PÊCHERIES OUEST-AFRICAINES

VARIABILITÉ, INSTABILITÉ ET CHANGEMENT

ÉDITEURS SCIENTIFIQUES
PHILIPPE CURY ET CLAUDE ROY

ORSTOM Editions

Maquette et réalisation : La Coopérative Annibal
Couverture : La pêche en Afrique, peinture sur verre d'Alexis N'GOM, 1987
Dos de couverture : Océanies de Claudine GABIN

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 ou ayants cause, est illicite" (alinéa 1er 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.

ISBN 2-7099-1040-3

© ORSTOM 1991

PÊCHERIES OUEST AFRICAINES

VARIABILITÉ, INSTABILITÉ ET CHANGEMENT

ÉDITEURS SCIENTIFIQUES
PHILIPPE CURY ET CLAUDE ROY

ORSTOM

ISPM

CNROP

CRODT

CROA

FRUB

Editions de l'ORSTOM
INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

Paris - 1991

A Robert
A Jean-Marc

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout particulièrement à remercier le FAC français (Fonds d'Aide et de Coopération) qui, en finançant ce projet, a permis d'entreprendre et de donner une dimension régionale à cette étude.

Les Centres de Recherches Océanographiques Ouest-Africains ont initié et contribué au succès de cette entreprise. Que les Directeurs de l'ISPM (Royaume du Maroc), du CNROP (République Islamique de Mauritanie), du CRODT/ISRA (Sénégal), du CROA (Côte d'Ivoire) et du FRUB (Ghana) soient remerciés de leur effective participation. Nous tenons à remercier l'ORSTOM et plus particulièrement, le Centre ORSTOM de Dakar, le Département TOA, l'Unité de Recherche et la Commission Scientifique qui ont supporté ce programme de recherches et qui assurent la publication de ce livre. Les participants ont, par l'intérêt porté à la thématique proposée et grâce à leurs efforts soutenus, permis la réalisation de ce livre, qu'ils en soient chaleureusement remerciés. Corinne Capisano, Flore Yobouët et Emmanuel Suisse de Sainte Claire ont participé au travail, parfois fastidieux, de mise en forme, qu'ils soient remerciés ici ainsi que le secrétariat du CRODT. Enfin les éditeurs remercient tout particulièrement Marie Hélène Durand ainsi que Christian Chaboud, Jean-Pierre Chauveau, André Fontana, Francis Laloë et Jacques Weber pour les longues discussions fructueuses qu'ils ont eues ensemble et les corrections apportées au manuscrit.

Préface
des Instituts de Recherches Ouest-Africains

INSTITUT SCIENTIFIQUE
DES PECHES MAROCAINES (ISPM)
Casablanca, Royaume du Maroc

Les espèces pélagiques constituent une biomasse très importante le long des côtes marocaines. Aussi la pêche pélagique côtière est une des principales composantes des pêcheries marocaines, elle constitue 80 % de l'ensemble des débarquements. L'activité économique et sociale de cette pêcherie représente un enjeu considérable. Préserver la ressource, assurer la pérennité et le développement de l'exploitation sont les objectifs que la gestion de cette pêcherie doit impérativement concilier en tenant compte de la diversité des modes d'exploitation (artisanal, semi-industriel et industriel). Depuis les années soixante, d'importantes fluctuations de l'abondance de la ressource ont marqué la pêcherie opérant dans la zone de pêche traditionnelle mais également dans les zones où s'est étendue l'exploitation. Le défi lancé à la recherche au cours de ces prochaines années est de gérer cette diversité, ces fluctuations d'abondance et l'évolution des marchés en tenant compte des contraintes économiques et sociales.
Cet ouvrage apporte des éléments de réponse face aux fluctuations et aux changements observés dans la ressource et son exploitation. Il souligne l'importance prépondérante de l'effet des fluctuations climatiques dans les zones d'upwelling côtier. De plus il présente, à l'échelle régionale, un bilan unique à ce jour de l'impact des fluctuations climatiques sur les pêcheries pélagiques. Ce document apporte une base de réflexion nouvelle et originale sur le secteur de la pêche dont il faudra tenir compte dans le futur. L'étendue des résultats est aussi le reflet d'une coopération régionale menée avec succès.

M. RAMI, Directeur de l'ISPM

CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES
OCEANOGRAPHIQUES ET DES PECHES (CNROP)
Nouadhibou, République Islamique de Mauritanie

Les ressources pélagiques côtières constituent la plus grande partie de la biomasse extraite de la ZEE mauritanienne. A l'heure où le gouvernement mauritanien cherche à mieux intégrer dans l'économie nationale l'exploitation de ces ressources halieutiques, il est de première importance de disposer d'éléments objectifs d'appréciation afin d'éviter des choix malheureux qui mettraient en danger une économie déjà fragilisée. Et mieux gérer, c'est mieux comprendre. Dans le cas des ressources pélagiques côtières, il est fondamental de mieux appréhender leur dynamique, leurs fluctuations naturelles et aussi les importantes contraintes d'une exploitation partagée qui est une des caractéristiques majeures de ces ressources dans la région.

C'est dans ce cadre, qui souligne une fois encore la nécessité impérieuse d'une collaboration régionale active et de qualité, que ce document constituera une référence pour les Centres de Recherches régionaux. Il apporte en effet des éléments de connaissance objective concernant les processus d'enrichissement de l'environnement marin ouest-africain, leur variabilité et leurs effets sur les ressources pélagiques côtières.

M. BA, Directeur du CNROP

CENTRE DE RECHERCHES
OCEANOGRAPHIQUES DE DAKAR-THIAROYE,
INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES
AGRICOLES (CRODT/ISRA)
DAKAR, SENEGAL

Les poissons pélagiques côtiers représentent la ressource halieutique la plus abondante au Sénégal avec plus de 60 % des débarquements au plan national. La relation entre les fluctuations d'abondance de cette ressource, essentielle au Sénégal pour la consommation et l'exportation, et celles de l'hydroclimat semble, au fur et à mesure du progrès de nos connaissances, de plus en plus apparente. Ce document vient à son heure. Il contribue à la compréhension de ces relations, en particulier entre l'abondance et la concentration de cette ressource et la variation de l'hydroclimat tout en analysant la réaction des pêcheurs face à la variabilité des ressources. En cela ce travail a permis d'une part à la Recherche de faire le point des connaissances dans ce domaine et d'autre part au Développement d'avoir une meilleure appréhension des phénomènes pour une gestion plus appropriée de cette ressource et une meilleure conception de la gestion des pêcheries industrielles et artisanales exploitant ces ressources instables.

D. TOURE, Directeur du CRODT/ISRA

CENTRE DE RECHERCHES
OCEANOGRAPHIQUES D'ABIDJAN (CROA)
ABIDJAN, COTE D'IVOIRE

La pêche sardinière de Côte-d'Ivoire représente une ressource vivrière extrêmement importante pour le pays. En effet, l'accroissement rapide de la population et la baisse des approvisionnements en protéines animales font du poisson une composante majeure de la nourriture de base. La Côte d'Ivoire consomme environ 150 000 tonnes par an de poisson. Les captures sardinières ivoiriennes ont varié récemment entre 35 000 et 60 000 tonnes par an. On perçoit aisément leur importance économique et sociale. Cette variation des captures représente un problème important. En effet par le passé, les captures ivoiriennes étaient plus faibles, de l'ordre de 20 000 tonnes par an. Elles se sont accrues notablement depuis 1983, et ceci amène à se demander combien de temps une telle situation d'abondance pourra se maintenir. Et donc quelles mesures la Côte d'Ivoire doit prendre pour tirer parti au mieux de cette ressource? A l'évidence, l'abondance des deux espèces de sardinelles (*S. aurita* et *S. maderensis*), qui constituent la majorité des captures, dépend des facteurs hydroclimatiques, principalement des upwellings côtiers. Les efforts d'étude et de compréhension des mécanismes liant les upwellings à l'abondance des sardinelles sont donc d'une grande importance pour la Côte d'Ivoire. A cet égard, le Programme «Climat Pêche» constitue un progrès scientifique que salue la Côte d'Ivoire. Elle espère que ces recherches seront poursuivies avec vigueur, en coopération avec le Ghana, dans le cadre d'un Grand Programme Ivoiro-Ghanéen sur les sardinelles, qu'elle appelle de ses voeux.

F.X. BARD, Directeur du CROA

FISHERIES DEPARTMENT RESEARCH &
UTILIZATION BRANCH (FRUB)
TEMA, GHANA.

The most important coastal pelagic fishery in Ghana is the sardinella fishery. When in a particular year, Ghanaians say generally, «there is no fish» or «fish is scarce», they mean the sardinella fishery is so poor that there is very little on the market.

Two species of sardinellas occur in the coastal waters of Ghana, and these are *Sardinella aurita* and *Sardinella maderensis*. While *Sardinella maderensis* is exploited during most part of the year, *S. aurita* is caught essentially during the major upwelling period (July - September) and to a lesser extent during the short period of the minor upwelling (January, February or March).

Thus, other things being the same, the success of *Sardinella aurita* fishery in Ghana depends upon the quality of the seasonal upwelling. Furthermore, climatic factors are known to influence the quality of the upwelling. Consequently, the Fishery Research Unit (FRUB) is very much interested in studies that deal with the influence of climatic factors on pelagic fisheries. It is in the light of this that the FRUB finds its co-operation with the Study Group on Climate and Fisheries worthwhile and very rewarding and wishes this co-operation to continue with renewed vigour.

M.A. MENSAH, Director of FRUB

Préface des éditeurs

PHILIPPE CURY et CLAUDE ROY

Nous vivons dans un monde aux ressources finies et dont nous percevons de plus en plus les limites. Les ressources marines ont longtemps été considérées, peut-être par le côté mystérieux et généreux des océans, comme un potentiel inépuisable. Source de promesses et de richesses, l'océan a de tout temps été sollicité et l'homme lui a demandé de toujours produire plus. Aujourd'hui la mer donne beaucoup, énormément de richesses qui font vivre, ou parfois survivre les populations humaines. La production de protéines à faible coût et l'obtention de devises dans les pays ouest-africains ne pourront cependant pas être résolues par un accroissement des prélèvements halieutiques déjà très importants dans les zones d'upwelling. Si quelques opportunités restent à saisir pour accroître les captures, elles ne seront le plus souvent que ponctuelles. L'espoir de résoudre les défis économiques à venir est résolument ailleurs. Les ressources renouvelables sont d'autant plus fragiles que leur exploitation est plus soutenue. Mieux utiliser aujourd'hui est nécessaire pour assurer demain la pérennité de l'exploitation. A l'heure actuelle les perspectives liées à un meilleur usage des ressources renouvelables sont source d'espoir et correspondent à un nouveau rapport de l'Homme avec la Nature. Les préfaces rédigées par les Directeurs des Centres de Recherches Océanographiques montrent l'importance des ressources pélagiques côtières pour les économies nationales et nombreux sont les pays africains qui fondent un espoir important et légitime dans l'exploitation de leurs ressources côtières.

Les ressources pélagiques côtières, telles les sardines, les sardinelles, les anchois colonisent principalement les zones d'upwelling qui sont les régions les plus productives des océans. Elles représentent d'énormes biomasses, elles sont sources d'abondance, mais, contrepartie malheureuse, elles sont aussi connues pour leur sensibilité aux fluctuations de l'environnement. Si dans le passé, un des thèmes majeurs abordés dans l'étude des pêcheries a été le mode de gestion de la raréfaction de la ressource, une nouvelle problématique émerge de l'étude des ressources pélagiques côtières. S'intéresser à l'exploitation de ces ressources instables conduit à se préoccuper de la variabilité, de l'instabilité, du changement et à la façon de les gérer. Ces thèmes sont communs aux nombreuses disciplines impliquées dans l'étude des pêcheries. Ils sont la traduction scientifique de questions concrètes que posent les interactions entre les dynamiques de l'environnement, des populations exploitées et des sociétés de pêcheurs. Ces thèmes interpellent la Recherche et la sollicitent d'une nouvelle façon: on lui demande désormais non seulement d'analyser les mécanismes naturels mais aussi d'explorer et de trouver des propositions inattendues et nouvelles aux problèmes posés.

L'environnement climatique, les populations de poissons, les pêcheurs, les marchés constituent le monde de la pêche. Ces composantes interagissent et changent avec le temps. Parfois les pêcheries évoluent très lentement et présentent une certaine stabilité; parfois on assiste à de véritables bouleversements. Une pêcherie peut être comparée à un kaléidoscope, un changement minime d'une de ces composantes est susceptible de produire un nouveau paysage. Parfois ce nouveau paysage apparaît comme quasiment identique au précédent, les figures dessinées et les couleurs se ressemblent; parfois il est radicalement différent même si les éléments constitutifs sont les mêmes. Ces bouleversements sont provocants et nous interpellent. En cela, le problème de la variabilité, de l'instabilité et du changement constitue un des thèmes fondamentaux de la recherche sur les ressources pélagiques côtières en Afrique de l'Ouest.

Deux réunions, l'une au CRODT de Dakar et l'autre à l'ISPM de Casablanca, ont permis à des chercheurs de différents Centres de Recherches Océanographiques ouest-africains et européens de se rencontrer et d'échanger leurs expériences. Ce livre est le fruit de ce travail collectif.

Un angle historique permet de mieux situer les développements et les difficultés qu'ont connus ou que connaissent les pêcheries qui exploitent une ressource instable. Le premier chapitre aborde, sur une longue période, les réactions de sociétés de pêcheurs face aux changements biologiques, économiques ou sociaux. Les zones d'upwelling sont connues pour être particulièrement riches, mais aussi fluctuantes. Ces fluctuations de l'environnement marin côtier sont décrites et quantifiées dans le second chapitre. Les pêcheries pélagiques ouest-africaines ne se ressemblent pas, ni dans leurs modes d'exploitation, ni dans leurs évolutions. Il était bon de s'attarder un peu sur leur description en s'attachant à étudier le rôle de la variabilité et des changements de l'environnement bio-écologique dans l'évolution de ces pêcheries, c'est le propos des deux premières parties du troisième chapitre. Le besoin de comprendre, et parfois celui d'explorer le futur, passe par la modélisation de l'impact des fluctuations environnementales et des activités de pêche sur la dynamique des ressources. Des méthodes d'approche sont proposées dans la troisième partie. On associe souvent la gestion avec une modification des composantes de la pêcherie, sans en connaître vraiment ses modes propres de fonctionnement et de régulation. L'analyse des réactions des flottilles de pêche face à la variabilité des ressources, présentée dans la quatrième partie, se penche sur cet aspect trop souvent délaissé. Enfin, quelques réflexions sur les objectifs et les contraintes de la gestion sont proposées dans la cinquième et dernière partie.

Sommaire

Remerciements
Préface
Les auteurs

I • CRISES ET AJUSTEMENTS : LES DIFFICULTÉS D'EXPLOITER UNE RESSOURCE INSTABLE 13

II • LES FLUCTUATIONS DE L'ENVIRONNEMENT MARIN 37

1 • Richesse et variabilité des upwellings.

2 • Mesurer les changements environnementaux.

III • LES PÊCHERIES PÉLAGIQUES OUEST-AFRICAINES 185

1 • Environnement et exploitation des ressources instables.

2 • Variabilité et instabilité spatiales et temporelles.

3 • Modélisation, compréhension et prédiction.

4 • Réactions des flottilles de pêche face à la variabilité des ressources.

5 • Ressources instables : objectifs et contraintes de la gestion.

CONCLUSION GÉNÉRALE 519

Liste des participants.

Les auteurs

ALI AGOUMI
Ecole Hassania des Travaux Publics. B.P.8108 Oasis Casablanca, Maroc.

PETER M. ALLEN
International Ecotechnology Research Centre, Cranfield Institute of Technology. Bedford, MK43 OAL, England.

ROBERT ARFI
Centre de Recherches Océanographiques, B.P. V 18 Abidjan, Côte d'Ivoire.

HENRI BELVÈZE
Bureau des produits de la pêche, 175 rue de Chevaleret, 75646 Paris Cedex 13, France.

SALAH BENCHERIFI
Chercheur ISPM. 2, rue de Tiznit Casablanca, Maroc.

DENIS BINET
Chercheur ORSTOM, Antenne ORSTOM, Centre IFREMER, B.P. 1049, 44037 Nantes-Cedex 01.

ALAIN CAVERIVIÈRE
Chercheur ORSTOM en poste au CRODT/ISRA,BP 2241, Dakar, Sénégal.

JEAN-PIERRE CHAUVAU
Chercheur ORSTOM, BP 5045, Montpellier, France.

PIERRE CHAVANCE
CNROP, BP 22, Nouadhibou, République Islamique de Mauritanie.

CHRISTIAN CHABOUD
Chercheur de l'ORSTOM en poste au CRODT/ISRA, B.P. 2241, Dakar, Sénégal.

SOULEYMANE CISSOKO
Centre de Recherches Océanographiques, B.P. V 18 Abidjan, Côte d'Ivoire.

JEAN CITEAU
Océanographe de l'ORSTOM en poste au CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal.

PHILIPPE CURY
Chercheur ORSTOM en poste au CRODT/ISRA, B.P. 2241, Dakar, Sénégal.

HERVÉ DEMARCQ
Océanographe de l'ORSTOM en poste au CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal.

MOUSTAPHA DÈME
Economiste, CRODT/ISRA, B.P. 2241, Dakar, Sénégal.

