l'effondrement brutal du stock) sans augmentation de l'effort de pêche, mais simplement du fait des changements de l'environnement. Cette particularité apparaissait déjà dans les modèles stochastiques (LAUREC et al., 1980), mais seulement en terme de probabilité. Nous proposons ici aux responsables de l'aménagement un outil déterministe qui, même s'il reste imprécis au niveau des prévisions des valeurs de production, permet de mieux comprendre et parfois de prévoir les tendances des pêcheries. Dans ce dernier cas, on peut non seulement espérer mieux protéger la ressource, mais aussi l'exploiter de façon plus optimale en évitant de perdre les surproductions naturelles offertes par le milieu.

V. 5. Modélisation de la production des sardinelles sur la Petite Côte [14]

V. 5.1. Hypothèses de travail

Nous avons montré que la Petite Côte du Sénégal abrite une nurserie exploitée par les flottes semi-industrielles et artisanales qui capturent essentiellement des jeunes reproducteurs (8 à 18 mois) avant que ceux-ci n'aillent alimenter la fraction du stock constituée d'adultes migrants.

Pour Sardinella aurita, nous savons que le recrutement de ces jeunes poissons a deux origines : d'une part la ponte principale des individus adultes migrants au niveau de la Petite Côte, d'autre part la ponte secondaire des jeunes reproducteurs eux-mêmes, avant leur départ de la nurserie. Quelle que soit l'importance relative de ces deux pontes, il est évident que l'exploitation des sardinelles rondes dans les régions périphériques (sous-stock d'adulte ou sous-stock de la nurserie mauritanienne) ne pourra avoir d'incidence sur l'abondance au niveau de la Petite Côte qu'à travers la relation stock-recrutement (ici relation entre le sous-stock d'adultes et le recrutement sur la Petite Côte). Celle-ci n'est pas connue -les données d'abondance larvaire dont nous disposons étant trop fragmentaires- et l'on peut se poser la question de savoir si elle s'apparente à la première équation de BEVERTON et HOLT (1957) présentant un plateau, ou au contraire à celle de RICKER (1958), permettant un ajustement en forme de dôme. Cet ajustement semble être indiqué dans le cas de certaines espèces pélagiques (CUSHING, 1978). La connaissance précise de cette relation est importante au plan théorique pour la prévision des réactions du sous-stock de la Petite Côte à de très fortes variations d'abondance du sous-stock d'adultes. En pratique, on peut cependant considérer que, quelle que soit la figure retenue, on se situe à l'intérieur d'une large plage d'abondance moyenne où la variabilité du recrutement expliquée par la taille du sous-stock d'adultes est négligeable par rapport à la variabilité résiduelle due aux autres facteurs, en particulier à ceux de l'environnement (SHARP, 1981). 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 trois, ou plus, ordres de magnitude. On retiendra 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.

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.

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.

Nous avons vu que l'intensité de l'upwelling paraît expliquer une part importante de la variabilité des rendements moyens annuels. Si les conditions hydrologiques jouent bien un rôle majeur au niveau de la variabilité saisonnière des p.u.e., par action sur la capturabilité (influence sur le schéma migratoire), en revanche, il semble bien qu'au niveau interannuel le climat intervienne plutôt sur la production du stock, en particulier pour les jeunes reproducteurs.

Il reste cependant difficile de déterminer plus précisément à quel stade du cycle de vie des sardinelles agit l'upwelling. L'analyse mathématique des séries annuelles indique une corrélation entre les p.u.e. de l'année i et l'upwelling des années i et $i-1$. Nous avons supposé que l'action prépondérante de l'upwelling se situait au niveau de l'alimentation (début de la chaîne alimentaire) et favorisait donc la croissance, le facteur de condition et surtout la survie des sardinelles, tout au long de leur cycle de vie, ainsi que la reproduction, comme le suggèrent les analyses de BOELY (1980).

V. 5.2. Modèle retenu

Du fait que pour Sardinella aurita une partie du recrutement est indépendante de l'exploitation sur la Petite Côte, on a jugé que les modèles linéaires étaient trop pessimistes pour ce sous-stock. On a préféré un modèle de type exponentiel additif, car si l'exploitation à l'extérieur de la Petite Côte reste stable (hypothèse de base), le sous-stock bénéficiera toujours d'un recrutement minimum.

Les jeunes reproducteurs capturés dans les pêcheries de la Petite Côte étant âgés d'un peu plus d'un an en moyenne, on a retenu la pondération suivante de la variable \bar{V} (vitesse du vent au cours de la saison froide) [14] :

$$\bar{V} = (2V_i + V_{i-1})/3$$

ce qui permet de prendre en compte une éventuelle relation environnement-recrutement. En revanche, on a considéré uniquement l'effort de pêche de l'année en cours du fait que la durée de la phase exploitée est de un an au maximum pour les jeunes reproducteurs et que l'on suppose l'absence de relation stock-recrutement importante dans l'histoire de la pêcherie. On notera que la colinéarité des deux variables explicatives \bar{V} et F n'est pas apparente ($r=0,01$), en revanche elles présentent toutes deux un coefficient d'autocorrélation élevé ($r=0,77$ et $0,96$ respectivement) (tabl. 24).

Le modèle sera donc de la forme (fig. 67) :

$$Y = (p_1 e^{-p_2 f} + p_3 \bar{V} + p_4) f + \epsilon$$

On l'a appliqué aux données de Sardinella aurita seulement, puis aux données des deux espèces de sardinelles regroupées (rappelons que les données de Sardinella maderensis seules ne paraissent pas assez représentatives de leur abondance).

Nous avons vu que le regroupement des deux espèces avait pour double avantage d'éliminer le biais lié aux changements d'espèce cible et de permettre de modéliser un échelon de l'écosystème, puisque les deux espèces se situent au même niveau de la chaîne trophique. Dans un premier temps, l'ensemble des classes de tailles a été considéré. Bien qu'une proportion non négligeable de S. aurita adultes viennent "parasiter" le modèle, les effets de changement de "cohorte cible" se trouvent éliminés et les résultats présentent l'avantage d'être plus faciles à utiliser pour l'aménagement de la pêcherie. La proportion des adultes étant très élevée ces dernières années, on a également réalisé un ajustement en ne considérant que les jeunes S. aurita.

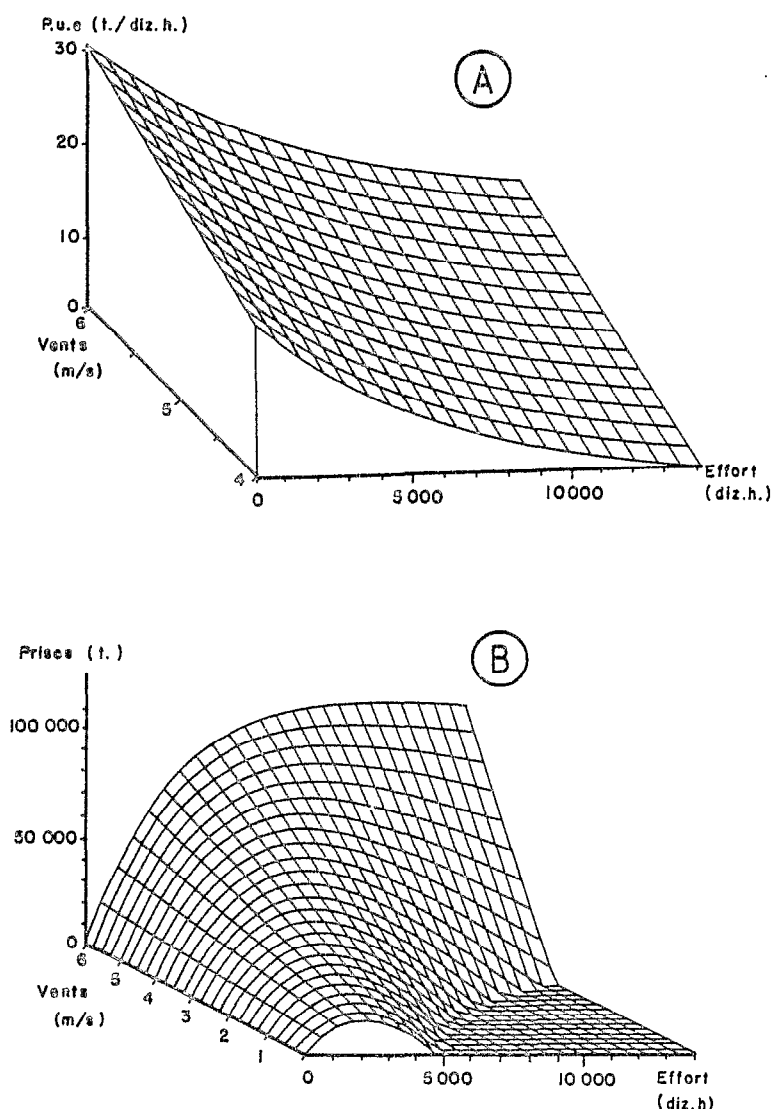


Fig 67 - *Sardinella* spp : représentation graphique en trois dimensions de l'évolution des rendements (p.u.e.; fig. 67 A) et des prises (fig. 67 B) en fonction de l'effort de pêche et de l'intensité des vents sur la Petite Côte du Sénégal.

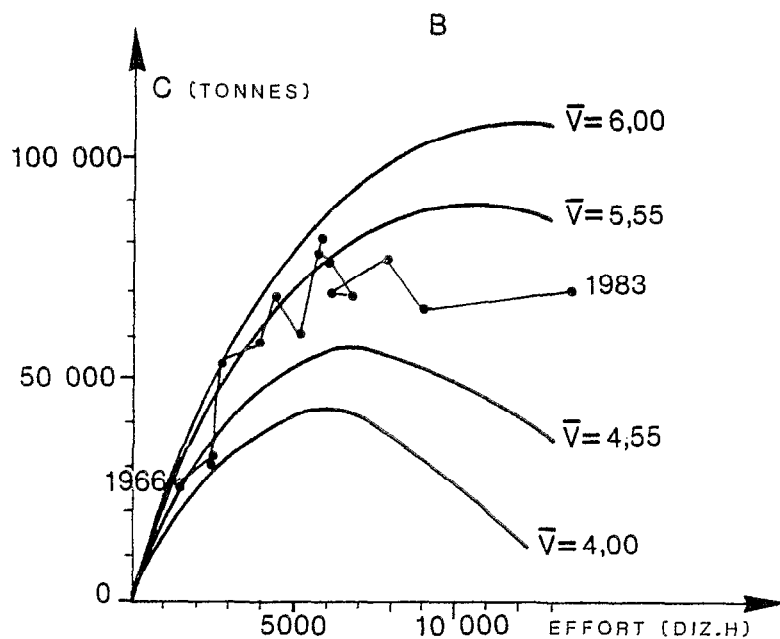
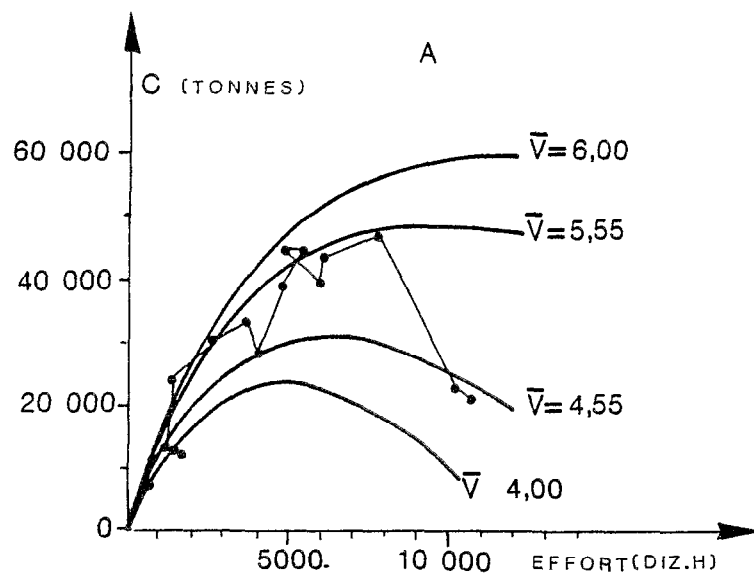


Fig. 68 - Modèle de production indiquant la relation entre l'effort de pêche (effort), l'intensité du vent (V) et les rendements (p.u.e.) ou la prise totale (C) sur la Petite Côte du Sénégal.

A : Sardinella aurita

B : Sardinella spp

De façon quelque peu arbitraire, nous avons donc retenu des valeurs de p_2 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.

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 p_2 , d'un point de vue strictement mathématique, ne peut être retenue car on observe que la prise tend vers l'infini lorsque l'effort augmente et que le vent moyen reste stable [14, p. 77, fig. 6].

V. 5.3. Analyse des résultats et des hypothèses

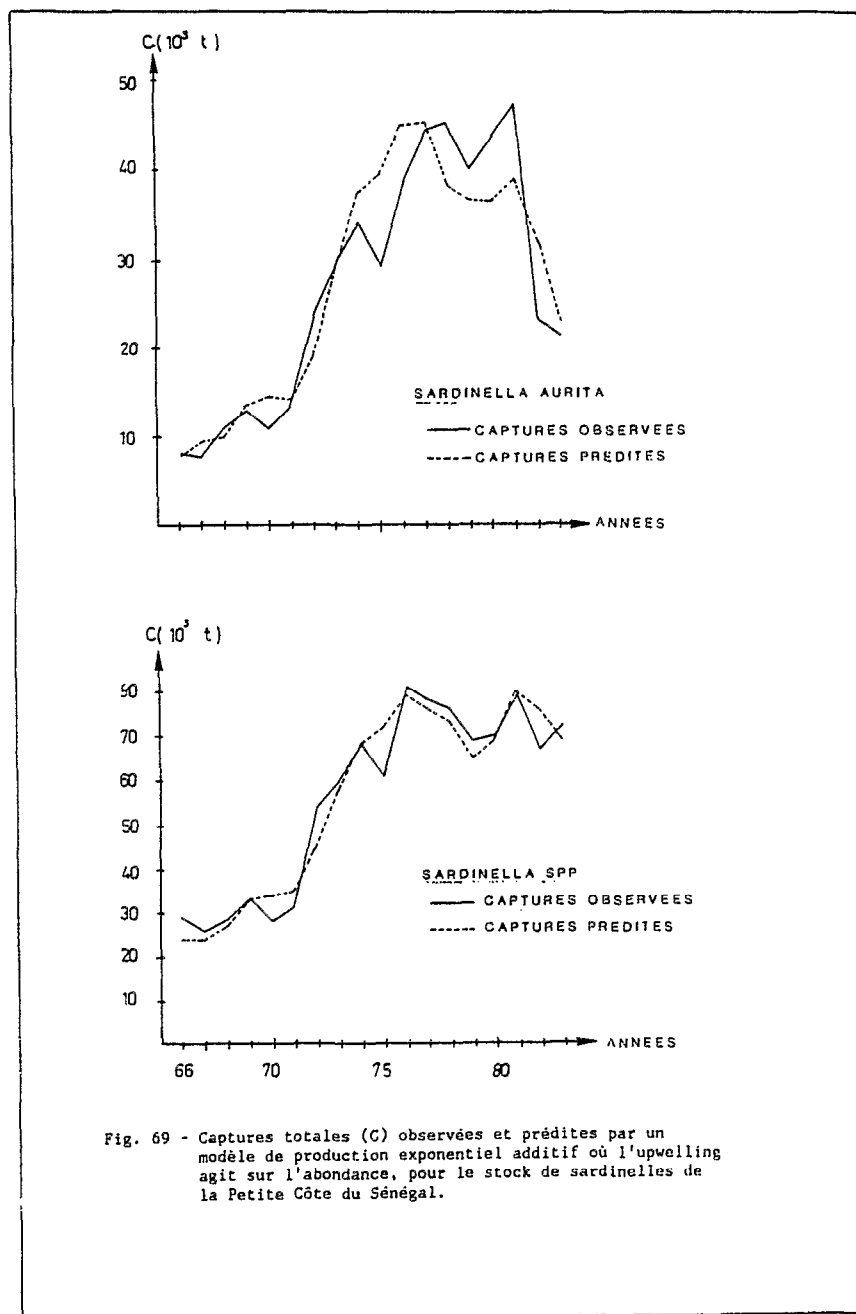
Les figures montrent que l'ajustement est satisfaisant pour l'ensemble de la période 1966-1983, et qu'il explique théoriquement 84 ou 85% de la variance des captures pour S. aurita (jeunes et jeunes + adultes) et 94% pour Sardinella spp. (fig. 68 et 69; tabl. 30). Certains des résidus les plus importants peuvent s'expliquer relativement bien. La décroissance des p.u.e. de 1966 à 1971, plus faible dans les données prédites que dans les données observées, est peut-être sous-estimée par le modèle du fait qu'à cette période, une partie de l'effort des pêches étrangères travaillant au Sénégal a pu s'exercer à l'intérieur des 12 milles côtiers, en dépit de la réglementation, et n'a donc pas été pris en compte. Par ailleurs, nous avons vu que l'année 1975 a été exceptionnelle pour Scomber japonicus, et qu'un report d'effort de pêche non chiffrable a sans aucun doute eu lieu vers cette espèce. Le fort résidu négatif de 1982 ne s'explique que partiellement par un report d'effort vers le chinchard jaune (15% des captures). Par ailleurs, il est probable que depuis 1982 la p.u.e. des sardiniers surestime la diminution d'abondance, ce qui conduit aussi à une surestimation de l'effort de pêche total, en raison de son mode de calcul.

Il est difficile de chiffrer statistiquement la qualité de l'ajustement du fait de l'absence de normalité des variables telles qu'elles ont été estimées, et du fait que l'on a fixé arbitrairement le paramètre p_2 . Afin d'estimer la stabilité du modèle, on a appliqué la technique de cross-validation, qui s'apparente à la méthode du jackknife (DUCAN, 1978 ; EFRON et GONG, 1983) au modèle établi pour Sardinella spp. A partir de la série de 18 années de données, on a effectué 18 ajustements sur 17 triplets de valeurs (prise, effort, vent) en retirant successivement l'un des 18 triplets annuels. En utilisant les paramètres ainsi obtenus, on a calculé la valeur de la capture prédite par le modèle pour l'année retirée du jeu de données, ainsi que le résidu correspondant (tabl. 31). On voit que les résidus fournis par la cross-validation ne sont en moyenne guère plus élevés que ceux fournis par l'ajustement initial, si ce n'est en 1983. Dans les deux cas, le coefficient d'autocorrélation de ces résidus est modeste ($r = -0,25$ et $-0,02$ respectivement pour d.d.l. = 16). A partir de la somme des carrés des résidus, on obtient une variance expliquée de 89% (contre 95% précédemment). On a calculé ensuite les pseudo-valeurs \hat{p}_i d'un paramètre p du modèle en

appliquant la formule :

$$\hat{p}_i = np_i - (n-1)\hat{p}_{-i} \quad (i=1, \dots, n)$$

où n est le nombre d'observations (18) et p_{-i} la valeur du paramètre p obtenue en effectuant l'ajustement sans l'observation i (tabl. 31). La moyenne des pseudo-valeurs fournit une nouvelle estimation de la valeur du paramètre. Ces nouvelles estimations diffèrent peu des estimations obtenues initialement.



Pays et Espèce	SENEGAL : <u>S.aurita</u>				<u>Sardinella spp.</u>	MAROC : <u>S.pilchardus</u>				- COTE-D'IVOIRE - GHANA (11 années) : <u>S.aurita</u>			
	Jeunes		Total			Estim.		σ^2		Estim.		σ^2	
Modèles	$U_i = P_1 e^{-P_2 f} + P_3 \bar{V}_i + P_4$				$Y_i = f(P_1 e^{-P_2 f} + P_3 \bar{V}_i + P_4)$	$U_i = P_1 V_i^2 e^{-(P_2 \bar{f} + \frac{3}{6} P_3 V_i P_2)}$		$Y_i = f(P_1 \bar{V}_i^2, P_3 - \frac{2}{3} P_4 \bar{V}_i)$		$f_i - \frac{1}{3} P_4 V_{i-1}^{P_3}$		$P_3 f_{i-1}^{P_3}$	
Paramètres	Estim.	σ^2	Estim.	σ^2	Estim.	σ^2	Estim.	σ^2	Estim.	σ^2	Estim.	σ^2	
P_1	11.33	1.29	13.98	1.55	17.84	1.69	57.41	15.63	0.235	0.222	0.158	0.708	
P_2	1.47.E-4*	-	1.47.E-4*	-	1.0.E-4*	-	0.996	0.21	1.107	0.431	1.866	0.933	
P_3	2.00	0.66	2.63	0.73	3.049	0.66	2.56 E-5	1.7 E-5	0.097	0.302	-0.343	0.332	
P_4	-10.03	3.51	-12.79	4.00	-13.51	2.86			3.21 E-4	5.93 E-4	0.016	0.063	
r^2	84 %		85% (73%)		94 % (86 %)		72 % (27 %)		82 % (22 %)		78 % (22 %)		

* Valeur imposée (optimum biologique)

Tableau 30 : Résultats des régressions multiples non linéaires correspondant aux exemples d'application de différents modèles. (entre parenthèses, coefficient de régression multiple pour le même modèle n'incluant que l'effort de pêche).

Années	Prises	Résidus Cross. validation	Résidus modèle	Pseudo valeurs		
				P ₁	P ₂	P ₃
66	29290	5027	4804	23,403	1,638	-8,732
67	26370	2180	2058	20,581	2,250	-10,687
68	28550	1198	1076	19,765	2,437	-11,197
69	33240	703	587	19,272	2,556	-11,622
70	28250	-6990	-5629	2,493	8,659	-35,048
71	30670	-4614	-4109	9,956	5,463	-22,298
72	53720	9398	8856	24,916	3,865	-19,986
73	59940	2374	2179	19,527	3,423	-15,838
74	69250	1535	1314	17,912	3,882	-17,487
75	61290	-12498	-10670	18,337	-3,819	18,723
76	80940	2004	1469	16,416	4,851	-21,465
77	77600	2023	1615	17,096	4,511	-20,105
78	76400	3599	3284	19,459	3,474	-15,719
79	69470	4983	3978	26,327	-0,572	1,638
80	70240	1594	1415	19,527	2,658	-11,979
81	78870	-832	-765	18,082	2,879	-12,897
82	66800	-10927	-9467	17,555	4,868	-25,103
83	71970	17154	3038	-28,175	-0,011	29,246
Moyenne des pseudo-valeurs :				15,692	2,945	-11,698
Valeurs initiales du modèle :				17,844	3,049	-13,509

Tabl.31.-Résultats de la cross-validation du modèle de production concernant Sardinella spp.

A partir des résultats du modèle de rendement par recrues, on a cherché à vérifier si la tendance à la baisse des p.u.e. représentait bien une diminution de l'abondance imputable pour l'essentiel à une augmentation de la mortalité par pêche F , et non simplement à une compétition locale entre les unités de pêche. (cf. sous chapitre IV .4). Pour ce faire, on a porté sur un même graphique la relation entre p.u.e. et F et celle entre $(Y/R)/F$ et F (fig. 70). Du fait que l'on suppose que la diminution d'abondance n'est pas pour l'instant affectée par une relation stock-recrutement, on peut ici considérer ce dernier comme un bruit blanc (même si l'on suppose que l'upwelling agit sur le recrutement, celui-là ne présente pas de tendance dans notre intervalle d'observation). Dans ces conditions, on doit obtenir deux courbes présentant des pentes voisines. C'est bien ce que l'on observe en retenant, par exemple, $M=1,0$ et $T_c=0,5$. On ne considèrera pas pour autant que cette coïncidence des deux courbes valide les deux modèles (et encore moins qu'elle permet d'estimer F). Ceci montre simplement que les deux approches ne procurent pas des résultats contradictoires.

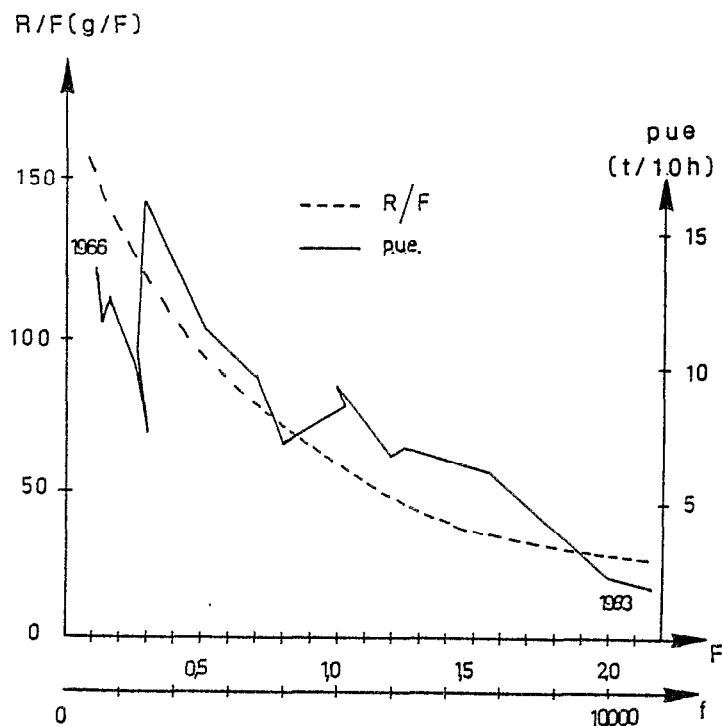


Fig. 70 - Comparaison de l'évolution des prises par unité d'effort de *Sardinella aurita* sur la Petite Côte avec l'évolution du rapport R/F (rendement par recrue/mortalité par pêche) obtenue d'après le modèle de B.-W. JONES, pour $M=1,0$ et $T_c=0,5$.

L'hypothèse de base la plus fondamentale dans le modèle 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. Nous avons vu que celui-ci a très fortement augmenté de 1966 à 1970, puis, qu'il s'est stabilisé pour diminuer légèrement ces dernières années en raison des réglementations successives des différents pays côtiers. 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 niveaux 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 avant même que l'apparition massive de *Sardina pilchardus* dans les pêcheries de Mauritanie ne puisse provoquer un changement d'espèce cible susceptible d'être bénéfique aux autres espèces.

Par ailleurs, nous avons vu qu'entre 1977 et 1980 les chalutiers polonais ont capturé jusqu'à 50.000 t de sardinelles par an, sans pour autant provoquer de diminution notable des rendements sur la Petite Côte.

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 évident 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).

Le stock de Sardinella aurita, grâce à ses trois composantes (2 nurseries et un sous-stock d'adultes) réparties dans différents pays, offre probablement une certaine résistance à la surexploitation locale, et des mécanismes complexes de régulation doivent jouer. Le modèle établi pour cette espèce semble donc tolérant vis-à-vis de l'hypothèse de base concernant la stabilité du taux d'exploitation à l'extérieur de la Petite Côte. Cependant, le stock n'a jamais subi dans le passé de fortes exploitations au niveau des trois sous-stocks en même temps (malgré l'absence de concertation entre les différents pays côtiers lors de l'octroi d'accords de pêche aux flottes étrangères à la région). Si cette situation survenait, nos connaissances actuelles ne nous permettraient pas de prévoir l'évolution des rendements, mais on devrait redouter un effondrement de l'ensemble du stock.

Le sous-stock de jeunes reproducteurs de Sardinella maderensis (qui n'a pas été modélisé individuellement) offre des caractéristiques différentes, puisqu'ici on est pratiquement certain que le sous-stock d'adultes n'alimente pas la nurserie sénégalaise. En associant les deux espèces dans un même modèle de production, on s'affranchit donc un peu plus de l'hypothèse de base principale.

La seconde hypothèse forte est l'effet de l'upwelling sur l'abondance. Lors de notre travail initial [14] cette hypothèse n'était basée que sur la brusque remontée des rendements de 1970 à 1972, laquelle n'a pu être expliquée que par une variable non liée à la pêche. Nous avons alors vérifié que cette augmentation n'était pas un artefact lié à une augmentation de puissance de la flotte en suivant les p.u.e. de trois sardiniers de 1966 à 1980 [14, p. 86, fig. 14]. Depuis ces dernières années, on observe une nouvelle phase d'upwelling faible, laquelle est associée à de bas rendements, ce qui vient conforter notre hypothèse.

On notera cependant que les capacités prévisionnelles du modèle restent limitées, en particulier lorsque l'on s'écarte des intervalles d'observation pour l'une des variables. Ainsi, à partir des paramètres obtenus par l'ajustement à la série de données 1966 à 1980 [14], on a calculé les prévisions des deux modèles pour les années 1981, 82 et 83. On n'a retenu ici que les modèles utilisant la valeur optimale de P_2 d'un point de vue biologique (ces valeurs ont été déterminées en 1981, avant que les statistiques de pêche postérieures à 1980 ne soient connues). On a choisi les modèles dont les intervalles de confiance des autres paramètres étaient les plus significatifs (ajustement sur les p.u.e. pour S. aurita et sur les prises pour Sardinella spp.). Les prévisions sont d'une précision modeste pour Sardinella aurita prise isolément, la baisse des rendements étant sous-estimée par

le modèle en 1982. Ceci peut s'expliquer par le report d'effort que les pêcheurs ont effectué sur Sardinella maderensis, celle-ci devenant pour la première fois majoritaire dans les captures des sardiniers (tabl. 11). En revanche les résultats sont meilleurs lorsque l'on considère les deux espèces ensemble, les effets de changement d'espèce cible n'intervenant plus entre les deux espèces (tabl. 32).

		A N N E E S					
		1981		1982		1983	
		prises	p.u.e.	prises	p.u.e.	prises	p.u.e.
<u>Sardinella aurita</u>	observées	47336	6.10	23474	2.30	21680	2.00
	prédites	39300	5.06	31743	3.11	23292	2.15
<u>Sardinella spp.</u>	observées	78870	10.1	66800	7.70	71970	5.20
	prédites	79631	10.2	76367	8.80	68928	4.95

Tabl. 32 .- Comparaison entre les valeurs de prises et de prises par unité d'effort (p.u.e.) observées de 1981 à 1983 d'une part, et prédites par les modèles établis à partir de la série de valeurs de 1966 à 1980 d'autre part (optimum biologique pour p_2 , ajustement sur les p.u.e. pour Sardinella aurita et ajustement sur les prises pour Sardinella spp.).

On remarquera que l'effort de pêche des trois dernières années a largement dépassé l'intervalle d'observation de la série des données antérieures, ce qui en toute rigueur nous interdit d'utiliser les paramètres anciens pour prédire la pêche actuelle.

V. 5.4. Conséquences en matière d'aménagement

Nos résultats tendent à montrer que la prise maximale dépend de l'intensité moyenne des vents. Pour V variant de 4,5 à 5,55 m/s, on obtient les prises maximales et efforts de pêche optimum suivants :

- Sardinelle ronde : 31.000 à 49.000 t et 7.000 à 10.000 heures de pêche.
- Sardinelle ronde et plate : 56.000 à 90.000 t et 6.000 à 9.000 heures de pêche.

On rappellera que ces valeurs sont fortement reliées à la valeur du paramètre p_2 , laquelle a été arbitrairement définie. Toutefois, la comparaison de ses valeurs avec les données de pêche (tabl. 12 et 13) donne à penser que le sous-stock de sardinelles de la Petite Côte est très probablement surexploité depuis 1982, compte tenu de la diminution d'intensité de l'upwelling.

Bien que les chiffres précédents restent indicatifs, les modèles obtenus permettent d'envisager trois cas de figure dans l'évolution de la pêche :

1 - Si la force des alizés se maintient au niveau actuel, tout accroissement de l'effort de pêche (artisanal ou industriel) n'augmentera pas la prise totale de l'ensemble des pêcheries de la Petite Côte, mais diminuera davantage les rendements unitaires ;

2 - Si l'intensité du vent augmente, la p.u.e. et les captures augmenteront, le taux d'exploitation (f_i/f_{msy}) diminuera et les profits s'élèveront, même si l'effort de pêche s'accroît légèrement, ce qui a toutes les chances de favoriser l'armement de nouvelles unités de pêche, et donc d'hypothéquer lourdement l'avenir de la pêche ;

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

Dans tous les cas de figure, 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, nous l'avons vu, profite à une minorité de propriétaires au détriment des pêcheurs, mais la dynamique sociale est complexe, solidement ancrée et probablement très difficile à modifier. 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 importants de débarquement, en Casamance notamment. Il conviendrait donc d'augmenter le rayon d'action des pirogues (moteur diesel, conservation du poisson), d'améliorer les circuits de distribution vers l'intérieur du pays, de rénover la flotte sardinière et de créer de petits ports de pêche adaptés aux besoins de ces flottilles.

