

# Etudes et Thèses

The background of the cover features a series of overlapping, curved lines in various shades of red and white, creating a sense of movement and depth. The lines are thicker on the left and become thinner as they curve towards the right, eventually fading into the white background.

## **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<sup>er</sup> 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-Mauretania 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°40' N to 14°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 personal 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-mauretania 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 exercised 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 :

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

or :

$$U_n = p_1 V^{p_2} e^{-fp_4 V^{p_3}}$$

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.

Jè 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].