PAPA SAMBA DIOUF
Chercheur ISRA en poste au CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal.

MARIE HÉLÈNE DURAND
Economiste ORSTOM, 213 rue La Fayette 75480 Paris Cedex 10, France.

JEAN MARC ECOUTIN
Centre ORSTOM de Montpellier, laboratoire d'Océanographie et d'Hydrobiologie tropicale, 2051, avenue du Val de Montferrand, B.P.5045, 34032 Montpellier.

ALAIN FONTENEAU
Chercheur ORSTOM en poste au CRODT/ISRA, B.P. 2241 Dakar, Sénégal.

PIERRE FRÉON
ORSTOM, Pôle Caraïbe, BP. 81, 97256 Fort-de-France Cedex, Martinique, France.

ITAF DÈME GNINGUE
Chimiste au CRODT/ISRA B.P. 2241, Dakar, Sénégal.

BERTRAND GOBERT
Chercheur ORSTOM, Centre ORSTOM de Martinique, BP 8006, 97259 Fort-de-France Cedex.

FRANCIS GOHIN
IFREMER, Centre de Brest, DERO-AT, B.P.70, 29280 Plouzané, France.

ALAIN HERBLAND
CREMA-L'Houmeau, BP 5, 17137 L'Houmeau, France.

ABDELOUAHED IDELHAJ
Chef de la Division Halieutique, Institut Scientifique des Pêches Maritimes, 2 rue de Tiznit, Casablanca, Maroc.

GHAZI BEN JANNET
Ecole Hassania des Travaux Publics. B.P.8108 Oasis Casablanca (Maroc).

ERWAN JOSSE
Chercheur ORSTOM, Centre ORSTOM-IFREMER, B.P. 70, 29280 PLOUZANE-Cedex, France.

SOUAD KIFANI
IFREMER, Centre de Brest, DERO-AT, B.P.70, 29280 Plouzané, France.

KWAME ABU KORANTENG
Fisheries Department, Research & Utilization Branch, Tema, Ghana.

FRANCIS LALOË
Chercheur ORSTOM. ORSTOM, B.P. 5045, 34032 Montpellier France.

YOURI LOKTIONOV
CNROP, BP 22, Nouadhibou, République Islamique de Mauritanie

GIL MAHÉ
Climatologiste de l'ORSTOM en poste au CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal.

MOHAMMED MAHFOUD
CNROP, BP 22, Nouadhibou, République Islamique de Mauritanie.

EMILE MARCHAL
Chercheur ORSTOM, Institut Océanographique, 195 rue St-Jacques, 75005 Paris, France.

ROY MENDELSSOHN
PFEG, PO box 831 Monterey, CA93942, USA.

MARTIN ALABI MENSAH
Oceanographer, Fisheries Department Research & Utilization Branch, Tema, Ghana.

ABDELLATIF ORBI
Chercheur ISPM. 2, rue de Tiznit Casablanca. Maroc

CLAUDE OUDOT
Océanographe ORSTOM, CRODT, BP 2241, Dakar, Sénégal.

OLIVIER PEZENNEC
Centre de Recherches Océanographiques, B.P. V 18 Abidjan, Côte d'Ivoire.

CLAUDE ROY
Chercheur ORSTOM en poste au CRODT/ISRA, B.P. 2241, Dakar, Sénégal.

BIRANE SAMB
Océanographe biologiste de l'ISRA en poste au CRODT/ISRA, Dakar, Sénégal.

ALASSANE SAMBA
Chercheur ISRA. CRODT/ISRA, B.P. 2241, Dakar, Sénégal.

SAIDA TAZI
Ecole Hassania des Travaux Publics. B.P.8108 Oasis Casablanca, Maroc.

DIAFARA TOURÉ
Physicien au CRODT/ISRA, B.P. 2241, Dakar, Sénégal.

I • CRISES ET AJUSTEMENTS : LES DIFFICULTÉS D'EXPLOITER UNE RESSOURCE INSTABLE

1 • Les variations spatiales et temporelles de l'environnement socio-économique et l'évolution de la pêche maritime artisanale sur les côtes ouest-africaines. Essai d'analyse en longue période : XV^{è}-XX^{è} siècle.
JEAN-PIERRE CHAUVEAU 14

2 • La crise sardinière française : les premières recherches scientifiques autour d'une crise économique et sociale.
MARIE-HÉLÈNE DURAND 26

1 • Les variations spatiales et temporelles de l'environnement socio-économique et l'évolution de la pêche maritime artisanale sur les côtes ouest-africaines

Essai d'analyse en longue période :

XV^{è} - XX^{è} siècle

JEAN-PIERRE CHAUVEAU
Chercheur ORSTOM, BP 5045, Montpellier, France

RÉSUMÉ

L'article tente une reconstitution en longue période de l'évolution de la répartition et de l'intensité des activités de pêche maritime artisanales sur les côtes ouest-africaines. Cette reconstitution provisoire permet:
a) d'identifier de manière empirique les facteurs socio-économiques de variation de ces activités, indépendamment des hypothèses logiques (mais pas toujours historiquement vérifiées) des modèles bio-économiques;
b) d'identifier selon les cas des relations entre variables socio-économiques et variables bio-écologiques influant sur l'activité de pêche;
c) de relativiser, dans le cas ouest-africain, la méthode d'évaluation des stocks fondée sur les statistiques de pêche et d'avancer l'hypothèse qu'en Afrique de l'Ouest, la variabilité des facteurs socio-économiques est plus déterminante que la variabilité d'ordre bio-écologique pour expliquer l'évolution de l'activité de pêche artisanale.

ABSTRACT

This article tries to construct within the long period the distribution and the intensity of the small scale marine fisheries activities on the West African coasts. This provisional construction permits:
a) to empirically identify socio and economic factors of variation of these activities, independently from logical hypotheses (but not always historically verified) relevant to bio-economic models;
b) to identify in some cases the relations between socio-economic and bio ecological variables influencing the activity of the fishery;
c) to relativize, for the West African case, the methods used in fish stock assessment based on fishery statistics and to hypothesize that in West Africa the variability of socio-economic factors is more important than the variability of bio-ecological factors for explaining the evolution of small scale fishery.

OBJECTIF

Il s'agit de présenter, dans cette communication, un éclairage bien particulier sur la dynamique des ressources côtières et l'impact des fluctuations environnementales sur cette dynamique. Cet éclairage est celui des cadres historiques de l'activité de pêche. Nous n'envisagerons pas directement les fluctuations d'ordre climatique ayant une incidence sur la dynamique des stocks mais nous chercherons plutôt à isoler, dans la mesure du possible, les déterminants non biologiques de l'effort de pêche et de sa répartition relative sur le littoral ouest-africain **dans la longue période**. Ces déterminants médiatisent en effet l'impact des fluctuations de **l'environnement écologique** sur l'activité de pêche elle-même puisque l'effort de pêche global ne se calque pas en effet, on le sait bien, sur les fluctuations

des stocks, même si les pêcheurs doivent en tenir compte. Des effets de rattrapage peuvent se produire (on augmente l'effort de pêche pour compenser une baisse des rendements) ou des stratégies de substitution d'espèces-cibles peuvent se développer (pour compenser l'effondrement d'un stock par des prises accrues d'autres espèces) qui constituent autant d'«amortisseurs» entre l'évolution des stocks et l'évolution des prises relativement à la ressource totale. Or, de bien des façons, l'évolution des prises est autant déterminée par les contraintes et les potentialités de **l'environnement socio-économique** que par celles de l'environnement écologique. On peut même penser que cet environnement socio-économique possède sa propre dynamique, qui se cristallise dans le long terme ou y évolue de manière largement autonome vis-à-vis des fluctuations de l'environnement écologique.

Si tel est le cas, on comprend l'utilité de repérer les grandes tendances des fluctuations de l'environnement socio-économique et son impact **sur l'activité de pêche** (répartition géographique et intensité économique de la pêche le long des côtes ouest-africaines), **en même temps** que l'on s'efforce de comprendre l'impact des fluctuations de l'environnement écologique **sur les stocks**. En procédant ainsi, on évite de confondre dans l'analyse de l'activité halieutique une condition permissive (l'état et la dynamique des stocks) et une condition nécessaire (la mise en oeuvre des activités de pêche et leur dynamique socio-économique propre) [1]. S'il existe en effet une certaine régularité des relations entre ces deux conditions (notamment par la place privilégiée des zones d'upwelling dans l'histoire de la pêche maritime ouest-africaine), nous verrons qu'il existe aussi des cas significatifs de non-corrélation. Dans l'ensemble, le fait que les conditions du milieu marin, donc la relation du pêcheur à la production biologique de poissons, ne puissent pas, ou très peu, être transformées par une intervention technique humaine (par comparaison notamment avec les conditions du milieu agraire) [2] est largement compensé par le caractère hautement artificiel, non «naturel», de la mise en oeuvre de l'activité halieutique elle-même, donc de la relation du pêcheur au contexte socio-économique dans lequel il évolue. Il est sans doute utile de le rappeler pour souligner l'arbitraire de la correspondance trop facilement postulée entre le niveau des captures et l'intensité de la pêche d'une part et le niveau du potentiel biologique d'autre part.

L'analyse dans la longue période de la localisation des activités de pêche maritime sur le littoral ouest-africain et de ses fluctuations a par conséquent un intérêt «en creux», plutôt que direct, en ce qui concerne le thème du présent ouvrage. Elle ne contribue pas en tant que telle à une meilleure connaissance des mécanismes régissant les relations pêche-climat [3] mais elle permet de mieux en isoler les effets spécifiques si, comme on va tenter de le faire, on établit au préalable la part du déterminant non bio-écologique de ces fluctuations en longue période.

MÉTHODE

Nous présentons un tableau, certainement provisoire, des principaux déterminants socio-économiques susceptibles d'éclairer la dynamique de longue période des pêcheries maritimes ouest-africaines. Leur localisation, l'intensité relative de l'activité de pêche, leur évolution sont mises en rapport avec des macrophénomènes d'ordres économique, social et historique.

Ces macrophénomènes sont imaginables sans peine: poids du marché, niveau technique, infrastructures, intervention des pouvoirs publics en matière de développement de la pêche, existence d'un réseau de mareyage... Mais, ici, nous ne procéderons pas de manière déductive (par exemple, conclure à l'existence de ces éléments à partir du moment où l'on constate un fort développement de la pêche) mais de manière inductive (par exemple, mettre en parallèle d'un côté ce que l'on peut savoir de l'histoire économique du littoral, indépendamment du domaine de la pêche, et, d'un autre côté, les indicateurs de l'intensité de la pêche maritime dans la longue période). C'est dire que nous ne nous contenterons pas d'une reconstitution purement **logique** de l'histoire de la pêche, à partir d'hypothèses socio-économiques vraisemblables, mais que nous essaierons de tester ces hypothèses à partir des connaissances sur l'histoire économique du littoral, connaissances acquises **indépendamment** des hypothèses formulées à propos du développement de la pêche.

Quant à la localisation des activités significatives de pêche maritime et à l'évolution de leur intensité, nous utiliserons des indicateurs qualitatifs, tirés de l'analyse de documents historiques. Nous ne disposons pas en effet d'indications quantitatives sur la longue période qui nous intéresse ici[4].

Par cette mise en parallèle de séries d'indicateurs concernant, d'une part, l'évolution du contexte socio-économique et, d'autre part, l'évolution des activités de pêche maritime, nous pouvons espérer mieux cerner les variations régionales et les régularités discernables dans la longue durée, sans recourir *a priori* à un schéma étroitement évolutionniste.

Un mot sur ce qu'il faut entendre par régularités. S'il s'agit bien de repérer des concomitances entre l'état des pêcheries maritimes et leur contexte socio-économique, ces régularités ne relèvent pas seulement de relations linéaires et continues. Elles peuvent être constituées de relations non linéaires (par exemple, l'intervention publique en matière de pêche peut se révéler négative du point de vue de la pêche **indigène**, comme par exemple en Angola ou en Guinée-Bissau durant l'époque coloniale) ou discontinues (par exemple, le passage de la pêche lagunaire à la pêche maritime chez certaines populations de pêcheurs).

Il est clair que nous nous situons à un niveau de généralité tel que l'analyse présentée ici doit être considérée comme une tentative de première mise en ordre des observations [5]. Le développement récent des recherches comparatives sur l'histoire économique et sociale des pêcheries maritimes ouest-africaines per-

mettra de préciser, voire d'infirmer sur certains points, les grandes lignes d'interprétation présentées ici [6].

DONNÉES

Nous présentons une série de cartes historiques résumant l'information dont nous disposons.

Carte 1: localisation des principaux foyers historiques de pêche maritime du XVe siècle à l'époque contemporaine (pêche artisanale ou indigène uniquement)[7]. Cette carte comporte les principaux indicateurs relevant de l'environnement écologique.

a) Zones d'upwelling

Celle du littoral sénégalo-mauritanien et celles du littoral du Gabon à la Namibie sont considérées comme plus productives que la zone ivoiro-ghanéenne (Binet, 1983; Cury et Fontana, 1988 ; Fonteneau et Marcille, 1988 ; Fontana *et al.*, 1989). Il n'est pas tenu compte de l'enrichissement d'origine continentale des eaux côtières, qui peut affecter notamment le littoral sierra-léonais et le littoral du delta du Niger qui ne sont pas retenus dans les zones à fort ou assez fort potentiel.

On constate dans la longue période une concentration certaine des foyers très anciens de pêche dans ces zones à fort potentiel halieutique (*Lebu*, *Bijogo*, *Aladian*, *Fanti*, *Ga*, *Vili*) et des foyers plus récents en expansion (*Wolof* du delta du Sénégal dont la conversion à la pêche maritime est cependant ancienne ; *Niominka* du delta du Saloum, *Ewe* de l'embouchure de la Volta, à partir du milieu du XXe siècle).

Il faut souligner cependant qu'un fort potentiel halieutique est insuffisant à assurer une activité de pêche maritime significative et régulière. Les cas les plus illustratifs sont ceux du littoral mauritanien (où la pêche des *Imraguen* demeure anecdotique), du littoral des anciennes Rivières du Sud (de la Casamance à la Guinée), du littoral ivoirien à l'exception des *Aladian* (dont l'activité de pêche est d'ailleurs en fort déclin) et du littoral du Gabon à l'Angola (où, là encore, les *Vili* qui faisaient exception n'ont pas une activité de pêche en rapport avec le potentiel exploitable).

b) Plateau continental

La largeur du plateau continental doit être prise en considération, bien qu'elle ne figure pas sur la carte. Ce facteur d'enrichissement nuance les effets de la répartition des upwellings. Il peut en outre expliquer la localisation du foyer de pêche sierra-leonais, situé hors de l'action de l'upwelling sénégalo-mauritanien mais qui bénéficie d'un plateau continental relativement large.

c) Morphologie côtière

Nous faisons apparaître plusieurs indicateurs, souvent invoqués pour expliquer la faible importance de la pêche et des activités maritimes en Afrique de l'Ouest (Chauveau, 1986).

- Certains auteurs se fondent sur l'inhospitalité du littoral africain pour justifier l'idée d'un «adossement» des sociétés côtières à la mer. En réalité, on ne trouve guère de relation entre les caractéristiques morphologiques jugées négatives des côtes ouest-africaines et la localisation des foyers historiques de pêche maritime. En particulier, l'absence ou la présence d'une forte barre ne semble pas déterminante.

- Plus significative, et même déterminante, est la relation entre la présence d'un milieu aquatique littoral protégé (réseaux estuarien, deltaïque ou lagunaire) et la faiblesse des activités historiques de pêche maritime. Tout se passe comme si, dans la longue période, la présence de tels réseaux (utilisés pour la pêche et la navigation) dissuadait les communautés du littoral d'exploiter le milieu marin côtier. Les exceptions anciennes (*Bulom* et *Sherbro* de Sierra Leone, *Aladian* de Côte-d'Ivoire) et plus récentes (*Wolof* et *Niominka* du Sénégal, *Ewe* du Ghana, *Mina* et *Popo* du Togo et du Bénin) sont liées à des conjonctures historiques particulières. Le cas des communautés de pêcheurs du Nigéria (*Yoruba*, peuples du delta du Niger) est mal connu. Il semble que la pêche maritime piroguière y soit surévaluée dans les statistiques récentes et que la «sortie en mer» de ces pêcheurs ne soit pas ancienne.