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. Ceci suppose, d'une part que l'on soit capable de prévoir le climat quelques mois à l'avance, d'autre part que l'on dispose de moyens d'exploitation peu onéreux et flexibles. Dans cette dernière optique, la pêche artisanale offre des possibilités d'adaptation certainement plus grandes que la pêche semi-industrielle, bien qu'elle soit probablement beaucoup plus difficile à maîtriser. En conséquence, on devrait maintenir la dualité actuelle de l'exploitation par les deux types de flottilles. Quant à la prévision du climat, tout un chacun en connaît les difficultés. Toutefois, on peut ici tirer profit de la forte autocorrélation des séries climatiques. On a montré que l'intensité

du vent en novembre-décembre de l'année i était un indicateur acceptable de l'upwelling moyen de l'année $i+1$. On peut également utiliser un modèle autorégressif (type ARIMA). Cependant, tout comme dans le cas de la prévision du temps qu'il fera demain, une excellente façon de ne pas trop se tromper est de dire que ce sera le même qu'aujourd'hui, on peut utiliser l'indice d'upwelling de l'année en cours comme estimateur de celui de l'année suivante.

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.

V. 6. Comparaison avec d'autres stocks

V. 6.1. Le stock de sardines du Nord-Sahara

Nous avons vu que la flotte marocaine exploitait en zone A et jusqu'en 1980 les jeunes sardines d'un stock qui, par ailleurs, subissait une pression de pêche dans une autre zone (B) et sur les individus adultes principalement. Cette situation est donc en partie comparable à celle de la Petite Côte du Sénégal.

Si l'on ne considère donc que l'abondance de la fraction jeune de l'ensemble du stock capturable par la flotte marocaine dans la zone A, on pourrait retenir une hypothèse simplificatrice : en arguant du fait que l'effort est modéré, on pourrait supposer que l'exploitation de ces adultes n'affecte pas sensiblement la relation stock-recrutement. Tout comme dans le cas du Sénégal, on ne prendrait alors en compte dans le modèle que l'effort de pêche f en A et l'intensité de l'upwelling, lequel agirait ici sur la capturabilité. Le modèle exponentiel correspondant expliquerait alors 67 % de la variance des p.u.e. Nous avons cependant préféré prendre également en compte l'effort de pêche moyen (\bar{f}') en B au cours des trois années antérieures à la pêche en A, car en supplément d'une éventuelle relation stock d'adultes-recrutement, il prend en compte l'existence d'un recouvrement non négligeable des classes d'âge exploitées par les deux pêcheries (la saison de pêche ayant lieu d'abord en A puis en B, l'effort de l'année en cours en B n'est pas pris en compte).

Afin de compléter la standardisation des efforts de pêche entre les flottilles marocaines et espagnoles, entreprise dans un premier temps au niveau de l'ensemble de la période (paragraphe V.3.2.) on peut, dans un deuxième temps, appliquer un coefficient de capturabilité standard annuel q_i à l'effort marocain, en pondérant celui-ci par l'indice d'upwelling V_i . Si

q' est la capturabilité pour la flotte espagnole, on aura ainsi :

$$q_i = q' b V_F$$

La capturabilité étant en moyenne identique pour les deux flottes, $b V_F'$ doit être en moyenne égal à 1. On doit en effet satisfaire à :

$$q' = \bar{q} = \frac{\sum_{i=1}^n q' b V_F}{n} = q' \frac{b \sum_{i=1}^n V_F}{n}$$

$$\text{d'où : } \frac{b \sum_{i=1}^n V_F}{n} = 1 \quad \text{soit : } b = \frac{n}{\sum_{i=1}^n V_F}$$

Le paramètre b pourra donc être estimé indépendamment de la variable expliquée en incluant dans les calculs itératifs la relation précédente. Cette standardisation est bien sûr grossière, mais s'agissant du modèle que nous allons développer, une erreur à ce niveau aura peu d'incidence : d'une part les captures espagnoles ne représentent que 27 % des captures totales réalisées sur le stock jusqu'en 1980, d'autre part les résultats de la pêche marocaine, qui seuls seront modélisés, sont plus dépendants de l'intensité de l'upwelling que de l'effort de pêche. En revanche une modélisation de la pêcherie espagnole seule serait plus hasardeuse, compte tenu des difficultés de standardisation de l'effort de pêche des bateaux espagnols entre eux.

Si l'on retient un modèle exponentiel -le stock paraissant robuste- on peut écrire :

$$B_t = B_\infty e^{-\left(\frac{q'}{k} s' f' + \frac{q}{k} f\right)}$$

Les p.u.e. équilibrées de la flotte marocaine seront donc égales à :

$$U_\infty = q B_\infty = B_\infty q' b V_F e^{-\left(\frac{q}{k} f' + \frac{q' b V_F}{k} f\right)}$$

Soit, en regroupant les paramètres constants :

$$U_\infty = p_1 V_i^{p_2} e^{-(p_3 s' f' + p_3 b V_i^{p_2} f)}$$

Les captures marocaines portant principalement sur trois classes d'âge, en situation de transition, nous aurons :

$$U_i = p_1 V_i^{p_2} e^{-(p_3 s' f' + \frac{3}{6} p_3 b V_i^{p_2} f_1 + \frac{2}{6} p_3 b V_{i-1}^{p_2} f_{1-1} + \frac{1}{6} p_3 b V_{i-2}^{p_2} f_{1-2})} + \epsilon_1$$

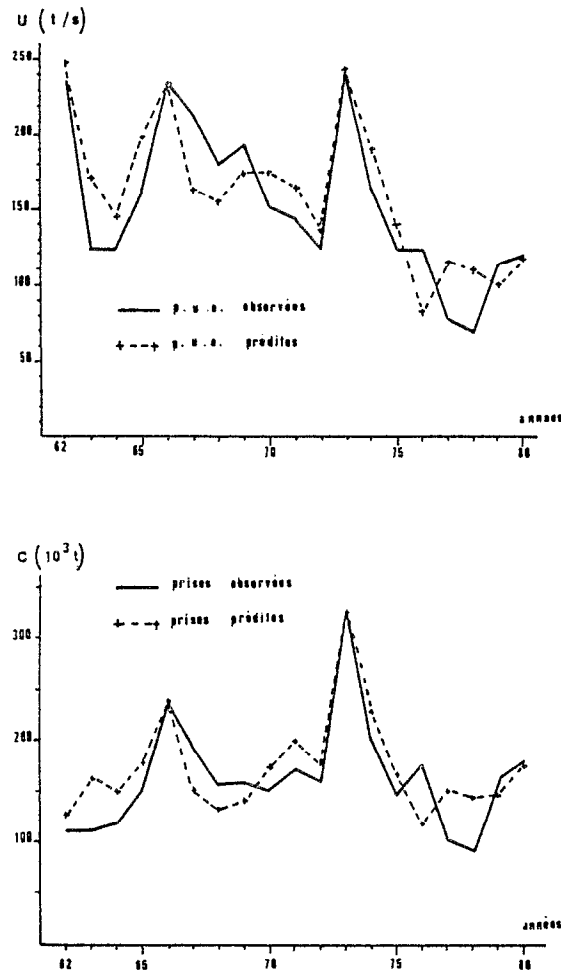


Fig. 71 - Prises par unité d'effort (U, fig. a) et prises (C, fig. b) observées et prédites par un modèle de production exponentiel où la variable climatique agit sur la capturabilité, pour le stock nord-saharien de sardine, de 1962 à 1980.

Ce modèle explique 72 % de la variabilité des p.u.e. (69 % de celle des prises), et deux paramètres sont significativement différents de zéro au seuil de 95 %, le troisième n'étant significatif qu'à moins de 90 % de sécurité (tabl. 30 ; fig. 71); il s'agit du paramètre p_3 appliqué aux efforts de pêche. En conséquence, les valeurs de f_{opt} , et dans une certaine mesure de Y_{max} sont peu fiables. Ceci s'explique par le fait que la mortalité par pêche subie par le stock n'a pas énormément fluctué au cours de la période d'observation, l'augmentation de l'effort nominal étant compensé par une diminution de la capturabilité. Malgré les limites de cette analyse, on peut conclure que le stock semble robuste et sous-exploité (jusqu'en 1980 tout au moins), contrairement à ce que pourrait laisser croire le simple examen de la série fortement décroissante des p.u.e.. Ces conclusions sont en accord avec les analyses fines réalisées à partir des structures d'âge (BELVEZE, 1984). Tant que l'effort de pêche exercé sur le sous-stock d'adultes de la zone B restait modéré, il ne semblait pas nécessaire d'aménager la pêcherie en A qui, dans les conditions d'exploitation des années 60 à 80, ne pouvait surexploiter le stock qu'au prix de rendements par bateau extrê-

mement bas ou à la faveur d'une série de trois ou quatre années d'upwelling d'intensité exceptionnelle, ce qui n'a jamais été observé. La situation de ces dernières années a considérablement évolué, la flotte marocaine exploitant jeunes et adultes dans la zone B depuis 1981, avec des rendements très élevés. Il sera indispensable à l'avenir, lorsque la série de données sera suffisamment longue et précise, d'utiliser un modèle de production unique pour les deux pêcheries.

Ce modèle unique pourrait bien sûr être de type structural, tel que BELVEZE (1984) l'a envisagé. Cependant, les clés taille-âge présentées par cet auteur indiquent que chez la sardine, on observe également une forte variabilité des tailles selon les âges qui, ici aussi, va en diminuant avec l'âge des cohortes (tabl. 33). Les chevauchements des tailles des cohortes successives sont la règle, et le plan d'échantillonnage doit être lourd si l'on veut obtenir des structures d'âge fiables. On peut se demander si les deux pays concernés maintiendront un taux d'échantillonnage aussi exemplaire que jusqu'à présent, pour un stock de valeur modeste.

AGE :	Deuxième trimestre						Troisième trimestre					
	0	I	II	III	IV	V	0	I	II	III	IV	V
TAILLE (cm)												
9,0												
9,5												
10,0												
10,5	2											
11,0	5						8					
11,5	8						8					
12,0	12						12					
12,5	14						20					
13,0	8						18					
13,5	10	1					23					
14,0	8	3					22	1				
14,5	9	6					32	1				
15,0	7	11					27	1				
15,5	5	30	3				24	4				
16,0	1	31	2				24	11	1			
16,5	1	46	12				12	19	1			
17,0		24	22	1			1	23	5			
17,5		20	33	6			21	9	2			
18,0		10	33	14			18	13	1			
18,5		2	36	18	2		15	20	3			
19,0		1	17	23	4		6	19	12	1		
19,5			14	23	9	1	2	19	19	2		
20,0			3	28	16	1		9	21	9		
20,5			4	13	8	4		6	15	10	4	
21,0				2	7	6		1	6	8	12	
21,5					7	10		1	2	2	11	
22,0					3	5		1		3	10	
22,5						2					3	
23,0											1	
23,5											1	
24,0											1	

N =	90	185	179	128	56	29	231	122	105	81	35	43
X =	13,5	16,3	18,0	19,2	20,3	21,3	14,1	17,3	18,8	19,8	20,6	21,6
σ =	1,40	0,96	1,00	0,86	0,88	0,69	1,42	1,02	1,06	0,75	0,70	0,76

TABL. 33.- Clés âge/longueur de Sardina pilchardus dans la zone A.
Exemple du 2ème et 3ème trimestre 1977 (BELVEZE, 1984).

V. 6.2. Le stock ivoiro-ghanéen de sardinelles

On est ici en présence d'un stock dont l'aire de répartition géographique est plus limitée que celle des précédents. Par ailleurs, les études de productivité primaire indiquent que cette région est beaucoup plus pauvre que la zone sénégalomauritanienne. Il faut peut-être voir là l'explication de la différence des tailles maximales enregistrées entre les Sardinella aurita de ce stock (25 cm à la fourche) par rapport à celles des zones plus riches situées au niveau des grandes provinces d'upwellings côtiers liés aux alizés tropicaux : 32 cm en zone sénégalomauritanienne et 30 cm en zone angolo-congolaise (GHENO, 1975). De même, la taille à la première maturité (L_{50}) n'est ici que de 15 cm alors qu'elle atteint 21 cm au Congo (FONTANA et PIANET, 1973) et 18,5 cm au Sénégal tandis que la vitesse de la croissance est plus lente. L'upwelling est ici de faible intensité, mais l'espèce y paraît d'autant plus sensible qu'elle semble proche des conditions limites d'environnement qui lui sont habituelles (zones très riches), et il faut probablement voir là l'une des explications de la fragilité de ce stock qui s'est effondré en 1973. Nous avons donc retenu un modèle linéaire où le phénomène hydroclimatique agit à la fois sur la productivité du stock et sur sa capturabilité (voir chapitre V.4.5.). Compte tenu de l'âge moyen des individus, on a estimé que les p.u.e. de l'année i étaient fonction, d'un côté de l'effort moyen au cours des années i et $i-1$, d'un autre côté de l'intensité de l'upwelling au cours des mêmes années, supposant que ce dernier a une action bénéfique sur l'abondance tout au long de la vie des individus.

Si l'on retient la formulation simplificatrice : $g(V)$ et $y(V) = bV^c$, l'équation du modèle sera la suivante :

$$B_i = B_{\infty} - \left(\frac{2}{3} q_i f_i + \frac{1}{3} q_{i-1} f_{i-1} \right) / h + \epsilon_i$$

$$U_i = q_i B_{\infty} = q_i B - \left(\frac{2}{3} q_i f_i + \frac{1}{3} q_i q_{i-1} f_{i-1} \right) / h + \epsilon_i$$

$$\text{si } B_{\infty} = b \left(\frac{2V_i + V_{i-1}}{3} \right) = b\bar{V}_i$$

$$\text{et } q_i = b' \bar{V}_i^{c'}; \quad q_{i-1} = b' \bar{V}_{i-1}^{c'}$$

$$\text{on aura : } U_i = b b' \bar{V}_i^{c'} \bar{V}_i - \left(\frac{2}{3} \frac{b'^2}{h} \bar{V}_i^{2c'} f_i + \frac{1}{3} \frac{b'^2}{h} \bar{V}_i^{c'} \bar{V}_{i-1}^{c'} f_{i-1} \right) + \epsilon_i$$

qui est de la forme :

$$U_i = p_1 \bar{V}_i^{p_2} \bar{V}_i^{p_3} - \frac{2}{3} p_4 \bar{V}_i^{2p_3} f_i - \frac{1}{3} p_4 \bar{V}_i^{p_3} \bar{V}_{i-1}^{p_3} f_{i-1} + \epsilon_i$$

Si l'intérêt majeur de la modélisation de ce stock instable est bien de chercher à expliquer la surpêche de 1972 et l'effondrement du stock au cours de l'année suivante, en contrepartie, il reste illusoire de vouloir modéliser la période

de reconstitution du stock, ce que ne permettent généralement pas les modèles globaux usuels, même lorsque l'on utilise des méthodes d'ajustement pour les situations de non-équilibre, ou prenant en compte l'existence de délais de réponse du stock (WALTER, 1973-1975 ; FLETCHER, 1978). Nos modèles n'échappent pas à cette règle, d'autant que, dans le cas présent, nous avons vu que Balistes capricus a présenté une explosion démographique au moment de l'extinction du stock de sardinelles (la relation entre les deux phénomènes reste encore obscure) et que les pêcheurs ont changé rapidement d'espèce cible lorsque les sardinelles rondes ont disparu au profit des sardinelles plates, anchois, maquereaux, etc.

On a donc cherché à retirer de la série de données complètes (1966 à 1980) la période de reconstitution du stock, période dont la durée n'était pas facile à déterminer a priori. Dans un premier temps, on a retiré uniquement les années 74 et 75, durant lesquelles les p.u.e. étaient pratiquement nulles. Le modèle résultant présente alors des résidus négatifs hautement significatifs pour les années 76 et 77, ce qui permet de penser que la reconstitution du stock n'était alors que partielle (fig. 72). En retirant également ces deux années, le modèle explique 82 % de la variabilité des p.u.e. pour les 11 points restants (contre 63 % auparavant) et 79 % de celle des captures. On notera cependant que dans les deux cas la surpêche de 1972 est mal expliquée, et que la valeur du paramètre P_3 n'est pas significativement différente de zéro au seuil de 95 % (tabl. 30).

Si l'on admet, comme l'a fait BINET (1982), que l'upwelling agit essentiellement sur la productivité alors que la disponibilité dépend essentiellement de la dessalure liée au débit des fleuves, on peut alors utiliser deux variables climatiques explicatives dans le modèle, notées respectivement V et V' :

$$B_t = b \bar{V}_t ; \quad q_t = b' V_t \epsilon_t ; \quad q_{t-1} = b' V_{t-1} \epsilon_{t-1}$$

d'où :

$$U_t = p_1 \bar{V}_t - p_2 \bar{V}_{t-1} - \frac{2}{3} p_4 V_t^2 f_t - \frac{1}{3} p_4 V_t V_{t-1} f_{t-1} + \epsilon_t$$

En utilisant la même série de 11 années de données, le modèle explique 78 % de la variance des prises et 83 % de celle des p.u.e., mais seuls deux paramètres sont significativement différents de zéro, au seuil de 5% (tabl. 30), ce qui s'explique par le faible nombre de degrés de liberté, lié à la qualité des données et à la situation de déséquilibre extrême que connaît la pêcherie. Les résidus sont plus faibles que précédemment pour la période critique 1972-73 (fig. 73), mais les prises maximales équilibrées résultant de ce modèle paraissent peu fiables.

Malgré les limites de tels résultats, nous avons tenu à présenter cet exemple car, en supplément d'un intérêt didactique certain, il présente divers avantages. D'une part, il confirme que l'intensité de l'upwelling est probablement une variable climatique jouant un rôle prépondérant sur ce stock, mais que cette variable ne peut à elle seule expliquer pour quelle raison, en 1972, alors que le stock était déjà intensément exploité, les

p.u.e. ont brutalement augmenté, entraînant l'effondrement du stock l'année suivante. D'autre part, on voit que le débit des fleuves (ou la salinité) joue un rôle important, mais ce rôle est difficile à préciser compte tenu de la quantité et de la qualité des données disponibles (action seuil? synergie avec l'upwelling?). Dans tous les cas de figure, on peut conclure que l'instabilité naturelle de ce stock est amplifiée par l'exploitation intense qu'il subit, et qu'un quota fixe sur les captures (aux environs de 40.000 t) représente la mesure de sauvegarde minimum la moins difficile à mettre en oeuvre dans l'immédiat.

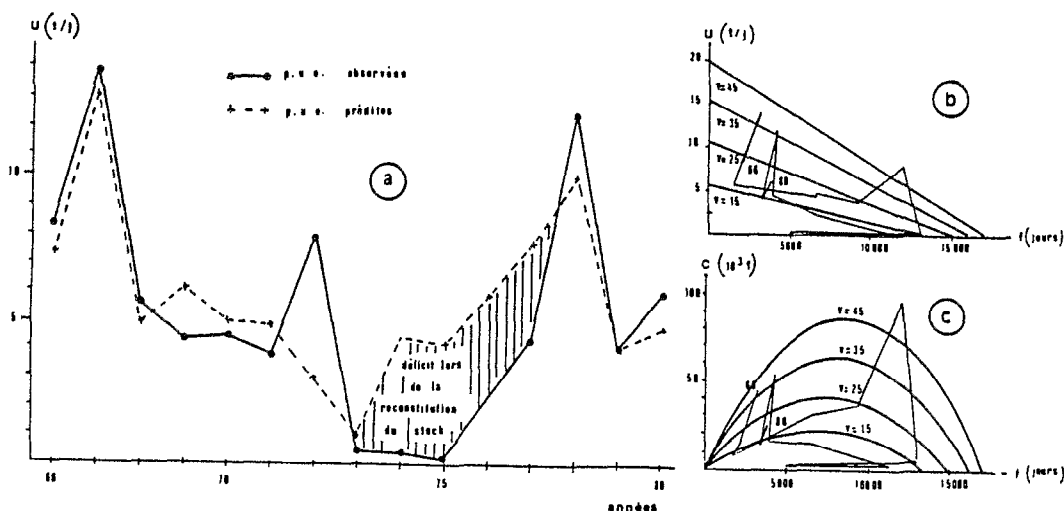


Fig. 72 - Prises par unité d'effort (U) observées et prédites (fig. a) par le modèle de production linéaire (fig. b et c) où l'indice d'upwelling V agit sur l'abondance et sur la capturabilité (ajustement réalisé sans les années 1974 et 1975), pour le stock ivoiro-ghanéen de Sardinella aurita, de 1966 à 1980.

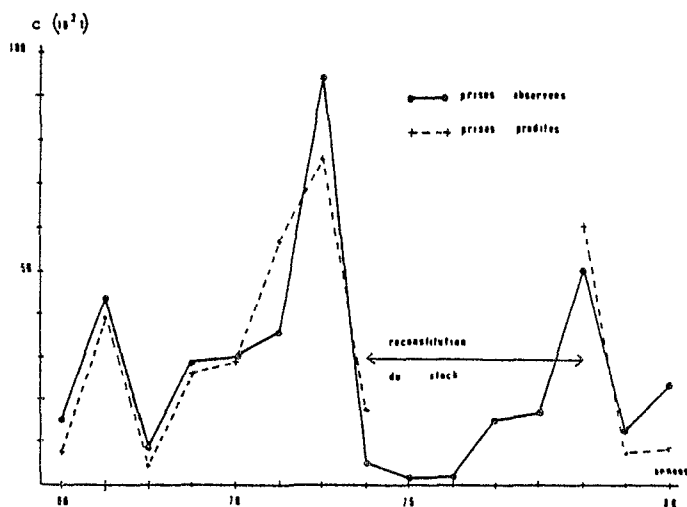


Fig. 73 - Captures totales (C) observées et prédites par le modèle de production linéaire où l'upwelling agit sur l'abondance, et le débit des fleuves sur la capturabilité, pour le stock ivoiro-ghanéen de Sardinella aurita de 1966 à 1980.

VI CONCLUSION

En dépit du risque de laisser apparaître une certaine disparité dans le sujet traité, on a tenté ici d'envisager les diverses facettes que comporte ce système complexe qui, partant du climat, conduit à la production halieutique. On ne peut pour autant prétendre à l'exhaustivité, tant sont nombreux les facteurs physiques, biologiques, écologiques, économiques et sociaux, situés en amont ou en aval de l'objet principal de notre étude : les stocks de poissons pélagiques côtiers.

Les conditions de milieu rencontrées sur le plateau continental de la zone sénégal-mauritanienne (9° N à 26° N) présentent une forte variabilité saisonnière et interannuelle. L'upwelling côtier y assure une production planctonique considérable durant la majeure partie de l'année. Sa durée et son intensité diminuent du nord au sud de la zone. Dans cette dernière région, en particulier au niveau de la Petite Côte du Sénégal, l'intensité des alizés est l'élément moteur essentiel de la production de saison froide.

Les clupéidés (Sardinella aurita, Sardinella maderensis, et Sardina pilchardus), consommateurs primaires par excellence, sont abondants dans la région et présentent une vitesse de croissance élevée. Ils colonisent le milieu grâce à leur capacité migratoire élevée, associée à une forte fécondité qui leur permet d'adopter un mode de reproduction en partie opportuniste : les pontes principales ont lieu dans les strates spatio-temporelles qui sont généralement les plus favorables au développement des premiers stades, mais il existe ailleurs des pontes secondaires qui pourront, certaines années, produire des cohortes d'abondance non négligeable. Les stocks se subdivisent en sous-unités correspondant d'une part à des adultes grands migrants, d'autre part à des jeunes individus restant localisés dans les différentes nurseries côtières jusqu'à leur première reproduction. Cette stratégie démographique permet à ces espèces d'adapter leur abondance aux fluctuations de l'environnement.

Lorsque l'on veut modéliser la production halieutique d'un tel système d'upwelling côtier, la difficulté essentielle est de choisir les variables les plus représentatives et d'estimer correctement leurs fluctuations. Lorsque l'on progresse dans ce système, les principales variables couramment mesurées sont successivement : la vitesse (et la direction) du vent, la température de surface, la teneur en sels minéraux, le phytoplancton, le zooplancton et les poissons pélagiques côtiers. De façon très schématique, on peut dire qu'au cours de l'évolution du système d'upwelling, la variabilité dans l'espace (à un instant donné) des différents maillons va en augmentant, tandis que leur variabilité dans le temps (pour une région donnée) va en diminuant (fig. 74). On se réfère ici non pas à des variances brutes, mais plutôt aux résultats qui pourraient être fournis par des variogrammes, ou encore à une estimation des rapports signal-bruit des variables (signal annuel et régional dans ce cas).

Les champs de vent en mer peuvent être considérés comme étant relativement stables dans un carré de 1° de côté, dès que l'on s'est éloigné des obstacles naturels de la côte. En revanche, leur variabilité dans le temps est très grande, puisque l'on observe des "coups de vent" brutaux, suivis de relaxations, des variations nycthémérales, saisonnières et inter-annuelles. En conséquence, le pas des mesures spatiales pourra être ici très lâche (une station par région) mais les mesures devront être effectuées plusieurs fois par jour.

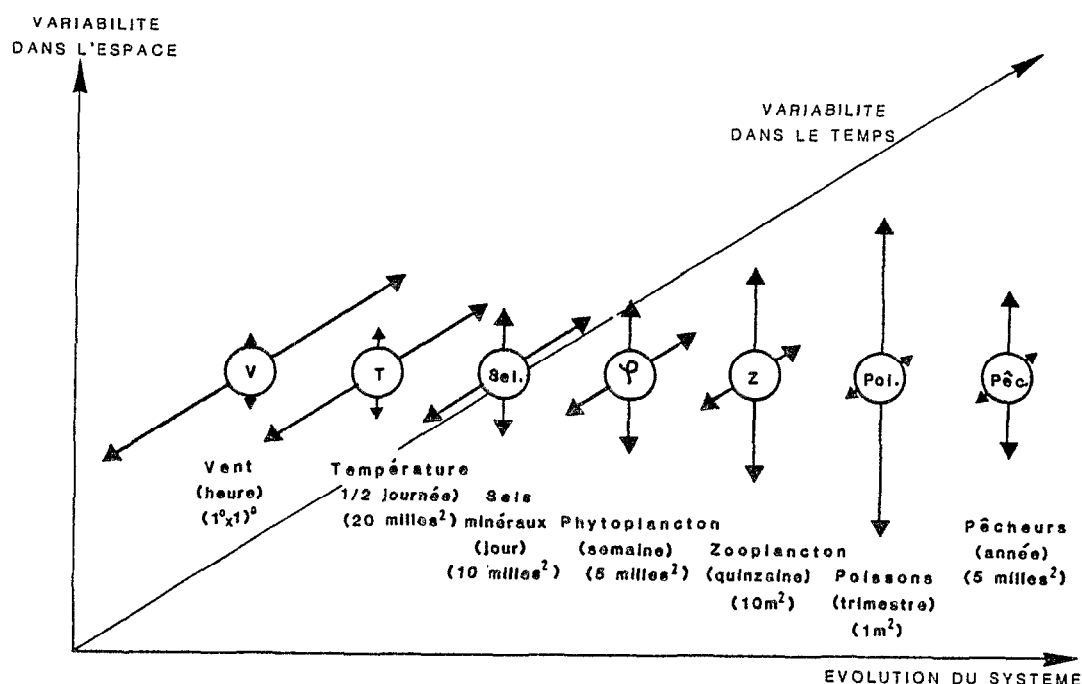


Fig-74- Schématisation de la variabilité des différents maillons d'un système de production (variables centrées réduites) dans une région d'upwelling côtier (échelles de variabilité non linéaire; entre parenthèses: durée ou surface de relative stabilité du maillon).

La température de surface et les sels minéraux, caractérisant une masse d'eau, présentent des fluctuations plus amorties dans le temps, mais plus variables dans l'espace. Il sera ici plus difficile de bien choisir un seul point représentatif d'une région. Par ailleurs, nous avons vu que la température pouvait varier en fonction de phénomènes extérieurs au plateau continental et non liés à l'upwelling côtier, ce qui penche en faveur de l'utilisation de la différence de température entre le plateau et le large.

En milieu de chaîne, le plancton présentent les plus grandes difficultés d'échantillonnage puisque son abondance varie notablement à la fois dans le temps et dans l'espace, nécessitant une maille spatio-temporelle d'échantillonnage très serrée.

Passé l'âge du recrutement, les poissons offrent une grande stabilité d'abondance dans le temps, lorsque l'on se place à l'échelle régionale, de l'ordre du trimestre pour les clupéidés (davantage pour d'autres groupes), mais leur variabilité dans l'espace est considérable. Tout comme pour le plancton, elle est en fait bimodale, car on observe des regroupements à deux niveaux : celui du banc de poissons (ou de la tache de plancton) et celui de la concentration (ceci montre bien que la figure proposée est très schématique). De plus, dès que les organismes sont capables de se déplacer activement, des variations mal appréhendées de la capturabilité dans le temps vont imposer un échantillonnage très fréquent.

Face à ces difficultés, et en fonction des données actuellement disponibles, les relations entre les maillons intermédiaires du système de production n'ont été étudiées que de façon ponctuelle et semi-quantitative. On n'a retenu dans la modélisation de la production de la Petite Côte que les deux maillons extrêmes du système de production : le vent, pour lequel on dispose de mesures tri-horaires depuis 1947 en un point représentatif de la situation en mer, et les poissons pour lesquels la pêche fournit depuis 1966 un échantillonnage intense sur la Petite Côte du Sénégal. Le même choix a été réalisé pour le stock de sardines du Maroc à partir des travaux d'autres auteurs. En Côte d'Ivoire, où l'upwelling n'est pas seulement dépendant du vent local, la température de surface, relevée en deux points de la côte, semble constituer le meilleur indicateur. On a retenu une p.u.e. aussi représentative que possible de l'abondance, en vérifiant que les indices obtenus n'étaient pas trop biaisés.

Cependant, on sait que l'environnement agit également sur leur répartition géographique par des mécanismes qui ne se réduisent sûrement pas à une simple recherche du preferendum thermique, mais font probablement appel à des phénomènes écophysiologiques que l'on connaît encore mal. Il en résulte des variations de capturabilité qu'il n'est pas toujours aisé de séparer des fluctuations d'abondance que l'on mesure à partir des résultats de la pêche commerciale. La difficulté est encore accrue par le gréganisme de ces espèces associé à la forte variabilité de la taille des individus d'une même cohorte, ce qui rend difficile l'échantillonnage entrepris également pour l'étude de la croissance ou celle des migrations. On ne peut donc considérer comme définitifs le schéma et les paramètres du cycle de vie obtenus

pour ces espèces. Par ailleurs, l'association dans un même banc d'espèces voisines par leur morphologie et leur écologie, à un stade donné de leur développement, incite à les considérer comme un stock unique dans les modèles globaux de production, bien que toutes leurs écophases successives ne soient pas similaires.

Malgré ces difficultés, en introduisant une variable climatique dans les modèles globaux, on arrive à décrire de façon satisfaisante l'évolution des biomasses, en n'utilisant que deux variables explicatives (effort de pêche et climat). La méthode semble aussi applicable pour des pêcheries ne concernant que des sous-stocks, comme dans le cas des pêcheries de sardinelles de la Petite Côte du Sénégal. Si, grâce à leur robustesse, ces modèles permettent d'expliquer la majeure partie de la variabilité observée, on doit cependant rester prudent lors de leur utilisation à des fins prévisionnelles. Il n'en reste pas moins vrai qu'ils permettent parfois de proposer des mesures d'aménagement propres à préserver les stock, tout en optimisant l'exploitation des surplus de production.

Selon que l'environnement agit sur l'abondance, sur la capturabilité ou sur ces deux entités à la fois, les stocks seront plus ou moins menacés par des risques d'effondrement. De plus, entrent en jeu le temps de réponse du secteur de la pêche (armements, commercialisation, transformation) aux fluctuations des stocks. A cet égard, le secteur artisanal est celui qui réagit le plus rapidement, mais il est tout aussi difficile de limiter son activité lorsque la ressource diminue. Dans cet ordre d'idées, on a figuré la répartition des pêcheurs sur le diagramme de la figure 74. La variabilité dans le temps est ici encore plus faible que pour les poissons ce qui rend compte des difficultés de l'aménagement d'une pêcherie en raison de l'inertie que présente "l'abondance" des pêcheurs par rapport à celle des poissons (quant à la variabilité dans l'espace elle est probablement plus faible également, les flottilles se regroupant autour des concentrations de poissons).

Enfin, le mode de répartition des stocks et la diversité de leurs habitats les rendent plus ou moins sensibles à un effondrement du stock. Ainsi, les stocks de sardinelles de la zone sénégal-mauritanienne et les stocks de sardines de l'Afrique de l'Ouest sont subdivisés en sous-stocks présentant divers degrés d'échange et répartis sur une vaste zone. Ils sont exploités par des pêcheries très diversifiées et résistent relativement bien à la forte pression de pêche qu'ils subissent. On observe une situation analogue dans la zone d'upwelling intense située au sud de l'équateur, en Angola et au Congo, où les clupéidés sont également abondants.

En revanche, le stock ivoiro-ghanéen de sardinelle présente une extension géographique beaucoup plus limitée, un habitat plus homogène dans l'espace, des individus dont la vitesse de croissance est plus lente, et son exploitation est réalisée essentiellement par les pêches artisanales ghanéennes capturant des juvéniles. En effet, si l'on considère la proportion des captures en nombre, et non en poids, les pêches industrielles sont largement minoritaires. C'est ici la réaction immédiate du secteur artisanal à l'augmentation de disponibilité qui a provoqué l'effon-

drement du stock.

L'apparente robustesse des stocks de sardinelles de la zone sénégal-mauritanienne ne doit pas faire oublier qu'il persiste un risque majeur de surexploitation si les conditions défavorables suivantes se conjuguent :

- diminution des alizés responsables de l'upwelling;

- dépassement de l'effort de pêche optimum correspondant à la capacité de charge du milieu sous de telles conditions climatiques pour l'ensemble des sous-stocks concernés;

- diminution de la taille de première capture : si, au niveau actuel d'exploitation, on ne peut espérer aucun gain de productivité en augmentant cette taille, à l'opposé une diminution de celle-ci serait préjudiciable au rendement par recrue et probablement au recrutement, tout au moins pour S. aurita.

Ces dernières années, on tend à s'approcher dangereusement de ces conditions, et un aménagement concerté de l'ensemble des pêcheries des différents pays s'impose plus que jamais. Au Sénégal en particulier, l'effort de pêche sur la Petite Côte doit être impérativement réduit tant que les alizés resteront faibles. En revanche, les régions périphériques (grande Côte, et surtout Casamance) gagneraient à être plus exploitées. Le choix du mode d'exploitation de ces zones ne devrait pas être basé sur l'idée reçue d'une efficacité supérieure des formes de pêche industrielles et sur une réduction hâtive de la pêche artisanale à ses seuls effets sociaux (WEBER et FONTANA, 1984). Cette dernière peut en effet concilier rentabilité élevée du capital, faiblesse de l'investissement, taux élevé de valeur ajoutée et forte utilisation de main d'oeuvre.

Ce travail a montré quels étaient les points faibles de nos connaissances. Il débouche également sur un certain nombre de recommandations en matière de recherche, lesquelles devraient permettre la vérification de certaines hypothèses.

LISTE DES PUBLICATIONS PRESENTÉES DANS LE VOLUME II

- BOELY (T.) et FREON (P.), 1979. - Les ressources pélagiques côtières, in : J.P. Troadec et Garcia : Les ressources halieutiques de l'Atlantique centre-est. 1ère partie : les ressources du golfe de Guinée, de l'Angola à la Mauritanie. FAO Doc. Tech. 186 (1): 167 p.
- [1]
- 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. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180 : 350-355.
- [2]
- BOELY (T.), CHABANNE (J.) et FREON (P.), 1978. - Schémas des cycles migratoires, lieux de concentration et périodes de reproduction des principales espèces de poissons pélagiques côtiers dans la zone sénégal-mauritanienne, in : Rapport du groupe de travail ad hoc sur les poissons pélagiques côtiers ouest-africains de la Mauritanie au Libéria (16°N à 5°N). COPACE/FAO : PACE series 78/10 fr : 63-70.
- [3]
- BOELY (T.), FREON (P.) et STEQUERT (B.), 1982. - La croissance de Sardinella aurita (Val. 1847) au Sénégal. Océanogr. trop. 17(2) : 103-119.
- [4]
- FREON (P.), BOELY (T.) et STEQUERT (B.), 1978. - Les poissons pélagiques côtiers au Sénégal : relations taille/poids des principales espèces d'intérêt commercial, 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). COPACE/FAO : PACE Séries 78/10 Fr. : 119-126.
- [5]

- FREON (P.), 1979. - Relations tailles-poids, facteurs de conditions et indices de maturité sexuelle : rappels bibliographiques, interprétation, remarques et applications, in : Groupe de travail ISRA-ORSTOM sur la reproduction des espèces exploitées dans le Golfe de Guinée-Dakar, 1977. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 68 : 142-171.
- FREON (P.), STEQUERT (B.) et BOELY (T.), 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., 18, (3/4) : 209-228.
- FREON (P.) et NDIAYE (M.), 1979. - Les poissons pélagiques côtiers au Sénégal : chaîne de programme de traitement informatique des données statistiques et démographiques de la pêche sardinière dakaroise. Arch. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 74 : 71 p. multigr.
- FREON (P.), 1980. - Choix d'une unité d'effort de pêche pour les flottilles sardinières semi-industrielles et artisanales du Sénégal, in : Rapport de la réunion spéciale sur la mesure de l'effort de pêche appliqué aux petites espèces pélagiques dans la zone nord du COPACE. COPACE/TECH/80/19 (Fr) : 32-60 et Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, 11 (1) : 1-35.
- FREON (P.) et WEBER (J.), 1985. - Djifère au Sénégal : la pêche artisanale en mutation dans un contexte industriel. 1ère partie : le milieu, la senne tournante, son impact national. 2ème partie : conséquences d'une innovation technique sur l'organisation économique artisanale. Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 47 (3-4), 1983 : 261-304.
- FREON (P.), 1984. - La variabilité des tailles individuelles à l'intérieur des cohortes et des bancs de poissons ; I : Observations et interprétation. Océanol. Acta, 7 (4) : 457-468.
- FREON (P.), 1985. - La variabilité des tailles individuelles à l'intérieur des cohortes et des bancs de poissons ; II : application à la biologie des pêches. Océanol. Acta, 8 (1) : 87-99.
- FREON (P.) et STEQUERT (B.); 1979. - Note sur la présence de Sardina pilchardus (Walb.) au Sénégal : étude de la biométrie et interprétation. Cybiurn, 3 (6) : 65-90.
- FREON (P.), 1984. - Des modèles de production appliqués à des fractions de stocks dépendantes des vents d'upwelling (pêche sardinière au Sénégal). Océanogr. Trop., 19 (1) : 67-94.
- FREON (P.), 1986. - L'introduction d'une variable climatique dans les modèles globaux de production. Soumis à : Marine Biology.

BIBLIOGRAPHIE

Références citées dans le document de synthèse (tome I)

- ABRAMSON (N.J.), 1971 .- Computer programs for fish stock assessment. FAO Fish. Tech. Pap. 101 : 1-154.
- ANDREU (B.), 1969 .- Las branquispinas en la caracterizacion de las poblaciones de Sardina pilchardus (Walb). Inv. Pesq. 33 (2) : 425-607.
- ANONYME, 1979 .- La reproduction des espèces exploitées dans le Golfe de Guinée. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 68 : 213 p.
- ANONYME, 1983a.- Statistiques de la pêche maritime sénégalaise en 1982. Arch. Centre Rech. Océanogr. Dakar Thiaroye, 120 : 701.
- ANONYME, 1983b.- Synthèse des données hydro-acoustiques de la région Sénégal-Mauritanie. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, Centre National de Recherches Océanographiques et des pêches de Mauritanie.
- ANONYME, 1984.- Statistiques de la pêche maritime sénégalaise en 1983. Arch. centre Océanogr. Dakar-Thiaroye, 132 : 91 p.
- ARFI (R.), 1984 .- Variations d'intensité de l'upwelling Nord-Mauritanien entre 1955 et 1982 . Implications écologiques . Bull. Centre National de Recherches Océanographiques et des pêches de Mauritanie, 12 (1) : 30 p.
- ARFI (R.), 1985.- Variabilité interannuelle d'un indice d'intensité des remontées d'eau dans le secteur du Cap Blanc (Mauritanie). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42 (12) : 1969-1978.
- AUBERTIN (C.), 1984.- A propos des pêches "industrielles" au Sénégal. Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum., 20 (1) : 107-123.
- BAKUN (A.) and PARRISH (R.M.), 1980.- Environmental inputs to fishery population models for eastern boundary current regions, p. 67-104, in : G.D. Sharp (ed). Workshop on the effects of environmental variation on the survival of larval pelagic fishes. Inter governmental Oceanographic Commission. Rep., 28 : 323 p.
- BARKOVA (N.A.), 1979.- Particularités de la répartition et état des stocks de la sardine (Sardina pilchardus) dans la région de l'Afrique du Nord-Ouest, 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). COPACE/PACE Series 78/10.
- BARKOVA (N.A.) et DOMANEVSKY (L.N.), 1985.- Etat des stocks de la sardine (Sardina pilchardus walb.) dans la division statistique 34.1.3, in : Rapport de la troisième réunion du groupe de travail ad hoc sur la sardine Sardina pilchardus (walb.). COPACE/PACE. Séries sous-presse.

- BEBARS (M.I.), 1981.- Exploitation rationnelle des pêcheries égyptiennes; application aux pêcheries de sardinelles (Sardinella aurita, Valenciennes, 1847) de la baie du Salloum, Egypte. Thèse Doc. Etat Sciences Naturelles, Université des Sciences et Techniques du Languedoc Montpellier, France, 354 p.
- BELLEMANS (M.S.), 1983.- Les revenus et la rentabilité de différents engins de pêche artisanale à Mbour. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 86 : 32 p.
- BEN TUVIA (A.), 1964.- Influence of temperature on the vertebral number of Sardinella aurita from the eastern mediterranean. Israel J. Zool., 12 (1-4) : 59-66.
- BELVEZE H., 1984.- Biologie et dynamique des populations de sardine Sardina pilchardus walbaum peuplant les côtes atlantiques marocaines et proposition pour un aménagement des pêcheries. Thèse Université Bretagne Occidentale, Brest, France : 332 p.
- BERRIT (G.R.), 1962.- Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation. Cah. Océanogr. Paris, 14 (9) : 633-643.
- BERRIT (G.R.) et REBERT (J.P.), 1977.- Océanographie physique et productivité primaire, in : le milieu marin de la Guinée Bissau et ses ressources vivantes. Le point des connaissances. ORSTOM Ministère de la Coopération. Paris 1977.
- BEVERTON (R.J.H.) et HOLT (S.J.), 1977.- On the dynamics of exploited fish populations. Fish. Invest., Londres, Series, 2 (19) : 1-533.
- BIESTER (E.) et DIN CHUNG (B.).- Age and growth of Sardinella aurita off N.W. Africa. Int. Cons Explor. Mer C.M. 1975/J. 17 Pelagic Fish Committee : 6 p.
- BINET (D.), 1973.- Note sur l'évolution des populations de copépodes de l'upwelling mauritanien (Mars-Avril 1972). Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, 4 (1) : 77-90.
- BINET (D.), 1976.- Biovolumes et poids secs zooplanctoniques en relation avec le milieu pélagique au-dessus du plateau ivoirien. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., 14 (4) : 301 - 326.
- BINET (D.), 1982.- Influence des variations climatiques sur la pêche des Sardinella aurita ivoiro-ghanéennes : relation sécheresse surpêche. Océanologica Acta 5 (4) : 443-452.
- BLANC (F.) et LAUREC (A.), 1976.- De l'heuristique au thaumaturgique en traitement des données d'écologie marine. Cah. ORSTOM Sér. Océanogr., 14 (2) : 101-107.
- BLAXTER (J.H.) and HUNTER (J.R.), 1982.- The biology of the clupeoid fishes. Marine biology 20 : 223 p.
- BOELY (T.), 1971.- La pêche industrielle de Sardinella aurita dans les eaux sénégalaises de 1966 à 1970. Doc. Sci. Prov. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 31 : 34 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. Inst. Fond. Afr. Noire (A.), 37 (4) : 859-886.
- BOELY (T.), CHAMPAGNAT (Ch.) et CONAND (F.), 1969.- Reproduction et cycle biologique de Sardinella aurita (C. et V.) des côtes sénégalaises. Doc. Sci. Prov., Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 21 : 13 p.
- BOELY (T.) et Ostvedt (O.), 1976.- Les poissons pélagiques côtiers au Sénégal; observations faites à bord du navire usine "Astra" de la Mauritanie aux Iles Bissagos. Bull. Inst. Fond. Afr. Noire (A), 38 (3) : 677-702.
- BOELY (T.), 1980.- Etude du cycle sexuel de la sardinelle plate Sardinella maderensis (Lowe 1841) des côtes sénégalaises. Cybium, 3e série, 1980 (8) : 77-88.
- BORODATOV (V.A.), KARPECHENKO (J.L.), PROBATOV (A.N.) and BIRJUKOV (N.P.), 1960.- Soviets investigations into the biology of Sardinella aurita

- Valenciennes. Proc. World scient. Meeting on biology of the sardine and related species, 3. Exp. Papers, 23 : 1221-1227.
- BRAVO DE LAGUNA (J.), FERNANDEZ (M.A.R.) et ARIZ (J.), 1980.- Determinacion de una medida de esfuerzo pesquero de una flota de cerco española que faena en Africa Occidental, in : Rapport de la deuxième réunion du groupe de travail sur la sardine, Sardina pilchardus Walb. COPACE/PACE. Series/79/15 : annexe 5.
- BREDER (C.M.), 1976.- Fisch schools as operational structures. Fish Bull., 74 (3) : 471-502.
- CADENAT (J.) et MOAL (R.), 1955.- Note sur la sardine (Sardina pilchardus) dans la région du cap Blanc. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 137 : 21-23.
- CAVERIVIERE (A.), GERLOTTO (F.) et STEQUERT B.), 1980.- Balistes carolinensis nouveau stock africain. La Pêche Maritime n° 1229-20 août 1980 : 466-471.
- CAYRE (P.), 1985.- Contribution à l'étude de la biologie et de la dynamique du Listao (Katsuwonus Pelamis, Linnaeus 1758) de l'océan atlantique. Thèse Doc. Etat Sciences Naturelles, Université Pierre et Marie Curie. Tome I : 181 p. et tome II d'annexes.
- CHABANNE (J.) et ELWERTOWSKI (J.), 1973.- Cartes des rendements de la pêche des poissons pélagiques sur le plateau continental nord-ouest africain de 11° à 26°N. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 49 : 8 pp., 88 cartes.
- CHABOUD (C.), 1983.- Le mareyage au Sénégal. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 87 : 112 p.
- CHAMPAGNAT (C.), 1966.- Indice relatif d'abondance saisonnière des sardinelles de la Petite Côte du Sénégal. Doc. Sci. Prov. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 1 : 5 p.
- CHAMPAGNAT (Ch.), CAVERIVIERE (A.), CONAND (C.), CURY (P.), DURAND (J.R.), FONTENEAU (A.), FREON (P.) et SAMBA (A.), 1983.- Pêche, biologie et dynamique du Tassergal (Pomatomus saltator, Linnaeus, 1766) sur les côtes sénégal-mauritaniennes. Trav. et doc. ORSTOM, 168 : 279 p.
- CHAUVEAU (J.P.), 1985a.- Histoire économique des pêcheries européennes et industrielles au Sénégal jusqu'aux premières années de l'indépendance (essai de comparaison avec la situation contemporaine). Rapp. int. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye : 112 p.
- CHAUVEAU (J.P.), 1985b.- Histoire de la pêche maritime et politique de développement de la pêche au Sénégal. (Représentations et pratiques du dispositif de l'intervention moderniste). Rev. Anthropologie Maritime (sous-presses).
- CHAUVEAU (J.P.), 1986.- Bibliographie d'orientation économique socio-économique sur la pêche maritime artisanale au Sénégal. Arch. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye (sous presse).
- CHEVASSUS-AGNES (S.) et NDIAYE (A.M.), 1980.- Enquête de consommation alimentaire de l'ORANA de 1977 à 1979. Compte-rendu du séminaire sur l'état nutritionnel de la population rurale du Sahel. CRDI; 28-29 Avril 1980.
- C.I.E.M., 1964.- Contribution to symposium 1963 on the measurement of abundance of fish stocks. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 155 : 223 p.
- C.I.E.M., 1975.- A special meeting held in Charlottenlund Slot, Charlottenlund, 25 and 26 september 1970. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 168 : 102 p.
- CLARK (F.N.) and JANSEN (J.F.), 1945.- Movements and abundance of the sardine as measured by tag returns. Fish. Bull., 61 : 1-42
- COCHRAN (W.G.), 1977.- Sampling techniques. John Wiley and sons, New York : 428 p.
- COLE (L.C.), 1954.- The population consequences of life history phenomenons. Quart. Rev. Biol., 29 : 103-137.

- CONAN (G.), 1978.- Comparison between growths at molt of the European and American lobsters in different geographic locations, according to their sex and strata of maturity. Cons. int. Explor. Mer, Shellfish and Benthos Committee, CM 1978/K, 18 : 32 p.
- CONAND (F.), 1970.- Distribution et abondance des larves de quelques familles et espèces de poissons des côtes sénégalaises en 1968. Doc. Sci. Prov. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 26 : 46p.
- CONAND (F.) et FAGETTI (E.), 1971.- Description et distribution saisonnière des larves de sardinelles des côtes du Sénégal et de la Gambie en 1968 et 1969. Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr., 9 (3) : 292-318.
- CONAND (F.) et CREMOUX (J.L.), 1972.- Distribution et abondance des larves de sardinelles dans la région du Cap-Vert de septembre 1970 à août 1971. Doc. Sci. Prov. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 35 : 22 p.
- CONAND (F.), 1975.- Distribution et abondance des larves de clupéidés au large des côtes du Sénégal et de la Mauritanie en septembre, octobre et novembre 1972. Cons. int. Explor. Mer, CM 1975/J, 4 : 8 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.
- CONAND (C.), 1977.- Contribution à l'étude du cycle sexuel et de la fécondité de la sardinelle ronde, Sardinella aurita : pêche sardinière dakaroise en 1975 et premier semestre 1976. Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr., 15 (4) : 301-312.
- CONAND (F.), 1978.- Systématique des larves de Clupéidés de l'Atlantique oriental entre 20°N et 15°S (eaux marines et saumâtres). Cah. ORSTOM Sér. Océanogr., 16 (1).
- COPACE, 1978.- Report of the ad hoc working group on sardine (Sardina pilchardus walb). CECAP/ECAP Series 78/77 : 35 p.
- COPACE, 1980a.- Rapport de la deuxième réunion du groupe de travail sur les sardines (Sardina pilchardus walb). COPACE/PACE Series 79/15 : 40 p.
- COPACE, 1980b.- Rapport du groupe de travail ad hoc sur les sardinelles des côtes de Côte d'Ivoire-Ghana-Togo. COPACE/PACE Series 80/81, FAO, Rome : 73 p.
- COPACE, 1982.- Report of the ad hoc working group on Sardinella off the coast of Ivory Coast/Ghana/Togo. CECAP/TECH/82/40 : 57 p.
- CSIRKE (J.) and SHARP (G.D.), 1983.- Reports of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. FAO. Fish. Report, FIRM/R 291(1) : 102 p.
- CURY (Ph.) et ROY (C.), 1985.- Small pelagic abundance and upwelling in Ivory coast. Symposium UNESCO upwelling, 1985 : 6 p.
- CUSHING (D.H.), 1978.- The natural regulation of fish population, in : Sea fisheries research F.R. HARDEN JONES ed. John Wiley and Sons Ltd. (497 p.) : 339-412.
- DEME (M.), 1983.- Les exportations de poissons de la pêche artisanale sénégalaise. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 85 : 27 p.
- DERISO (R.B.), 1980.- Harvesting strategies and parameter estimation for an age structured model. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37 : 268-282.
- DIA (A.), 1983a.- Observations océanographiques effectuées en 1982. Arch. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 126 : 77 p.
- DIA (A.), 1983b.- Biomasse et biologie du phytoplancton le long de la Petite Côte Sénégalaise. Relations avec l'hydrologie. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, rapp. prov., : 52 p.
- DIAW (C.), 1981.- Approche monographique d'une grande senne de plage de Hann Dakar. Arch. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 90 : 26 p.
- DIAW (B.), 1983.- Synthèse des résultats physiques des campagnes de prospection acoustique sur le plateau continental Ouest-Africain (1973-1982). Arch. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 122.

- DIXON (W.J.) and BROWN (M.B.), 1979.- BMDP-79 : biomedical computer programs. P. séries. University of California Press, Berkeley, CA. : 880 p.
- DOMAIN (F.), 1979.- Le satellite météosat et l'océanographie. Etude des températures de la mer au voisinage des côtes de Mauritanie et du Sénégal. Initiations. Doc. tech. ORSTOM, 42 : 39 p.
- DOMAIN (F.), 1980.- Contribution à la connaissance de l'écologie des poissons démersaux du plateau continental sénégal-mauritanien. Thèse de doctorat d'Etat. Paris VI. : 480 p.
- DOMANEVSKY (L.N.) et BARKOVA (N.A.), 1979.- Particularités de la répartition et état des stocks de sardines (Sardina pilchardus) 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). COPACE/PACE Series 78/10 : 86-91.
- DUNCAN (G.T.), 1978.- An empirical study of jackknife-constructed. Confidence regions in nonlinear regression. Technometrics, 20 (2) : 123-129
- DUPOUY (C.), 1983.- Utilisation et interprétation des images en infra-rouge thermique du satellite Météosat, application aux upwellings du Sénégal et des côtes ouest-africaines en 1983. Bureaux de Télédétection. Services Centraux de Bondy. Antenne ORSTOM Centre Météorologique de Lannion : 59 p.
- DUPOUY (C.), REBERT (J.P.) et TOURE (D.), 1985.- Nimbus-7 coastal zone color scanner pictures of phytoplankton growth on an upwelling front in Senegal, in : Liege Colloquium, May 1985, "Biological processes at marine physical interfaces", Nihoul (ed.) : 26 p.
- DURAND (M. H.), 1981.- Aspects socio-économiques de la transformation artisanale du poisson de mer au Sénégal. Arch. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 103 : 95 p.
- EFRON (B.) and GONG (G.), 1983.- A leisurely look at the Bootstrap, the Jackknife and Cross-validation. The American Statistician, 37 (1) : 36-48.
- EVERETT (G.V.) and ROEST (F.C.), 1983.- The industrial fishery for coastal pelagics off NW Africa, in : Rapport du groupe de travail ad hoc sur les chinchards et les maquereaux de la zone nord du COPACE. COPACE/PACE Series 83/27 : 135-147.
- F.A.O., 1973.- Espèces sédentaires et migratrices, mélanges entre stocks, habitat et distribution. F.A.O. Circ. Pêches, 148 (1) : 43 p.
- F.A.O., 1976.- Monitoring of fish stock abundance : the use of catch and effort data. FAO Fish. Tech. Paper, FIRS/T155 : 101 p.
- F.A.O., 1978.- Rapport sur la neuvième session du groupe de travail de coordination sur les statistiques des pêches de l'Atlantique. Dartmouth, Canada, 17-23 août 1977. FAO Rapp. pêch., FID/R197 (Fr) : 44 p.
- F.A.O., 1980.- Rapport de la cinquième session du groupe de travail de l'évaluation des ressources. FAO Rapp. pêch. FID/R244 (FR) : 133 p.
- FLETCHER (R.I.), 1978.- On the restructuring of the Pella Tomlinson system. Fish. Bull., 76 (3) : 515-521.
- FONTANA (A.) et PIANET (R.), 1973.- Biologie des sardinelles Sardinella eba (Val.) et Sardinella aurita (Val.) des côtes du Congo au Gabon. Doc. Sci. Centre Pointe-Noire ORSTOM (nouv. sér.), 31 : 38 p.
- FONTENEAU (A.), 1974.- Simulation stochastique des structures démographiques. Application aux populations d'Albacores, Thunnus Albacares. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, 5 (3-4) : 53-62.
- FONTENEAU (A.), 1978.- Analyse de l'effort de pêche des thoniers senneurs franco-ivoiro-sénégalais. Cah. ORSTOM Sér. Océanogr., 16 (3-4) : 285-307.
- FONTENEAU (A.) et LALOE (F.), 1985.- Analyse de la variabilité des tailles de listao au sein des concentrations exploitées en 1981. Symposium ICCAT, année listao; sous presse : 9 p.
- FOURNIER (D.A.) and BREEN (P.A.), 1983.- Estimation of abalone mortality rates with growth analysis. Transactions of the American Fisheries Society, 112 : 403-411

- FRANQUEVILLE (C.) et FREON (P.), 1976.- Relations poids-longueurs des principales espèces de poissons marins au Sénégal. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 60 : 37 p.
- FREON (P.), 1974.- L'aquarologie exotique d'eau douce. Essai écologique, Thèse Méd. Vét. Univ. Toulouse, Viguiier (éd.) : 130 p.
- FREON (P.), STEQUERT (B.) et BOELY (T.), 1978.- 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). Copace/Pace Series/78/10 : 27-70.
- FREON (P.), 1983.- Production models as applied to sub-stocks depending on upwelling fluctuations, in : G. D. Sharp and J. Csirke (eds.). Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources, FAO, FIRM/R 291 (3) : 1047-1064.
- FRONTIER (S.), 1980.- Abrégé de méthodes statistiques ; application à la biologie, la médecine et l'écologie. Masson, Paris, : 242 p.
- FOX (W.W.), 1970.- An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. Trans. Am. Fish. Soc. 99 (1) : 80-88.
- FOX (W.W.), 1971.- Random variability and parameters estimation for the generalized production model. Fish. Bull. (U.S.), 69 (3) : 569-580.
- FOX (W.W.), 1975.- Fitting the generalized stock production model by least squares and equilibrium approximation. Fish. Bull. (U.S.), 73 (1) : 23-36.
- FULTON (T.W.), 1911.- The sovereignty of the sea. Edinburgh and London 1911.
- FURNESTIN (J.), 1955.- Remarques sur quelques caractères de la sardine de Mauritanie (Sardina pilchardus Walbaum). Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 134 : 24-25.
- FURNESTIN (J.) et FURNESTIN (M.L.), 1970.- La sardine marocaine et sa pêche. Migrations trophiques et génétiques en relation avec l'hydrologie et le plancton. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 159 : 165-175.
- GALLARDO (Y.), 1981.- On two marine ecosystems of Sénégal separated by a peninsula, in : Elsevier oceanography series. Proceedings of the 12 th international Liège Colloquium on Ocean hydrodynamics. Eco-hydro-dynamics, 32 : 141-144.
- GARROD (D.J.), 1969.- Empirical assessments of catch effort relationship in the North Atlantic cod stocks. Res. Bull. ICNAF, 6 : 26-34.
- GENSTAT, 1980.- Logiciels statistiques. Lawes Agricultural Trust. Rothamsted experimental station.
- GERLOTTO (F.), STEQUERT (B.), LE PHILIPPE (V.) et FREON (P.), 1976.- Répartition et abondance des poissons pélagiques côtiers du plateau continental sénégalais évalués par écho-intégration en avril-mai 1976 (campagne Cap 7605). Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 62 : 39 p., plus annexes.
- GHENO (Y.) et POINSARD (F.), 1968.- Observations sur les jeunes sardinelles de la baie de Pointe-Noire (Congo). Cah. ORSTOM Sér. Océanogr., 6 (2) : 53-67.
- GHENO (Y.), 1975.- Nouvelle étude sur la détermination de l'âge et de la croissance de Sardinella aurita Val. dans la région de Pointe-Noire. Cah. ORSTOM Sér. Océanogr., 13 (3) : 251-262.
- GHENO (Y.) et FONTANA (A.), 1981.- Les stocks de petits pélagiques côtiers. Les sardinelles, in : Milieu marin et ressources halieutiques de la République populaire du Congo. Fontana (éd.). Rev., Trav. et Doc. ORSTOM : 213-257.
- GOBERT (B.), 1982.- La pêche d'appâts vivants par les thoniers au Sénégal. Arch. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 128 : 35 p.
- GRASSET (G.) et SECK (A.), 1970.- Essais d'adaptation de la senne tournante et coulissante dans la pêche artisanale (piroguière) au Sénégal. Projet F.S. FAO SEN/264 ; rapp. 8/70 : 5 p. multigr.

- GREENBLATT (P.R.), 1976.- Factores affecting tuna purse seine fishing effort. S.C.R.S./76/75. Rec. doc. Sci. C.I.C.T.A. : 18-30.
- GROS (PH.), 1980.- Description mathématique de la croissance de Lesueurigobius griesii (Teleostei, Gobiidae). Essai de synthèse. Oceanologica Acta, 3 (2) : 161-168.
- GULLAND (J.), 1974.- The management of marine fisheries. Scientifica Bristol : 198 p.
- GULLAND (J.A.) et GARCIA (S.), 1984.- Observed patterns in multispecies fisheries, in : Exploitation of Marine R.M. May (ed.) : 155-190.
- HAMPTON (J.) and MAJKOWSKI (J.), 1986a.- A simulation model for generating catch length-frequency data, in : Proceedings of the International Conference on the Theory and Application of length-based method for stock assessment to be held in Sicily (sous presse).
- HAMPTON (J.) and MAJKOWSKI (J.), 1986b.- An examination of the accuracy of the Elefan computer programs for length-based stock assessment, in : Proceedings of the International Conference on the Theory and application of length-based methods for stock assessment to be held in Sicily (sous presse).
- HASSELBLAD (V.), 1966.- Estimation of parameters for a mixture of normal distributions. Technometrics, 8 : 431-444.
- HERBLAND (A.), LE BORGNE (R.) et VOITURIER (B.), 1973.- Production primaire, secondaire et régénération des sels nutritifs dans l'upwelling de Mauritanie. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, 4 (1) : 1-75.
- HILE (R.), 1936.- Age and growth of the cisco Leucichthys artedii (Le Sueur) in the lakes of the northeastern highlands. Wisconsin Bull. U.S. Bur. Fish., 48 (19) : 211-317.
- HISARD (Ph.), 1980.- Observation de réponse de type "El Niño" dans l'Atlantique tropical oriental Golfe de Guinée. Océanol. Act., 3 (1) : 69-78.
- HOLZLOHNER (S.) and KLOXIN (G.), 1982.- On the species composition and the length age structure of the important pelagic fishes off North West Africa 1981. Cons. int. Explor. Mer, CM 1982/H55 : 27 p.
- HOLZLOHNER (S.), KLOXIN (G.), PINGEL (Ch.) and HOFFMANN (U.), 1983.- On the species composition and length/age structure of the most important pelagic fish species off Mauritania in 1982. Cons. int. Explor. Mer, 1983/H53 : 44 p.
- ILES (T.D.), 1980.- Environmental pressure and intra-and inter-year-class competition as determinants of year-class size. P.-v Réun. Cons. Int. Explor. Mer, 177 : 315-331.
- JONES (B.W.), 1982.- Appendix to the report of the Saithe (coalfish) Working group. C.I.E.M., CM 1976/F, 2 : 33-34
- JOSSE (E.) et DOMALAIN (G.), 1983.- Captures et prises par unité d'effort des flotilles pélagiques dans la Z.E.E. mauritanienne en 1981 et 1982. Arch. Centre National de Recherches Océanographiques et des pêches de Mauritanie, 3 : 13 p.
- KEBE (M.), 1982.- L'approvisionnement en poisson de la région du Cap-Vert. Communication à la consultation FAO des experts sur la technologie du poisson, Casablanca (Maroc), 7-12 juin 1982, in : Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 84 : 55-90.
- KEBE (M.), 1983.- Mareyage de poisson frais au marché de gros de Gueule-Tapée. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 85 : 29-43.
- KEBE (M.), CHABOUD (C.), FAYE (M.) et DIOP (M.), 1985.- Commercialisation du poisson dans les régions intérieures du Sénégal. Bilan provisoire. Arch. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 142 : 38 p.
- KETCHEN (K.S.), 1980.- Stratified subsampling for determining age distribution. Trans. Am. Fish. Soc., 79 : 205-212.
- KIMURA (D.), 1977.- Statistical assessment of the age-length key. J. Fish. Res. Board Can., 34 (3) : 317-324.
- KNIGHT (W.), 1968.- Asymptomatic growth : an example of non sense disguised as mathematics. J. Fish. Res. Board Can., 25 (6) : 1303-1307.