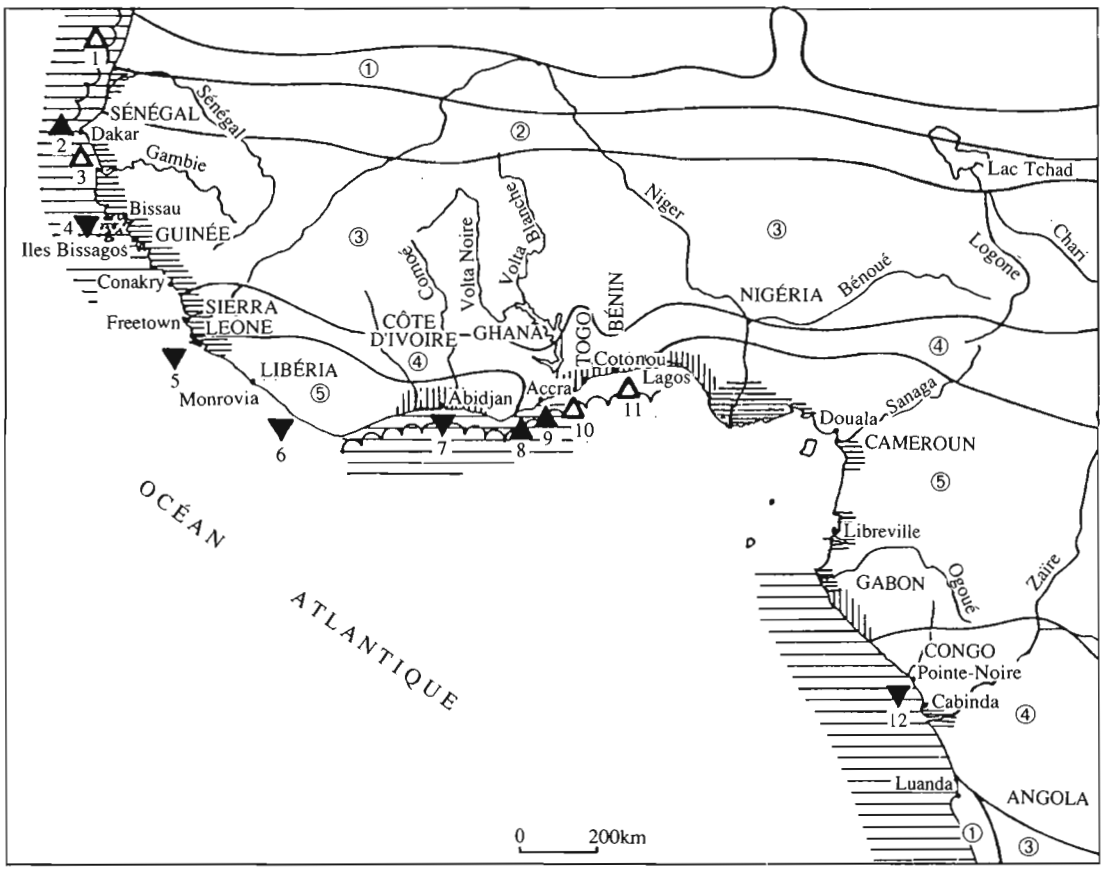
d) Les zones climatiques

Il est difficile d'établir une relation entre l'ancienneté de la pêche maritime et la zone climatique. Tout au plus peut-on constater que, proportionnellement à l'importance de leur façade maritime, les littoraux de savane ont donné lieu à une activité de pêche maritime plus intense que les littoraux forestiers. Les littoraux sahéliens et désertiques de l'Afrique Noire (Mauritanie, sud de l'Angola) n'ont par contre guère été exploités par des populations autochtones mais l'ont été surtout par des artisans-pêcheurs d'origine européenne (Canariens, Portugais). Une étude plus minutieuse pourrait éclairer «l'effet de latitude» (Yesner, 1980) dans la géographie historique de la pêche maritime ouest-africaine notamment, en incluant l'avantage comparatif des ressources marines et continentales pour les populations côtières de zones climatiques différentes (Gulland et Troadec, 1973).

On ne peut exclure l'effet d'amortisseur de l'exploitation des ressources marines vis-à-vis des conséquences des variations climatiques sur les ressources agricoles. De nombreux exemples connus, anciens et récents, corroborent l'idée que la pêche et la cueillette des coquillages ont contribué à adoucir les périodes de crise alimentaire liée à une mauvaise pluviosité. Il est patent qu'actuellement au Sénégal la péjoration du climat contribue à une reconversion partielle des sociétés littorales *serer* et *diola* vers la pêche professionnelle. C'est là une manifestation de la relation **indirecte** mais certaine entre climat et pêche. Il semble bien que les foyers historiques de pêche maritime se concentrent sur les franges côtières des zones agricoles sensibles à la sécheresse: soit dans les zones de plus grande latitude

Carte 1

Environnement écologique et localisation des principaux foyers historiques de pêche maritime du XV^{è} siècle à l'époque contemporaine.



Zone d'upwelling

Forte barre

Réseau estuarien ou deltaïque

Réseau lagunaire

▲ Foyer de pêche maritime ancien en expansion

▼ Foyer de pêche maritime ancien en déclin

△ Foyer de pêche maritime récent en expansion

Limite des zones agroclimatiques (source: rapport ILTA 1984)

① Utilisation pastorale permanente

② Agriculture précaire

③ Agriculture très sensible à la sécheresse

④ Agriculture à sensibilité variable à la sécheresse

⑤ Agriculture faiblement sensible à la sécheresse

1 Wolof
2 Lebu
3 Niominka
4 Bijogo insulaires
5 Bulom et Sherbro
6 Kru
7 Aladian
8 Fanti
9 Ga
10 Ewe
11 Popo et Mina
12 Vili

à agriculture précaire ou très sensible à la sécheresse, soit dans les zones de plus basse latitude, là où l'agriculture est la plus sensible à la sécheresse (par exemple, si l'on compare la Côte-d'Ivoire et le Ghana).

Carte 2: Localisation des principaux foyers économiques côtiers du XVe siècle au milieu du XXe siècle.

Cette carte fait apparaître les principaux indicateurs de population et d'activités économiques susceptibles d'induire une forte demande de produits alimentaires au voisinage immédiat de la côte:
- densité du peuplement (mi-XXe siècle) ;
- activités caractéristiques des économies précoloniales de l'Hinterland côtier: extraction d'or, cueillette aménagée à grande échelle des noix de kolatiers ;
- activités de production de l'Hinterland caractéristiques des économies paysannes africaines à partir du milieu du XIXe siècle: arachide, produits du palmier, caoutchouc (trois produits dont l'exportation en quantité importante a précédé la phase coloniale), café et cacao ;
- activités littorales: exploitation du sel et surtout centres d'échanges côtiers.

En dépit du caractère schématique d'une carte élaborée à un tel niveau de synthèse, il apparaît une corrélation entre les principaux foyers de pêche anciens et les zones littorales où se sont succédées depuis plusieurs siècles des activités économiques créatrices de pouvoir d'achat et de réseaux d'échanges entre la côte et l'immédiat Hinterland. La densité démographique intervient fortement dans la localisation des foyers anciens de pêche maritime lorsqu'il n'y a pas concurrence du milieu paralique. Elle semble intervenir encore plus, depuis le début du XXe siècle, dans la localisation des foyers plus récents et des zones d'accueil des migrations de pêche.

Les deux principaux foyers (Sénégal et Ghana) dont l'expansion a été continue du XVe siècle à nos jours cumulent en particulier les avantages «bio-écologiques», les avantages «socio-économiques» et le fait que l'exploitation des ressources marines n'eut pas à subir la concurrence d'un milieu paralique littoral.

Carte 3: Principaux flux d'hommes, de produits et de technologie dans la seconde moitié du XXe siècle en matière de pêche maritime.

La carte synthétise les principaux flux concernant la pêche maritime depuis le début du siècle[8].

a) Flux de produits de la pêche

Ils sont évalués sur les tendances en longue période (depuis la période coloniale) des importations et exportations.

La plupart des pays d'Afrique de l'Ouest sont des importateurs nets de poisson transformé depuis la période coloniale, particulièrement les pays du Golfe de Guinée: Côte-d'Ivoire, Ghana, Nigéria, Cameroun.

Le Sénégal et l'Angola (du moins avant l'Indépendance pour ce dernier) sont les seuls pays à exporter du poisson vers d'autres pays ouest-africains, et cela dès le début de la période coloniale. Il faut cependant considérer l'Angola comme un cas très particulier puisque la pêche artisanale fut jusqu'à l'Indépendance, le fait de pêcheurs artisans portugais. Depuis l'Indépendance, la pêche artisanale angolaise s'est effondrée et le pays est devenu importateur de poisson.

Seul le Sénégal a donc conservé cette particularité de ne pas être importateur net de poisson en longue période. En outre, la pêche artisanale sénégalaise a toujours contribué aux exportations vers d'autres pays ouest-africains.

L'autre grand foyer historique de pêche maritime artisanale, le Ghana, présente la caractéristique inverse: il a toujours été un gros importateur de poisson (d'origine africaine ou européenne). Il semble que la demande ait été stimulée par l'importante économie d'échanges qui s'est particulièrement développée sur le littoral ghanéen, au point que, contrairement au Sénégal, les importations de poisson se développèrent en même temps que se développaient la pêche artisanale et la pêche industrielle.

Les trois autres pays traditionnellement gros importateurs de poisson sont situés comme le Ghana dans le Golfe de Guinée: la Côte-d'Ivoire, le Nigéria et le Cameroun. Il n'est pas à exclure que, dans le cas de ces pays et contrairement au cas ghanéen, l'ancienneté et l'importance des importations aient eu un effet inhibant sur la pêche artisanale locale (effet amplifié peut-être par l'industrialisation de la pêche et par la migration de pêcheurs étrangers). En Côte-d'Ivoire et au Cameroun, les communautés versées dans la pêche maritime (respectivement les *Aladian* et les *Dwala*) n'ont guère maintenu cette tradition. Au Nigéria, la situation est plus complexe puisque, comme on va le voir (Cf. «flux d'hommes»), certaines communautés se tournent vers la pêche maritime et fournissent des pêcheurs migrants au Cameroun et au Gabon.

b) Flux d'hommes

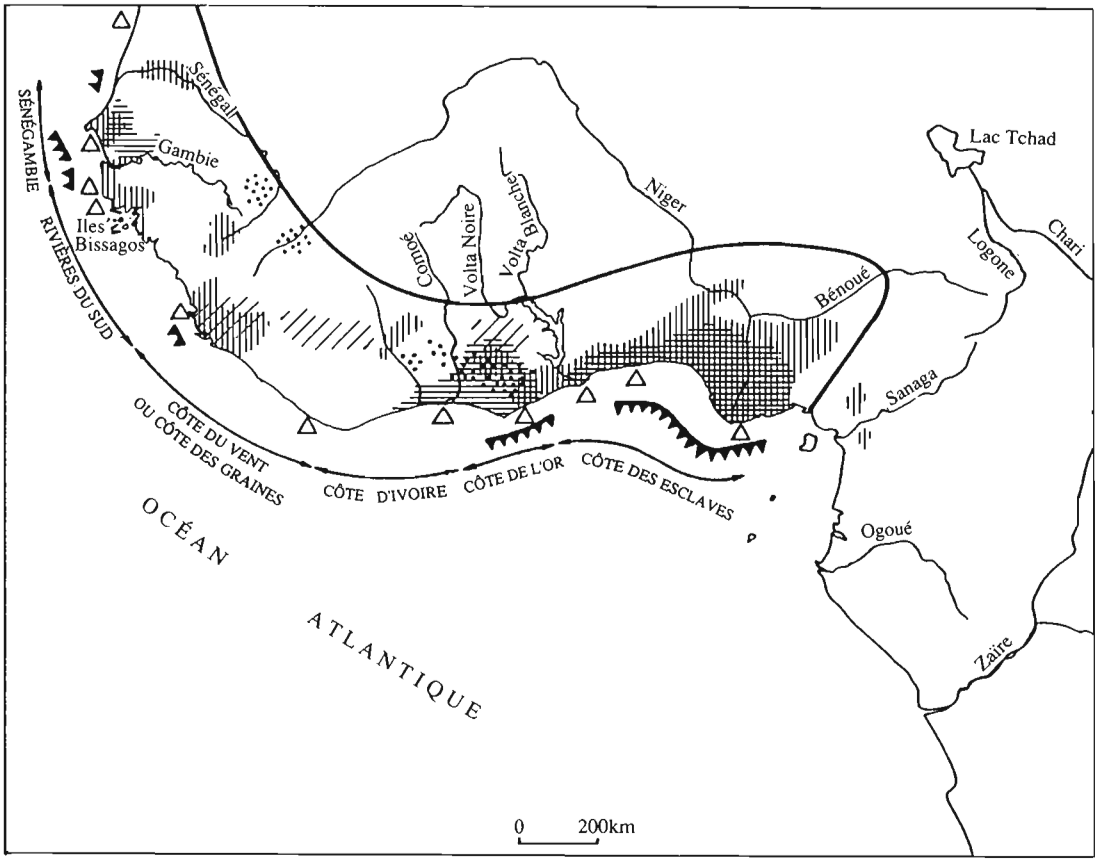
Il s'agit ici des migrations interrégionales de pêcheurs. Nous indiquons pour mémoire l'immigration de pêcheurs artisans portugais en Guinée portugaise et surtout en Angola durant la période coloniale. Il est très probable que, dans ces deux régions, les facilités accordées aux artisans-pêcheurs d'origine européenne ont conduit au retrait des populations de pêcheurs autochtones des activités maritimes.

Les migrations de pêcheurs sur les côtes ouest-africaines sont anciennes et doivent être replacées dans le contexte des autres activités maritimes (navigation, transport). Depuis les ouvrages du début du siècle, il est possible de reconstituer le développement de ces migrations, à partir notamment du Sénégal et du Ghana (alors Gold Coast). Les migrations en provenance de ces deux pays s'interpénètrent de la Côte-d'Ivoire à la Gambie mais le réseau ghanéen s'est étendu sur une longueur de côte beaucoup plus considérable.

Ces deux foyers de migration correspondent aussi aux

Carte 2

Principaux foyers économiques de l'Hinterland côtier.



△ Principales exploitations de sel marin

Densité démographique supérieure à 20 h/km² au milieu du XXè siècle (du Sénégal à l'Angola)

Zones où la petite production marchande paysanne est importante dès la seconde moitié du XIXè siècle

Régions d'orpaillage intensif (XIXè siècle)

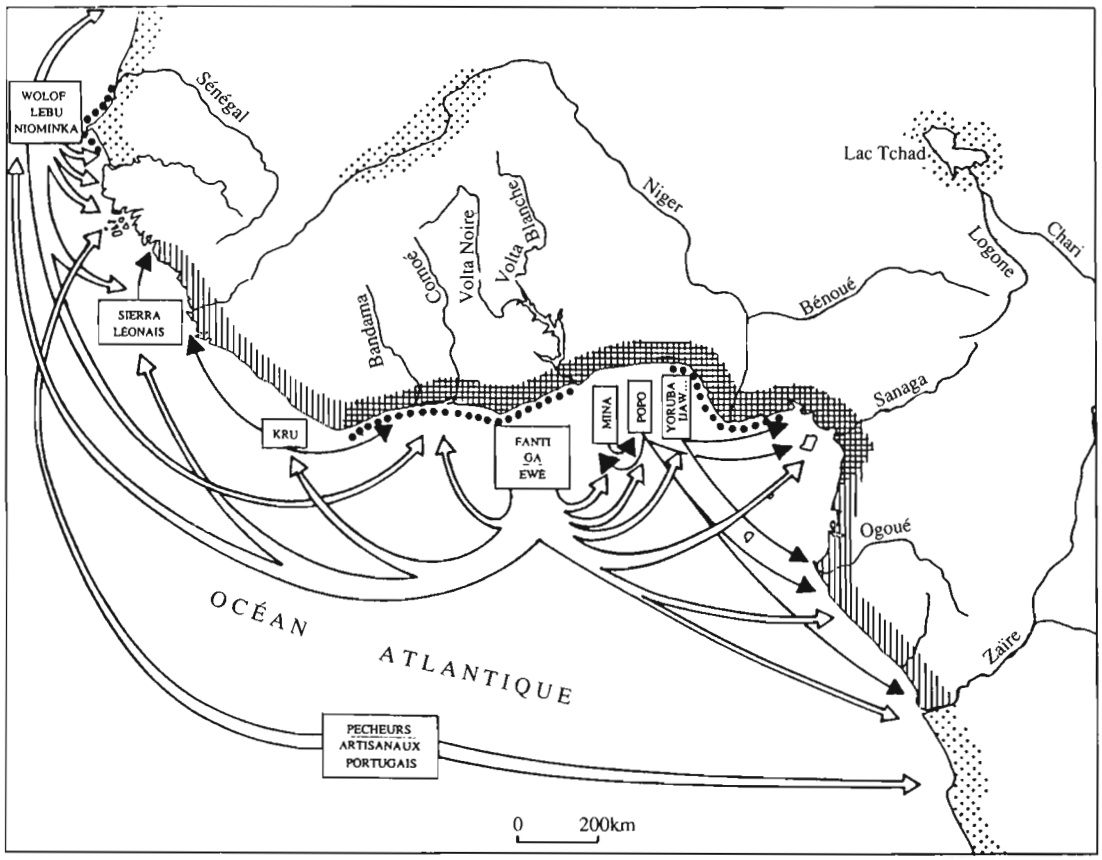
Régions exportatrices de noix de kola

Principales zones de traite et de commerce côtiers depuis le XVIè siècle

Limite de la zone particulièrement considérée (du Sénégal au Nigéria)

Carte 3

Principaux flux concernant la pêche maritime
(XXe siècle).