- KROGER (R. L.) et GUTHRIE (J. F.), 1983.- Migrations of tagged juvenile Atlantic Menhaden. Trans. Amer. Fish. Soc., 102 (2) : 417-422.
- KRZEPTOWSKY (M.), 1975.- Sardine in polish catches in the spanish sahara region during the years 1971-1974. Cons. int. Explor. Mer, CN 1975/5-18 : 20 p.
- LALOE (F.), 1985.- Etude de la précision des estimations de captures et prises par unité d'effort obtenues à l'aide du système d'enquêtes de la section "Pêche artisanale" du CRODT. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 100 : 36 p.
- LAUREC (A.) et LE GUEN (J.C.), 1977.- c.p.u.e. des senneurs et abondance; impact des structures fines. Rec. Doc. Sci. ICCAT, 8 : 30-54.
- LAUREC (A.), FONTENEAU (A.) et CHAMPAGNAT (Ch.), 1980.- Etude de la stabilité des modèles autorégénérants : 423-438, in : A. Saville (ed.). The assessment and management of pelagic fish stocks. Aberdeen 3-7/7/1978. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 177 : 517 p.
- LEBEDEV (N.V.), 1967.- Elementary populations of fish, edited by A. Kerev, 1969, Israel Program for Scientific Translations Ltd. : 204 p.
- LE CREN (E.D.), 1951.- The length weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (Perca fluviatilis). J. Anim Ecol., 20 : 201-219.
- LEE (R.M.), 1912.- An investigation into the methods of growth determination in fishes. Cons. int. Explor. Mer, Publ. de circonstance : 63-35.
- LE RESTE (L.), 1984.- Etudes des variations annuelles de la production de crevettes dans l'estuaire de la Casamance (Sénégal), in : Kapetsky (J. M.) and Lasserre (B.) (eds). Aménagement des pêches dans les lagunes côtières. Etud. Rev. CGPM, 61 (1) 438 p. : 253-269.
- LE GUEN (J.C.) et CHEVALIER (R.), 1983.- Etude des pêcheries ; réflexions sur l'environnement et la gestion multispécifique. Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 46 (1) : 9-70.
- MAC ARTHUR (A.H.) and WILSON (E.O.), 1967.- The theory of island biogeography. Princeton Univ. Press, Princeton, N.J. : 203 p.
- MAC CALL (A.), 1984.- Population models of habitat selection, with application to the northern anchovy. Nat. Mar. Fish. Serv. Southwest Fisheries Center. Adm. Rep. LJ-84-01 : 98 p.
- MACKETT (D.J.), 1963.- A method of sampling the Pacific albacore Thunnus germon catches for relative age composition. Proc. World Sci. Meet. Biol. Tunas. Rel. Sp. FAO Fish. Rep., 3 (6) : 1335-1336.
- MAIGRET (J.), 1972.- Campagne expérimentale de pêche des sardinelles et autres espèces pélagiques. Juillet 1970-octobre 1971. Tome I. Observations concernant l'océanographie et la biologie des espèces. Soc. Centr. Equip. territ. intern. ; mars 1972, : 148 p.
- MAIGRET (J.), 1973.- La pêche des senneurs dans la baie du Lévrier en 1971. Bull. Labor. Pêches Nouadhibou, 2 : 35-55.
- MAIGRET (J.), 1974.- La sardine sur les côtes de Mauritanie (Sardina pilchardus, Walb.). Bull. Inst. Fond. Afr. Noire, (A) 3 : 714-721.
- MAINGUY (P.) et DOUTRE (H.), 1958.- Variations annuelles de la teneur en matières grasses de trois clupéidés du Sénégal (Ethmalosa fimbriata Bowdich, Sardinella aba c.v., Sardinella aurita c.v.). Rev. Trav. Inst. Pêches Marit., 22 (3) : 303-321.
- MARQUARDT (D.W.), 1963.- An algorithm for least-square estimation of non linear parameters. J. Soc. Ind. Appl. Math. 11 : 431-441.
- MEDINA-GAERTNER (H.), 1985.- Etude du zooplancton côtier de la baie de Dakar et de son utilisation par les poissons comme source de nourriture. Thèse 3ème cycle, université de Bretagne Occidentale, BREST : 141 p.
- MERLE (J.), 1980.- Variabilité thermique annuelle et interannuelle de l'Océan Atlantique Equatorial Oriental, l'hypothèse d'un El Niño atlantique. Océanol. Act., 3 (2) : 209-220.

- MOAL (M.), 1957.- Etude comparée de quelques caractères de Sardina pilchardus sur la côte occidentale d'Afrique. Centre National de Recherches Océanographiques et des pêches de Mauritanie, CM 1957/87, : 10 pp. (mimeo).
- NIELAND (H.), 1980.- Die nahrung von Sardinien, Sardinellen, und mainfischen vor der westküste Afrikas. Ber.Inst.Meeres Christian-Albrechts-Univ. Kiel, 75 : 137 p.
- NIELAND (H.), 1982.- The food of Sardinella aurita (Val.) and Sardinella eba (Val.) off the coast Senegal. Rapp. T.-v. Réunion. cons. int. Explor. Mer, 180 : 369-373.
- OLIVRY (J.C.), 1983.- Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en sénégal et aux Isles du Cap Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol., 20 (1) : 47-69.
- ORSTOM, 1976.- Rapport du groupe de travail sur la sardinelle (S. aurita) des côtes ivoiro-ghanéennes. Fishery Research Unit Tema, Centre Rech. Océanogr. Abidjan, ORSTOM : 86 p.
- PAULY (D.), 1980.- On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. J. Cons. int. Explor. Mer, 39 (2) : 175-192
- PAULY (D.) and TSUKAYAMA (I.), 1983.- On the seasonal growth, monthly recruitment and monthly biomass of peruvian anchoveta (Engraulis ringens) from 1961 to 1979, in : Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources; FIRM R 291, 3 : 987- 1009.
- PELLA (J.J.) and TOMLINSON (P.K.), 1969.- A generalized stock production model. IATTC Bull., 13 (3) : 419-496.
- PELLA (J.J.) and PSAROPOULOS (C.T.), 1975.- Measures of tuna abundance from purse seine operations in the Eastern Pacific Ocean adjusted from fleet wide evolution of in increasing fishing power, 1960-1971. Bull. I.A.T.T.C., 14 (4) : 283-399.
- PICAUT (J.), SERVAIN (J.), LECOMTE (P.), SEVA (M.), LUKAS (Sh.) et ROUGIER (G.), 1985.- Climatic atlas of the tropical atlantic wind and sea surface temperature 1964-1979. Université de Bretagne occidentale. Laboratoire d'océanographie physique. University of Hawai joint institute for marine and atmospheric research : 467 p.
- PHAM TUOC and SZYPULA (J.), 1973).- Biological characteristics of gilt sardine, Sardinella aurita Cuv. et Val., 1847, from northwest African coast. Act. Ichth. Pisc., 3 (1) : 19-37.
- PORTOLANO (P.), 1981.- Contribution à l'étude de l'hydroclimat des côtes sénégalaises. Rapp. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye : 99 p.
- POSTEL (E.), 1960.- Rapport sur la sardinelle (Sardinella aurita Valenciennes) (Atlantique Africain). FAO, FB/60/S6 : 40 p.
- POSTEL (E.), 1973.- Théorie des pêches (dynamique des populations exploitées). Cours de théorie des pêches. Université de Rennes. Mars 1973.
- PROBATOV (A.M.) and PUPYSHEV (V.A.), 1969.- Behavior of Sardinella aurita (Val.) near the west coast of Africa. Atlant. Niro. Trudy, 22 : 221-234.
- REBERT (J.P.), 1978a.- Variabilité des conditions de surface dans l'upwelling ouest-africain. Symposium sur le courant des Canaries : upwelling et ressources vivantes, 100 : 22 p.
- REBERT (J. P.), 1978b.- Les teneurs en chlorophylle des eaux de surface à la station côtière de Dakar (résultats des mesures de 1973 à 1977). Symposium sur le courant des Canaries : upwelling et ressources vivantes, 102 : 13 p.
- REBERT (J.P.), 1979a.- 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). COPACE/PACE Series/78/110 (F) : 165 p.
- REBERT (J.P.), 1979b.- 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 pois-

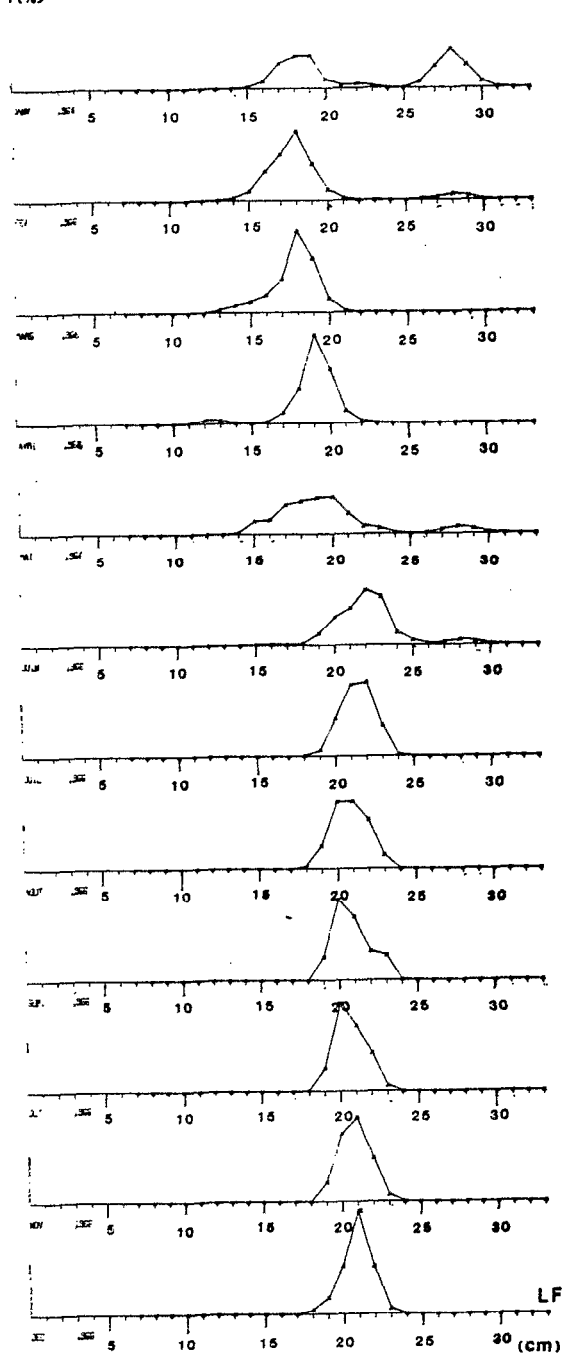
- sons pélagiques côtiers ouest-africains de la Mauritanie au Libéria (26° N à 5° N). COPACE/PACE Series/78/110 (F) : 165 p.
- REBERT (J.P.), 1982.- Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 89 : 99 p.
- RICKER (W.E.), 1958.- Handbook of computation for biological statistics of fish populations. Fish. Res. Bd. Canada : 110 p.
- RICKER (W.E.), 1969.- Effects of size-selective mortality and sampling bias on estimate of growth, mortality, production and yield. J. Fish. Res. Board Can., 26 (3) : 479-541.
- RICKER (W.E.), 1975.- Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Board Can., 191 : 382 p.
- RIVARD (D.) and BLEDSOE (L.J.), 1978.- Parameter estimation for the Pella-Tomlinson stock production model under non equilibrium conditions. Fish. Bull. U.S., 76 (3) : 523-534.
- ROBSON (D.S.), 1966.- Estimation of the relative fishing power of individual ships. ICNAF, 3 : 6-14.
- ROFF (D.A.) and FAIRBAIRN (D.J.), 1980.- An evaluation of Gulland's method for fitting the Schaefer model. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37 : 1229-1235.
- ROSENBERG (A.A.) and BEDDINGTON (J.R.), 1985.- Monte Carlo testing two methods for estimating growth from length frequency data : with general conditions for their applicability. Presented at the International Conference on the Theory and Application of length-based methods for stock assessment, Sicily (sous presse).
- ROSSIGNOL (M.), 1973.- Contribution à l'étude du complexe Guinéen. ORSTOM : 142 p.
- SAINSBURY (K.J.), 1980.- Effect of individual variability on the Von Bertalanffy growth equation. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37 (2) : 241-247.
- SAVILLE (A.), 1980.- The assessment and management of pelagic fish stocks. A symposium held in Aberdeen 3-7/7/1978. Rapp. P.-v Réun. Cons. int. Explor. Mer, 177 : 517 p.
- SCHAEFER (M.B.), 1954.- Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. Bull. IATTC, 1 (2) : 27-56.
- SCHEMAINDA (R.), NEHRING (D.) und SCHULZ (J.), 1975.- Ozeanologische Untersuchungen zum Produktionspotential der nordwestafrikanischen Wasserauftriebsregion 1970-1973. Geod. Geoph. Veröff R., 4 (16) : 3-88.
- SCHNUTE (J.), 1977.- Improved estimates from Schaefer production model : theoretical considerations. J. Fish. Res. Board Can., 34 : 583-603.
- SEDYKH (K.A.), et al. 1979.- Etude de l'upwelling près de la côte de l'Afrique du nord-ouest par l'Institut Atlantique de Recherches Scientifiques de l'Industrie de la Pêche et de l'Océanographie, in : Rapport du groupe de travail ad hoc sur les poissons pélagiques côtiers ouest-africains de la Mauritanie au Libéria (26° N à 5° N). COPACE/PACE Series 78/10.
- SEDLITSKAIA (V.A.), 1979.- Aires et périodes de reproduction de la sardine (*Sardinella aurita*) et des principales autres espèces de poissons pélagiques côtiers de l'Atlantique centre-est, 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). COPACE/PACE Series 78 (10) : 109-118.
- SEGUIN (G.), 1966.- Contribution à l'étude de la biologie du plancton de surface de la baie de Dakar (Sénégal). Etude quantitative, qualitative et observations écologiques au cours du cycle annuel (février 1962-février 1963). Bull. Inst. Fondam. Afr. Noire, A 28 (1) : 1-91.
- SERET (C.), 1985.- Etude quantitative du zooplancton de la Côte sud de la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, sous-pressé.
- SERVAIN (J.), PICAUT (J.) et MERLE (J.), 1982.- Mise en évidence d'un couplage à longue distance entre le vent et la température de surface dans l'Atlantique Equatorial. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 294 : 4 p.

- SHARP (G.D.), 1980.- Workshop on the effects of environmental variation on the survival of larval pelagic fishes. Lima, 29 april-5 may 1980. IOC-UNESCO Workshop Report, 28 : 323 p.
- SHARP (G.D.) and CSIRKE (J.), 1983a.- Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neretic fish resources. San José, Costa Rica, 18-29 april 1983. FAO Fish. Rep., 291 (2) and (3) : 553 p et 557-1224.
- SHARP (G.D.) and CSIRKE (J.), 1983b.- Report of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neretic fish resources. San José, Costa Rica, 18-29 april 1983. FAO Fish. Rep., 291 (1) : 102 p.
- SHAW (E.), 1970.- Schooling in fishes : critique and review, in : Development and evolution of behavior, edited by L.R. Aronson et al., W. Freeman : 453-533.
- SNEDECOR (G.) and COCHRAN (W. G.), 1957.- Statistical methods. Iowa State College Press. Ames Iowa : 593 p.
- SOUTAR (A.), and ISAACS (J.D.), 1974.- Abundance of pelagic fish during the 19th and 20th centuries as recorded in anaerobic sediment off the Californias. Fish. Bull. U.S., 72 (2) : 257-273.
- SPETH (P.) and KOHNE (A.), 1983.- The relationship between sea surface temperature and winds off Northwest Africa and Portugal. Océanogr. trop., 18 (1) : 69-80.
- STAICU (I.), MAXIM (C.) et PANAIT (I.), 1975.- Recherches ichtyologiques roumaines dans la zone de l'Océan Atlantique est-central en 1974. Cercetari marine I.R.C.M., 8 : 119-135.
- STAICU (I.), MAXIM (C.) et PANAIT (I.), 1976.- Recherches roumaines sur l'ichtyofaune de l'Atlantique en face du Sahara espagnol pendant la période 1973-1975. Cercetari marine I.R.C.M., 9 : 191-204.
- STEQUERT (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. Sci. centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 73 : 48 p.
- TAYLOR (C.C.), 1958.- Cod growth and temperature. J. Cons. Explor. Mer, 23(3).
- TEISSON (C.), 1981.- Structures hydrologiques observées en période d'upwelling au large du Sénégal. Comparaison de ces structures aux modèles théoriques et empiriques d'upwelling. Arch. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 97 : 42 p.
- TEISSON (Ch.), 1982.- Application de la théorie d'Ekman à l'étude des courants et des remontées d'eaux profondes le long des côtes sénégalaises. Arch. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 106 : 79 p.
- TEISSON (C.), 1983.- Le phénomène d'upwelling le long des côtes du Sénégal, caractéristiques physiques et modélisation. Arch. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 123 : 74 p.
- THOMPSON (W.F.) and BELL (F.H.), 1934.- Biological statistics of the Pacific halibut fishery (2), effect of changes in intensity upon total yield and yield per unit of year. Rep. int. fish. (Pacific Halibut) comm., 8 : 49 p.
- TOURE (D.), 1971.- Variations quantitatives et qualitatives du zooplancton dans la région du Cap-Vert de septembre 1970 à août 1971. Doc. Sci. Prov. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 39 : 25 p.
- TOURE (D.), 1983.- Contribution à l'étude de l'"upwelling" de la baie de Gorée (Dakar - Sénégal) et de ses conséquences sur le développement de la biomasse phytoplanctonique. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 93 : 185 p.
- UHLER (R.S.), 1980.- Least squares regression estimates of the Schaefer production model : some Monte Carlo simulation results. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37 : 1284-1292.
- VAN OLST (J.C.) and HUNTER (J.R.), 1970.- Some aspects of the organization of fish schools. J. Fish. Res. Board Can., 27 : 1225-1238.

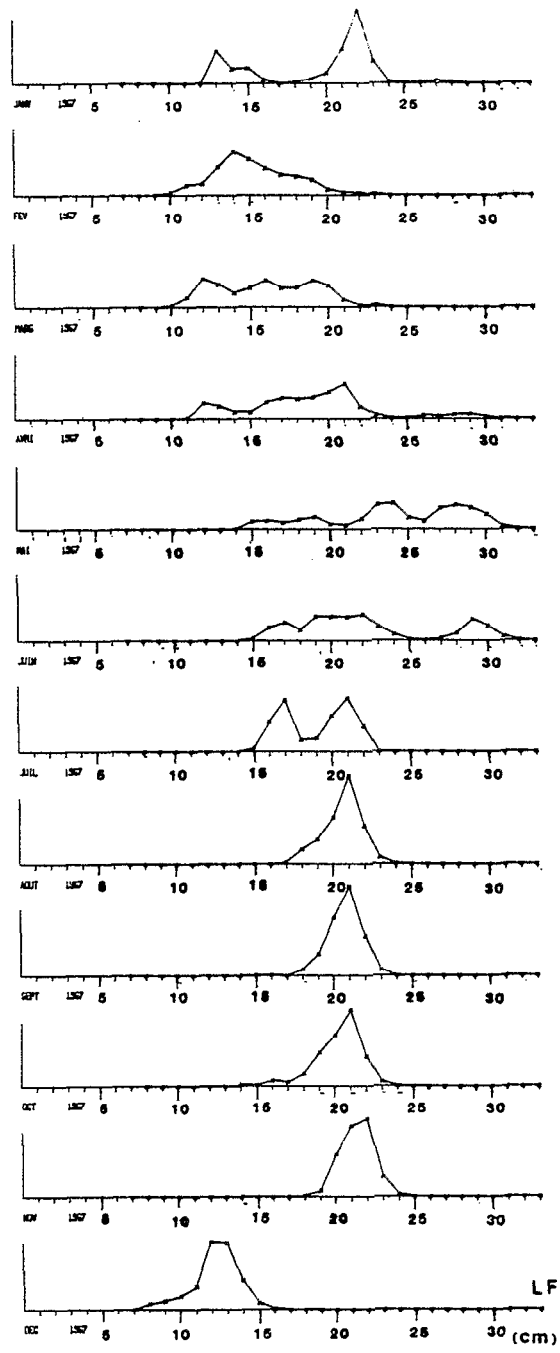
- VOITURIEZ (B.) et DANDONNEAU (Y.), 1974.- Relations entre la structure thermique, la production primaire et la régénération des sels nutritifs dans le Dôme de Guinée. Cah. ORSTOM Sér. Océanogr., 12 (4) : 241-255.
- VOITURIEZ (B.) et HERBLAND (A.), 1982.- Comparaison des systèmes productifs de l'Atlantique Tropical Est : dômes thermiques, upwellings côtiers et upwelling équatorial. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180 : 114-130.
- WALTER (G.G.), 1975.- Nonequilibrium regulation of fisheries. ICNAF Res. Doc., 75/IX/131.
- WALTERS (C.J.), 1985.- Managing fisheries under uncertainty, in : Exploitation of Marine Communities, ed. R.M. May.
- WARE (D.M.), 1978.- Bioenergetics of pelagic fish : theoretical change in swimming speed and relation with body size. J. Fish. Res. Board Can., 35 : 220-228.
- WEBER (J.), 1980.- La pêche artisanale en mer au Sénégal ; hypothèse et voies de recherche. Revue de socio-économie de l'ISRA, 3 : 40 p.
- WEBER (J.) et FONTANA (A.), 1984.- Pêches et stratégies de développement. Discours et pratiques. Courrier de la C.E.E. : 11 p.
- WESTHREIM (S.J.) and RICKER (W.E.), 1978.- Bias using an age-length key to estimate age frequency distributions. J. Fish. Res. Board Can., 35 : 184-189.
- WOOSTER (W.S.), BAKUN (A.) and Mc LAIN (D.R.), 1976.- The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of north Atlantic. J. Mar. Research, 34 (2) : 131-141

SARDINIERS

f(%)



SARDINELLA AURITA

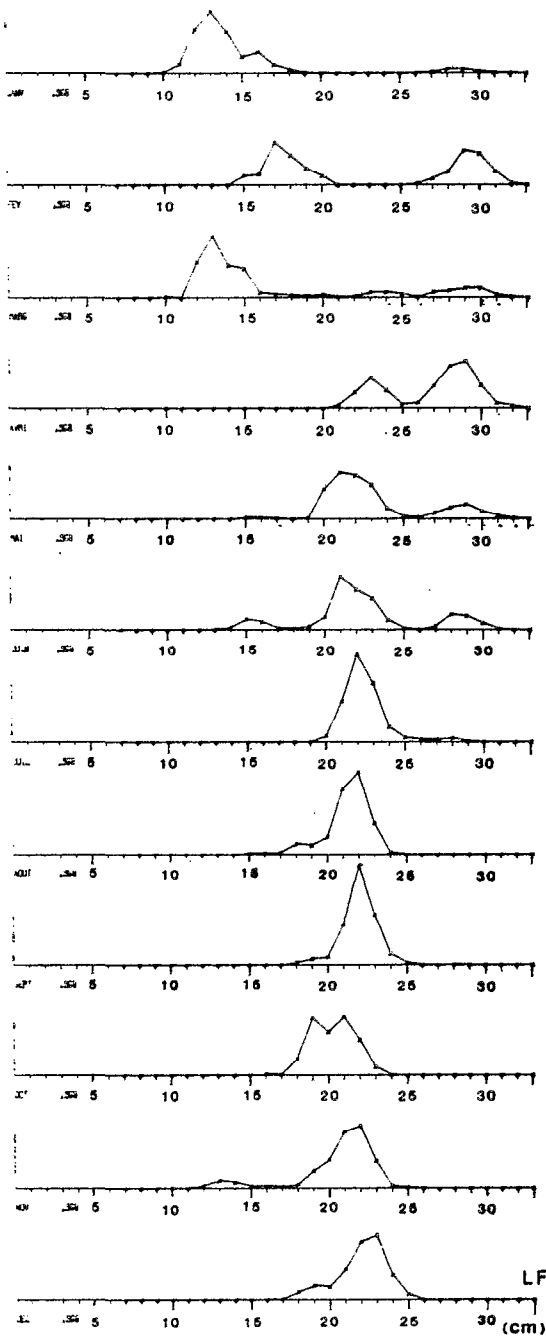


SARDINELLA AURITA

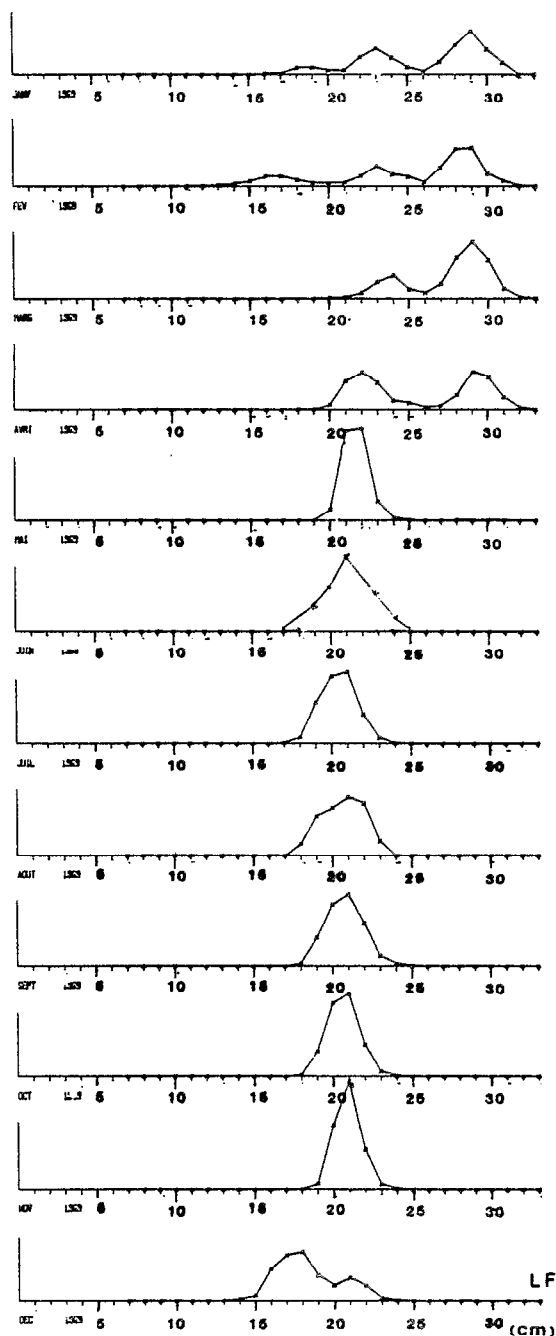
ANNEXE I : Histogrammes mensuels des fréquences de tailles de *Sardinella aurita* de 1966 à 1983, pour les sardinières dakaroises et les pirogues de Mbour et Joal.

SARDINIERS

f(%)



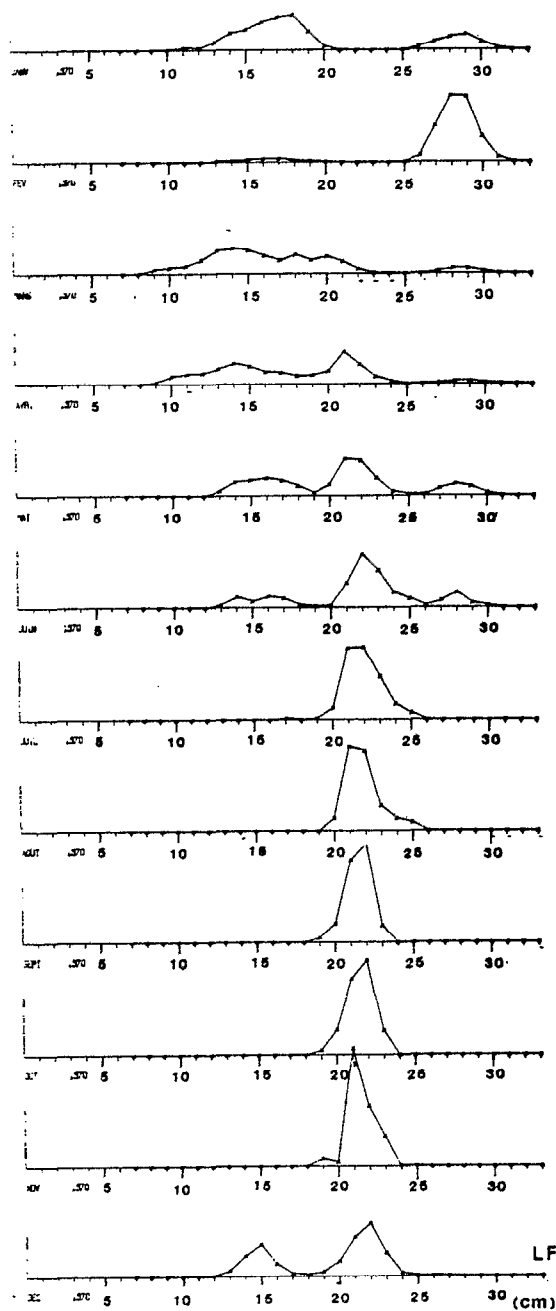
SARDINELLA AURITA



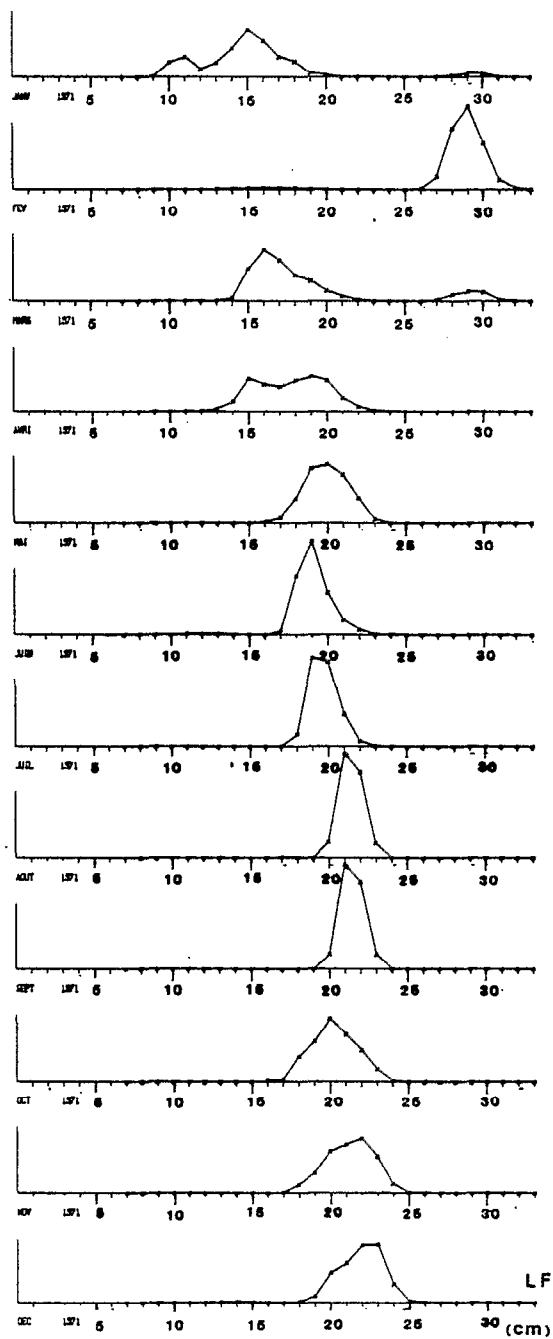
SARDINELLA AURITA

SARDINIERS

f(%)



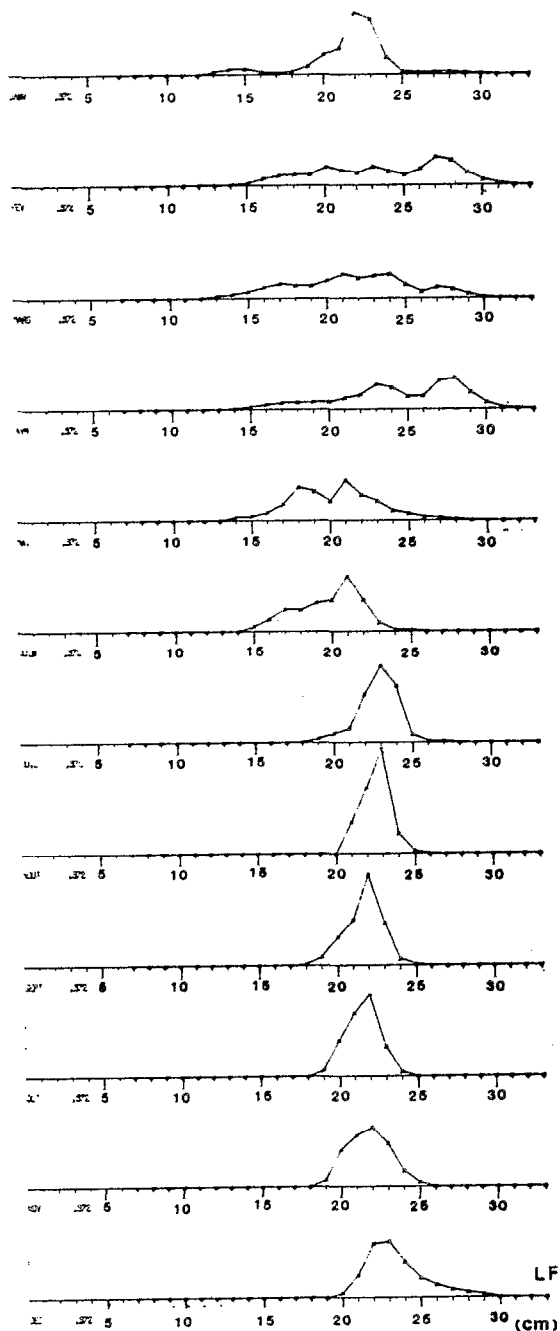
SARDINELLA AURITA



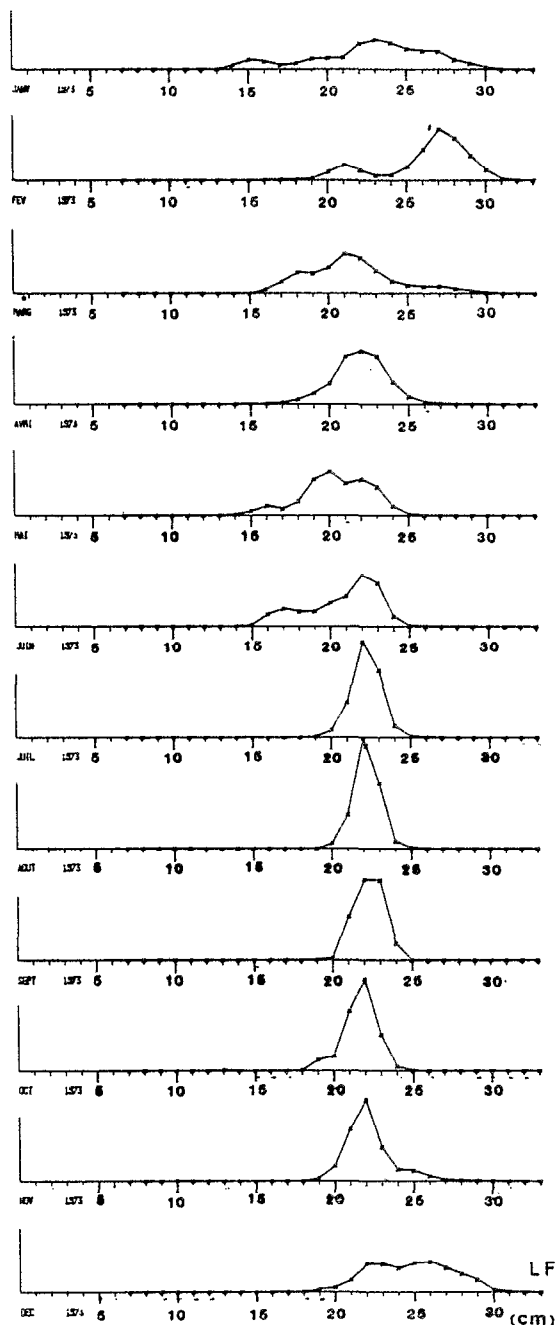
SARDINELLA AURITA

SARDINIERS

f(%)



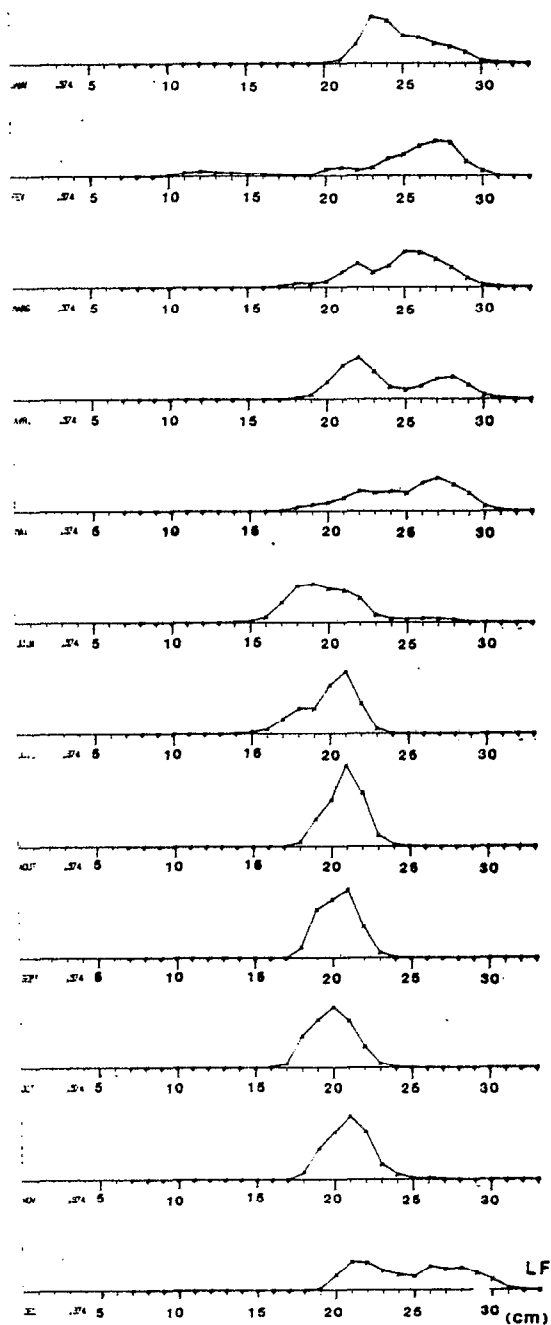
SARDINELLA AURITA



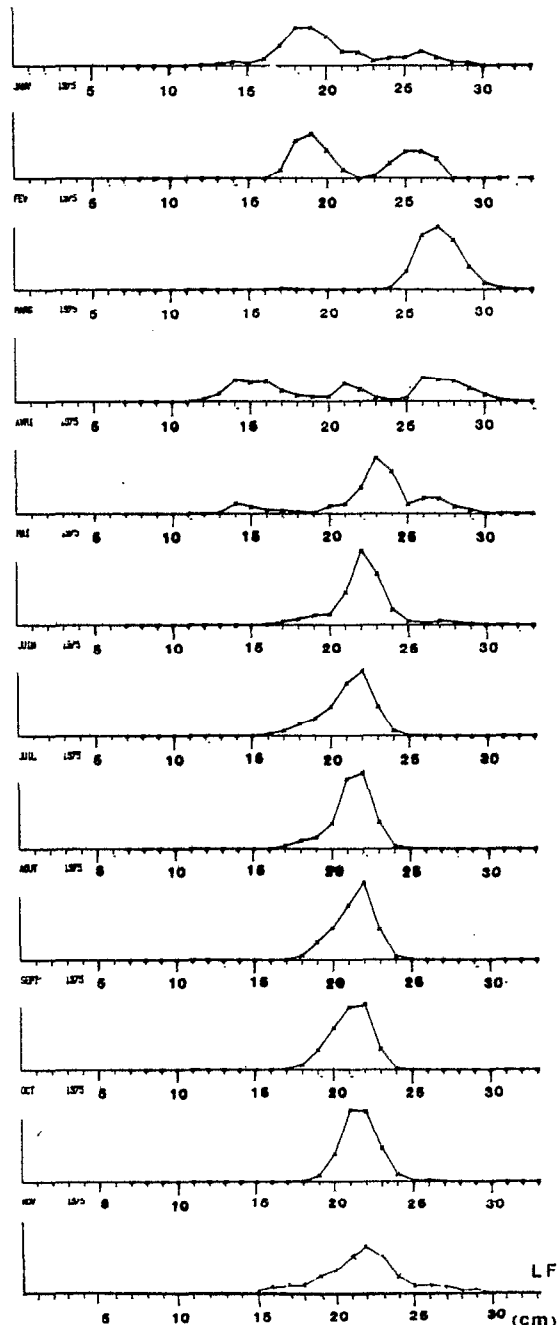
SARDINELLA AURITA

SARDINIERS

f(%)



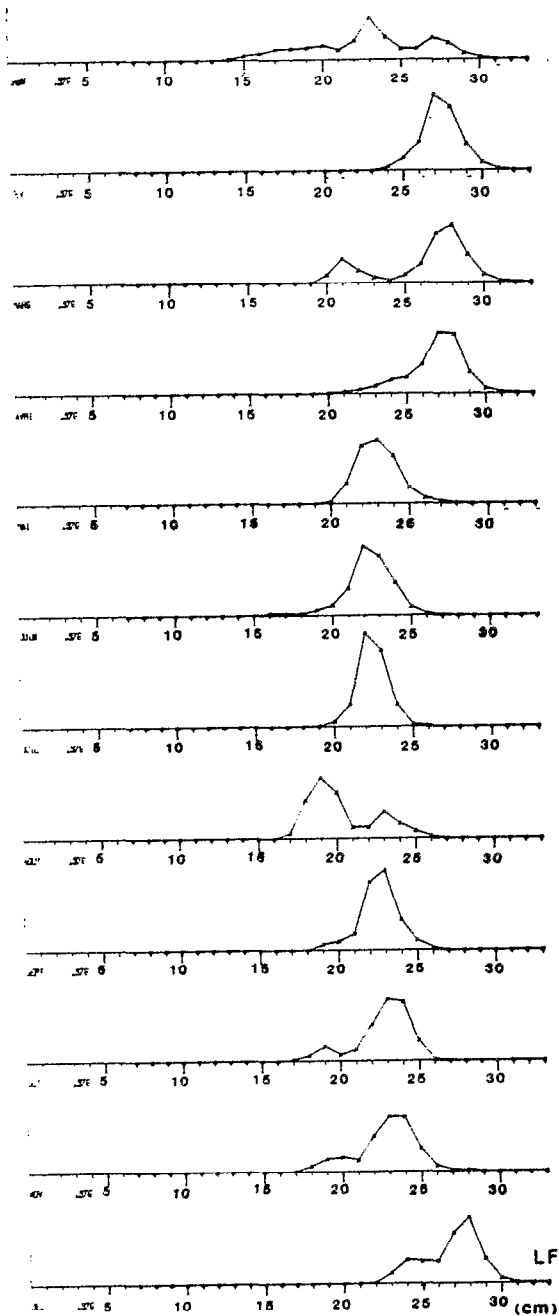
SARDINELLA AURITA



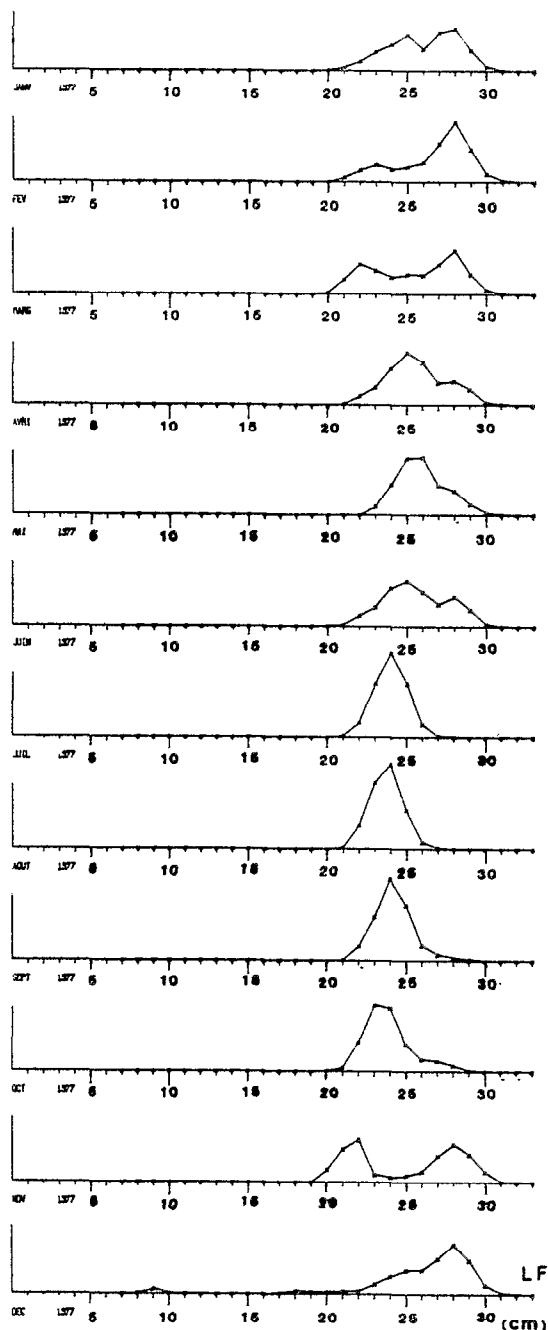
SARDINELLA AURITA

SARDINIERS

f(%)



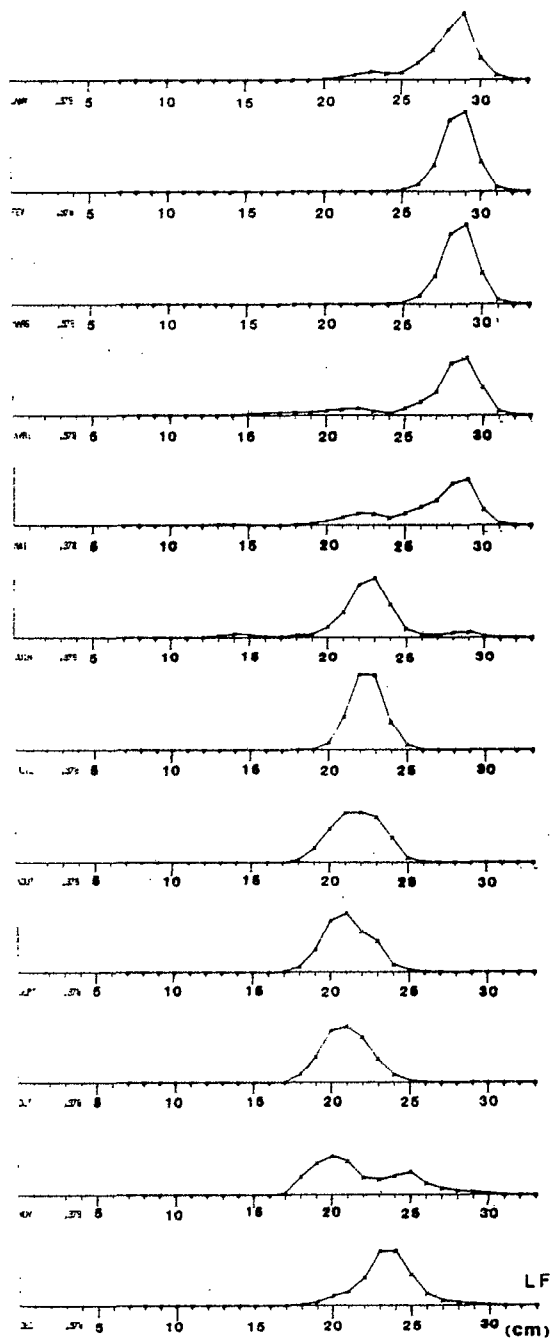
SARDINELLA AURITA



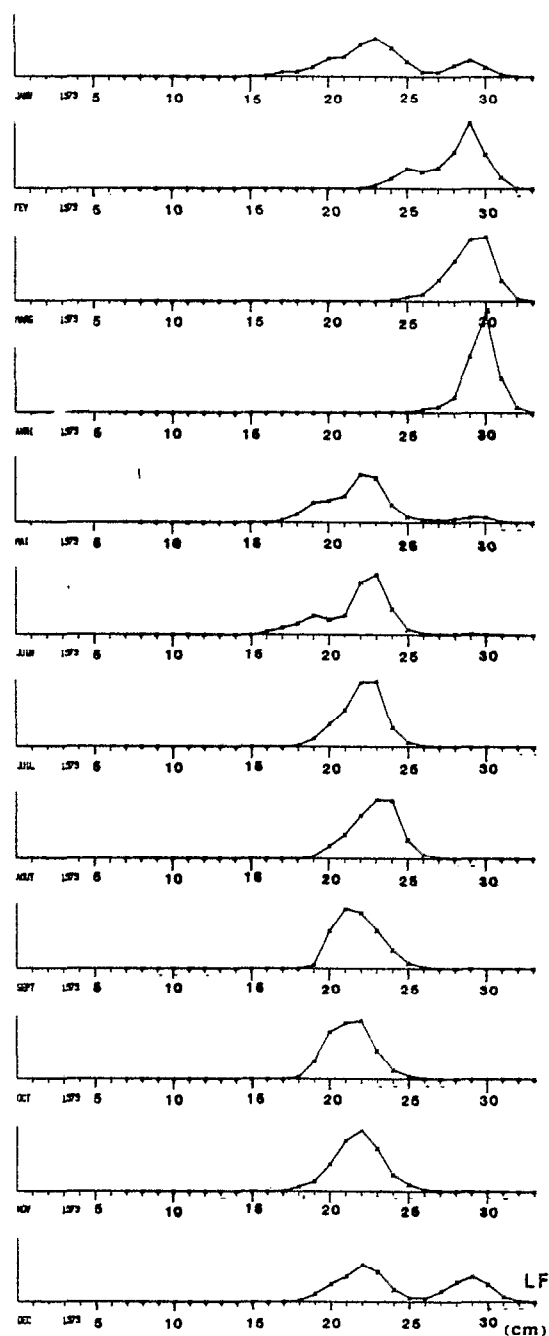
SARDINELLA AURITA

SARDINIERS

f(%)



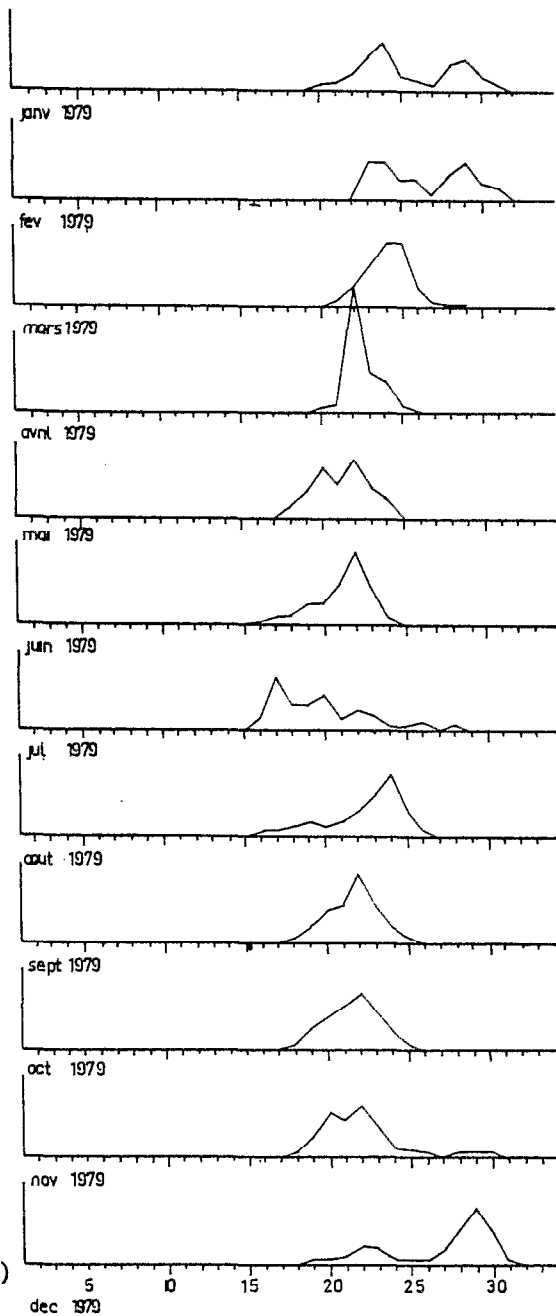
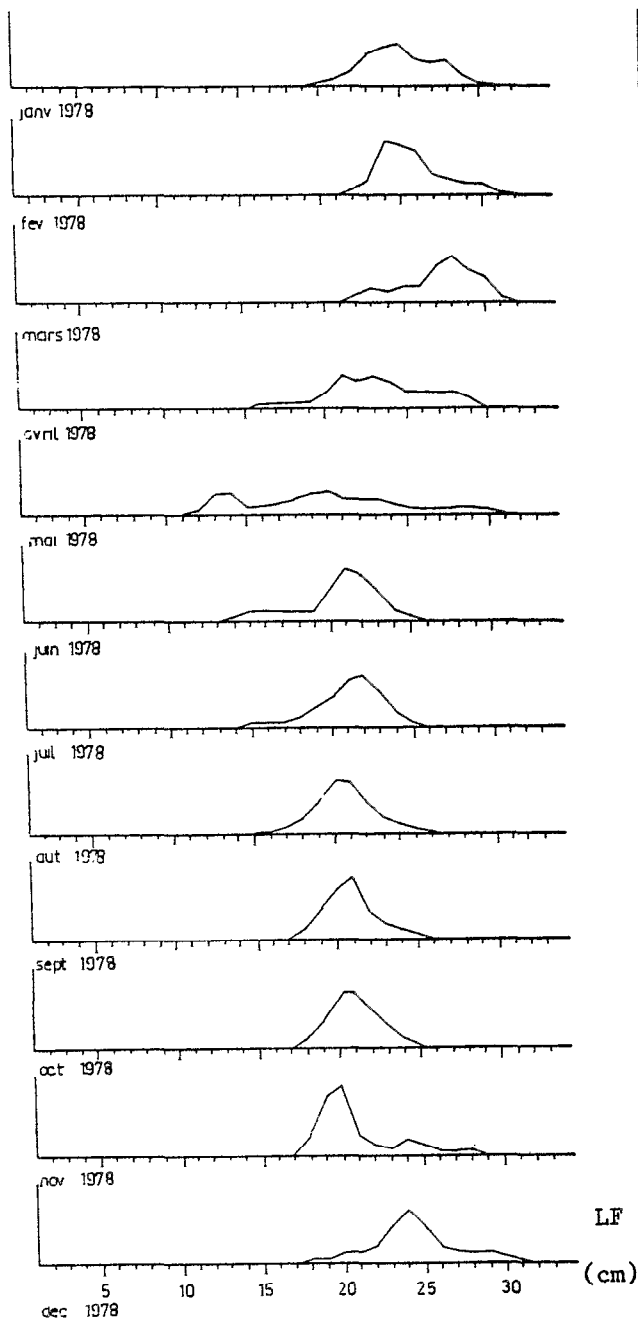
SARDINELLA AURITA



SARDINELLA AURITA

PIROGUIERS

f (%)

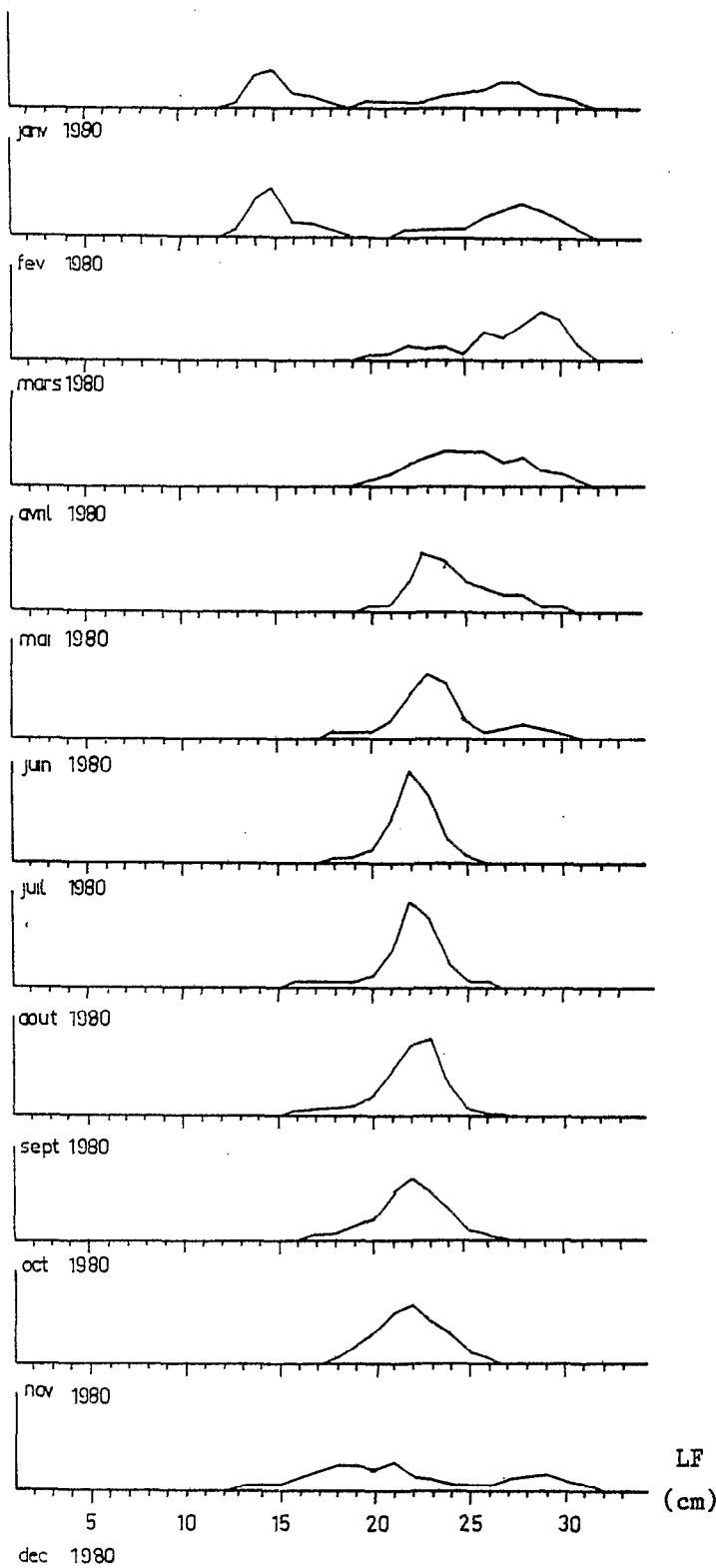


LF

(cm)

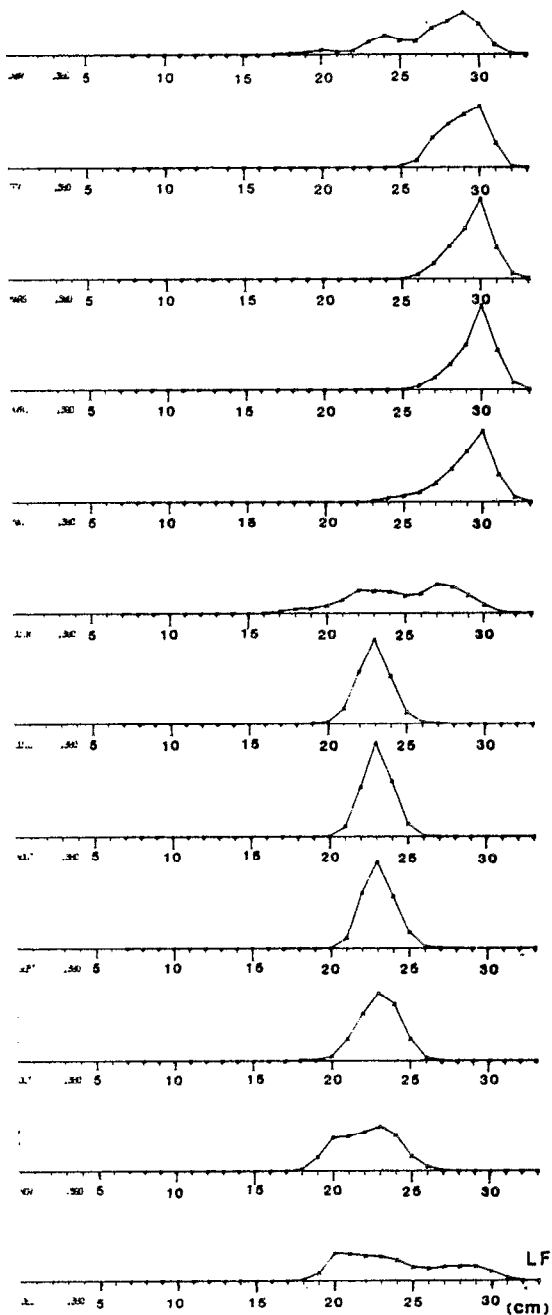
PIROGUIERS

f(%)

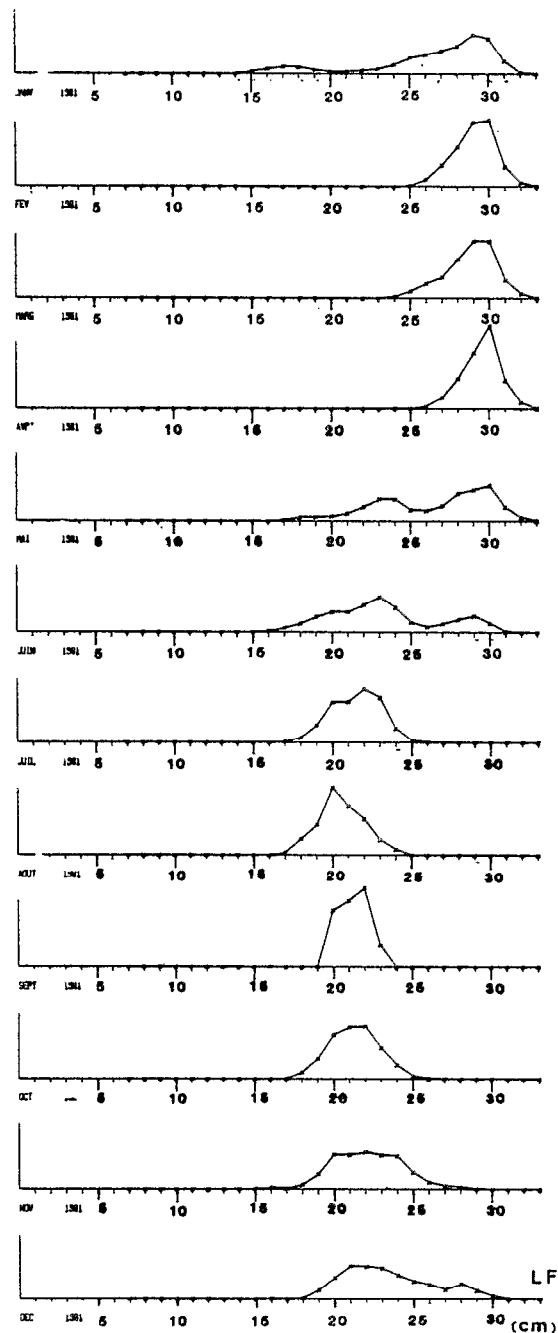


SARDINERS

f(%)



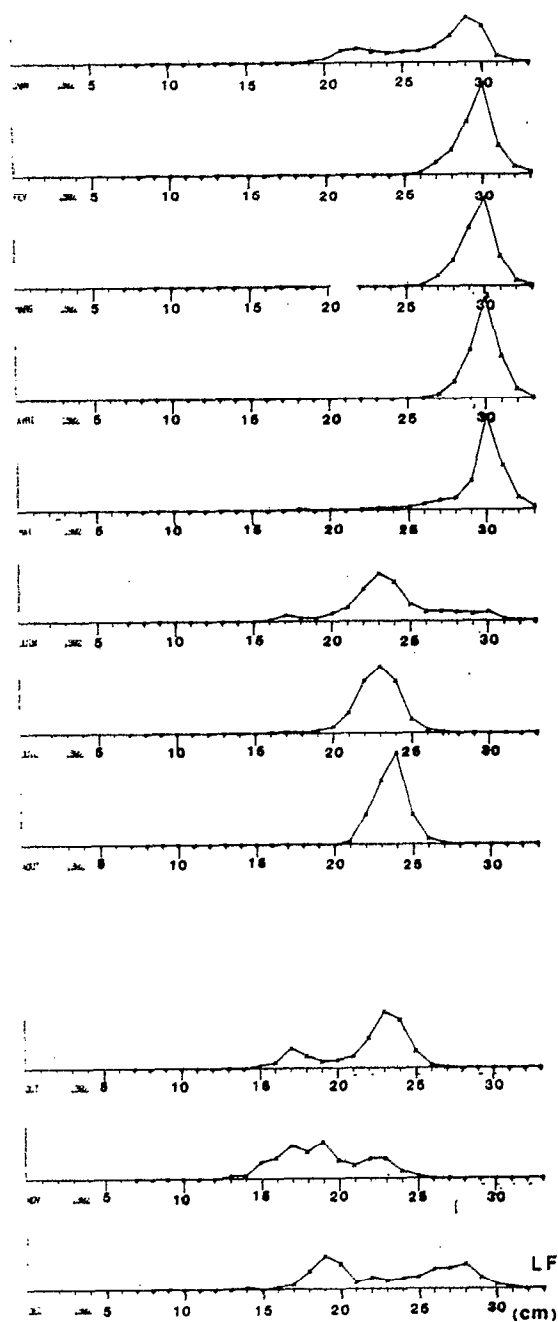
SARDINELLA AURITA



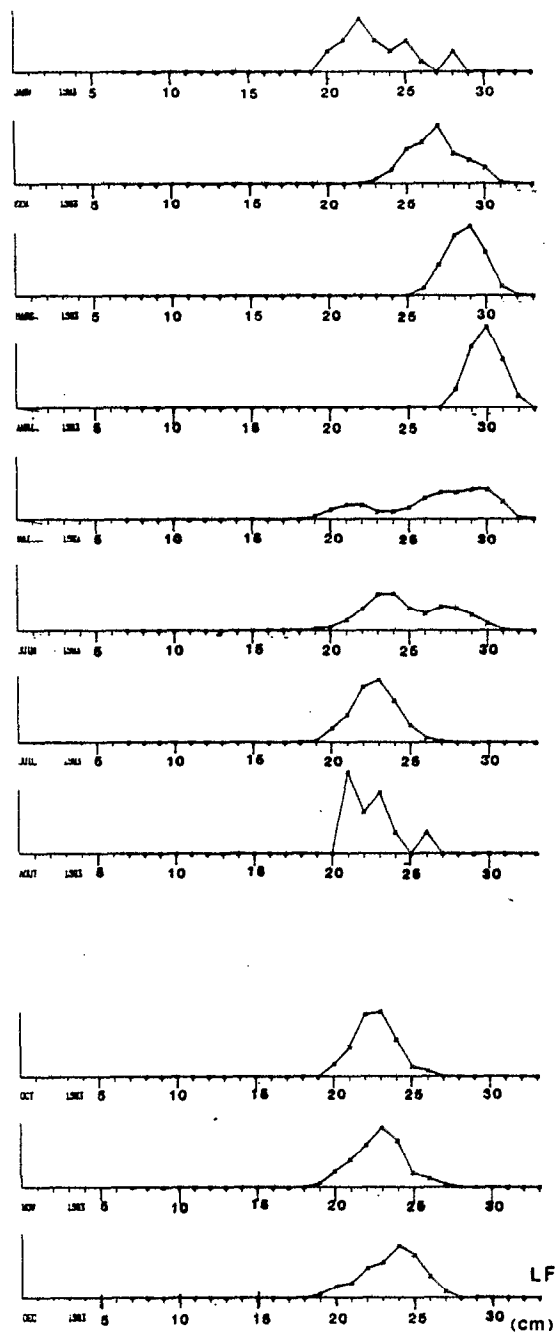
SARDINELLA AURITA

SARDINIERS

f(%)