Pays traditionnellement importateurs de poisson

Pays traditionnellement gros importateurs de poisson

Pays traditionnellement exportateurs de poisson vers d'autres pays africains

Pays ayant connu à partir des années 1960 une politique d'industrialisation des pêches

Migrations notables de pêcheurs piroguiers

Principales migrations de pêcheurs piroguiers (les flèches indiquant les directions de migrations ne sont pas proportionnelles aux effectifs de la migration)

deux principaux foyers maritimes anciens: *Wolof* et *Lebu* au Sénégal, *Fanti* et *Ga* au Ghana. Mais à ces foyers traditionnels se sont ajoutés dans ces pays les groupements de pêcheurs reconvertis de la pêche lagunaire ou estuarienne à la pêche maritime côtière (*Niominka* au Sénégal, *Ewe* au Ghana), groupements qui se sont à leur tour insérés dans les réseaux de migration.
Le même processus s'est produit plus récemment dans certaines zones côtières où la pêche lagunaire et estuarienne «inhibait» la pêche maritime. Les pêcheurs, en se convertissant à la pêche côtière, se sont aussi adonnés aux migrations: *Mina* du Togo, *Popo* du Bénin, *Yoruba* et *Ijaw* du Nigéria évoluent maintenant sur le littoral compris entre le Togo et le Congo.
A l'inverse, certains foyers anciens de pêche maritime ont vu leur activité régresser et sont devenus des zones d'accueil de pêcheurs étrangers (Guinée-Bissau, Sierra Leone, littoral *aladian* en Côte-d'Ivoire, etc.).

c) Flux de technologie
Il faut ici distinguer plusieurs phénomènes de natures différentes qui ont pu avoir des effets sur la répartition géographique et l'évolution des efforts artisanaux de pêche.

- De tout temps s'est produite une **diffusion «spontanée» des techniques de pêche** au sein des populations de pêcheurs ouest-africains: diffusion entre groupements de pêcheurs africains (d'un lieu de la côte à un autre, ou du milieu continental au milieu maritime côtier) et diffusion de techniques de pêche européennes vers les pêcheurs africains. Dans ce dernier cas, les emprunts technologiques se sont fait de manière sélective, notamment en ce qui concerne les embarcations: celles qui, à leur époque, paraissaient «modernes» (côtres, goélettes) n'étaient pas le mieux adaptées ou les plus rentables aux yeux des pêcheurs africains qui en connaissaient cependant les techniques de construction et d'utilisation. Les échecs actuels de «modernisation» des embarcations semblent devoir être remis dans ce contexte historique. A l'inverse, on constate une ancienne et forte capacité des pêcheurs africains à adopter des engins ou du matériel de fabrication d'origine européenne (fil de nylon, filet maillant encerclant, senne tournante coulissante récemment et, depuis une trentaine d'années, moteur hors-bord).

- **La création des services administratifs spécialisés dans le développement de la pêche** est relativement ancienne dans certains pays: peu avant ou durant la Seconde Guerre mondiale au Ghana, au Sénégal et au Nigéria. Elle conduisit, dans les deux premiers pays et dans les années 1950, à l'expérimentation de moteurs hors-bord sur les pirogues locales. La diffusion de la motorisation sur l'ensemble de la côte ouest-africaine a été remarquable, sans commune mesure avec celle de la mécanisation en agriculture. Il est notable que dans les deux pays pionniers, le Sénégal et le Ghana, cette diffusion s'est appuyée autant sur le dynamique interne du secteur artisanal que sur l'action d'encadrement administratif qui a connu de nombreux aléas. De manière générale (motorisation, modernisation des embarcations, diffusion de techniques de pêche, organisations coopératives, commercialisation du poisson), l'action des services administratifs et de la recherche ne doit pas être surestimée pour expliquer les transformations de la pêche artisanale. Sans mésestimer son impact, c'est davantage la dynamique interne du secteur (professionnalisation de la pêche, marché de consommation local) qui en demeurent le moteur.

- **L'industrialisation locale de la pêche** offre une illustration *a contrario* de l'insuffisance de la seule volonté administrative pour atteindre les objectifs de développement. Depuis les Indépendances, elle demeure soumise à une grande incertitude en dépit d'une aide gouvernementale beaucoup plus importante que pour la pêche artisanale. Le Sénégal et le Ghana (dans une moindre mesure le Nigéria et la Côte-d'Ivoire) ont les flottilles les plus importantes (bien que soient comptabilisées de nombreuses unités de petites dimensions qui relèveraient du secteur artisanal dans les pays industrialisés).
L'interaction entre pêche artisanale piroguière et pêche industrielle locale est certaine, bien que mal connue. Elle peut recouvrir simultanément ou dans le temps des relations de simple juxtaposition, de dépendance, de complémentarité ou de concurrence comme au Sénégal (Chauveau, 1989). Elle est également variable selon les pays. Par exemple, en ce qui concerne les pélagiques côtiers, la pêche industrielle côtière est soumise à une forte concurrence de la pêche artisanale lorsque celle-ci est fortement développée (Sénégal, Ghana), alors que cette concurrence est limitée en Côte-d'Ivoire (Chaboud et Dème, Présent Volume).
Dans l'ensemble, les flux de technologies ont été les plus importants dans les foyers maritimes ghanéens et sénégalais. A partir du XIXe siècle, notamment, les *Fanti* au Ghana, les *Lebu* et les *Wolof* de Guet-Ndar au Sénégal ont largement contribué à la diffusion de techniques de pêche au gré de leurs migrations. Ce sont les mêmes groupements qui ont joué plus récemment un rôle décisif dans la motorisation et sa diffusion.
Mais ce sont aussi ces mêmes régions du littoral qui ont connu le plus important développement de la pêche industrielle et semi-industrielle (avec la Côte-d'Ivoire qui représente cependant un cas de figure particulier: la pêche artisanale y est moins importante et y est le fait d'étrangers migrants). Dans le temps, et en dépit d'interactions concurrentielles, les développements de la pêche artisanale et de la pêche industrielle s'avèrent cumulatifs dans ces foyers anciens de pêche maritime. (Dans le cas du Ghana, des importations importantes de poisson ne suffisent pas à empêcher cette cumulativité).

INTERPRÉTATIONS ET CONCLUSION

Si l'on résume à grands traits les variations spatiales et temporelles des activités de pêche maritime artisanale dans la longue période, on peut avancer quelques interprétations générales (Cf. tableau récapitulatif des facteurs d'évolution).

TABLEAU RECAPITULATIF DES FACTEURS D'EVOLUTION
DES PRINCIPAUX FOYERS AUTOCHTONES DE PECHE MARITIME
DANS LA LONGUE PERIODE

Pays	Principales ethnies concernées par la pêche maritime	Facteurs d'abondance de la ressource		Non concurrence d'un réseau paralique	Indicateurs socio-économiques dans la longue période						Foyer ancien de pêche maritime	Indicateurs de l'évolution de la pêche maritime dans la longue période		
		(1)	(2)		(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)		(9)	(10)	(11)
Mauritanie	Imragen	++	+	+	pas d'agric.	−−	−	−	−	+	+	↘	−	+ (dont Canariens)
Sénégal	Wolof	++	−	+	++	+					−	↗	++	+
	Lebu	++	++	+	+	++	+	−	+	+	+	↗	++	++
	Niominka	++	++	−	+	+					−	↗	++	−
Guinée Bissau	Bijogo	++	++	+	+	−	−	−	?	−	+	↘	−	+ (dont Portugais)
Sierra Leone	Sherbro	−	+	−	−	++	+	+	−	−	+	↘	+	+
	Bolom													
Libéria	Kru	−	−	+	−−	−	−	+	−	−	+	↘	+	+
Côte d'Ivoire	Aladian	+	−	−	−−	+	+	++	−	+	+	↘	−	++
Ghana	Fanti	+	+	+	−−	++	+	++	−	+	+	↗	++	+
	Ga	+	−	+	−	++					+	↗	++	+
Ghana-Togo	Ewe	+	−	−	−	++	+	+	−	−	−	↗	++	+
Togo-Bénin	Mina-Popo	−	−	−	−	++	+	+	−	−	−	↗	+	+
Nigéria	Yoruba et ethnies du delta du Niger	−	+	−	−−	++	+	++	−	−	−	↗	+	+
Gabon-Congo	Vili	++	+	−	−−	−	−	+	−	−	+	↘	+	++
Angola	?	++	+	+	++	−	−	−	+	+	+?	↘	−	+(Portugais)

(1) Upwelling
(2) Largeur du plateau continental
(3) Sensibilité de l'agriculture au climat
(4) Densité démographique
(5) Importance de l'économie d'échange
(6) Importance des importations de poisson
(7) Importance des exportations de poisson
(8) Importance de la pêche industrielle
(9) En expansion (↗), en régression ou marginal (↘)
(10) Foyer de migration de pêche
(11) Zone d'accueil de migration de pêcheurs-artisans

• **Les foyers anciens sont plutôt concentrés sur les régions côtières**:

1) où le phénomène d'upwelling est sensible;

2) où les activités économiques et d'échanges liant les régions côtières et l'Hinterland agricole ont atteint un niveau d'intensité appréciable;

3) où la densité démographique est élevée par rapport à la moyenne;

4) où l'agriculture est fortement ou plutôt sensible aux fluctuations climatiques;

5) où l'existence d'un réseau paralique côtier ne concurrence pas l'exploitation des ressources marines.

• **L'évolution de ces foyers anciens ou l'émergence de foyers plus récents** conserve le poids de ces facteurs mais en sélectionne les effets dans les sens suivants:

1) amplification des effets: du facteur démographique, de la sensibilité de l'agriculture à la sécheresse, de l'intensité des activités économiques et d'échanges concernant l'agriculture et, de plus en plus, l'économie non agricole;

2) moindre effet (bien qu'encore sensible) de l'existence d'un réseau paralique concurrent. Cet effet semble en effet contrarié par le jeu amplifié des effets précédents.

• Ce schéma d'évolution dans la longue période permet de discerner quelques **tendances lourdes concernant la répartition spatiale** des communautés de pêcheurs spécialisés dans la pêche commerciale.

1) Une **concentration relative** de ces activités chez quelques groupements de pêcheurs (essentiellement sénégalais et ghanéens) - ce qui n'exclut pas l'augmentation absolue de l'activité de pêche commerciale spécialisée dans quelques autres communautés du littoral (*Mina*, *Popo*, *Yoruba*, *Ijaw*, etc...) - et leur déclin absolu (*Bijogo*, *Aladian*) ou relatif (*Sherbro*, *Bulom*, *Vili*) ailleurs.

2) Un développement considérable des **migrations de pêche**, aussi bien chez les groupements anciennement spécialisés dans la pêche maritime (*Fanti*, *Ga*, *Lebu*) que chez les groupements où la spécialisation est plus récente. Dans ce dernier cas (*Niominka*, *Ewe*, *Popo*, *Mina*, *Yoruba*...), il s'agit de communautés tournées auparavant vers l'exploitation de milieux paraliques dont la reconversion s'est opérée surtout sous l'effet de la détérioration conjuguée des conditions d'exploitation de ces milieux et de l'activité agricole.

3) Une troisième grande tendance résulte de la **combinaison des deux tendances précédentes**. Les migrations de pêche, par des groupements de pêcheurs plus spécialisés mais dont les origines socio-culturelles sont plus localisées sur le littoral, se traduisent dans la longue période:

a) par une extensification et une intensification de l'activité de pêche sur l'ensemble du littoral, en particulier dans les zones d'upwelling peu exploitées par les pêcheurs autochtones;

b) par une imbrication des réseaux de migration (le plus souvent les foyers d'émigration de pêcheurs sont aussi des zones d'accueil de pêcheurs migrants), imbrication qui s'explique souvent par une spécialisation des groupements de pêcheurs selon les techniques de pêche employées et/ou les espèces cibles.

En conclusion, nous insisterons sur le fait suivant: parmi les facteurs déterminant, en longue période, la localisation et l'intensité de la pêche artisanale et leur évolution, un certain nombre sont des variables étrangères à l'état des ressources et relèvent d'un environnement socio-économique historique indépendant (intensité des échanges économiques, densité démographique)[9] ; d'autres sont autonomes vis-à-vis de l'état des ressources, mais relèvent de facteurs climatiques communs dont les effets sont inverses sur la pêche d'une part, sur l'environnement socio-économique dans lequel se situe la pêche d'autre part (état de la production agricole, sensibilité de la production agricole aux fluctuations climatiques).

Le tableau historique très général présenté ici permet de situer le poids très important d'éléments étrangers au sous-système ressources-pêche dans l'évolution de la pêche. De ce point de vue, il est essentiel de conserver à l'esprit pour toute tentative prospective que la pêche ne peut seulement s'expliquer par la pêche mais que sa configuration demeure déterminée en grande partie par son environnement socio-économique global.

Ce tableau permet également de situer les relations indirectes mais importantes dans la longue période entre l'environnement bio-écologique et l'environnement socio-économique, par l'intermédiaire du facteur climatique. En particulier, on peut se demander si l'impact des fluctuations environnementales sur l'agriculture n'est pas plus important que ce même impact sur la dynamique des stocks pour la compréhension **dans la longue période** de la dynamique de la pêche artisanale ouest-africaine. **Dans les conditions actuelles** d'exercice du métier de pêcheur-artisan et de gestion des ressources dans cette région, le modèle socio-économique de la «production paysanne» (au sens de Firth, 1946 et de Breton, 1981) a une capacité d'explication et peut-être de prédiction que n'ont pas les modèles bio-économiques à cette échelle de temps. Ces derniers n'ont de sens que replacés dans ce contexte.

DISCUSSION

MARCHAL: Je vois dans la situation actuelle de la pêcherie en Côte-d'Ivoire une illustration de vos propos. Le grand potentiel de captures de *Sardinella aurita* y est exploité depuis les années 1980 par des pêcheurs qui approvisionnent un marché important en l'absence de pêcheurs locaux.

CHAUVEAU: Cette absence de pêcheurs locaux est en

grande partie le reflet de la concurrence du secteur lagunaire et de celle du cacao et du café.

FAGGIANELLI: Quelle est l'activité des pêcheurs sénégalais en Côte-d'Ivoire et quel est l'impact de l'aménagement du littoral sur les activités de pêche artisanale (construction de ports en eau profonde) ?

DIAW: Il y avait des pêcheurs sénégalais en Côte-d'Ivoire avant 1960, notamment à San Pedro où ils pratiquaient la pêche à la ligne à bord de pirogues glacières.

CHAUVEAU: Les ports correspondent non seulement à un aménagement du littoral mais surtout à l'amélioration générale des possibilité d'écoulement.

GARCIA: Les facteurs importants pour le développement de la pêche sont divers; on peut citer en exemple l'importance des populations locales et l'ouverture de marchés particuliers (crevettes, poulpes...).

DIAW: Les peuplements côtiers les plus anciens n'étaient pas spécialisés dans la pêche maritime et ce sont des populations venues de l'intérieur qui s'y sont davantage investies, donnant naissance à des pêcheurs spécialistes à coté de «paysans pêcheurs». Il est nécessaire d'introduire des échelles de temps différentes tenant compte des pressions démographiques, foncières, sociales, économiques....

CHAUVEAU: La diversité des conditions historiques conduisant à la spécialisation dans la pêche est importante. Cette diversité se retrouve au sein même de catégories comme celles de «pêcheurs sénégalais» ou «pêcheurs ghanéens» qui se révèlent très hétérogènes.

NOTES

(1) Même si à l'inverse, pour le biologiste, c'est la situation des stocks qui paraît être la condition nécessaire et la mise en oeuvre des activités de pêche la condition permissive.

(2) Nous n'envisageons pas ici le cas de l'aquaculture marine non pratiquée en Afrique de l'Ouest.

(3) Il peut y avoir cependant des directions de recherches en ce sens. Par exemple, l'étude comparée des relations directes entre les formes et l'intensité de la pêche selon les zones climatiques (Cf. notamment Yesner, 1980) mais aussi et surtout l'interaction entre ces relations et les autres activités économiques, notamment l'agriculture, affectées par la variable climatique. Nous y reviendrons.

(4) Nous tentons dans notre recherche en cours de rassembler des données quantitatives sur l'effort de pêche au Sénégal depuis le début du siècle.

(5) Nous n'envisagerons pas, notamment, l'organisation sociale et économique des différentes communautés de pêcheurs maritimes. Sur cette question, voir par exemple: Acheson, 1981; Breton 1981; Platteau, 1988.

(6) Par exemple, les travaux en cours de Karine Delaunay (Côte-d'Ivoire, Ghana), de Chimère Diaw (Sénégal) ou de Melvin Hendrix (Sierra Leone).

(7) La localisation des principaux foyers anciens de pêche maritime est discutée de façon plus détaillée dans Chauveau, 1986.

(8) Voir Chauveau *et al.*, 1989 pour une bibliographie des travaux utilisables, mais non encore entièrement utilisés, pour une telle synthèse.

(9) Pour simplifier, nous n'avons pas tenu compte de facteurs strictement politiques, indépendants de l'état des ressources mais ayant des effets sur la pêche. Par exemple: l'occupation à partir du XVe siècle du littoral guinéen par des populations de l'intérieur au détriment de populations côtières tournées vers la pêche ; la constitution de frontières douanières décourageant les échanges interafricains de poisson transformé à partir des années 1960 ; l'expulsion de pêcheurs migrants ghanéens de divers pays dans les années 1960 et 1970 pour des raisons essentiellement politiques, etc...

BIBLIOGRAPHIE

• Acheson., J.M. 1981. Anthropology of fishing. Annual Review of Anthropology, 10: 275-316.

• Binet, D. 1983. Zooplancton des régions côtières à upwelling saisonnier du Golfe de Guinée. Océanographie tropicale, 18 (2): 357-380.

• Breton, Y. 1981. L'anthropologie sociale et les sociétés de pêcheurs: réflexions sur la naissance d'un sous-champ disciplinaire. Anthropologie et sociétés, 5, 1: 7-28.

• Brown, A.B. 1947. The fishing industry of the Labadi district. *In* Irvine F.R. The fishes and fisheries of the Gold Coast, Crown Agents for the Colonies, London: 23-44.