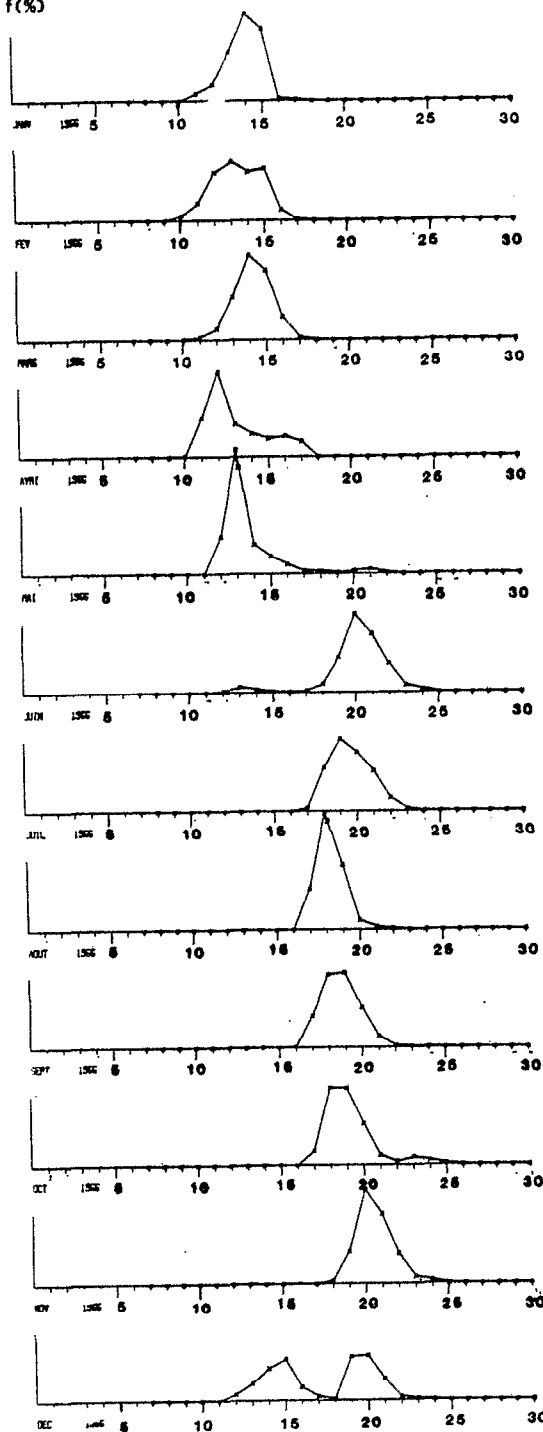
SARDINELLA AURITA



SARDINELLA AURITA

SARDINIERS

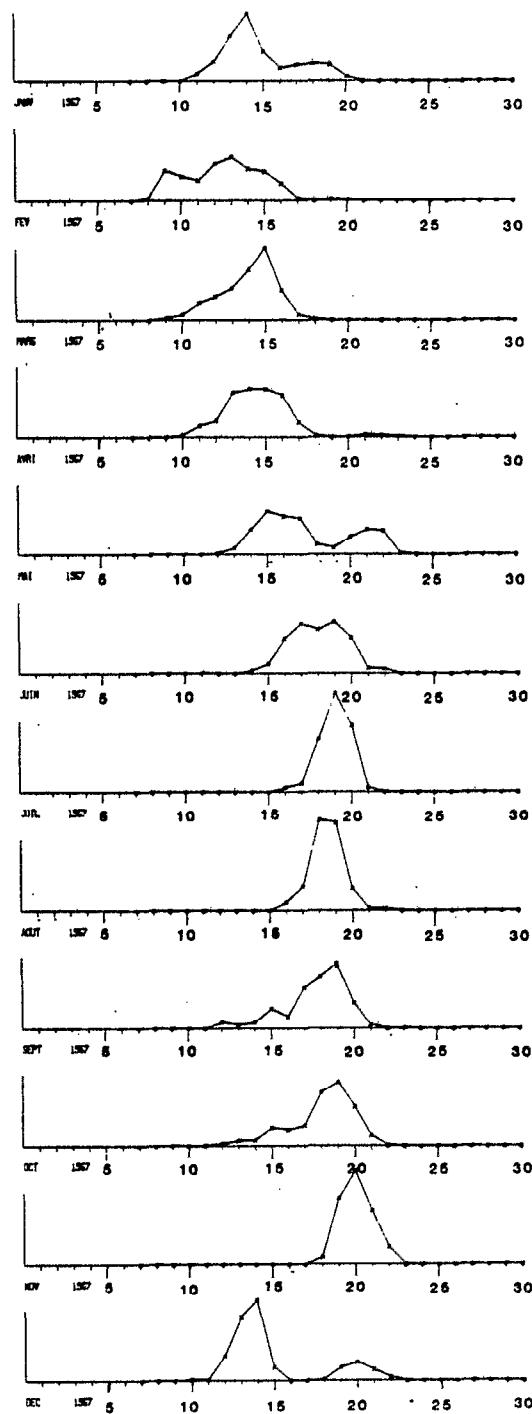
f(%)



SARDINELLA MADERENSIS

LF

(cm)



SARDINELLA MADERENSIS

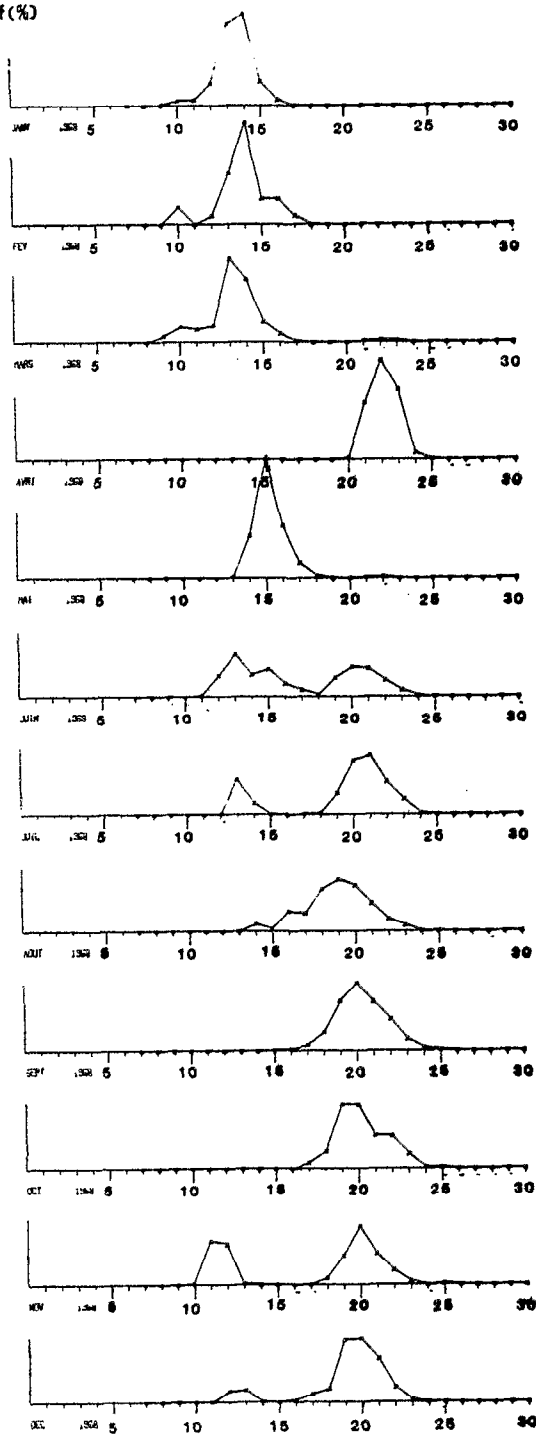
LF

(cm)

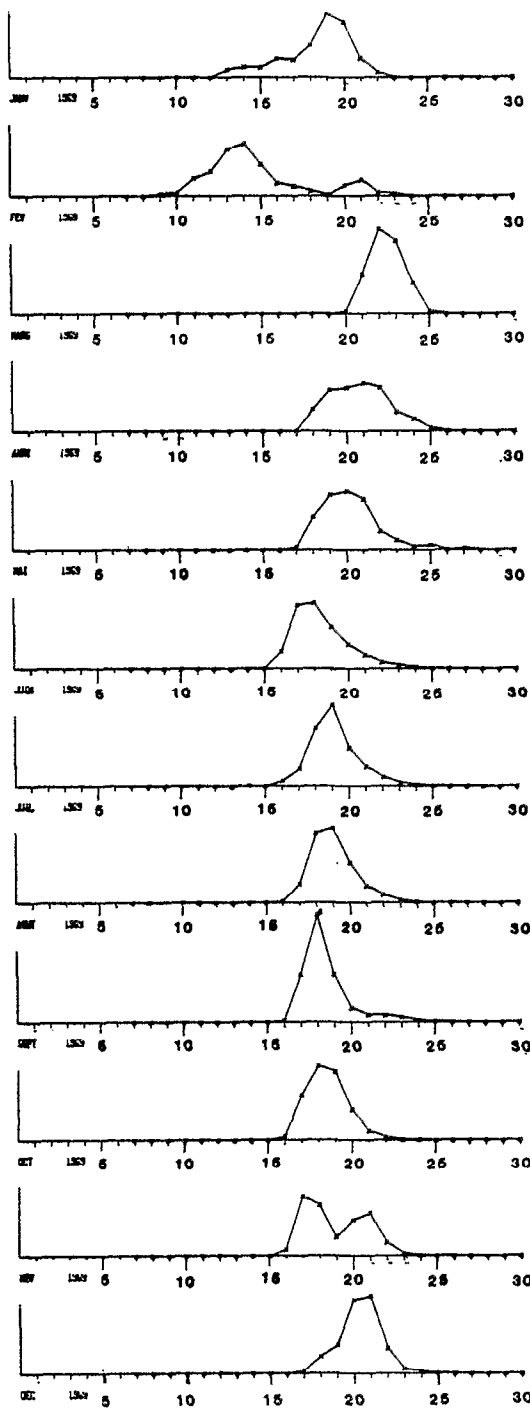
ANNEXE II : Histogrammes mensuels des fréquences de tailles de *Sardinella maderensis* de 1966 à 1983, pour les sardiniers dakarois et les pirogues de Mbour et Joal.

SARDINIERS

f(%)



SARDINELLA MADERENSIS



SARDINELLA MADERENSIS

LF

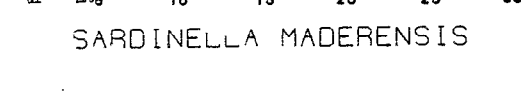
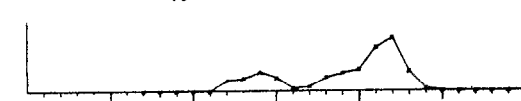
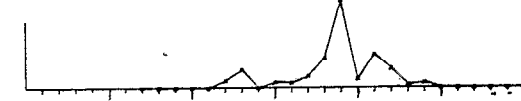
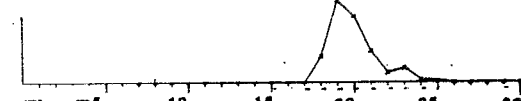
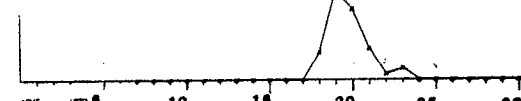
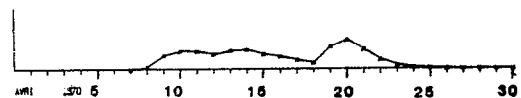
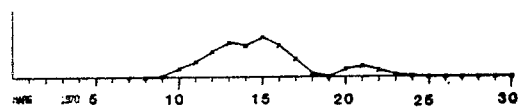
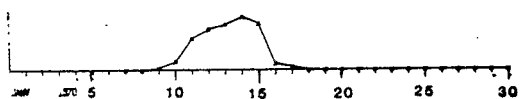
LF

(cm)

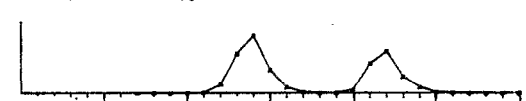
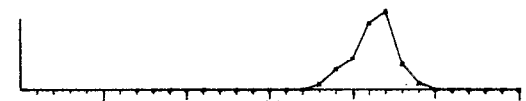
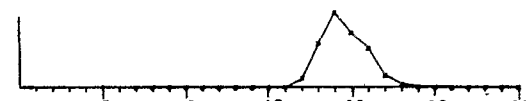
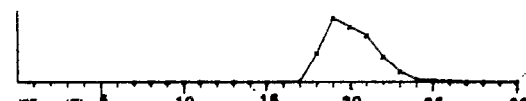
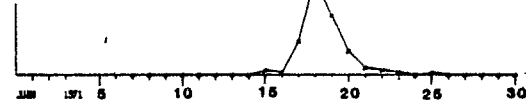
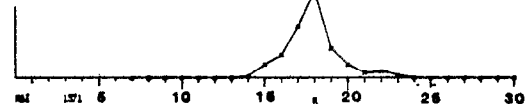
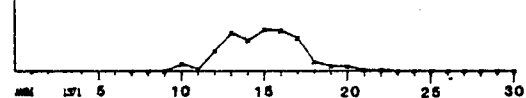
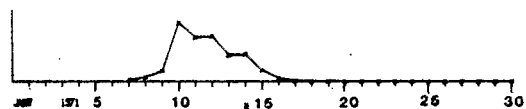
(cm)

SARDINIERS

f(%)



SARDINELLA MADERENSIS



SARDINELLA MADERENSIS

LF

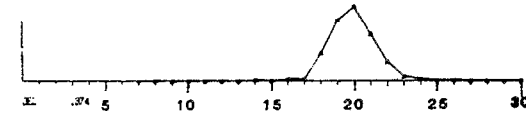
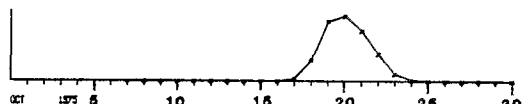
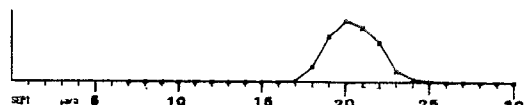
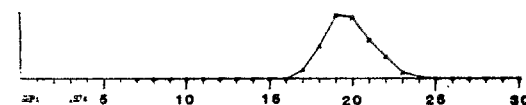
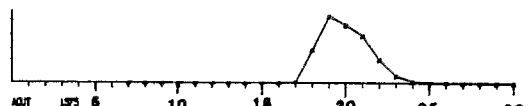
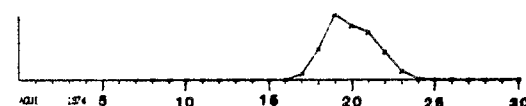
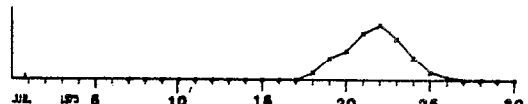
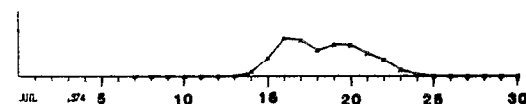
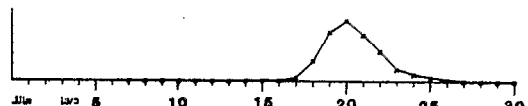
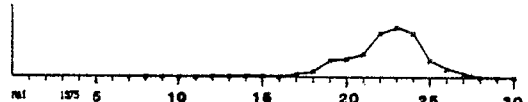
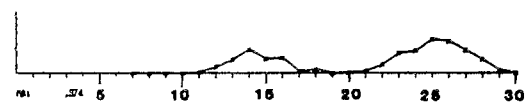
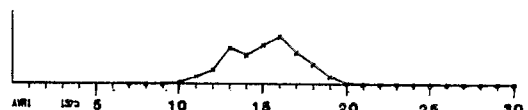
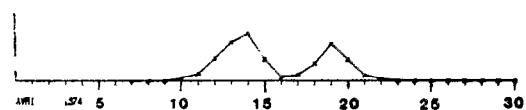
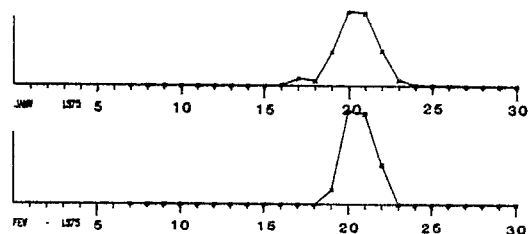
(cm)

LF

(cm)

SARDINIERS

f(%)



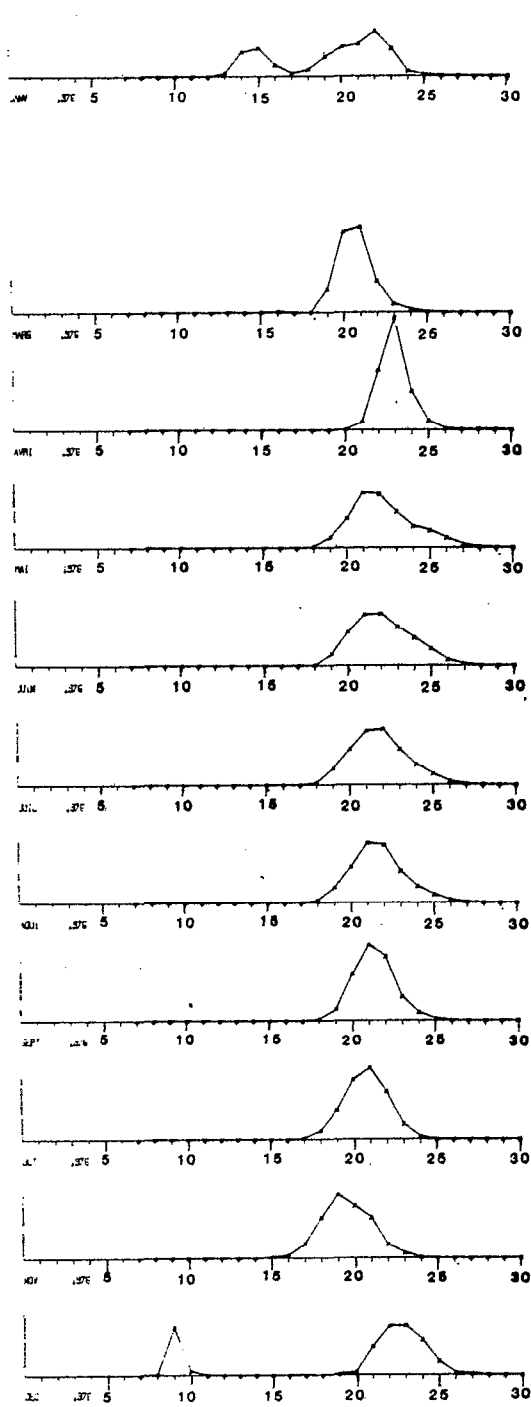
LF

SARDINELLA MADERENSIS

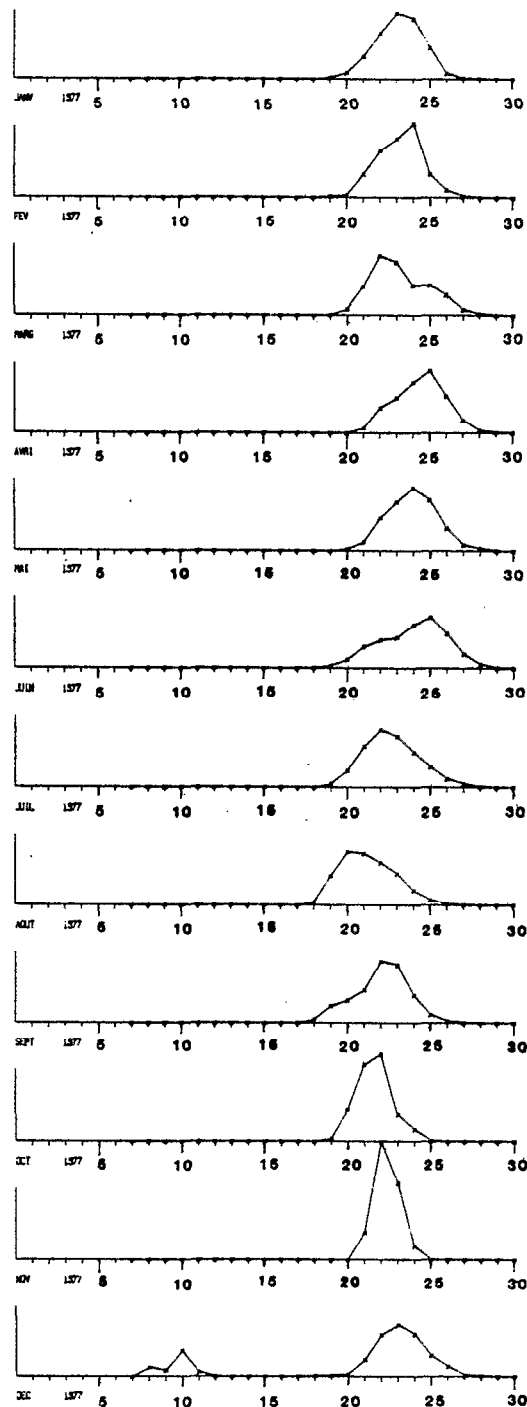
SARDINELLA MADERENSIS

SARDINIERS

f(%)



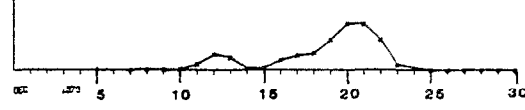
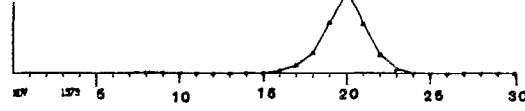
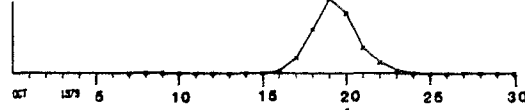
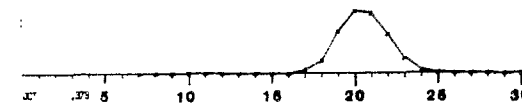
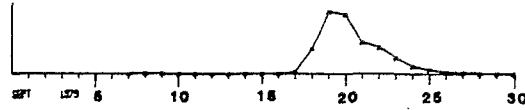
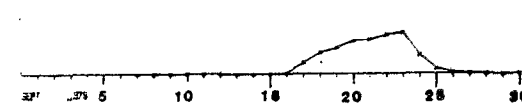
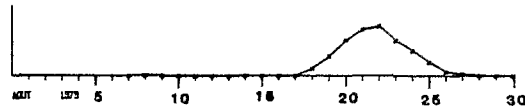
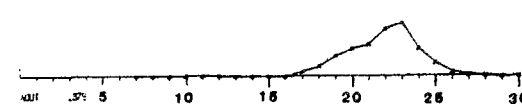
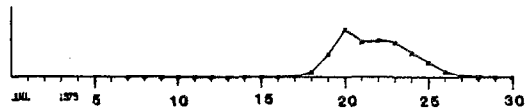
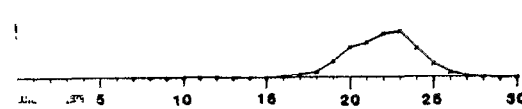
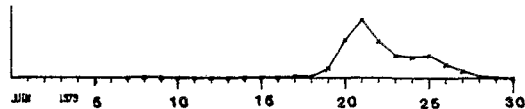
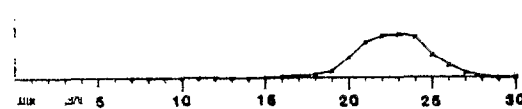
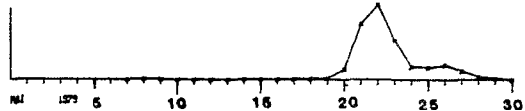
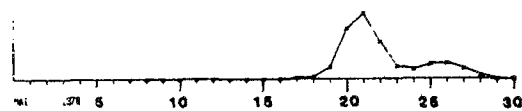
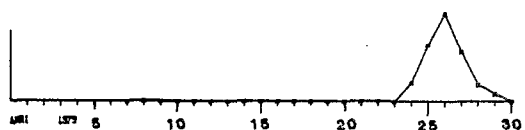
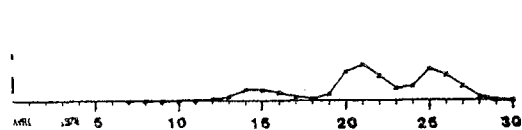
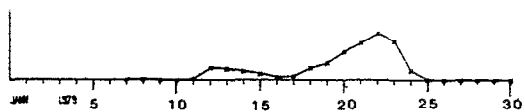
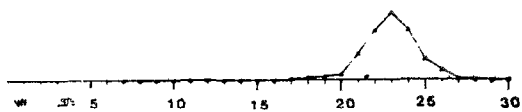
SARDINELLA MADERENSIS



SARDINELLA MADERENSIS

SARDINIERS

f(%)



SARDINELLA MADERENSIS

SARDINELLA MADERENSIS

LF

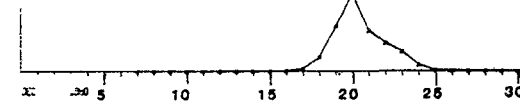
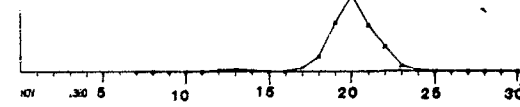
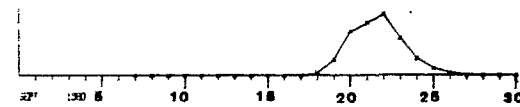
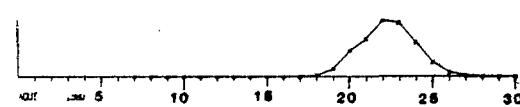
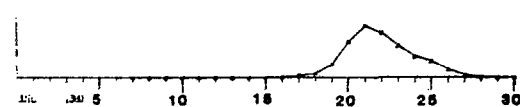
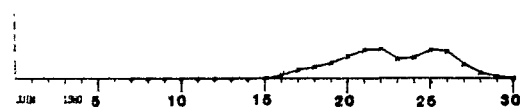
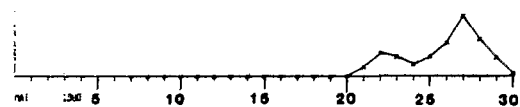
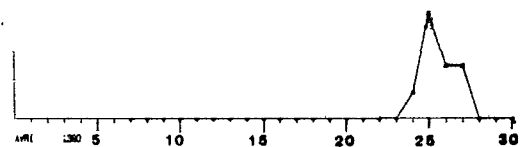
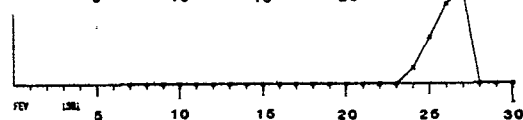
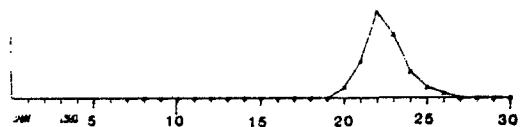
LF

(cm)

(cm)

SARDINIERS

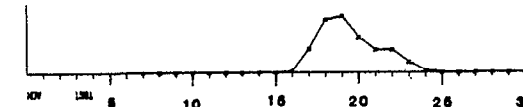
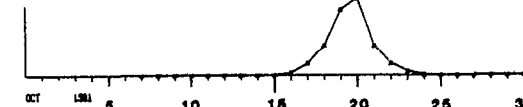
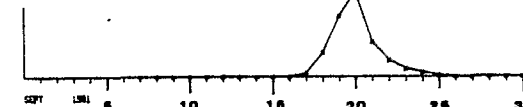
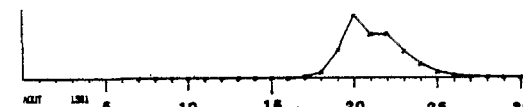
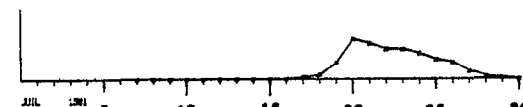
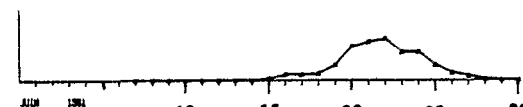
f(%)



LF

SARDINELLA MADERENSIS

(cm)



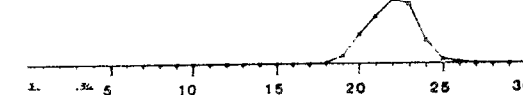
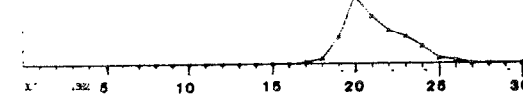
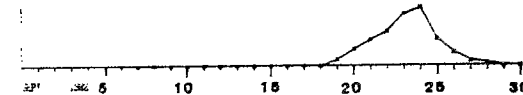
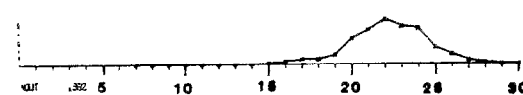
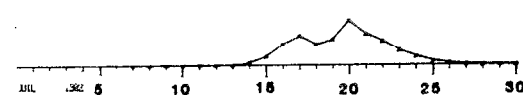
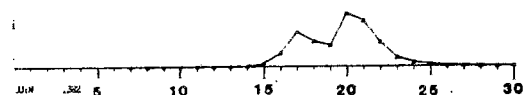
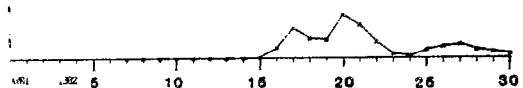
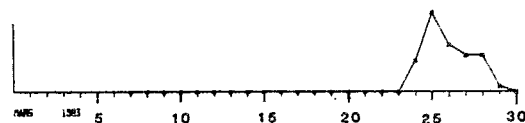
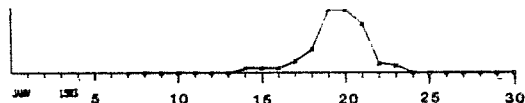
LF

SARDINELLA MADERENSIS

(cm)

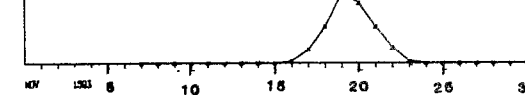
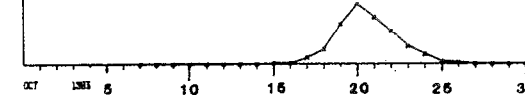
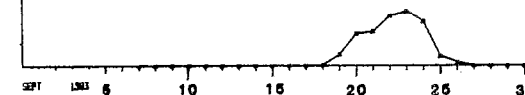
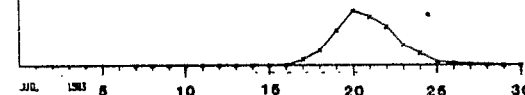
SARDINIERS

f(%)



LF

SARDINELLA MADERENSIS



LF

SARDINELLA MADERENSIS

ANNEXE III : Programme SIMVAR

209

```

10  REM PROGRAMME DE SIMULATION DE LA VARIABILITE DES TAILLES DANS LES
    COHORTES
20  REM PROGRAMMEUR: P. FREON
30  OPTION BASE 1
40  DIM L(500),P(3,500),Et(4,150),E(150),X(500)
50  INPUT "EFFECTIF?",N
60  REDIM L(N),P(3,N),X(N)
70  MAT L=ZER
80  MAT P=ZER
90  MAT X=ZER
100 INPUT "Linf, Ecart-Linf",Li,Eli
110 INPUT "K, Ecart_K ?",K,Ek
120 INPUT "To, Ecart-To, Tmax, Increment Temps?",To,Eto,Tm,In
130 REDIM Et(4,Tm/In+1),E(Tm/In+1)
140 MAT Et=ZER
150 MAT E=ZER
160 CALL Random_normal1(N,Li,Eli,X(*))
170 FOR I=1 TO N
180   P(1,I)=X(I)
190 NEXT I
200 CALL Random_normal1(N,K,Ek,X(*))
210 FOR I=1 TO N
220   P(2,I)=X(I)
230 NEXT I
240 CALL Random_normal1(N,To,Eto,X(*))
250 FOR I=1 TO N
260   P(3,I)=X(I)
270 NEXT I
280 PRINT "DONNEES DE BASE";LIN(1),"Linfini, K , To"
290 MAT PRINT P : DONNEES DE BASE
310 REM
320 REM CALCULS TAILLES
330 REM
340 It=0
350 FOR T=0 TO Tm STEP In
360   S1=S12=E=0
370   It=It+1 : INDICE STRATES TEMPS
380   FOR J=1 TO N
390     L(J)=P(1,J)*(1-EXP(P(2,J)*(P(3,J)-T)))
400     IF L(J)<0 THEN 450
410     E(It)=E(It)+1 : EFFECTIF AU TEMP T
420     S1=S1+L(J)
430     S12=S12+L(J)^2
440     GOTO 460
450     L(J)=-999
460     NEXT J
470     Et(1,It)=T : TEMPS
480     IF E(It)=0 THEN 540
490     Et(2,It)=E(It) : EFFECTIF AU TEMPS T
500     Et(3,It)=S1/E(It) : TAILLE MOYENNE AU TEMPS T
510     IF E(It)<2 THEN 550
520     Et(4,It)=SQR((S12-S1^2/E(It)) / (E(It)-1)) : ECART TYPE AU TEMPS T
530     GOTO 550
540     Et(2,It)=E(It)
550     NEXT T
551     R$=""
560     It=0
570     PRINT "H= ";N;" Li= ";Li;" Eli= ";Eli;" K= ";K;" Ek= ";Ek;" To= ";To;" Eto= ";
    Eto
580     PRINT "Tmax= ";Tm;" Interv= ";In
590     PRINT LIN(2);"RESULTATS SIMULATION";LIN(1);" TEMPS EFFECTIFS
    MOYENNE ECART-TYPE";LIN(1)

```

```

600   FOR T=0 TO Tm STEP In
610     It=It+1
620     PRINT Et(1,It),Et(2,It),Et(3,It),Et(4,It)
630     NEXT T
631     PRINTER IS 16
632     BEEP
633     BEEP
634     IF R$="" THEN 690
640     INPUT "IMPRESSION DES RESULTATS? (O/N)",R$
650     IF R$<>"O" THEN 692
660     PRINTER IS 0
670     It=0
680     GOTO 570
690     INPUT "GRAPHIQUE? (O/N)",Rr$
691     IF Rr$<>"O" THEN 699
692     CALL Graph(Et(*),Tm,In,Li)
693     END
700   SUB Random_normal1(N,Mu,Sigma,Y(*))
710   DIM Temp(12)
720   IF Sigma>0 THEN 760
730   PRINT LIN(2);"ERROR IN Random_norm1. Sigma<=0.";LIN(2)
740   PAUSE
750   GOTO 720
760   IF NOT (N MOD 2) THEN 810
770   IF N<1 THEN CALL Random_normal(N-1,Y(*))
780   CALL Random_normal(2,Temp(*))
790   Y(N)=Temp(1)
800   GOTO 820
810   CALL Random_normal(N,Y(*))
820   MAT Y=Y*(Sigma)
830   MAT Y=Y+(Mu)
840   SUBEND
850   SUB Mean(N,X(*),Mean)
860   Mean=0
870   FOR I=1 TO N
880     Mean=Mean+X(I)
890   NEXT I
900   Mean=Mean/N
910   SUBEND
920   SUB Standard_dev(N,X(*),Sd)
930   IF N<2 THEN SUBEXIT
940   Sumx=Sumxx=0
950   FOR I=1 TO N
960     Xi=X(I)
970     Sumx=Sumx+Xi
980     Sumxx=Sumxx+Xi*Xi
990   NEXT I
1000   Sd=SQR((Sumxx-Sumx*Sumx/N)/(N-1))
1010   SUBEND

```


ANNEXE III (suite)

```

1020 SUB Random_normal(N,X(*))
1030 Baddata=N MOD 2 OR (N<1)
1040 IF NOT Baddata THEN Begin
1050 Error: PRINT LIN(2);"ERROR IN SUB Random_normal."
1060 IF N MOD 2 THEN PRINT "N MUST BE EVEN."
1070 PRINT "N: ";N
1080 PAUSE
1090 GOTO 1030
1100 Begin: FOR I=1 TO N/2
1110 P1: IRND U1
1120 IRND U2
1130 V1=2*U1-1
1140 V2=2*U2-1
1150 P2: S=V1*V1+V2*V2
1160 P3: IF S>1 THEN P1
1170 P4: Temp=SQR(-2*LOG(S)/S)
1180 X(I*2-1)=V1*Temp
1190 X(I*2)=V2*Temp
1200 NEXT I
1210 SUBEND
1220 SUB Set_up1(N,Seed,Mean,Sd)
1230 DIM X(1:N)
1240 PRINTER IS 16
1250 ! SEED Seed
1260 CALL Random_norm1(N,Mean,Sd,X(*))
1270 CALL Printout(N,Seed,Mean,Sd,X(*))
1280 PRINTER IS 16
1290 CALL Print_file(N,X(*))
1300 SUBEND
1310 SUB Printout(N,Seed,Mean,Sd,X(*))
1320 DIM C$(3)
1330 LINUT "WOULD YOU LIKE A PRINTOUT OF THE DATA? (Y/N)",C$
1340 IF UPC$(C$(1,1))="N" THEN SUBEXIT
1350 IF UPC$(C$(1,1))<>"Y" THEN 1330
1360 INPUT "ENTER THE SELECT CODE OF THE PRINTER.",Hc
1370 IF (Hc<>0) AND (Hc<>16) THEN INPUT "ENTER THE BUS ADDRESS OF THE PRINTER."
1380 IF (Hc=0) OR (Hc=16) THEN Hcbus=999
1390 IF Hcbus=999 THEN PRINTER IS Hc
1400 IF Hcbus<>999 THEN PRINTER IS Hc,Hcbus
1410 IF Seed<1 THEN 1440
1420 Seed=Seed*.1
1430 GOTO 1410
1440 PRINT USING 1450;Seed,Mean,Sd
1450 IMAGE 3/,"NORMAL DEVIATES:",/,"3X","Seed:",2D.12D,8X,"Mean:",4D.4D,8X,"Sd
:",4D.4D
1460 PRINT LIN(2);" I X(1) X(1+1) X(1+2) X(1
+3) X(1+4)";LIN(1)
1470 FOR I=1 TO INT(N/5)*5 STEP 5
1480 PRINT USING 1490;I,X(I),X(I+1),X(I+2),X(I+3),X(I+4)
1490 IMAGE 4D,5(2X,6D.6D)
1500 NEXT I
1510 IF I<=N THEN PRINT USING 1520;I
1520 IMAGE #,4D
1530 IF I>N THEN PRINT
1540 IF I>N THEN SUBEXIT
1550 PRINT USING 1560;X(I)
1560 IMAGE #,2X,6D.6D
1570 I=I+1
1580 GOTO 1530
1590 SUBEND

```

```

1600 SUB Graph(Et(*),Tm,In,Li)
1910 REM PROGRAMME DE DIBUJO
1920 REM L = Li*(1-EXP(-K*(T-To)))
1930 INPUT "TITULO DEL DIBUJO?",T$
1980 GRAPHICS
1990 FRAME
2000 ! LIMIT 20,120,20,120
2010 LOCATE 52,120,20.5,100
2020 SCALE 0,Li+2,0,4
2030 PRINT "DESPUES DEL DIBUJO EMPUJAR LA TECLA 'CONT'"
2040 AXES 1,1,0,0
2041 ! MOVE 9.5,2.57
2042 ! DRAW 31.02,.809
2050 MOVE 0,0
2051 It=0
2060 FOR T=0 TO Tm STEP In
2062 It=It+1
2100 LINE TYPE 1
2110 DRAW Et(3,It),Et(4,It)
2120 NEXT T
2130 PEN 1
2140 CSIZE 3
2150 LORG 5
2160 FOR L=0 TO Li+2 STEP 5
2170 MOVE L,-.3
2180 LABEL L
2190 NEXT L
2191 FOR J=0 TO 3
2192 MOVE -.3,J
2193 LABEL J
2194 NEXT J
2200 PAUSE
2210 INPUT "QUIERE IMPRIMIR EL DIBURO? (SI/NO)",Rep$
2220 IF Rep$="NO" THEN GOTO Fin
2221 PRINTER IS 0
2222 PRINT LIN(2)
2230 DUMP GRAPHICS
2250 PRINT T$,LIN(3)
2260 PRINTER IS 16
2270 STOP
2280 Fin: EXIT GRAPHICS
2290 PRINT " FIN DU PROGRAMME"
2300 SUBEND

```


[illegible]

```

590 INPUT "MODIFICATION NOMBRE D'ANNEES DU SUIVI DES COHORTES ET DE TAILLE MAX  

IMALE ?(O/N)",R$  

610 IF (R$((">"O")) AND (R$((">"N")) THEN 600  

620 IF R$="N" THEN 710  

630 INPUT "NOMBRE D'ANNEES DU SUIVI DES COHORTES ET TAILLE MAXI ?",Amax,Cmax  

640 Mod=0 ! MARQUE DE MODIFICATION DU NOMBRE D'ANNEES DE SUIVI DES COHORTES  

650 IF Amax(>)Am THEN Mod=1  

660 Am=Amax  

670 REM CALCUL MORTALITE SELON L'AGE (AN, MOIS) ET LA TAILLE (Cm)  

680 !  

690 REM ENTREE DONNEES GENERALES DE MORTALITE  

700 !  

710 IF Mod=1 THEN 740  

720 INPUT "MODIFICATION DES DONNEES DE MORTALITE ? (O/N)",R$  

730 IF R$="N" THEN 860  

740 U=0 ! COMPTEUR SEMESTRES  

750 REDIM Mo(Amax*2+1),Au(Amax*2)  

760 MAT M=ZER(Am,12,Cmax)  

770 FOR A=1 TO Am(ANS)  

780 FOR S=1 TO 2 ! SEMESTRES  

790 U=U+1  

800 DISP "MORTALITE AU DEBUT DU SEMESTRE ";S;" DE L'AN ";A;" ET % AUGMENT./Cm"  

;  

810 INPUT Mo(U),Au(U)  

820 NEXT S  

830 NEXT A  

840 INPUT "MORTALITE A LA FIN DU DERNIER SEMESTRE ?",Mo(U+1)  

850 !  

860 PRINT PAGE,LIN(10),SPA(15),"CALCUL MORTALITE PAR AGE (MOIS) ET PAR Cm"  

870 !  

880 U=0  

890 FOR A=1 TO Am ! ANS  

900 FOR S=1 TO 2 ! SEMESTRES  

910 S1=S  

920 IF S=2 THEN S1=7  

930 U=U+1  

940 S2=0 ! COMPTEUR MOIS DU SEMESTRE (0 A 5)  

950 FOR Moi=S1 TO 6+S1 ! (MOIS)  

960 Mm=Mo(U)+(Mo(U+1)-Mo(U))/6*S2 ! MORTALITE MOYENNE PAR MOIS  

970 S2=S2+1  

980 Lm=INT(.5+Li*(1-EXP(-K*(A-1+Moi/12-To)))) ! TAILLE MOYENNE PAR AGE  

990 C1=0 ! COMPTEUR AUGMENTATION OU DIMINUTION TAILLE PAR RAPPORT A LA MOYENNE  

1000 !  

1010 FOR Cm=Lm TO Cmax ! CALCUL DE M POUR TAILLES > MOYENNE  

1020 M(A,Moi,Cm)=Mm+Mm*Au(U)/100*C1  

1030 C1=C1+1  

1040 NEXT Cm  

1050 C1=0  

1060 !  

1070 FOR Cm2=Lm-1 TO 1 STEP -1 ! CALCUL DE M POUR TAILLES < MOYENNE  

1080 C1=C1+1  

1090 M(A,Moi,Cm2)=Mm-Mm*Au(U)/100*C1  

1100 NEXT Cm2  

1110 NEXT Moi  

1120 NEXT S  

1130 NEXT A  

1140 PRINT PAGE  

1150 INPUT "MODIFICATION DES DONNEES STANDARD D'EFFECTIFS ? (O/N)",R$  

1160 IF (R$((">"O")) AND (R$((">"N")) THEN 1150  

1170 IF R$="N" THEN 1220  

1180 PRINT LIN(10),"LE PRODUIT DE CES DEUX NOMBRE DOIT ETRE SUPERIEUR A 100000"  

,LIN(1),"AU DELA DE 100 INDIVIDUS TIRES AU HAZARD LES CALCULS SONT TRES LONGS"  

1190 PRINT "EN DE-ÇA DE 50 LES RESULTATS SONT PLUS ALEATOIRES"  

1200 INPUT "EFFECTIFS TIRES AU HAZARD ET NOMBRE DE JUREURS (INDIVIDUS IDENTIFI  

UES K,L,To)?",N,F#  

1210 PRINT PAGE  

1220 IF Mod=1 THEN 1260  

1230 INPUT "MODIFICATION AGE ENIGRATION IMMIGRATION NURSERIE ? (O/N)",R$  

1240 IF (R$((">"O")) AND (R$((">"N")) THEN 1230  

1250 IF R$="N" THEN 1350

```



```

1260 FOR C=1 TO Co
1270 I
1280 FOR I=1 TO Eim
1290 DISP "COHOR. "; C; "AGE EMIGRAT. (DEPART. "; I; " et IMMIGRAT. (RETOUR) "; I; " EXP
RIMES EN MOIS?";
1300 INPUT De(C,I),Ar(C,I)
1310 De(C,I)=De(C,I)/12
1320 Ar(C,I)=Ar(C,I)/12
1330 NEXT I
1340 NEXT C
1350 I
1360 REDIM Hai(Co),Frac(Co),Hai(Co),Rr$(Co),Y(N),Z(N)
1370 MAT Et=ZER(Co,3,Am*12)
1390 MAT D=ZER(Co,2,13,Cmax)
1400 MAT P=ZER(Co,4,N)
1420 INPUT "CALCULS POUR L'EXTERIEUR DE LA NURSERIE ? (O.N.)",R#
1430 IF (R#<>"O") AND (R#<>"N") THEN 1420
1440 Lieu=2
1450 IF R#="N" THEN Lieu=1
1460 I
1470 FOR C=1 TO Co : COHORTES
1480 I
1481 MAT E1=ZER(2,Am,12,Cmax)
1490 DISP "CALCUL DES MOYEN. ET ECART-TYPE COHORTE: "; C; " POUR NURS. ET EXT. N
URS.
1500 INPUT R#
1510 IF (R#<>"N") AND (R#<>"O") THEN 1490
1520 PRINT PAGE,LIN(18),"DATE DE NAISSANCE MOYENNE COHORTE"; C; " EXPRIMEE EN MOI
S ENTIERS (Ex: 5 = 31 MAI)"
1530 PRINT "ET FACTEUR MULTIPLICATIF PAR RAPPORT A LA COHORTE STANDARD ?"
1540 INPUT Hai(C),Frac(C)
1550 PRINT PAGE
1560 Hai(C)=Hai(C)/12
1570 IF C=1 THEN DISP "MODIFICATION DES DONNEES STANDARD DE CROISSANCE ";
1580 IF C>1 THEN DISP "MODIFICATION DES DONNEES CROISSANCE PAR RAPPORT A LA COH
ORTE ANTERIEURE ";
1590 INPUT R#
1600 IF (R#<>"O") AND (R#<>"N") THEN 1570
1610 IF R#="N" THEN 1660
1620 INPUT "Linf, Ecart-Linf",Li,Eli
1630 INPUT "K, Ecart_K ?",K,Ek
1640 INPUT "To, Ecart-To ?",To,Eto
1650 PRINT PAGE,LIN(10),SPA(15),"CALCUL DES Li, Ki, Toi"
1660 Seed=(PI+N)*Frac(C)
1670 RANDOMIZE
1680 MAT X=ZER(N)
1690 MAT Y=Z*X
1700 SEED Seed
1710 DISP "COHORT. "; C; "K et Linf(n) INDEPENDANTS (1) ou INVERSEMENT PROPORTIONNE
LS (P) ";
1720 INPUT R#(C)
1730 IF (R#(C)<>"I") AND (R#(C) < "P") THEN 1660
1740 IF R#(C)="I" THEN 1820
1750 INPUT "COEFFICIENT DE CORRELATION ENTRE Ki ET Li ",Rho
1760 CALL Random_norm2(N,0,Li,Eli,Rho,X(*),Y(*),K) !! Ki et Li CORRELES !!!
1770 FOR I=1 TO N
1780 P(C,I)=Y(I)
1790 P(C,2,I)=X(I)
1800 NEXT I
1810 GOTO 1900
1820 CALL Random_normal1(N,Li,Eli,Y(*)) !! Li !!!
1830 FOR I=1 TO N
1840 P(C,1,I)=Y(I)
1850 NEXT I
1860 CALL Random_normal1(N,K,Ek,X(*)) !! Ki !!!
1870 FOR I=1 TO N
1880 P(C,2,I)=X(I)
1890 NEXT I
1900 CALL Random_normal1(N,To,Hai(C),Eto,Z(*)) !! Toi !!!

1910 FOR I=1 TO N
1920 P(C,3,I)=Z(I)
1930 NEXT I
1940 CALL Printout(N,Seed,K,Ek,Li,Eli,To,Hai(C),Eto,Rho,X(*),Y(*),Z(*),R#,C)
1950 PRINTER IS 16
1960 FOR I=1 TO N
1970 P(C,4,I)=Frac(C) !! INITIALISATION DES EFFECTIFS DU TABLEAU DES INDIVIDUS
1980 NEXT I
1990 INPUT "IMPRESSION DES DONNEES DE BASE SIMULEES Li, Ki, Toi ? (O.N.)",R#
2000 IF R#="N" THEN 2060
2010 PRINT "DONNEES DE BASE";LIN(1),"Linfini, K, To, Jumeaux ";LIN(1),"
POUR COHORTES 1 A ";SPA(1);Co,LIN(1)
2020 MAT PRINT P; !! DONNEES DE BASE
2030 PRINTER IS 16
2040 PAUSE
2050 REM
2060 PRINT PAGE,LIN(10),SPA(15),"CALCULS DES TAILLES ET EFFECTIFS / MOIS"
2070 REM
2080 I
2090 FOR A=1 TO Am : ANS
2100 FOR Moi=1 TO 12 : MOIS
2101 DISP "ANNEE: "; A; " MOIS: "; Moi
2110 It=(A-1)*12+Moi : INDICE DE TEMPS EXPRIME EN MOIS
2120 S1=S12=0
2130 Date=A-1+(Moi+.5-1)/12 : En annees
2140 FOR Nu=1 TO N : INDIVIDUS TIRES AU HAZARD
2150 IF P(C,3,Nu)<0 THEN P(C,3,Nu)=1-P(C,3,Nu) : POUR INDIVIDUS NES L'ANNEE ANI
ERIEURE A L'ANNEE DE REFERENCE
2160 IF (To>0) AND (Date-P(C,3,Nu)<0) THEN Next_nu= INTERVALLE: 0,To, (PERIODE
"ENTRE LA PONTE ET L'ECLOSION", OU AVANT PONTE LORSQUE To>0
2170 IF (To<0) AND (Date-P(C,3,Nu)<ABS(To)) THEN Next_nu= INTERVALLE: To,0, (PE
RIODE "ENTRE LA PONTE ET L'ECLOSION", OU AVANT PONTE LORSQUE To<0
2180 Cm=INT(.5+P(C,1,Nu)*(1-EXP(P(C,2,Nu)*(P(C,3,Nu)-Date)))) : TAILLE AU TEMPS
Date, c.a.d. A L'AGE: Date naissance - Date actuelle
2230 Age=Date-(P(C,3,Nu)-To) : Age en annees fractionnaires
2240 An=INT(Age)+1 : Age en annees entieres
2260 Mois=INT(ABS(Age*12-1) MOD 12)+1 : AGE EN MOIS
2270 IF M(An,Mois,Cm)<0 THEN GOTO Erreur
2280 P(C,4,Nu)=INT(P(C,4,Nu)*EXP(-M(An,Mois,Cm)*1/12)) !! EFFECTIF APRES
MORTALITE DURING UN MOIS
2290 REM CETTE FORMULE SURESTIME LA MORTALITE AU COURS DU PREMIER INTERVALLE DE
TEMPS DE LA VIE DE L'INDIVIDU, INTERVALLE QUI VARIE ENTRE 1 JOUR ET UN MOIS
2291 IF Cm=0 THEN Cm=1
2292 Et(C,1,It)=Et(C,1,It)+P(C,4,Nu) : COMPTEUR DES EFFECTIFS
2293 S1=S1+Cm*Et(C,1,It) : SOMME DES TAILLES
2294 S12=S12+Cm*2*Et(C,1,It) : SOMME DES TAILLES AU CARRE
2300 I
2310 FOR I=1 TO Eim
2320 IF (Age>De(C,I)) AND (Age<Ar(C,I)) THEN Maur= 1:EMIGRATION HORS NURSERIE
2330 NEXT I
2340 I
2350 E1(1,A,Moi,Cm)=E1(1,A,Moi,Cm)+P(C,4,Nu) : TABLEAU DES EFFECTIFS - AN MOI
S / CM NURSERIE
2360 I
2370 GOTO Next_nu
2380 Maur= E1(2,A,Moi,Cm)=E1(2,A,Moi,Cm)+P(C,4,Nu) : TABLEAU DES EFFECTIFS AN
MOIS / CM EXTERIEUR NURSERIE
2390 Next_nu= NEXT Nu
2400 I
2410 REM CALCUL MOYENNE ET ECART-TYPE COHORTE
2420 I
2430 IF (R#="N") OR (Et(C,1,It)>10) THEN 2460
2440 Et(C,2,It)=S1/It : Et(C,1,It) : TAILLE MOYENNE
2450 Et(C,3,It)=SQR((S12-S1^2/2)/It) : Et(C,1,It)-1 : ECART-TYPE
2460 NEXT Moi
2470 NEXT A
2480 GOSUB Beep
2490 PRINT PAGE

```



```

2500 IF Rets="N" THEN 2540
2510 CALL Graphique(E1(*),I1,L1,C)
2530
2540 REM CUMUL DES MOIS DES DIFFERENTES ANNEES DE VIE DE CHAQUE COHORTE
2550
2560 FOR L=1 TO Lieu
2561 DISP ""
2570 PRINT PAGE,LIN(10),SPA(10)," CUMUL DES MOIS DES DIFFERENTES ANNEES DE VIE L
IEU ";L
2571 FOR Ch=Co TO C STEP -1
2580 FOR A=1 TO Am
2590 FOR Mo=1 TO 12
2600 FOR Cm=1 TO Cmax
2610 D(C,L,Mo,Cm)=D(C,L,Mo,Cm)+E1(L,A,Mo,Cm)
2620 NEXT Cm
2630 NEXT Mo
2640 NEXT A
2641 NEXT Ch
2650
2650 PRINT PAGE,LIN(10),SPA(25),"TABLEAU FREQUENCES ANNUELLES LIEU ";L
2670
2680 FOR I=1 TO 12
2690 FOR J=1 TO Cmax
2700 D(C,L,13,J)=D(C,L,13,J)+D(C,L,I,J)
2710 NEXT J
2720 NEXT I
2730 NEXT L
2731 GOSUB Beep
2732 NEXT C
2740
2750 ! FIN CALCULS
2760
2770 GOSUB Beep
2780
2790 CALL Graphique(Am,Cmax,Lieu,Co,D(**))
2800 DIM Com1$(180),Com2$(180)
2810 INPUT "IMPRESSION DES DONNEES DE CET ESSAI ? (O/N)";R$
2820 IF (R$<>"O") AND (R$<>"N") THEN 2810
2830 IF R$="O" THEN Print=0
2840 PRINTER IS Print
2850 PRINT "DONNES DE CET ESSAI:"
2860 MAT De=De*(12)
2870 MAT Ar=Ar*(12)
2880 GOSUB Imp
2890 PRINTER IS Print
2900 PRINT LIN(1),"RELATION ENTRE K et Li: "
2910 MAT PRINT Ar$;
2920 PRINT LIN(1),"FRACTION DES DIFFERENTES COHORTES PAR RAPPORT A LA COHORTE S
TANDARD:"
2930 MAT PRINT Frac
2940 IF R$="N" THEN 3010
2950 INPUT "N° DE L'ESSAI ET PARAMETRES MODIFIES ? (2 LIGNES SANS VIRGULE)";Com
1$
2960 INPUT "COMMENTAIRES: EFFET RECHERCHE ET RESULTAT OBTENU ? (2 LIGNES SANS V
IRGULE)";Com2$
2970 PRINT LIN(1),"PARAMETRES MODIFIES DE L'ESSAI N°:";Com1$
2980 PRINT LIN(1),"EFFET RECHERCHE ET RESULTAT OBTENU:";Com2$
2990 PRINTER IS 16
3000
3010 PRINT "FIN DU PROGRAMME"
3020 STOP
3030
3040 Imp: PRINTER IS Print
3050 PRINT LIN(1),"N= ";N; " Fe= ";Fe
3060 PRINT LIN(1),"DERNIERE COHORTE (";C-1;") k= ";K; " Ek= ";Ek; " Li= ";Li; " E
1= ";E1; " Rho= ";Rho;LIN(1);"to= ";To; " Eto= ";Eto
3070 PRINT LIN(1)," N° D'ANNEES DU SUIVI DE LA COHORTE: ";Am; " TAILLE MAXI: ";C
max
3080 PRINT LIN(1)," VECTEUR MORTALITE PAR SEMESTRE: "
3090 MAT PRINT Mo

```

```

3100 PRINT "VECTEUR : EMART A LA MOYENNE DE LA MORTALITE PAR LI: "
3110 MAT PRINT Ar;
3120 PRINT "NOMBRE D'EMIGRATION: IMMIGRATION: NA:JOUR COHORTE: ";E1$
3130 PRINT LIN(1),"AGES EMIGRATION MOYS. COHORTE";LIN(1)
3140 MAT PRINT De;
3150 PRINT LIN(1),"AGES IMMIGRATION MOYS. COHORTE";LIN(1)
3160 MAT PRINT Ar;
3170 PRINT LIN(1),"DATES DE NAISSANCE MOYENNE DES COHORTES (EN MOIS ENTIER)";L
IN(1)
3180 MAT Nai=Nai*(12)
3190 MAT PRINT Nai;
3200 MAT Nai=Nai*(12)
3210 PRINTER IS 16
3220 RETURN
3230 Beep: FOR I=1 TO 5
3240 BEEP
3250 WAIT 200
3260 NEXT I
3270 RETURN
3280 Erreur: BEEP
3290 BEEP
3300 PRINT "MORTALITE NEGATIVE POUR L'ANNEE: ";an; " MOIS: ";Mois; " TAILLE: ";
Cm
3310 PRINT "REVOIR LES DONNEES DE MORTALITE (OU DE CROISSANCE)"
3320 STOP
3330 END
3340
3350
3360 SUB Graphique(Am,Cmax,Lieu,Co,SHORT D(**))
3370
3380 REM START
3390
3391 OPTION BASE 1
3400 PRINTER IS 16
3410 Nv=No=Nx=0
3420 Mns=20
3430 Mnv=50
3440 Obs:Mno=1500
3450 GOTO 3550
3460 A:BEEP
3470 DISP "REPONSE INCORRECTE, NOUVEL ESSAI"
3480 WAIT 3000
3490 RETURN
3500
3510
3520 REM GRAPHIQUE FREQUENCES TAILLE
3530
3540
3550 PRINTER IS 16
3560 PRINT PAGE,"GRAPHIQUE FREQUENCES TAILLE"
3570 DIM A(40),Sym$(11),Xaxis$(33),Yaxis$(33),Titles$(33),A$(33)
3580 Fig=0
3590 GOTO Plotter
3600 Debut: INPUT "PREMIER ET DERNIER MOIS HISTOGRAMME ? (13,13 = ANNEE; 1,13 =
12 MOIS + ANNEE";P1,P2
3610 IF (P1>13) OR (P2>13) THEN 3600
3620 FOR I=P1 TO P2
3630 Cont2=0
3640 FOR Lie=1 TO Lieu
3650 Start: MAT A=ZER
3660 A(22)=A(29)=A(30)=A(31)=A(32)=1
3670 Sym$=""
3680 A(22)=I1
3690 Yaxis$="FREQ MOIS "&VAL$(A(22))
3700 A(24)=1
3710 A(25)=Cmax
3720 Titles$="FREQUENCES DE TAILLE MENSUELLES"
3730 IF Ns<2 THEN 3800
3740 A(23)=0
3750 IF A(23)=0 THEN 3800
3760 IF A(23)>Ns THEN 11030

```



```

3770 A(24)=SC/A(23)
3780 IF A(23)+1=NS THEN A(25)=SC/(M-25)+1+1
3790 TITLE$=SQR(A(23))/1,101<" "&T(I,2)
3800 A(1)=A(7)*5 ! TAILLE MINIMUM : A1
3810 A(2)=A(8)*Cma ! TAILLE MAXIMUM
3820 A(3)=1 ! DISTANCE ENTRE DEUX INTERVALLES DE TAILLE
3830 A(4)=5 ! POSITION LABEL TAILLE
3840 A(5)=0 ! DECIMALES LABEL TAILLE
3850 A(6)=INT(LGT(A(2)))+3
3860 Tinc=1 ! INTERVALLE ENTRE 2 POINTS
3870 Xaxis$="TAILLE Cm"
3880 CALL Maxmin(Co,A(4),A(22),15,Lie,D)
3890 CALL Lim(A(4),15)
3900 CALL Char(A(4),9)
3910 IF (I1=P10) OR (Lie=2) THEN Yaxis$
3920 DISP "MODIFICATION DU STANDARD AVE DES TAILLES : 5 A ";Cma;" Cm D N";
3930 INPUT R$
3940 IF (R$<>"0") AND (R$<>"N") THEN 3920
3950 IF R$="0" THEN Xaxis$
3960 GOTO Yaxis$
3970 Plot: Cont=Conn=Grid=0
3980 IF (Flg=0) OR (Lie=1) THEN 4020
3990 Cont=0
4000 Cont2=1
4010 GOTO 4020
4020 Flg=1
4030 Conn=1
4040 IF (Cont=1) OR (Cont2=1) THEN GRAPHICS
4050 IF Cont=1 THEN 4740
4060 IF Cont2=1 THEN 4100
4070 IF Gsc=13 THEN PLOTTER IS Gsc,Gdev$
4080 IF Gsc<>13 THEN PLOTTER IS Gsc,Cbus,Gdev$
4090 IF Gsc=13 THEN GRAPHICS
4100 A(26)=(A(2)-A(1))/(.94-.03*A(14)) !!!!!!!
4110 A(27)=(A(10)-A(9))/(.91-.03*A(6))
4120 A(17)=(A(1)-(.04+.03*A(14))*A(26)
4130 A(18)=A(2)+.02*A(26)
4140 A(19)=A(9)-(.04+.03*A(6))*A(27)
4150 A(20)=A(10)+.05*A(27)
4160 Xmin=A(1)
4170 Xmax=A(2)
4180 Ymin=A(9)
4190 Ymax=A(10)
4200 LIMIT 0,184.47,0,149.8
4210 IF Lie=2 THEN LOCATE 0,100,0,40
4220 IF Lie=1 THEN LOCATE 0,100,50,90
4230 IF Lie=1 THEN FRAME
4240 I
4250 SCALE A(17),A(18),A(19),A(20) ! TRACE DES AXES
4260 I
4270 PEN A(29)
4280 PLOT A(2),A(9)
4290 PLOT A(1),A(9)
4300 PLOT A(1),A(10)
4310 DEG
4320 CSIZE 2
4330 LORG 5
4340 LDIR 0
4350 FOR I=A(1) TO A(2) STEP A(3)
4360 MOVE I,A(9)
4370 LABEL USING "A;";I
4380 PENUP
4390 NEXT I
4400 LDIR 90

```

```

4410 FOR I=A(9) TO A(10) STEP A(11)
4420 MOVE A(1),I
4430 LABEL USING "A;";I
4440 PENUP
4450 NEXT I
4460 IF Grid=0 THEN 4560
4470 PEN A(30)
4480 LINE TYPE 3
4490 FOR I=A(1) TO A(2) STEP A(3)
4500 MOVE I,A(9)
4510 IF I=A(1) THEN 4550
4520 PLOT I,A(9)
4530 PLOT I,A(10)
4540 PENUP
4550 NEXT I
4560 LDIR 90
4570 PEN A(31)
4580 CSIZE 3
4590 LDIR 0
4600 LORG 4
4610 MOVE (A(2)+A(1))/2,A(19)
4620 CALL Fmtb(A$,Xaxis$)
4630 LABEL USING A$;Xaxis$
4640 LORG 6
4650 MOVE (A(2)+A(1))/2,A(20)
4660 CALL Fmtb(A$,Title$)
4670 LABEL USING A$;Title$
4680 LDIR 90
4690 MOVE A(17),(A(10)+A(9))/2
4700 I
4710 CALL Fmtb(A$,Yaxis$) ! LABELS ET TITRE
4720 I
4730 LABEL USING A$;Yaxis$
4740 PEN A(32)
4750 CSIZE 2
4760 LDIR 0
4770 LORG 5
4771 FOR Ch=1 TO Co
4780 T=A(7)
4790 PENUP
4800 I IF A$="0" THEN LINE TYPE INT(A(22)/1.5)
4810 I
4812 LINE TYPE Ch+5
4820 FOR I=A(24) TO A(25)
4830 I
4850 IF (I<Xmin) OR (I>Xmax) THEN 4910
4860 IF (D(Ch,Lie,A(22),I)<Ymin) OR (D(Ch,Lie,A(22),I)>Ymax) THEN 4900
4870 PLOT T,D(Ch,Lie,A(22),I),2*Conn+(Conn=1)
4880 I LABEL USING "A;";Sym$
4890 IF Conn=1 THEN PLOT T,D(Ch,Lie,A(22),I),1
4900 T=T+Tinc
4910 NEXT I
4920 PENUP
4921 NEXT Ch
4922 LINE TYPE 1
4930 IF P1-I1>0 THEN PAUSE
4940 IF Cont=1 THEN Option
4950 PEN A(29)
4960 LORG 8
4970 CALL Fmta(A$,A(13),A(14))
4980 FOR I=A(9) TO A(10) STEP A(11)*A(12)
4990 MOVE A(1),I
5000 LABEL USING A$;I
5010 NEXT I
5020 LDIR 90
5030 CALL Fmta(A$,A(5),A(6))
5040 FOR I=A(1) TO A(2) STEP A(3)*A(4)
5050 MOVE I,A(9)
5060 LABEL USING A$;I
5070 NEXT I