• Chaboud, C. et Dème M. Ressources instables et pêche semi-industrielle: Les exemples sénégalais et ivoiriens. (Présent volume).

• Chauveau, J.P. 1985. Histoire de la pêche maritime et politiques de développement de la pêche au Sénégal. Représentations et pratiques du dispositif de l'intervention moderniste. Anthropologie Maritime, 2: 300-318.

• Chauveau, J.P. 1986. Une histoire maritime africaine est-elle possible ? Historiographie et histoire de la navigation et de la pêche africaines à la côte occidentale depuis le XV° siècle». Cahiers d'Etudes Africaines, 26 (1-2): 173-235.

• Chauveau, J.P. 1989. Histoire de la pêche industrielle au Sénégal et politiques d'industrialisation. Cahier des Sciences Humaines, vol. 25, n° 1-2: 237-287.

• Chauveau, J.P. et Samba A. 1989. Market development, Government interventions and the dynamics of the small scale fishing sector: an historical perspective of the Senegalese case. Development and Change, London, vol. 20, n°4: 599-620.

• Chauveau, J.P., Verdeaux F., Charles-Dominique E., Haakonsen J.P. 1989. Bibliographie sur les communautés de pêcheurs d'Afrique de l'Ouest. FAO, Cotonou, FAO/DANIDA/NORWAY, DIPA/WP/25, 219p.

• Christensen, J.B. 1977. Motor Power and Women Power Technological and Economic Change among the *Fanti* Fishermen of Ghana, Those who live from the sea. A study in maritime anthropology, M.E. Smith (ed.) Monograph-American Ethnological Society: n° 62, St Paul, West publishing co: 71-95.

• Gouvernement Général De l'Afrique Occidentale Française. 1948. Conférence de la pêche maritime, Dakar, 15-22 janvier 1948. Paris Centre National d'Information Economique, 292 p.

• Cury, P. et A. Fontana. 1988. Compétition et stratégies démographiques comparées de deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis* des côtes ouest-africaines. Aquat. Living Resour, 1: 165-180.

• Darboux, G., Stephan P., Cotte J., Gaver F. von . 1906. L'industrie des pêches aux colonies. Paris, Challamel, 516 p.

• Diaw, M.C. 1985. La pêche piroguière dans l'économie politique de l'Afrique de l'Ouest: les formations sociales et les systèmes de production dans l'histoire. 45° Congrès des Américanistes, Bogota 1-7 juillet 1985.

• Doumenge, F. 1962. Problèmes et perspectives de l'organisation des économies de pêche maritime dans les Etats de l'Afrique occidentale en 1962. Bulletin de la Section de Géographie du Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, 75: 219-282.

• FAO, 1988. Socio-economic data base on african fisheries. Prepared by Alain Bonzon and Benoît Horemans, Rome, 109 p.

• Firth, R. 1968. Malay Fisherman. Their Peasant Economy, Boston, Archon Books (1ère édition 1946).

• Fontana, A. *et al.*, 1989. Bilan et enjeux des pêches maritimes en Afrique de l'Ouest. Possibilités et pertinence des interventions, ORSTOM, 85 p.

• Fonteneau, A. et J. Marcille (eds.) 1988. Ressources, pêches et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre-Est. FAO, Doc. Tech. Pêches, 292: 391 p.

• Greene, S.E. 1988. Social Change in Eighteenth-Century Anlo: the Role of Technology. Markets and Military Conflict. Africa 58 (1): 70-86.

• Grove, J.M. 1966. Some aspects of the economy of the Volta Delta (Ghana). Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noir, XXVIII, série B (1-2): 81-432.

• Grove, J.M. and A.M. Johansen. 1968. The Historical Geography of the Volta Delta, Ghana, during the Period of Danish Influence. Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire, XXX, série B (4): 1372-1421.

• Gruvel, A. 1909. Les pêcheries des côtes du Sénégal et des Rivières du Sud. Paris, Challamel, 245 p.

• Gruvel, A. 1913. L'industrie des pêches sur la côte occidentale d'Afrique (du Cap Blanc au Cap de Bonne-Espérance). Paris, Larose, 193 p.

• Gulland, J.A. et J.P. Troadec. 1973. Management and Development of Fisheries in the Eastern Central Atlantic. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 30 (12): 2264-2275.

• Hendrix, M.K. 1983. African maritime fisheries in the West Atlantic : an historical overview and case study. New England Journal of Black Studies, 3: 78-102.

• Hill, P. 1970. Studies in rural capitalism in West Africa. Cambridge, Cambridge University Press («*Ewe* Seine fishermen»: 30-52).

• Hornell, J. 1928. Report on the fishery resources of Sierra Léone. Freetown, Government Printing Office, 51 p.

• Institut colonial de Marseille. 1950. Congrès des pêches et des pêcheries dans l'Union Française Outre-Mer, Marseille.

• Johnson, F. 1941. Report on the Prisons Department Fisheries Scheme, Accra, Gold Coast Colony Government Printer, 13 p.

• Jorion, P. 1988. Going out or Staying Home. Seasonal Movements and Migration Strategies among *Xwla* and *Anlo-Ewe* Fishermen. MAST 1 (2): 129-155.

• Lagoin, Y. et G. Salmon. 1967. Etude technique et économique comparée de la distribution du poisson de mer dans les pays de l'Ouest Africain. Paris, Secrétariat d'Etat aux Affaires Etrangères, Coopération, 14 vol.

• Lagoin, Y. et G. Salmon. 1968. Etude technique et économique dans la distribution du poisson de mer dans les pays de l'Afrique Centrale atlantique. Paris, Secrétariat d'Etat aux Affaires Etrangères, Coopération, 8 vol.

• Lawson, R.M. 1968. The Transition of Ghana's Fishing from a Primitive to a Mechanised Industry. Transactions of the Historical Society of Ghana, IX: 90-104.

• Lawson, R.M. and E.A. Kwei. 1974. African Entrepreneurship and Economic Growth: a Case Study of the Fishing Industry of Ghana. Accra, Ghana Universities Press, 262 p.

• Moloney, C.A. 1883. West African Fisheries with particular reference to the Gold Coast Colony. International Fisheries Exhibition, London, William Clowes and Sons, 74 p.

• Monod, T. 1929. L'industrie des pêches au Cameroun. Paris, Société d'Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales.

• Neron de Surgy, A. 1969. La pêche maritime traditionnelle à l'ancienne côte de Guinée. Kara, Centre d'Etudes et de Recherches de la Kara, 2 volumes, 147 et 297 p.

• Nguinguiri, J.C. s.d.- Aspects historiques de la pêche artisanale maritime au Congo. Pointe Noire, ORSTOM, 48 p.

• Pelissier, P. 1989. Réflexions sur l'occupation des littoraux ouest-africains. Pauvreté et développement dans les pays tropicaux, Bordeaux, C.E.G.E.T.: 123-134.

• Platteau, J.P. 1988. The Penetration of Capitalism into Small Scale Third World Fisheries: An Investigation of Historical Processes and Organizational forms. Cahiers de la Faculté des Sciences économiques et sociales de Namur, 46 p.

• Smith, R. 1970. The Canoe in West African History. Journal of African History, XI (4): 515-533.

• Stone, J.C. (ed.) 1985. Africa and the Sea. Aberdeen, Aberdeen University, African Studies Group, 412 p.

• Sutinen, J.G., Pollnac R.B. and H.P. Josserand. 1981. The Fisheries of West Africa and Prospects of Development. University of Michigan, ICRDM Working Paper n° 6, 143 p.

• Vercruijsse, E. 1984. The Penetration of Capitalism. A West African Case Study, Londres - La Haye, Zet Books, 180 p.

• Weber, J. et H. Durand. 1986. Le secteur des pêches dans les pays d'Afrique. Dakar, Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel, 67 p.

• Wyllie, R.W. 1969. Migrant Anlo Fishing Companies and Socio-Political Change: A comparative Study. Africa XXXIX (4): 396-410.

• Yesner, D.R. 1980. Maritime Hunter - Gatherers: Ecology and Prehistory. Current Anthropology, 21 (6): 727-750.

2 • La crise sardinière française : les premières recherches scientifiques autour d'une crise économique et sociale

MARIE HÉLÈNE DURAND
Economiste ORSTOM, 213 rue La Fayette 75480 Paris Cedex 10, France

RÉSUMÉ

La crise sardinière qui débuta en 1880 par une pénurie de sardines donna lieu aux premières recherches sur la fluctuation de cette espèce pélagique. Alors que les baisses de rendement étaient depuis longtemps généralement attribuées à la pêche, les chercheurs conclurent à la variabilité naturelle. Les problèmes du recrutement et l'impact des phénomènes climatiques furent les principaux facteurs mis en cause, ce que soulignent les recherches les plus actuelles dans ce domaine. Dès lors, les chercheurs préconisèrent l'augmentation de l'effort de pêche comme remède à la crise. Mais la pénurie de sardines déclencha une crise de débouché et c'est par une réduction de l'effort de pêche que les pêcheurs répondirent aux irrégularités de rendement. Cette crise fut avant tout une crise économique et sociale révélant les intérêts antagoniques des pêcheurs et des usiniers.

ABSTRACT

The collapse in sardine fishery which started in 1880 by a shortage of sardines gave rise to the first researches on the fluctuation of this pelagic species. While the decrease in catch had been generally ascribed to the fishing since a long time, researches ascribed it to the natural variability. The main factors involved were the recruitment problems and the impact of climatic conditions which was evidenced again by the most recent researches in this field. Since then, researchers recommended to increase the fishing effort in order to cope with the crisis. But the shortage of sardines brought about a shortage of outlets, therefore, fishermen reacted to the irregular production by reducing the fishing effort. This crisis was first of all economic and social and revealed the opposing interests between fishermen and manufacturers.

INTRODUCTION

Grâce à la connaissance de divers modes de conservation de la sardine, la pêche sardinière a pu avoir la dimension d'une activité commerciale depuis des temps très anciens. En France, les premiers témoignages connus sur la pêche de cette espèce remontent au onzième siècle (Cligny, 1913, 1914; Odin, 1894; Thomazi, 1947). Traditionnellement effectuée sur le pourtour méditerranéen cette pêche s'implanta en Bretagne au dix-septième siècle avec l'émigration des pêcheurs languedociens qui fuyaient le dépeuplement de leurs eaux (Odin, 1894, Le Bour, 1910). Pêche très erratique, son histoire est jalonnée de séries de disparitions plus ou moins prolongées. De toutes ces irrégularités de rendement ce furent celles de la fin du dix-neuvième et du début du vingtième siècles qui restèrent célèbres sous l'appellation de «crise sardinière».

La crise sardinière fut avant tout une crise économique due à l'incapacité de gérer les fluctuations de production et c'est aux graves conflits sociaux qu'elle engendra en Bretagne et en Vendée qu'elle doit son retentissement. La communauté scientifique fut sollicitée pour étudier et porter réponse à ce phénomène de raréfaction du poisson. Ce sont les balbutiements de ces premières analyses, replacées dans le contexte scientifique de cette époque, que nous allons présenter. Il est intéressant de retrouver dans ces premières intuitions une proximité certaine avec les conclusions plus sophistiquées que donnent les recherches actuelles sur les fluctuations des stocks pélagiques. Les idées qui sont maintenant développées et présentées comme novatrices furent, en ce temps, le produit logique de l'ignorance qui régnait sur cette question.

LE CONTEXTE ÉCONOMIQUE: LE DÉBUT DE L'INDUSTRIALISATION

Dès l'introduction de la pêche sardinière sur le littoral atlantique, un grand nombre de ports bretons et vendéens se spécialisèrent dans la production de sardines pressées, un mode de conservation par le sel. Cette production était exportée dans le monde entier (Le Bour, 1909; Odin, 1896; Grouhel, 1944). La découverte d'Appert en 1804 sur la conservation des produits alimentaires détermina la disparition des anciennes presses à sardines et l'implantation d'une industrie de conserverie qui transforma l'économie de cette région et en fit sa fortune. La première usine de mise en boite fut créée à Nantes en 1824 (Ouizille, 1926; Paulus, 1944); cinquante ans plus tard, il y avait plus de 200 usines sur les côtes bretonne et vendéenne. Ce nouveau produit dont la France avait le monopole mondial décupla l'activité exportatrice. Jusqu'en 1902, les exportations, en direction de tous les continents, représentaient les 3/4 au 4/5ème de la production (Ouizille, 1926; Cloarec, 1913). Une partie de ces affaires d'exportation se traitait directement à Londres (Pouchet, 1888), le montant des transactions atteignait 150 millions de francs (Bouchon-Brandely, 1887).

Le développement de cette industrie attira une importante population. Dans la seconde moitié du dix-neuvième siècle, le nombre de pêcheurs sardiniers quadrupla (Ministère de la Marine, 1908), de 1830 à 1906, la population des ports sardiniers bretons fut multipliée par 3 à 6 (Ropers, 1906). Selon les auteurs, l'industrie sardinière à la fin du siècle employait directement ou indirectement de 60 000 à 120 000-150 000 ou 180 000 personnes (Roche, 1893; Bouchon-Brandely, 1887; Cadoret, 1912).

Le rendement de la pêche ne fut pas toujours régulier et 1846, 1852, 1858, 1870 à 1872 furent des années de faibles débarquements mais le monopole dont l'industrie sardinière bénéficia jusqu'en 1880 lui permit de passer sans dommage ces années critiques. Par la suite cette industrie prospère eut à subir une série de crises prolongées qui lui firent perdre sa place sur les marchés. A l'exception de 1883, la pêche fut très médiocre de 1880 à 1887. Face à cette pénurie, quelques industriels nantais allèrent s'installer au Portugal favorisant le démarrage de la concurrence étrangère et initiant une émigration de l'industrie vers ces régions plus favorables (Pouchet, 1888; Ouizille, 1926; Paulus, 1944). En 1886, plus de la moitié des usines françaises avaient fermé et 123 usines s'étaient créées au Portugal et en Espagne (Ouizille, 1926). De 1888 à 1901, de bons résultats améliorèrent la situation puis, de 1902 à 1913, la pêche fut à nouveau presque nulle. La production portugaise, espagnole et bientôt celle des Etats-Unis, dont les prix de revient étaient inférieurs de près de moitié, s'approprièrent les marchés autrefois réservés à la France [1]. Incapables de lutter sur les prix, les industriels français s'attachèrent à conserver et à protéger contre «la fraude étrangère» la qualité qui était l'apanage de leurs produits (Ropers, 1906; Ouizille, 1926). Réduite à un marché de luxe, l'industrie française, entre les deux guerres perdit non seulement ses débouchés extérieurs mais aussi le marché national envahi, malgré la protection douanière, par les produits moins chers. Enfin, le développement du transport automobile et du mareyage concurrent pour l'approvisionnement porta un dernier coup à cette industrie. Cette succession de mauvaises années affecta gravement la population du littoral dont les revenus dépendaient presque exclusivement de l'industrie sardinière. Elle eut à subir famine et misère chroniques. En 1902 et 1903 des comités de secours faisant appel à la charité publique furent organisés en France et à l'étranger ainsi que l'émigration vers la colonie algérienne et la Tunisie (Ropers, 1906; Le Gall, 1904). Les intérêts antagoniques des usiniers et du «prolétariat sardinier» provoquèrent une série de conflits qui ne s'éteignirent qu'à la Seconde Guerre mondiale.

MODES DE PÊCHE: LE REFUS DES CHANGEMENTS

La saison de pêche dure environ cinq mois, plus tardive à mesure que l'on se déplace vers le nord. Les pêcheurs distinguent sardines de rogue et sardines de dérive. Pour les premières on pratique la pêche à l'appât [2]. On fait «lever» le poisson avec des oeufs de morue saumurés (rogue). On le capture ensuite par maillage dans des filets droits de dimension variant selon les régions de 20 à 45 mètres de long sur 10 à 15 mètres de chute. Une dizaine de filets de taille de mailles variable sont embarqués à chaque sortie et on choisit le filet qui s'adapte au moule de la sardine présente. Seule la sardine de rogue est destinée aux usines. La sardine de dérive apparaît plus tard. Insensible à l'appât, «elle ne travaille pas», on la capture à l'aide de filets dérivants. De plus grande taille, grainée, elle est impropre à la conservation et on la vend «en vert».

La loi sur la pêche de 1852, les décrets de 1853 et 1859 réglementaient l'usage des sennes et interdisaient tous les engins traînants en deçà de trois milles des côtes. Profitant des tolérances du décret de 1862, un industriel de Douarnenez fit faire les premiers essais d'un nouvel

engin: la senne Belot qu'il avait inventé un an auparavant (Gerville-Reache, 1888). Sorte de filet bourse coulissant formé d'une grande nappe horizontale rattachée à une bande verticale de 122 mètres de long sur 11,6 mètres de chute, elle permettait d'éviter en grande partie l'utilisation de la rogue [3]. Son usage fut autorisé en 1872 puis recommandé par le ministère de la Marine en 1874. Mal acceptée de par son coût élevé et sa trop grande taille elle fut remplacée par des engins de même type mieux adaptés: petite senne Belot, senne Guezennec, senne Eyraud puis par les filets tournants (Gerville-Reache, 1888; Ropers, 1906).