```

!HISTOGRAMME


```

5080 I
5090 Option: NEXT Lie
5100 BEEP
5110 INPUT "IMPRESSION SUR IMPRIMANTE INTERNE (1), TABLE TRACANTE (2) OU RIEN
(3)",R
5120 IF R>3 THEN 5110
5130 ON R GOSUB Dump,Hard,Next_1
5140 I
5150 GCLEAR
5160 Next_1: NEXT I1
5170 INPUT "AUTRE GRAPHIQUES ? (O/N)",R$
5180 IF (R$<>"O") AND (R$<>"N") THEN 5170
5190 IF R$="O" THEN Debut
5200 EXIT GRAPHICS
5210 GCLEAR
5220 SUBEND
5230 PAUSE
5240 Xaxis: INPUT "Taille minimum ?",A(1)
5250 INPUT "Taille maximum ?",A(2)
5260 IF A(1)>A(2) THEN 5240
5270 A(3)=1
5280 IF A(3)<=0 THEN 12380
5290 INPUT "Label tous les X marques ? (1 pour toutes; 2 pour chaque 2 marques;
etc.)",A(4)
5300 IF A(4)<1 THEN 5290
5310 A(5)=0
5320 IF A(5)>5 THEN A(5)=6
5330 CALL Char(A(5),1)
5340 INPUT "Taille (Cm) debut histogramme ?",A(7)
5350 I
5360 Yaxis: FIXED A(13)+1
5370 A(9)=0 ! FREQUENCE MINIMUM
5380 A(10)=A(16)*1.2 ! FREQUENCE MAXIMUM
5390 IF A(9)>A(10) THEN Erreur
5400 A(11)=INT(A(16)/INT(A(16)-1000))*100 ! MARQUES FREQUENCES EN FONCTION
DE FREQUENCE MAXI A(11) CALCULE PAR SUB Maxmin
5410 A(12)=5
5420 IF A(12)<1 THEN 5430
5430 A(13)=0 ! DECIMALES LABEL FREQUENCES
5440 CALL Char(A(13),9)
5450 I
5460 Labels: Xaxis$="TAILLES Cm"
5470 Lieux(1)="NURS."
5480 Lieux(2)="EXT."
5490 Yaxis$="FREQUENCES "&Lieux$(Lie)
5500 Title$="HISTOGRAMME MOIS "&VAL$(INT(A(22)))
5510 Sym: Sym$=""
5520 GOTO Plot
5530 Dump: DUMP GRAPHICS
5540 GOTO Next_1
5550 Hard: INPUT "Numero de plume pour les axes et les echelles ?",A(29)
5560 A(29)=INT(A(29))
5570 IF (A(29)<1) OR (A(29)>4) THEN 5550
5580 INPUT "Numero de plume pour les lignes de quadrillage ?",A(30)
5590 A(30)=INT(A(30))
5600 IF (A(30)<1) OR (A(30)>4) THEN 5580
5610 INPUT "Numero de plume pour les titres ?",A(31)
5620 A(31)=INT(A(31))
5630 IF (A(31)<1) OR (A(31)>4) THEN 5610
5640 INPUT "Numero de plume pour les points ?",A(32)
5650 A(32)=INT(A(32))
5660 IF (A(32)<1) OR (A(32)>4) THEN 5640
5670 GOTO 13310
5680 Plotter: STANDARD
5690 PRINT LIN(1),"OPTION UNITE"
5700 PRINT " 1 Ecran"
5710 PRINT " 2 9872A"
5720 PRINT " 3 Autre",LIN(1)
5730 INPUT "N° DE L OPTION GRAPHIQUE",A(33)

```

```

5740 A(33)=INT(A(33))
5750 IF (A(33)<1) OR (A(33)>3) THEN 5730
5760 IF A(33)=1 THEN Gdev$="GRAPHICS"
5770 IF A(33)=2 THEN Gdev$="9872A"
5780 IF A(33)=3 THEN INPUT "NOM DU PERIFERIQUE GRAPHIQUE",Gdev$
5790 IF A(33)=1 THEN Gac=13
5800 IF A(33)=1 THEN Debut
5810 INPUT "CODE DU PERIFERIQUE",Gac
5820 Gac=INT(Gac)
5830 PRINT "CODE: ",Gac
5840 INPUT "ADRESSE HB-IB ",Gbus
5850 Gbus=INT(Gbus)
5860 PRINT "ADRESSE: ",Gbus
5870 GOTO Debut
5880 I
5890 Erreur: BEEP
5900 PRINT "ERREUR D'ECHELLE DES FREQUENCES DE TAILLES"
5910 STOP
5920 SUB Maxmin(Co,A(*),I,J,Lie,SHORT D(*))
5930 A(J)=9E99
5940 A(J+1)=0
5950 FOR K=A(24) TO A(25)
5970 IF D(Co,Lie,I,K)<A(J) THEN A(J)=D(Co,Lie,I,K)
5980 IF D(Co,Lie,I,K)>A(J+1) THEN A(J+1)=D(Co,Lie,I,K)
5990 NEXT K
6000 SUBEND
6010 SUB Lim(A(*),I)
6020 Factor=(A(I+1)-A(I))
6030 D1=INT(LGT(A(I+1)-A(I)+Factor))-1
6040 D2=10^D1
6050 A(I-6)=PROUND(A(I),D1)
6060 A(I-5)=PROUND(A(I+1),D1)
6070 A(I-6)=A(I-6)-D2
6080 IF A(I-6)>A(I) THEN 6070
6090 A(I-5)=A(I-5)+D2
6100 IF A(I-5)<A(I+1) THEN 6090
6110 A(I-4)=(A(I-5)-A(I-6))/10
6120 A(I-3)=2
6130 A(I-2)=0
6140 IF LGT(A(I-4))<0 THEN A(I-2)=ABS(INT(LGT(A(I-4))))
6150 SUBEND
6160 SUB Char(A(*),I)
6170 D1=D2=0
6180 IF A(I)<>0 THEN D1=INT(LGT(ABS(A(I))))
6190 IF A(I+1)<>0 THEN D2=INT(LGT(ABS(A(I+1))))
6200 A(I+5)=3+MAX(D1,D2,0)+(A(I)<0)+(A(I+4)+1)*(A(I+4)>0)
6210 SUBEND
6220 SUB Fmta(A$,Dec,Char)
6230 FIXED 0
6240 IF Dec=0 THEN A$=VAL$(Char-2)&"D,XX"
6250 IF Dec>0 THEN A$=VAL$(Char-Dec-3)&"D."&VAL$(Dec)&"D,XX"
6260 SUBEND
6270 SUB Fmtb(A$,B$)
6280 FIXED 0
6290 N=LEN(B$)
6300 IF N<>0 THEN 6330
6310 N=3
6320 B$=" "
6330 A$=VAL$(N)&"A"
6340 SUBEND
6350 SUB Mean(H,X(*),Mean)
6360 Mean=0
6370 FOR I=1 TO N
6380 Mean=Mean+X(I)
6390 NEXT I
6400 Mean=Mean/N
6410 SUBEND
6420 SUB Standard_dev(H,X(*),Sd)
6430 IF N<2 THEN SUBEXIT
6440 Sumx=Sumx+0

```



```

6450 FOR I=1 TO N
6460   A1=X*1
6470   Sumx=Sumx+A1
6480   Sumxy=Sumxy+A1*A1
6490 NEXT I
6500 Sd=SQR((Sumx-N*Sumx*Sumx)/(N-1))
6510 SUBEND
6520 SUB Random_normal(N,X(*)
6530   Baddata=N MOD 2 OR (N<1)
6540   IF NOT Baddata THEN Begin
6550     Error: PRINT LIN(2);"ERROR IN SUB Random_normal."
6560     IF N MOD 2 THEN PRINT "N MUST BE EVEN."
6570     PRINT "N: ";N
6580     PAUSE
6590     GOTO 6530
6600     Begin: FOR I=1 TO N/2
6610       P1:   IRND U1
6620             IRND U2
6630       V1=2*U1-1
6640       V2=2*U2-1
6650       P2:   S=V1*V1+V2*V2
6660       P3:   IF S>1 THEN P1
6670       P4:   Temp=SQR(-2*LOG(S)/S)
6680       X(I*2-1)=V1*Temp
6690       X(I*2)=V2*Temp
6700     NEXT I
6710   SUBEND
6720 SUB Random_norm2(N,Mu1,Mu2,Sigma1,Sigma2,Rho,Y1(*),Y2(*),K)
6730   DIM Temp(1:2)
6740   IF (Sigma1>0) AND (Sigma2>0) THEN 6780
6750   PRINT LIN(2);"ERROR IN Random_norm2. Sd<=0.";LIN(2)
6760   PAUSE
6770   GOTO 6740
6780   IF NOT (N MOD 2) THEN 6850
6790   IF N<>1 THEN CALL Random_normal(N-1,Y1(*))
6800   IF N<>1 THEN CALL Random_normal(N-1,Y2(*))
6810   CALL Random_normal(2,Temp(*))
6820   Y1(N)=Temp(1)
6830   Y2(N)=Temp(2)
6840   GOTO 6870
6850   CALL Random_normal(N,Y1(*))
6860   CALL Random_normal(N,Y2(*))
6870   Temp=SQR(1-Rho*Rho)
6880   FOR J=1 TO N
6890     Y2(J)=Mu2+Sigma2*(Rho*Y1(J)+Temp*Y2(J))!!!!!!
6900   NEXT I
6910   MAT Y1=(Sigma1)*Y1
6920   MAT Y1=(Mu1)+Y1
6930   MAT Y1=(K)+Y1 !!!!!!!!!!!!!!!
6940   SUBEND
6950 SUB Correlation(N,X(*),Y(*),Coeff)
6960   Sumx=Sumxy=0
6970   FOR I=1 TO N
6980     Sumx=Sumx+X(I)
6990     Sumy=Sumy+Y(I)
7000   NEXT I
7010   Xmean=Sumx/N
7020   Ymean=Sumy/N
7030   Sumx=Sumy=Sum=0
7040   FOR I=1 TO N
7050     Sumx=Sumx+(X(I)-Xmean)^2
7060     Sumy=Sumy+(Y(I)-Ymean)^2
7070     Sum=Sum+(X(I)-Xmean)*(Y(I)-Ymean)
7080   NEXT I
7090   Coeff=Sum/(SQR(Sumx)*SQR(Sumy))
7100 SUBEND

```

```

7110 SUB Printout(N,Seed,Mean1,Sd1,Mean2,Sd2,Mean3,Sd3,Phi1,Phi2,Phi3,Phi4,Phi5,Phi6,Phi7,Phi8,Phi9,Phi10,Phi11,Phi12,Phi13,Phi14,Phi15,Phi16,Phi17,Phi18,Phi19,Phi20,Phi21,Phi22,Phi23,Phi24,Phi25,Phi26,Phi27,Phi28,Phi29,Phi30,Phi31,Phi32,Phi33,Phi34,Phi35,Phi36,Phi37,Phi38,Phi39,Phi40,Phi41,Phi42,Phi43,Phi44,Phi45,Phi46,Phi47,Phi48,Phi49,Phi50,Phi51,Phi52,Phi53,Phi54,Phi55,Phi56,Phi57,Phi58,Phi59,Phi60,Phi61,Phi62,Phi63,Phi64,Phi65,Phi66,Phi67,Phi68,Phi69,Phi70,Phi71,Phi72,Phi73,Phi74,Phi75,Phi76,Phi77,Phi78,Phi79,Phi80,Phi81,Phi82,Phi83,Phi84,Phi85,Phi86,Phi87,Phi88,Phi89,Phi90,Phi91,Phi92,Phi93,Phi94,Phi95,Phi96,Phi97,Phi98,Phi99,Phi100)
7120 DIM C$(33)
7130 CALL Mean(N,X(*),Mean_1)
7140 CALL Standard_dev(N,X(*),Sd_1)
7150 Coeff=0
7160 IF Rho="1" THEN 7180
7170 CALL Correlation(N,X(*),Y(*),Coeff)
7180 CALL Mean(N,Y(*),Mean_1)
7190 CALL Standard_dev(N,Y(*),Sd_1)
7200 CALL Mean(N,Z(*),Mean_1)
7210 CALL Standard_dev(N,Z(*),Sd_1)
7220 INPUT "IMPRESSION DES DONNÉES MOYENNES SIMULEES DE: ";L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L30, L31, L32, L33, L34, L35, L36, L37, L38, L39, L40, L41, L42, L43, L44, L45, L46, L47, L48, L49, L50, L51, L52, L53, L54, L55, L56, L57, L58, L59, L60, L61, L62, L63, L64, L65, L66, L67, L68, L69, L70, L71, L72, L73, L74, L75, L76, L77, L78, L79, L80, L81, L82, L83, L84, L85, L86, L87, L88, L89, L90, L91, L92, L93, L94, L95, L96, L97, L98, L99, L100
7230 IF UPC$(C$(1,1))="N" THEN SUBEXIT
7240 IF UPC$(C$(1,1))="O" THEN 7220
7250 INPUT "CODE DE L'IMPRIMANTE ";Hc
7260 IF (Hc<>16) AND (Hc<>0) THEN INPUT "ENTREE L'ADRESSE DU BUS DE L'IMPRIMANT E (ENTREE 999 SI PAS HP1B.1),Hcbus
7270 IF (Hc=0) OR (Hc=16) THEN Hcbus=999
7280 IF Hcbus=999 THEN PRINTER IS Hc
7290 IF Hcbus<>999 THEN PRINTER IS Hc,Hcbus
7300 IF Seed<1 THEN 7330
7310 Seed=Seed*.1
7320 GOTO 7300
7330 PRINT LIN(3);"DONNES DE DEPART K, L, Rho, To COHORTE: ";C
7340 PRINT USING 7350;Seed,Mean1,Sd1,Mean2,Sd2,Mean3,Sd3
7350 IMAGE 1,3X,"Graine: ",2D.12D,/,,"K moyen: ",4D.4D,5X,"E1: ",4D.4D,/,,"L1 moyent: ",4D.4D,5X,"E11: ",4D.4D,5X,"Rho1: ",D.4D,/,,"To+DatNaiss: ",4D.4D,5X,"Eto: ",4D.4D,/,,"L1 moyent: ",4D.4D,5X,"E11: ",4D.4D,5X,"Rho1: ",D.4D,/,,"To+Date Naissance: ",4D.4D,5X,"Eto: ",4D.4D,/,
7360 PRINT LIN(2);"DONNES SIMULEES K, L, Rho, To COHORTE: ";C
7370 PRINT USING 7380;Mean_k,Sd_k,Mean_l1,Sd_l1,Coeff,Mean_to,Sd_to
7380 IMAGE 1,3X,"K moyen: ",4D.4D,5X,"E1: ",4D.4D,/,,"L1 moyent: ",4D.4D,5X,"E11: ",4D.4D,5X,"Rho1: ",D.4D,/,,"To+Date Naissance: ",4D.4D,5X,"Eto: ",4D.4D,/,
7390 SUBEXIT
7400 PRINT LIN(1);" I X(I) X(I+1) X(I+2) X(I+3) X(I+4)"
7410 FOR I=1 TO INT(N/5)*5 STEP 5
7420   PRINT USING 7430;I,X(I),X(I+1),X(I+2),X(I+3),X(I+4)
7430   IMAGE 4D,5(2X,6D.6D)
7440 NEXT I
7450 IF I<N THEN PRINT USING 7460;I
7460 IMAGE #,4D
7470 IF I>N THEN PRINT
7480 IF I>N THEN 7530
7490 PRINT USING 7500;X(I)
7500 IMAGE #,2X,6D.6D
7510 I=I+1
7520 GOTO 7470
7530 PRINT LIN(3);" I Y(I) Y(I+1) Y(I+2) Y(I+3) Y(I+4)"
7540 FOR I=1 TO INT(N/5)*5 STEP 5
7550   PRINT USING 7430;I,Y(I),Y(I+1),Y(I+2),Y(I+3),Y(I+4)
7560 NEXT I
7570 IF I<N THEN PRINT USING 7460;I
7580 IF I>N THEN PRINT
7590 IF I>N THEN SUBEXIT
7600 PRINT USING 7500;Y(I)
7610 I=I+1
7620 GOTO 7580
7630 SUBEND
7640 PAUSE
7650 SUBEND

```


ANNEXE V : RECOMMANDATIONS

I Recommandations en matière d'aménagement des pêcheries.

- Réduire le taux d'exploitation des sardinelles (jeunes reproducteurs) sur la Petite Côte. Cela peut être obtenu en limitant les subventions pour l'achat de filets (sennes tournantes en particulier) et en diminuant la détaxe sur le carburant vendu aux piroguiers, lesquels assurent actuellement l'essentiel des captures. Limiter les contre-coups socio-économiques en :

- favorisant un report de cet effort de pêche vers d'autres régions (Côte Nord et surtout Casamance) et/ou sur d'autres espèces moins exploitées (chinchards, maquereaux, pelons). Le développement d'infrastructures légères dans ces régions en est la condition (ports, réseaux d'écoulement du produit), ainsi que la pénétration de marchés étrangers (Côte d'Ivoire pour le pelon par exemple).

- Renforcer la concertation avec les pays de la région afin de planifier un taux d'exploitation global relativement stable sur l'ensemble de la région, en particulier pour les poissons adultes migrants. Les accords de pêche passés entre pays étrangers et pays riverains devraient faire suite à une concertation entre ces derniers.

- La taille moyenne de première capture des sardinelles est actuellement satisfaisante. Les quelques centaines de tonnes de juvéniles capturés annuellement par les thoniers canneurs (appât), les sennes de plage et les filets tournants, ne mettent pas les stocks en danger. On devra cependant rester très vigilant afin de limiter la tendance à l'augmentation de ces captures en période de faible abondance des autres classes d'âge.

- En liaison avec les chercheurs socio-économistes, envisager la possibilité de créer un mécanisme de régulation des revenus interannuels de la pêche par une épargne forcée durant les années de forte abondance (diminution des subventions et détaxes, prélèvements obligatoires, etc.) qui permettrait d'une part d'éviter l'investissement dans de nouvelles unités de pêche, d'autre part de soutenir les pêcheurs au cours des années de faible abondance. Le risque de dérive du système au profit d'une minorité ne devra pas être sous-estimé.

II Recommandations en matière de recherche.

- Deux points d'ombre limitent la pertinence de l'évaluation de ressources et de l'aménagement des pêcheries : l'incertitude du schéma de migration des jeunes reproducteurs et l'identification d'autres nurseries.

- L'idéal serait de réaliser un programme de marquage magnétique sur l'ensemble de la région, avec récupération des marques au niveau des usines (à terre ou sur les bateaux usine) mais cela demeure impossible dans l'état actuel de la commercialisation. Il convient donc dans l'immédiat d'utiliser des moyens plus indirects :

- analyser les distributions de fréquences de tailles historiques non exploitées (pêche artisanale au filet maillant encerclant, pêche sur la Côte Nord, flottes étrangères sur l'ensemble de la région),

- effectuer des mensurations sur les pêches commerciales et expérimentales réalisées en Mauritanie, en Gambie et en Guinée,

- intensifier l'échantillonnage de la pêche artisanale (mensurations) sur la côte nord et en Casamance (Kafountine),

- réaliser des campagnes de pêche exploratoire des juvénile en Casamance et en Guinée, par exemple à l'aide d'un chalut pélagique à petite maille traîné à plus de 5 noeuds (à mettre au point),

- effectuer des pêches d'ichtyoplancton en Casamance et en Guinée en décembre-janvier,

- mieux échantillonner les biomasses lors des campagnes d'écho-intégration, par pêche au filet pélagique et/ou à la senne tournante, si besoin avec l'aide d'un bateau loué aux professionnels,

- aborder le problème de l'unité des stocks par l'étude de la structure génétique des différentes régions : Mauritanie, Côte Nord, Petite Côte, Casamance, Guinée. Une incidente intéressante d'un point de vue plus fondamental serait l'étude de la population de sardinelles de la baie Gorée et du port de Dakar (sardinelle ronde, sardinelle plate et sardinelle "demi-ronde").

- Par ailleurs, il est souhaitable d'évaluer la biomasse du stock de pelons en Casamance et de mieux étudier la biologie de cette espèce.

- L'étude des relations stocks-climat devrait être approfondie par le traitement informatique des données de vent de l'ASECNA et des données de température à la côte et au large (navires marchands, satellite, stations côtières), afin de calculer divers indices d'upwelling et de turbulence.

- Le déterminisme des migrations des individus adultes pourrait être vérifié par l'étude des températures de surface et de la couleur de l'eau (satellite) afin de relier les formations et effondrements de "poches d'upwelling" aux déplacements de ces adultes sur l'ensemble de la région sénégal-mauritanienne.

- Une étude comparative de la biologie des trois principales espèces de clupéidés de la région (S. aurita, S. maderensis et S. pilchardus) pourrait permettre de mieux comprendre leur répartition spatio-temporelle et leur variation inter-annuelle d'abondance. Les points clés sont probablement l'alimentation (taille des proies et composition spécifique, alimentation à partir de détritus organiques sur le fond et digestibilité de ces détritus) et la stratégie de reproduction liée aux conditions de survie des larves et post-larves (disponibilité des proies, résistance à l'entraînement par le courant, conditions de milieu).

- Le mécanisme d'enrichissement des eaux sur la Petite Côte en saison chaude devrait être approfondi (reminéralisation des macrophytes ou d'autres sources de matières organiques? STT? Advection? etc.).

-Les aspects socio-économiques de la pêche semi-industrielle (sardiniers) devraient être étudiés dans le détail (avant que celle-ci ne disparaisse), en particulier ses interfaces avec la pêche artisanale.

TABLE DES MATIERES

	Pages
RESUME	4
REMERCIEMENTS	5
SOMMAIRE	7
AVANT PROPOS	9
I. INTRODUCTION	11
II. LE MILIEU	15
II. 1. Le plateau continental	15
II. 2. Météorologie	17
II. 2.1. Les masses d'air et les champs de pression	
II. 2.2. Les vents	
II. 2.3. Les pluies	
II. 3. Hydrologie	18
II. 3.1. Les masses d'eau de surface	
II. 3.2. Les courants	
II. 3.3. Les fronts	

II. 4. Hydroclimatologie	22
II. 4.1. Généralités	
II. 4.2. La saison froide	
II. 4.3. La transition saison froide, saison chaude	
II. 4.4. La saison chaude	
II. 4.5. La transition saison chaude, saison froide	
II. 5. L'upwelling	25
II. 5.1. Description sommaire	
II. 5.2. Choix d'un indice d'upwelling	
II. 6. La productivité	31
II. 6.1. Production primaire	
II. 6.2. Production secondaire	
II. 7. Conclusion sur le milieu	36
III. RAPPEL DE LA BIOLOGIE DES DEUX ESPECES DE SARDINELLES	37
III. 1. Répartition géographique et migrations	37
III. 1.1. <u>Sardinella aurita</u>	
III. 1.2. <u>Sardinella maderensis</u>	
III. 2. Reproduction	42
III. 2.1. <u>Sardinella aurita</u>	
III. 2.2. <u>Sardinella maderensis</u>	
III. 3. Alimentation	47
III. 4. Croissance	51
III. 4.1. Croissance des juveniles de <u>sardinella aurita</u> en mer	
III. 4.2. Croissance des juvéniles de <u>sardinella aurita</u> en bassin	
III. 4.3. Croissance des jeunes reproducteurs et des adultes de <u>sardinella aurita</u>	
III. 4.4. Croissance de <u>sardinella maderensis</u>	
III. 5. Relation taille-poids et facteur de condition	57
III. 5.1. Relation taille-poids	
III. 5.2. Variabilité et facteur de condition	
III. 5.2.1. Facteurs de condition composite issus de la formule $P = cL^3$	
III. 5.2.2. Facteurs de condition relative issus de la formule $P = aL^n$	
III. 5.2.3. comparaison des fonctions $P = cL^3$ et $P = aL^n$	

III. 5.3. Application aux indices de maturité sexuelle

IV. LES PECHERIES

67

IV. 1. Description des divers types d'exploitation

68

IV. 1.1. Les pêches industrielles hauturières

IV. 1.2. Les pêches semi-industrielles

IV. 1.2.1. La pêche sardinière dakaroise

IV. 1.2.2. La pêche mauritanienne dans la baie du
Lévrier

IV. 1.2.3. Autres pêches semi-industrielles

IV. 1.3. Les pêches artisanales

IV. 1.3.1. La pêche à la ligne à main

IV. 1.3.2. La pêche au filet

Les filets maillants encerclants

Les sennes tournantes coulissantes

Les sennes de plage

Les filets maillants dormants

IV. 1.3.3. Conclusion sur la pêche artisanale

IV. 1.4. Pêche d'appât par les thoniers

IV. 2. Interaction des différents type de pêche

80

IV. 2.1. Interactions concernant Sardinella aurita

IV. 2.2. Interactions concernant les autres espèces

IV. 3. Méthodologie de la collecte et du traitement des
données de pêche

82

IV. 3.1. Pêche semi-industrielle dakaroise

IV. 3.1.1. Collecte des données

IV. 3.1.2. Traitement des données

Prétraitement, codage, saisie, contrôle

Traitement des prises et efforts de pêche

Traitement des fréquences de taille

IV. 3.2. Pêche artisanale au filet

IV. 3.2.1. Collecte des données

IV. 3.2.2. Traitement des données

IV. 4. Choix d'une prise par unité d'effort de pêche représentative de l'abondance	89
IV. 4.1. Considérations générales	
IV. 4.2. Analyse des différentes p.u.e.	
IV. 4.2.1. Comparaison des variations tem- porelles de diverses p.u.e. d'une même unité de pêche	
IV. 4.2.2. Comparaison des p.u.e. obtenues à partir de diverses unités de pêche de caractéristiques voisines	
IV. 4.2.3. Comparaison des p.u.e. obtenues à partir de divers engins de pêche travaillant sur le même stock	
IV. 4.2.4. Facteurs déterminants de la puissance de pêche des sardiniers dakarois	
IV. 4.2.5. Abondance mesurée par écho-intégra- tion et p.u.e.	
IV. 4.3. Conclusion sur le choix d'une p.u.e.	
IV. 5. Effort de pêche, captures et p.u.e. annuels	99
IV. 5.1. Pêche hauturière	
IV. 5.2. Pêches semi-industrielles	
IV. 5.3. Pêches artisanales	
IV. 6. Aspects socio-économiques de la pêche artisanale	109
IV. 6.1. Introduction et historique de la pêche aux filets tournants	
IV. 6.2. Les unités de pêche aux filets tournants	
IV. 6.3. Logique comptable et seuil de rentabilité	
IV. 6.4. Etude de quelques cas concrets	
IV. 6.5. Quelques éléments de la dynamique sociale et politique	
IV. 6.6. Conclusion	
V. QUELQUES ASPECTS DE LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS	123
V. 1. La variabilité des tailles à l'intérieur des cohortes et des bancs	
V. 1.1. Introduction et définitions	
V. 1.2. La variabilité des tailles à l'intérieur des cohortes	
V. 1.2.1. Causes théoriques de la variabilité des tailles individuelles dans une cohorte	
Variations de la date de naissance	
Variations du taux de croissance	

Variations de la taille maximale
Conséquences

- V. 1.2.2. Observations sur la variabilité des
tailles individuelles dans une cohorte

Méthode d'approche

Résultats

- V. 1.3. La variabilité des tailles à l'intérieur d'un
banc
V. 1.4. Mode d'agrégation des espèces pélagiques
côtières étudiées
V. 1.5. Application à l'échantillonnage des tailles et
des âges

- V. 1.5.1. Echantillonnage d'un banc
V. 1.5.2. Echantillonnage des tailles de
l'ensemble de la population exploitée
V. 1.5.3. Echantillonnage des âges de l'ensemble
des captures

Echantillonnage simple des âges
Double échantillonnage selon la taille et les
âges

Clé âge / longueur

Opportunité de ces techniques dans le cas des
espèces pélagiques côtières tropicales

- V. 1.5.4. Choix des données pour l'étude de la
croissance
V. 1.5.5. Calcul des paramètres de l'équation de
Von Bertalanffy

- V. 1.6. Application au cycle de vie de Sardinella
aurita

- V. 1.6.1. Caractéristiques des structures de
taille
V. 1.6.2. Programme de simulation des
structures de taille
V. 1.6.3. Résultats et interprétation

Généralités

Juvéniles (<18 cm)

Jeunes reproducteurs (de 18 à 25 cm)

Adultes

- V. 2. Approche structurale de la dynamique du stock de
Sardinella aurita

161

- V. 2.1. Généralités
V. 2.2. Estimation de la mortalité naturelle
V. 2.3. Evolution de la biomasse et de la fécondité
d'une cohorte non exploitée
V. 2.4. Modélisation de la phase recrutée

V. 3 Réaction des stocks aux variations hydroclimatiques 167

- V. 3.1. Climat et pêche en Afrique de l'ouest
- V. 3.2. Etude du stock de sardine au nord-Sahara
- V. 3.3. Etude de la descente de Sardina Pilchardus vers le Sénégal
- V. 3.4. Interprétation des variations de rendement sur les deux espèces de sarinelles au Sénégal
 - V. 3.4.1. Rendements totaux annuels des deux espèces
 - V. 3.4.2. Rendements mensuels de Sardinella aurita

Données utilisées
Jeunes individus
Individus adultes
 - V. 3.4.3. Rendements mensuels de Sardinella spp. et de S. maderensis
 - V. 3.4.4. Conclusions sur les anomalies de rendements
- V. 3.5. Etude du stock ivoiro-ghanéen de Sardinella aurita
- V. 3.6. Conclusions

V. 4. Introduction d'une variable climatique dans les modèles globaux de production 191

- V. 4.1. Définitions
- V. 4.2. Relations de base retenues
- V. 4.3. Phénomènes hydroclimatiques affectant l'abondance du stock
 - V. 4.3.1. Modèle linéaire
 - V. 4.3.2. Modèle exponentiel
 - V. 4.3.3. Modèle généralisé
- V. 4.4. Phénomènes hydroclimatiques affectant la capturabilité
 - V. 4.4.1. Modèle linéaire
 - V. 4.4.2. Modèle exponentiel
- V. 4.5. Phénomènes hydro-climatiques affectant à la fois l'abondance et la capturabilité
 - V.4.5.1. Modèle linéaire $q=f(V)$ et $y=f(V)=bV^c$
 - V.4.5.2. Modèle exponentiel $q=f(V)$ et $y=f(V)=bV^c$
- V. 4.6. Utilisation des modèles en situation de transition
- V. 4.7. Conséquences en matière d'aménagement
 - V. 4.7.1. Phénomènes climatiques agissant sur l'abondance

V. 4.7.2. Phénomènes climatiques agissant sur la capturabilité	
V. 4.7.3. Phénomènes climatiques agissant sur l'abondance et la capturabilité	
V. 4.8. Choix d'un modèle et ajustement	
V. 4.9. Critique des modèles proposés	
V. 4.10. Conclusion	
V. 5. Modélisation de la production des sardinelles de la Petite Côte du Sénégal	211
V. 5.1. Hypothèses de travail	
V. 5.2. Modèle retenu	
V. 5.3. Analyse des résultats et hypothèses	
V. 5.4. Conséquences en matière d'aménagement	
V. 6. Comparaison avec d'autres stocks	223
V. 6.1. Stock de sardine du nord-Sahara	
V. 6.2. Stock ivoiro-ghanéen de sardinelles	
VI. CONCLUSION	230
DES PUBLICATIONS PRESENTÉES DANS LE VOLUME II	235
BIBLIOGRAPHIE	237
ANNEXE I : Histogrammes mensuels des fréquences de tailles de <u>Sardinella aurita</u>	249
ANNEXE II : Histogrammes mensuels des fréquences de tailles de <u>Sardinella maderensis</u>	261
ANNEXE III : Programme SIMVAR	269
ANNEXE IV : Programme SIMFREQ	271
ANNEXE V : Recommandations	277

ORSTOM Editeur
Dépôt légal : août 1988
Impression
ORSTOM BONDY

ISSN : 0767-2888
ISBN : 2-7099-0926-X
Editions de l'ORSTOM
70, route d'Aulnay F-93143 BONDY Cedex