En 1878, leur emploi, contesté par les pêcheurs, ne fut autorisé que quelques semaines par an en fin de campagne. Pour statuer sur le conflit qui opposait partisans et adversaires des sennes, on décida en 1887 d'effectuer des expériences de pêche à la senne contrôlées officiellement par le gouvernement (Veron, 1887). Elles aboutirent à la condamnation définitive des sennes en 1888. Par la suite, les usiniers et le Comité Consultatif des Pêches Maritimes ne cessèrent de pétitionner et de faire pression sur le gouvernement pour qu'il autorise à nouveau et recommande l'emploi de ces engins plus productifs, plus économiques et dont on avait corrigé les caractéristiques sujettes à critiques [4]. En 1906, le ministère de la Marine annonça la réalisation prochaine de nouveaux essais officiels destinés à convaincre les pêcheurs de l'intérêt de ces engins. Le contexte passionné et hostile entourant la question des sennes empêcha la tenue des essais et provoqua une coalition contre les pêcheurs de Penmar'ch et St Guénolé qui utilisaient des filets tournants pour la pêche du maquereau (collectif, 1913). Finalement, les administrateurs de la Marine, reconnaissant le progrès indéniable que constituaient les nouveaux engins mais considérant les troubles que leur autorisation ne manquerait pas de provoquer, signèrent le décret du 8 juin 1912 réitérant l'interdiction des filets tournants pour la pêche de la sardine et du maquereau.

Face aux contestations, des autorisations provisoires puis définitives furent accordées pour la bolinche en 1925 dans les quartiers de Bayonne-St Jean de Luz, pour le filet guezennec en 1926 dans les quartiers de Penmar'ch-St Guénolé. Partout ailleurs, l'interdiction des sennes fut maintenue jusqu'en 1940 (Grouhel, 1944).

Les embarcations étaient à voiles à deux mats, non pontées. Vers 1910, on commença à construire des bateaux pontés pour la pêche de la sardine (Le Bour, 1910; Cadoret, 1912). Les premiers essais de motorisation pour la pêche sardinière furent faits à St Jean de Luz en 1901 et à Arcachon en 1906 (Seilhac, 1903; Mader, 1909). Dans ces deux régions, la motorisation se développa rapidement mais les pêcheurs bretons y restèrent réfractaires jusqu'au début des années trente. L'usage des sennes pour la pêche sardinière était une tradition ancienne en Espagne, au Portugal, en méditerranée et au pays basque: cezado, lamparo, sardinal, madrague, pêche à la trainière...Ces pêcheurs eurent vite fait d'adopter la motorisation et les «engins perfectionnés pour la pêche économique» qui étaient rejetés sur les côtes bretonnes [5].

LE CONTEXTE SCIENTIFIQUE: LES PREMIERS DÉBATS

Aux premiers coups du sort, on constata que les connaissances sur la biologie de cette espèce étaient pratiquement nulles et que depuis, l'ouvrage de Duhamel du Monceau en 1769, rien n'avait été dit. En 1886 puis en 1903, des commissions spéciales sur la crise sardinière furent créées au ministère de la Marine. Plusieurs enquêtes auprès des pêcheurs et des recherches combinant observations et travaux en laboratoire furent commandées pour déterminer les causes de l'apparition et de la disparition de la sardine. Quelque trente années plus tard ces premiers travaux sur l'habitat, les migrations, la nourriture, la reproduction, les corrélations entre variations de rendement et conditions du milieu ne faisaient toujours pas l'unanimité des chercheurs (Hoeck, 1913). Ils permirent cependant de faire la part des interprétations «tenant du merveilleux» qui, dans l'ignorance, ne manquèrent pas d'abonder pour expliquer la crise.

Au centre de ces recherches était toujours l'éternelle question de la dépopulation des mers avec deux grandes explications anthropique et environnementale.

Pendant des siècles, les pêcheurs se sont plaints régulièrement de la stérilisation progressive des eaux, conscients qu'une exploitation abusive pouvait provoquer la diminution ou la disparition des espèces.

Nombre de règlements dont les plus anciens en France remontent au neuvième siècle pour les eaux intérieures (Reveret, 1987) ont limité l'exercice des pêches [6]. La philosophie de ces règlements visait à protéger les frayères, les immatures, les sources de nourriture [7]. Du dix-septième au dix-neuvième siècle ils concernent essentiellement les sennes ou les arts traînants dont l'utilisation est interdite ou limitée à certaines conditions de maille, de zone, de date (Duhamel du Monceau, 1769; Roche, 1898; Cligny, 1913, 1914; Thomazi, 1947) [8].

A partir de 1850, sur la pression des pêcheurs, des commissions d'enquête vont être constituées en Angleterre, en Russie, en Allemagne, aux Etats-Unis [9]. Les deux premières commissions anglaises en 1866 et 1878 statuèrent sur l'inépuisabilité des mers et donc en faveur de la liberté d'exercice. Les arguments tenaient à l'immensité des mers, supposées d'égale productivité, face à la superficie des zones exploitées, à l'énorme fécondité des poissons, à la faible part de la mortalité par pêche dans la mortalité totale (Nielsen, 1977). Constatant l'accroissement des captures totales, la baisse des captures individuelles était attribuée à l'augmentation du nombre des pêcheurs qui restaient trop regroupés aux mêmes endroits. Mais finalement, en 1893, on reconnut partout la dégradation des stocks et la nécessité de réglementer les pêches (Nielsen, 1977). Dans ce débat contemporain qui conduisit à la recon-

naissance générale de l'épuisabilité des ressources, la communauté scientifique avait été très marquée par les idées d'Huxley, chef de file des partisans de l'inépuisabilité [10].

LA SANCTION DES RECHERCHES: AUGMENTER L'EFFORT DE PÊCHE

La première commission d'enquête dirigée par Bouchon-Brandely en 1886 établit, d'après les observations des pêcheurs, une liste de onze causes à la désertion de la sardine [11]. Ces onze causes d'ordre physique et environnementale, éthologique, anthropique furent la base des discussions sur la crise sardinière jusqu'à la fin du siècle. Les scientifiques penchèrent assez généralement pour la prééminence des facteurs environnementaux et orientèrent leurs travaux en ce sens. La disparition des sardines fut imputée indirectement seulement à l'action des pêcheurs. Pris à partie par l'administration et les professionnels, leurs rapports reflètent le caractère politique des nombreuses mesures de réglementation des engins de pêche qui furent édictées en contradiction avec leurs recommandations pour atténuer les conflits engendrés par la crise économique.

Alors que les méfaits de la pêche étaient reconnus et combattus de longue date, pourquoi les scientifiques y ont ils accordé peu d'importance ?

Poisson «merveilleux, capricieux et frileux», ces trois adjectifs pourraient assez bien résumer l'état des connaissances au début de la crise. La sardine est un poisson «de passage», elle apparaît sur les côtes de mai à octobre sans que l'on puisse déterminer les raisons de cette apparition annuelle puis de cette disparition soudaine et régulière.

D'où vient elle ? Où repart elle ? Quels mobiles la poussent dans ses déplacements ? On ne voit ni ses frayères ni ses alevins, victimes avérées du ravage des pêches.

Partout, et depuis toujours, on la connaît comme un poisson restant des temps considérables sans se montrer et réapparaissant certaines années avec une abondance parfois légendaire tout autant qu'inexpliquée. Duhamel du Monceau mentionne des disparitions de 14 années, Varigny cité par Ropers parle de cycles réguliers de 15 et 20 ans de pénurie. Mal périodique, on admet ces oscillations considérables comme la règle mystérieuse.

A ces vicissitudes naturelles, il était normal de rechercher des causes naturelles. «les intermittences constatées sont-elles soumises à lois naturelles, régulières ?» (Bouchon-Brandely, 1887). On tendait à penser que si la sardine ne se montrait pas c'était, pour des raisons physiques ou météorologiques, qu'elle était ailleurs (Ropers, 1906).

On distinguait les espèces «voyageuses» des espèces sédentaires. Pour ces dernières, la pêche sérieusement réglementée avait un effet destructeur évident, surtout par des considérations sur la détérioration de l'écosystème et pour certaines espèces par la prédation des immatures. Les éléments qui accusaient les pêches étaient sans portée pour les voyageuses.

La première théorie sur le comportement de la sardine, s'appuyant sur l'étude des dates d'apparition décalées dans le temps aux différents points du littoral, postulait que la sardine prenait naissance sur les côtes ibériques et migrait du sud au nord en poursuivant sa croissance. Cette hypothèse fut définitivement rejetée à la fin du siècle où on admit alors que la sardine était un poisson «semi-sédentaire» effectuant de courtes migrations du large à la côte (certains l'ont vu au large) et des fonds à la surface (on trouvait de la vase dans les écailles) et on établit l'existence de «races locales» [12]. Déjà mise en doute par Duhamel du Monceau (2ème partie, 3ème section, chap.v), l'hypothèse des grandes migrations était peu acceptée dès le début des recherches. Mais elle resta longtemps objet de controverse car elle permettait d'expliquer la première cause que la plupart des pêcheurs invoquaient: le développement de la pêche concurrente des Espagnols et des Portugais. Avec leurs grandes sennes tournantes, ils étaient responsables de l'extermination des bancs et de l'arrêt de la migration.

Si l'observation avait permis de faire le consensus sur le fait que les migrations étaient de courte distance, on ne comprenait pas de quel mécanisme elles procédaient. Il était important de savoir si les apparitions à la côte avaient un caractère obligatoire; dans ce cas, il devait exister des causes locales à la rareté du poisson (détérioration de l'écosystème, surpêche), ou si elles avaient un caractère aléatoire, et alors les disparitions n'indiquaient pas forcément une diminution de l'espèce et elles étaient dues à des causes d'ordre plus général. Le caractère obligatoire restait à prouver et l'aspect erratique des fluctuations d'abondance représentait en lui même l'aléatoire.

Les conditions météorologiques, explication naturelle la plus immédiate, fut celle sur laquelle les scientifiques furent toujours unanimes jusqu'à ce que, ce fait acquis, des recherches plus exactes sur la biologie les occupent pleinement.«Il est hors de doute que le jour où le problème de la sardine sera scientifiquement résolu, c'est à dire le jour où on connaîtra, de façon très précise, les lois physiques, météorologiques et thermiques auxquelles l'espèce obéit dans ses migrations, il sera possible de retrouver et de capturer les bancs dans les régions où les ont poussés les nécessités de l'alimentation ou de la reproduction.» (Ropers, 1906).

En 1876 déjà, Launette s'interrogeant sur les fluctuations d'abondance incriminait les vents du nord-est et pensait que par l'étude des vents il serait possible de prévoir l'abondance de la pêche. Les vents ont une action trophique, conjointement avec les courants ils transportent la nourriture, pour lui, la laitance de morue. On constata que la disparition de la sardine coïncidait avec les hivers froids, la persistance de certains vents froids (nord, nord-est) et son apparition avec d'autres types de vents (ouest, sud-ouest) qui soulèvent les eaux et apportent le «lardin»: eaux grasses particulièrement favorables. Il apparut que la sardine était très sensible aux variations de température et que son exode dans les profondeurs était dû à la nécessité de rester dans des

eaux de températures modérées relativement constantes [13]. Elle arrivait aux rivages, à la recherche de nourriture, lorsque la température des eaux de surface lui était convenable. Certains pensaient que les températures froides influaient directement sur la ponte ou indirectement en faisant disparaître les éléments nutritifs. Les courants marins dont on pensait qu'ils avaient dévié furent aussi un facteur mis en cause par leur contribution au refroidissement des eaux. A cette hypothèse, un précédent donnait du poids.«Il y a quelques années, les savants se trouvèrent dans une situation analogue en Norvège: la morue avait disparu. A la suite de recherches scientifiques, on put déterminer les températures et les courants sous-marins indispensables à ce poisson et, comme sa disparition s'expliquait par la déviation de ces courants, on arriva, en retrouvant les courants, à rejoindre les bancs de morue eux-mêmes» (Ropers, 1906). Cette explication fut vite déconsidérée (Hautreux, 1906) [14].

En 1896, Fabre-Domergue et Bietrix établirent que la sardine de dérive était la forme adulte de l'espèce et donc que la ponte devait s'effectuer dans les eaux littorales [15]. Ils corroboraient les travaux de Roche (1894) qui, ayant pu capturer des alevins, pensait que la sardine passait toute son existence sur le plateau continental et non loin des côtes. L'idée jusqu'alors hypothétique des races locales et de la sédentarité des sardines était confirmée. Il était alors possible et «...urgent de savoir si l'irrégularité des rendements de la pêche est le résultat comme certains l'affirment sans preuve de l'action de l'homme ou échappe à son influence» (Odin, 1896). Les recherches sur la reproduction de l'espèce donnèrent lieu à une controverse de plusieurs années entre les partisans des oeufs flottants (Marion, Raffaele en Méditerranée) et les partisans des oeufs coulants (Pouchet, Vaillant, Henneguy dans l'Atlantique). Cette question de la flottaison des oeufs apporta de nouveaux arguments aux causes attribuées à la rareté du poisson. Pour Pouchet, les oeufs tombaient au fond des eaux et trouvaient refuge dans les herbiers où ils se développaient. La coupe des goémons et les arts traînants, traditionnellement accusés de dévastation, trouvèrent de nouveaux plaignants réclamant l'application stricte des interdictions. Les travaux plus poussés de Cunningham tranchèrent pour les oeufs flottants. On pouvait donc, pour cet aspect, établir l'innocuité des arts traînants. Le vent trouvait un nouvel effet à son action: il disperse les oeufs flottants, les transporte au large.

Dans le même temps, les recherches sur la nourriture de la sardine étaient nombreuses. On cherchait à savoir si les pêches côtières détruisaient quelque espèce ou pâturage spécial à son alimentation. La grande variété des contenus stomacaux permit de dire que la sardine n'avait pas de préférence particulière qui eût pu l'attirer spécialement près des côtes et que de l'abondance de telle ou telle pâture dans les eaux on ne pouvait pas induire la présence de la sardine. La sardine se nourrissait de petits animaux ou végétaux pélagiques soumis à l'action des vents mais on avait aussi trouvé dans ses aliments des petits animalcules vivant dans les herbiers et les fonds rocheux qu'il fallait donc protéger.

Mader (1909), dans un travail plus tardif, voyait dans les vents selon leurs forces et leurs directions la principale cause d'apparition ou de disparition de la sardine [16]. Pour lui, il existait des centres intenses de formation planctonique et des régions totalement dépourvues. Les vents d'une direction spéciale déterminaient les apports planctoniques les plus riches et l'apparition de la sardine. Elle se déplaçait vers les fonds à la recherche de conditions plus stables et plus favorables fuyant les variations de température trop amples et les turbulences trop fortes dues à l'action des vents, fuyant aussi la violence des orages. D'autres chercheurs ont également souligné la grande sensibilité des sardines aux phénomènes électriques (Bounhiol, 1914).

Si, à l'évidence, la sardine était moins disponible, cela ne signifiait pas, à la différence de certaines espèces démersales, qu'elle était moins abondante. La question était cependant posée. «A ce point de vue de notre travail, nous avons à envisager l'éventualité d'une dépopulation progressive et possible de nos côtes par l'emploi d'engins trop perfectionnés. D'excellents esprits pensent qu'une opinion solidement motivée est impossible à formuler en l'état actuel de la science» .

On ne pouvait accuser la pêche d'extermination si la sardine était seulement moins disponible. Quelques causes la faisaient fuir (le bruit des vapeurs, les conditions météorologiques) ou ne l'attiraient plus (problème trophique). C'était également la faible capturabilité avec les engins employés qui était en cause. «La sardine est là mais elle ne travaille pas » observaient souvent les pêcheurs. Souvent aussi, on la voyait plus au large hors d'atteinte des chaloupes sardinières.

Dans l'hypothèse d'une baisse d'abondance, les scientifiques penchèrent pour les explications climatiques. La pêche exerçait peu de dégâts sur les oeufs flottants ou la nourriture pélagique. On rappelait l'énorme fécondité de ces poissons mais surtout, s'il y avait extermination progressive par les pêches, comment expliquer en pleine crise l'apparition soudaine d'années d'exceptionnelle abondance ?

Certains savants donnèrent pour cause de la crise l'insuffisance de la pêche en rendement et non pas le manque, même réel, de sardine. La plupart préconisèrent alors comme remède l'emploi des filets tournants plus productifs, plus économiques et dont on avait, après discussion sur leur nocivité, réglementé les dimensions et la taille des mailles.

Ceux-là mêmes tenaient cependant à se démarquer des idées d'Huxley et reconnaissaient par ailleurs les ravages du chalutage intensif dont les sennes non sélectives capturaient nombre d'immatures et de prises accessoires rejetées à la mer.

Ils réclamaient la constitution de commissions internationales chargées d'établir des règlements et d'en assurer la surveillance .

Alors que les journaux et des études économiques témoignent de la persistance de la crise jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, Hoeck, dans son rapport pour le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (1913), signale les travaux de Odin en 1908 et Mader en 1909 comme les deux derniers en France sur la question des fluctuations de sardines. Cette flambée de recherches commandées par les autorités administratives pour résoudre la crise de l'industrie sardinière et statuer sur le conflit entre pêcheurs et usiniers s'éteignit soudainement en plein milieu d'un débat animé laissant les interrogations en suspens.

RÉGLEMENTATION DES ENGINS DE PÊCHE: LA GESTION DES CONFLITS

L'avis et les recommandations des scientifiques n'eurent pas raison de l'opposition des pêcheurs bretons qui firent interdire les engins perfectionnés pendant plus de cinquante ans.

Les premières sennes, trop grandes, étaient accusées de traîner sur les fonds, de trop pêcher, d'être non sélectives, d'entasser et d'abîmer le poisson, de mettre les bancs en fuite en faisant trop de bruit. Les améliorations apportées: réduction de taille, réglementation du maillage, installation de flotteurs, permettaient de rejeter tous ces arguments hostiles. Les véritables motifs furent alors ouvertement exposés dans la guerre des sennes qui, particulièrement lorsque la pêche était déficitaire entre 1902 et 1913, opposa pêcheurs sardiniers et usiniers et imposa l'interdiction des sennes.

Les pêcheurs craignaient que l'abondance de ces prises entraînat l'avilissement des prix et pour eux cette réforme ne profitait qu'aux usiniers. L'autolimitation pour maintenir les prix du marché était déjà une pratique courante chez les pêcheurs organisés. Lorsque la pêche était importante, un nombre de sorties limité et un quota de capture étaient attribués par bateau pour s'ajuster à la capacité d'absorption des usines.

Les pêcheurs estimaient aussi que les sennes étant très productives, un petit nombre de ces engins suffirait à saturer le marché, réduisant ainsi un grand nombre de pêcheurs au chômage.

Enfin la senne coûtait trop cher, tous n'y avaient pas accès et cela introduirait discrimination et discorde parmi les pêcheurs. Les propriétaires de filets ordinaires qui, en plus des dépenses de rogue, avaient des rendements 6 à 8 fois inférieurs aux sennes tournantes ne pouvaient supporter cette concurrence (Gerville-Reache, 1888). La pêche sardinière deviendrait fatalement le monopole des familles les plus riches. Les pêcheurs préféraient capturer moins de poisson mais que tous puissent en avoir à des prix plus rémunérateurs.

Jusqu'à la Première Guerre mondiale, les usines étaient le seul débouché des pêcheurs. La pratique de l'abonnement (affiliation des pêcheurs à une usine donnée) était en vigueur dans de nombreux ports. Les pêcheurs recevaient un jeton pour chaque caisse de sardines apportée. Les réglements se faisaient en fin de semaine par les usiniers en fonction de la cherté de la rogue et des quantités débarquées [17]. Ils avaient été très marqués par le fait que les années de bonne pêche (1898) les avaient laissé dans la même misère que les années de pêche déficitaire (1894, 1899). L'expérience leur avait montré qu'une pêche médiocre était de meilleur rapport (Le Gall, 1904; Le Bour, 1910). Les pêcheurs avaient aussi intérêt à limiter le temps de pêche et les captures pour arriver au port en début de vente lorsque la demande était plus élevée. Ils craignaient par dessus tout le moindre engorgement des usines qui les obligeait au rejet des captures en mer. Cette situation était toujours source d'émeutes.

Les usiniers, qui avaient perdu la maîtrise des prix de la conserve et une grande part de leur marché, ne pouvaient supporter à la fois la baisse des apports et la hausse du prix du poisson qui entravaient leur capacité à se maintenir en activité face à la concurrence. Ils souhaitaient au moins pouvoir travailler à plein rendement pendant la saison de pêche qui en France ne durait que six mois. Ils réclamaient que l'utilisation des filets tournants soit permise lorsque la pêche aux filets droits donnait de mauvais résultats. Mais toutes ces années de pénurie les avaient amenés à réduire leur capacité de traitement et pêcheurs et usiniers s'accusèrent mutuellement de malthusianisme [18].

«On doit d'abord se demander si lorsqu'on se plaint de l'appauvrissement des fonds de pêche, on n'exagère pas un peu puisque dès que le poisson redevient abondant, son prix s'abaisse de telle sorte que le produit n'augmente pas et même qu'il diminue parfois»(La Pêche Maritime, 31 mars 1931, p.473).

LA CRISE SARDINIÈRE: UNE CRISE DE RÉGULATION

La raréfaction du poisson qui focalisa l'attention aux premiers temps de la crise passa par la suite au second rang dans les discours.

En 1906, Fabre-Domergue, inspecteur général des Pêches maritimes, reconnaissait la disparition à peu près totale de la sardine sur les côtes, mais considérait cependant «la crise actuelle comme une crise purement économique devant sa gravité à l'entrée en scène des produits espagnols et portugais qui, par la régularité de leur apport sur le marché, ne permettent plus à l'industrie française de compenser les années maigres par les années grasses dont l'alternance avait toujours été constatée jusqu'à présent»(ministère de la Marine, 1908).

La crise sardinière, dont les journaux se firent l'écho au début du siècle, retrace surtout les affrontements dont les plus graves éclataient précisément lorsque la sardine était plus abondante. On parla, dès lors, de crise de surproduction (1909) puis plus justement de crise de débouché (1931).

Différents événements permettent de situer l'évolution de cette crise qui trouva sa solution finale avec la diminution très importante du nombre de pêcheurs sardiniers, la diversification des activités de pêche, le développement du mareyage et de la consommation du poisson frais.

Le premier est d'ordre institutionnel: la suppression de l'abonnement et la contractualisation des relations entre pêcheurs et usiniers. Il marque une rupture dans la manifestation de la crise par l'institutionnalisation du rapport de force, le développement du syndicalisme et la politisation du conflit.

Les bonnes années qui suivirent la première série de pêches déficitaires (1880-1882 puis 1884-1887) permirent à l'industrie de retrouver sa place sur les marchés mais améliorèrent très peu le sort des pêcheurs. A partir de 1902, une nouvelle pénurie de sardines amena la famine dans de nombreux ports. Lorsqu'en 1909 la pêche s'annonça à nouveau bonne, les pêcheurs, au côté des ouvriers, commencèrent à entrer en révolte contre les usiniers, réclamant le maintien des prix, l'achat de toutes leurs prises et la suppression de l'abonnement. Ils limitèrent leurs apports non plus seulement pour s'ajuster au marché mais pour faire pression sur les usiniers. Pêcheurs et usiniers usaient alors alternativement de rétorsion. Les uns refusaient d'acheter pour faire baisser les prix, les autres refusaient de pêcher et empêchaient l'approvisionnement des usines. Le bras de fer avec les usiniers qui avaient des difficultés à vendre leur production trop onéreuse aboutit en 1913 à la menace de fermeture de 116 usines.

Un arbitrage gouvernemental permit d'établir un compromis entre pêcheurs et usiniers (La Pêche Maritime, 1934, n.738).

L'abonnement fut supprimé. Les fabricants s'engageaient à respecter un prix minimum fixé pour chaque taille de sardine et à déclarer chaque jour pour le lendemain les quantités qu'ils étaient prêts à acheter.

Les pêcheurs s'engageaient à faire le maximum pour apporter les quantités demandées en utilisant au besoin et par dérogation les filets tournants.

Une commission mixte où siégeaient à parité des représentants des pêcheurs et des fabricants était chargée de la fixation du prix minimum et de surveiller la mise en oeuvre de l'accord. Les pêcheurs n'utilisèrent pas les filets tournants et les usines ne furent que faiblement approvisionnées.

Entre les deux guerres, la pratique des contrats reprit. Le mareyage se développant, les accords comprenaient l'obligation de livrer aux usines un certain pourcentage des captures à un prix fixe révisable tous les mois ou tous les quinze jours (La Pêche Maritime, 1928, n.513). Chaque année, les négociations furent toujours longues et difficiles. La dénonciation des accords fut source fréquente d'affrontements. Les grandes grèves de pêcheurs en 1909, 1913, 1926-1927, 1934-1935 paralysèrent la Bretagne et dans une mesure moindre la Vendée [19]. L' armée fut envoyée dans les ports pour contenir la violence et l'intervention des puissances publiques fut chaque fois nécessaire pour trouver un accord.

La crise se manifesta dans la systématisation des conflits.

Enfin c'est l'évolution économique et politique d'après guerre: modernisation, développement de l'interventionnisme d'Etat et crise économique mondiale qui marqua également l'évolution de ce secteur.

De 1902 à 1913, la pénurie de sardines puis l'affrontement avec les pêcheurs qui limitèrent leurs apports porta un grave coup à l'industrie.

A partir des années vingt, le fait le plus important fut le développement du mareyage avec, sous la pression des professionnels, la modification des tarifs de transport de la marée, l'amélioration des horaires, des conditions de transport et du réseau de chemin de fer, la suppression des droits d'octroi. Dans le même temps, dans le but de lutter contre la vie chère et de pallier la crise du bétail, le gouvernement avec l'aide des professionnels mena sur tout le territoire une intense campagne de propagande pour la consommation du poisson: conférences, campagnes publicitaires, semaines du poisson, concours culinaires, distribution dans les hôpitaux et dans les armées. A l'instar de la Grande-Bretagne, des friteries (débits de poisson frit) furent implantées dans toute la France à partir de 1923. Ces années furent aussi marquées par l'apparition progressive des frigorifiques, l'Etat construisit le premier à Lorient en 1921.

La concurrence du mareyage, la hausse générale des prix et des salaires mit encore à mal l'industrie qui ne put qu'artificiellement, grâce à la dépréciation de la monnaie française, conserver sa petite part de marché pour des produits de qualité. A la concurrence de l'Espagne et du Portugal était venue s'ajouter celle des Etats-Unis, du Maroc et du Japon.

La crise économique mondiale de 1929, la baisse de la consommation, le renforcement du protectionnisme, le réajustement des monnaies lui fit totalement perdre ses débouchés, y compris sur le marché français désormais approvisionné par l'étranger malgré le renforcement des protections douanières en 1931, 1933 et 1934.

En 1935, le produit des taxes d'importation sur les conserves de poisson fut destiné à subventionner l'industrie sardinière pour qu'elle maintienne ses achats. Les stocks invendus furent achetés par l'Etat et redistribués dans le programme d'aide aux chômeurs. L'industrie sardinière était moribonde, la crise toucha l'ensemble de la pêche maritime française. Englobée dans la crise économique générale, la crise sardinière avait franchi un nouveau stade où l'appauvrissement des fonds de pêche était de peu d'effet.

CONCLUSION

L'exposé de ces premières analyses de la fluctuation des espèces pélagiques peut paraître désuet. Il est cependant intéressant de les remettre au jour à un moment où les recherches les plus actuelles reprennent les mêmes idées. Les biologistes spécialistes de ces espèces ont un nouvel intérêt pour la variabilité naturelle et pour l'étude de l'impact des facteurs environnementaux sur les fluctuations de stock. Cette approche est considérée comme novatrice par rapport à la théorie des pêches qui domine depuis les années cinquante où, pour des raisons pratiques et opératoires, seule la phase

recrutée était prise en compte, le recrutement et l'effet de l'environnement étant considérés comme moyennement invariants (Troadec, 1988).
L'histoire de cette crise montre par ailleurs l'impact des fluctuations de production sur l'environnement économique. L'irrégularité de production rend difficile le maintien et le développement du marché qui justifie cette production.
Si on peut imputer l'origine de la crise sardinière à la pénurie de sardine c'est surtout en tant que détonateur de la rupture d'un équilibre fragile entre pêcheurs et des usiniers pris dans une relation de dépendance aux intérêts antagoniques. Dès lors, ce fut précisément l'abondance qui fut redoutée et combattue par une réduction de l'effort de pêche concourant par là même à l'amplification du déséquilibre. Enfin, cela montre qu'il convient d'être circonspect dans l'utilisation des séries longues de capture comme indice du niveau des stocks; celles ci, indiquant également le comportement des pêcheurs, reflètent aussi l'état du marché.

NOTES

(1) Alors qu'en France la pêche était saisonnière, elle était annuelle en Espagne et au Portugal, d'un rendement plus régulier et plus abondant. Le rapport entre bonnes et mauvaises années était de 1 à 16 en France, de 1 à 1,4 en Espagne et au Portugal (Fage, 1920). D'implantation plus récente, l'industrie concurrente bénéficia du modernisme et aussi de salaires plus faibles. En France, les premiers essais d'introduction du machinisme en 1902 provoquèrent des émeutes ouvrières et durent être abandonnés (Ropers, 1906). Dans la perspective d'une bonne année de pêche, la tentative d'installer des sertisseuses mécaniques fut faite à nouveau en 1909. Jusqu'à la signature d'un accord préservant l'emploi et certains avantages aux ouvriers, de violents affrontements eurent lieu nécessitant l'envoi des contingents de l'armée. Les pêcheurs solidaires des ouvriers boycottèrent les usines outillées et se mirent eux aussi en grève. Ce conflit paralysa les ports bretons pendant la moitié de la saison de pêche (Perard, 1910; Villiers, 1910; Cadoret, 1912) Durant la guerre, l'interdiction d'exporter permit à l'industrie étrangère d'assurer son développement et sa position sur le marché. Pour les différences de coûts de production, voir aussi ministère de la Marine, 1908; Ouizille, 1926; La Pêche Maritime, 1933, n.725.

(2) D'après Thomazi (1947) l'utilisation de l'appât pour la pêche de la sardine apparut au dix-huitième siècle. Mais Seilhac (1903) présente un texte daté de 1658 attribuant les premières concessions pour l'exportation en France de la rogue norvégienne. On pensait que la sardine vivait au fond des mers dans les herbiers. On prit l'habitude d'appâter pour faire lever le poisson et le capturer en surface au lieu d'utiliser les filets de fond qui ravageaient son environnement (Duhamel du Monceau, 2ième partie, 3ième section, 1769). C'est l'impossibilité d'importer de la rogue pendant la Seconde Guerre mondiale qui mit fin à cette pratique. La rogue de morue norvégienne avait supplanté les appâts autrefois utilisés: gueldre, résure, petites crevettes pilées, larves de poissons. Quelques marchands de Bergen coalisés accaparèrent le monopole de ce commerce. Les 9/10ième de leurs exportations étaient destinés à la France. Les seuls pêcheurs bretons en consommaient pour 6 millions de Francs annuellement. Conjointement aux faibles prises, les pêcheurs eurent à subir une augmentation considérable du prix de la rogue. Des recherches furent commandées par le Gouvernement pour mettre au point des succédanés: mixture de farine d'arachide, de déchets de poisson, de sauterelles pilées mais ces «similirogues» n'eurent aucun succès. Egalement, des essais d'organisation coopérative, syndicale ou étatique furent faits pour tenter de lutter contre la mainmise des négociants de Bergen sur ce marché (Anonyme, 1864, Berthoule, 1887, Ropers, 1906, Le Gall, 1904, Seilhac, 1903, ministère de la Marine, 1908, Le Bour, 1910, Cadoret, 1912, Gueffier, 1927, Grouhel, 1944).

(3) Dimensions données par Gerville-Reache (1888) et reprises par Fabre-Domergue et Potigny dans leur rapport au ministre de la Marine (1888). D'autres auteurs donnent des dimensions différentes Berthoule (1887), Le Goffic (Collectif, 1913). Pour l'exposé de la loi du 9 juillet 1852 et du décret de 1862 la libéralisant, voir Roche (1898) et Gerville-Reache (1888).

(4) Sous le même sigle, le Comité Central des Pêches Maritimes sera créé en 1938 lors de la réorganisation professionnelle des pêches maritimes.

(5) A la fin du 19e siècle, lors de l'implantation de l'industrie sardinière en Espagne et au Portugal, ces pêcheurs reprirent les techniques de pêche française et utilisèrent de la rogue avec les sennes. Ils abandonnèrent assez vite ce produit trop coûteux. Pour une présentation des différents engins de pêche employés en Espagne et au Portugal, voir le rapport sur ce sujet de Fabre Domergue et Potigny au Ministre de la Marine (1908).

(6) D'après Cligny, le premier texte qui réglemente spécialement la pêche de la sardine pour toutes les côtes de France est l'ordonnance de la Marine de 1681 «art.11: Permettons de faire la pêche de la sardine avec des rets ayans mailles de quatre lignes en quarré et au-dessus - art.12: Faisons défense aux pêcheurs d'employer de la résure pour attirer la sardine qui n'ait été visitée et trouvée bonne, à peine de 300 livres d'amendes». Mais déjà plusieurs règlements en 1458, 1554, 1564, 1565 avaient été édictés pour la Méditerranée, tantôt pour autoriser, tantôt pour interdire l'emploi du filet sardinal qui soulevait des conflits chez les pêcheurs.

(7) «Je conviens qu'il doit arriver aux poissons comme aux animaux terrestres que certaines années soient plus favorables que d'autres à leur production et à leur accroissement sans qu'on puisse en assigner précisément la cause. Ces vicissitudes qui se remarquent aussi sur les insectes doivent se rencontrer chez les poissons qui peuvent encore être comme les autres animaux, sujets à des épidémies qui en fassent mourir beaucoup. Mais comme ces circonstances nuisibles ou avantageuses ont probablement toujours été les mêmes, il n'en peut résulter qu'une disette passagère. Ce n'est heureusement pas à des causes qui tiennent au système de l'univers qu'on doit attribuer la stérilité du poisson sur nos côtes: je dis heureusement parce que si la disette du poisson dépendait de pareilles causes on ne pourrait y apporter aucun remède. Cherchons donc ce qui peut occasionner la rareté du poisson qu'on remarque depuis dc nombreuses années. Il est certain que les poissons doivent plus prospérer aux endroits ou ils trouvent beaucoup de nourriture et que cette circonstance les engagera à s'y rassembler. Ainsi en détruisant sur nos côtes beaucoup d'insectes et de petit coquillages qui s'élèvent du fond de la mer, on fait une déprédation considérable de la nourriture des petits poissons dont une partie cherche une côte qui lui soit plus avantageuse et ceux qui resteront dans les parages dévastés y prospéreront moins bien. Or il est sensible que le bouleversement des fonds détruit les coquillages et les insectes: voilà déjà une cause de destruction du poisson. Joignons à cette cause de la destruction du poisson, qui dépend du retranchement de sa nourriture celle du poisson même. Les poissons du premier âge se retirent, comme nous l'avons vu dans les bancs de varech, dans les anses et sur le fond de la mer pour éviter la violence du courant qui les fatigue. On ne peut en douter puisque avec les filets qu'on traîne sur le fond de la mer on en prend une quantité très considérable que les pêcheurs jettent sur le rivage. Il est encore certain qu'une grande quantité de cette menuise, qui est trop faible pour résister aux courants est emportée par la marée montante et descendante puisqu'il en reste une quantité considérable dans les guideaux, les étentes, les parcs qu'on en emplit des tonnes pour

faire de la résure, qu'on en fume les terres, qu'on en engraisse les canards ou qu'on en nourrit les cochons. Quelle énorme destruction d'une matière aussi précieuse!». «On a voulu remédier à ces inconvénients en fixant la largeur des mailles mais pour peu qu'on y réfléchisse on s'apercevra que ce moyen ne peut produire aucun effet à l'égard des filets qu'on traîne..» (Duhamel du Monceau, 1ère partie, 3ième section, 1769).

(8) Les règlements qui concernent l'exercice de la pêche sont cependant moins nombreux que ceux qui, à dessein de protéger la pêche, en réglementent le commerce. Les importations ont été régulièrement taxées, contingentées ou interdites. L'interdiction touche aussi, dans certaines circonstances, les exportations (Berthoule, 1887; Cligny,1913; Le Gall, 1904; Gueffier, 1927; Ouizille, 1926).

(9) Les pêcheurs protestaient contre le développement des pêches intensives avec «le chalutage à vapeur». C'était à ces nouveaux procédés de pêche qu'ils attribuaient l'épuisement des zones littorales. Ils protestaient aussi contre l'introduction et la concurrence du capitalisme dans la pêche. En 1906, il y avait 3000 bateaux à vapeur en Angleterre, 150 en Allemagne et 50 en France et en Espagne. (Ropers, 1906).

(10) Jusqu'alors, si on accusait la pêche de baisse de rendement c'était essentiellement dans une vision statique par son effet sur le recrutement. La première approche en terme de dynamique et d'équilibre, base de la théorie moderne des pêches, fut justement celle qui porta la thèse de l'inépuisabilité. «Une sorte d'équilibre assigne à chaque espèce vivante, sur la planète, un nombre moyen d'individus dont elle ne peut plus s'écarter sensiblement, précisément parce qu'il résulte de milliers de siècle de concurrence vitale et de la lutte contre les agents de destruction bien autrement puissants que tous les navires de pêche de la terre. Ce n'est pas en quelques années que l'homme a le pouvoir de troubler cet équilibre.» (Pouchet, 1888).

(11) 1- Extension de la pêche de la sardine sur les côtes ouest de la péninsule ibérique.

2- Emploi abusif du chalut et des dragues de toutes natures.

3- Destruction des bancs par les animaux voraces: squales, marsouins, merlus, goélands, etc; (on employa plusieurs moyens pour détruire ces prédateurs, et même certaines années l'artillerie et les torpilleurs de la Marine nationale (Ropers, 1906, Ouizille,1926).

4- Passage fréquent des bateaux à vapeur; (le bruit qu'ils faisaient mettait les bancs en fuite).

5- Déplacement des branches du Gulf Stream.

6- Emploi des grandes sennes Belot et Eyraud.

7- Persistance des vents froids et hivers rigoureux.

8- Capture de la sardine de dérive dite aussi sardine d'hiver et sardine coureuse.

9- Emploi de la rogue artificielle.

10- Coupe des herbes marines.

11- Extension de la pêche de la sardine sur nos côtes, augmentation du nombre des pêcheurs, pêches exterminatrices pratiquées à l'aide des grandes sennes.

(12) Dans le rapport dirigé par Gerville-Reache (1888), Vaillant et Henneguy ayant constaté des différences d'aspect entre les sardines prises à différents endroits émettaient l'hypothèse que les sardines devaient rester dans les mêmes parages et revenir là où elles avaient pris naissance. En 1904, Kunstler à l'encontre de la théorie des grandes migrations affirme: «on a pu établir notamment qu'il existe des races locales à caractères propres et différentiels non douteux, d'une façon assez nette pour qu'on puisse en déduire qu'il n'y a aucun déplacement d'une région à une autre». Hoeck écrit en 1912: «Il ne semble plus douteux que ce sont des bandes spéciales qui visitent les côtes françaises plus méridionales et d'autres qui viennent vers celles de la Vendée, de la Bretagne, etc..Chaque région a ses sardines à elle et que la manière spéciale dont elles s'y présentent fait partie de leurs propriétés caractéristiques. Pour moi, ce sont des formes locales et spécifiques qui habitent les différentes régions de l'Atlantique». Il semble que ce soit Fage (1920) qui, dans le but de distinguer la sardine française des pseudo-sardines étrangères qui leur faisaient concurrence, ait fait le premier travail d'étude systématique par comptage des vertèbres. Il démontre l'existence de trois races: la race française, la race anglaise et les races espagnole et portugaise. A la première Conférence internationale de la Sardine en 1930, les experts harmonisent leurs techniques d'étude biométrique et De Buen annonce la présence de trois races seulement dans l'Atlantique: race méridionale, race du golfe de Gascogne, race de la Manche. A la deuxième Conférence tenue à Biarritz en 1948, on s'accorde pour parler de populations géographiques. On abandonne la volonté de définir espèces et sous-espèces. On trouve trois populations: la population celtique,la population cantabérique et une population mixte atlantique méridionale, atlantique septentrionale.

(13) Les observations permirent d'établir que la sardine vivait entre 12°C et 18°C (Mader, 1909). On recommanda aux pêcheurs, comme cela se pratiquait pour la morue et le hareng, de pêcher au thermomètre.

(14) Les recherches scientifiques avec campagnes de mesures en océanographie physique commençaient à se faire. On pensait que le réseau des courants marins, particulièrement le Gulf Stream et son «défluent» le Renell qui réchauffait les côtes bretonnes s'était déplacé. Pour l'ingénieur Blavier, ceci était dû à une accumulation d'icebergs au pôle Nord qui perturbait tout le système des courants. Pour Albert de Monaco, les éruptions terrestres et sous-marines de la Martinique et de St-Vincent étaient en cause. L'explication du rôle des grands courants marins dans la disparition des sardines resta très conjecturale. Mais par contre l'influence des divers courants d'eaux de surface et de fond sur les déplacements de la sardine était plus sérieusement prise en compte dans les études sur le comportement de ce poisson (Odin, 1897; Mader, 1909).

(15) Coste avait été chargé d'étudier cette question en 1872. Après un an de travail, il fut amené à conclure que la sardine de dérive n'était pas exclusivement la sardine mère et qu'il n'y avait donc pas lieu d'interdire cette pêche (Gerville-Reache, 1888). Cet avis fut maintenu même après les résultats contradictoire de Fabre-Domergue.

(16) Mader semble être, parmi les chercheurs de son époque, celui qui ait fait les travaux les plus approfondis sur les facteurs physiques et climatologiques. Mais il faisait partie aussi des très rares chercheurs qui s'élevaient contre la généralisation de la pêche aux filets tournants qui, selon lui, pouvait entrainer la rareté du poisson. Les sardines sur le point de se reproduire sont insensibles à l'appât. L'intérêt de la pêche traditionnelle à la rogue est de préserver cette classe de reproducteur.

(17) L'unité de vente était le «mille de sardine»,un prix était fixé pour chaque moule (taille) de sardine. Le comptage se faisait par caisses de 200 ou 500 sardines. Lorsque l'abonnement fut aboli en 1913, les fabricants essayèrent d'introduire la vente au poids, d'abord en Vendée, plus tardivement en Bretagne.

(18) Ces accusations étaient fréquentes pendant les années vingt où l'inflation devint extrêmement importante. Tous devaient se mobiliser contre la vie chère et le déficit de la production alimentaire. En 1926, le comité technique de l'alimentation fit voter une loi contre la destruction volontaire des denrées alimentaires. Les pêcheurs qui rejetaient leurs prises en mer pour maintenir les cours du poisson étaient passibles de huit jours à un an de prison et de 100 à 10 000 francs d'amende. La même année, les exportations de poissons étaient interdites. De véhémentes protestations permirent l'annulation de cette interdiction dont on reconnut l'inefficacité à faire baisser les prix.

(19) Outre les conflits entre pêcheurs et usiniers, d'autres faits, toujours liés à l'abondance de sardine, décidèrent des grèves de 1926-1927.
En 1923, les usiniers des Sables-d'Olonnes, pour assurer leur approvisionnement, armèrent à leur compte deux bateaux à vapeur pour la

pêche de la sardine. Plus tard lorsqu'ils voulurent développer l'expérience, de nombreuses rixes eurent lieu avec les pêcheurs qui y voyaient une tentative d'industrialisation de la pêche par les fabricants. La société d'armement «Vendée-Bretagne» dut être dissoute (La Pêche Maritime, 1926, n.400).
Certains pêcheurs bretons, de Douarnenez particulièrement, avaient pris l'habitude de migrer saisonnièrement pour pêcher la sardine en Vendée et jusqu'à St-Jean de Luz. Dès que le marché présentait des signes de saturation,de violentes bagarres éclataient entre pêcheurs saisonniers et pêcheurs locaux. L'accord de Paris en 1927 réglementa les droits et devoirs de ces deux catégories de pêcheurs (La Pêche Maritime, 1927, n.466, 1928, n.513).

BIBLIOGRAPHIE

Ces ouvrages peuvent être consultés soit:
- à la Bibliothèque Nationale à Paris;
- à la bibliothèque centrale ou à la bibliothèque du laboratoire des Pêches du Museum d'Histoire Naturelle à Paris;
- à la bibliothèque de l'IFREMER à Nantes.

• Anonyme. 1864. De la pêche de la sardine et des industries qui s'y rattachent par un pêcheur de Quimperlé, 54p.

• Baudouin, M. 1893. L'industrie de la sardine en Vendée. Revue des sciences naturelles de l'ouest, t.III, n.4, oct-dec., 289-336.

• Benard, M.C.et M.J. Kunstler. 1903. Rapport sur la question de la sardine. Chambre de Commerce de Bordeaux, 16p.

• Berthoule, A. 1887. Les migrations sous-marines (sardines). Bulletin de la société nationale d'Acclimatation., février, 14p.

• Bouchon-Brandely, 1887. Rapport au ministre de la Marine sur la crise de la sardine. Journal Officiel, 12 et 13 juin, 51p.

• Bounhiol, J.P. 1914. Notes biologiques sur la sardine algérienne. Vième congrès des Pêches maritimes, 1ère section, 9p.

• Bounhiol, J.P. 1914. De l'influence de quelques facteurs physiques (température, tension électrique) sur les déplacements de la sardinc algérienne. Vième congrès des Pêches maritimes, 1ère section, 9p.

• Buen De, F. 1930. Fluctuations de la *Sardina pilchardus* (Walbaum) dans les côtes océaniques. Rapp. et P.V. CIEM., vol.LXV: 84-99.

• Cadoret, P. 1912. L'industrie sardinière en Bretagne. A.Rousseau (éd.), 174p.

• Cepede, C. 1907. Contribution à l'étude de la nourriture de la sardine. C.R.Ac.Sc., avril, 2p.

• Cepede, C. 1907. Quelques remarques sur la nourriture de la sardine. C.R.Ac.Sc., avril, 2p.

• Cligny, A. 1913. Sardines et pseudo-sardines, contribution à l'histoire de la pêche et de l'industrie sardinière. Ann.s.t.aquicole, t.III, 27p.

• Cligny, A. 1914. Documents relatifs à l'histoire de la pêche sardinière, Bull.Soc.Acclim., t.LXI, n.16, 513-531.

• Cloarec, P. 1913. Rapport sur la crise sardinière en 1912. Comité d'étude et de patronage pour l'amélioration du sort des marins pêcheurs., 17p.

• Collectif, 1913. Documents concernant la crise sardinière de 1903 à 1913 réunis par Louis Amieux, Nantes, 185p.

• Duhamel du Monceau, H.L. 1769-1782. Traité général des pesches maritimes, des rivières et des étangs et histoire des poissons qu'elles fournissent tant pour la subsistance des hommes que pour plusieurs autres usages qui ont rapport aux arts et au commerce. Paris.

• Fabre-Domergue, Bietrix, 1896. Sur l'existence et le développement des oeufs de la sardine dans les eaux de Concarneau. C.R.Ac.Sc., juin, 2p.

• Fage, L. 1920.- Rapport sur la sardine. OSTPM, Notes et Mémoires, n.1, 9p.

• Gerville-Reache (*et al.*), 1888. Rapport général au ministre de la Marine et des Colonies sur la pêche de la sardine. Revue maritime et coloniale, vol.XCVII, juin, 520-562, vol.XCVIII, juillet, 33-75.

• Giard, A. et G. Roche. 1895. Rapport au ministre de la Marine sur le service d'étude technique et de surveillance des pêches maritimes. Bull.Soc.Cent.Aqui., t.VII, 87-98.

• Grouhel, F. 1944. L'industrie sardinière en France et ses possibilités d'avenir. mimeo, 74p.

• Gueffier, A. 1927. Le problème sardinier sur les côtes vendéennes et bretonnes. Thèse de Doctorat, Faculté de Droit de l'Université de Paris, 87p.

• Guillou, E. 1873. Rapport sur la sardine à M.l'Amiral, Ministre de la Marine et des Colonies. Quimper, 8p.

• Hautreux, M. 1906. La sardine et le Gulf-Stream. Revue philomathique de Bordeaux et du sud-ouest, t.IX, janvier, 11p.

• Herubel, M. 1914. Documents sur la pêche sardinière. V^{e} congrès national des Pêches maritimes, 2ième section, pp.144-171

• Hoeck, P.P.C. 1913. Les clupéidés, le hareng excepté et leurs migrations (sardine). Rapp.et P.V.du CIEM., vol.XVI, oct., 68p.

• Launette, P. 1876. Considérations sur la pêche de la sardine. 16p.

• Le Bour, M.R. 1910. La pêche de la sardine en Bretagne. V^{e} congrès national des Pêches maritimes Sables-d'Olonnes 1909, Paris, Hôtel des Sociétés savantes, 20p.

• Le Gall, Th. 1904. L'industrie de la pêche dans les ports sardiniers bretons, crise et palliatifs. Rennes, 250p.

• Mader, C. 1909. Recherches sur la sardine du golfe de Gascogne. Bull. de la Station biologique d' Arcachon, t.XII, 125-276.

• Marion, M.A.F. 1891. Effet du froid sur les poissons marins. C.R.Ac.Sc., mars, 4p.

• Ministère de la Marine. 1908. Documents relatifs à la crise sardinière 1903-1907. Paris, librairie militaire Chapelot et Cie, 98p.

• Nielsen, L.A. 1977. The evolution of fisheries management Philosophy. Marine Fisheries Review, vol.38, n.12, dec., 15-23.

• Odin, A. 1894-1895. Recherches documentaires sur les pêches maritimes françaises;histoire de la pêche à la sardine en Vendée et sur les côtes les plus voisines. Revue des Sciences naturelles de l'ouest, t.IV,n.2,3,4,avr.-dec. 1894,137-184,t.V,n.1,janv.-mars 1895,65-92,t.V, n.2,3,4,avr.-déc.1895,157-214.

• Odin, A. 1896. Recherches sur les relations apparentes des rendements de la pêche de la sardine aux Sables-d'Olonnes(Vendée) avec les variations météorologiques survenues sur cette côte depuis 1871. Bull. Soc.Cent.Aqui., t.VIII, 173-197.

• Odin, A. 1897. Les besoins de l'industrie de la sardine. Paris, Institut international de Bibliographie scientifique, 11p.

• Ouizille, H. 1926. Les conditions actuelles des industries sardinières françaises et portugaises. Thèse de Doctorat, Faculté de Droit de l'Université de Paris, 196 p.

• Paulus, P.C. 1944. L'industrie des conserves de sardine en France, son origine, son évolution, son avenir. Paris, 84p.

• PECHE MARITIME (La). 1926. L'évolution de la pêche de la sardine et l'industrie des conserves de sardines sur le littoral français de l'Atlantique.,M.Guyader, n.399, 17 janvier, 33-35, n.400, 24 janvier,49-50,n.403,14 février,pp.97-99. Les alternatives de marasme et de prospérité de l' industrie sardinière avant la guerre., H.Ouizille, n.429, 15 août, pp.513-515. L'industrie sardinière subit une crise de quantité et de prix., H.Ouizille, n.430, 22 août, pp.529-530. La redoutable concurrence de la sardine portugaise., H.Ouizille, n.430,5 sept., pp.561-562. Etat actuel des principaux marchés extérieurs pour

la sardine française. H.Ouizille, n.433, 12 sept., pp.577-578, n.434, 19 sept., pp.595. Le syndicat des fabricants de conserves proteste contre le reproche de malthusianisme. n.447, 19 déc., pp.802.

• PECHE MARITIME (La). 1927. Les incidents sardiniers de 1926 et leur solution, n.466, 1er mai, pp.273-274. L'inévitable et long conflit sardinier, n.474, 26 juin, pp.401-402. L'état du conflit sardinier, n.475, 3 juillet, pp.421. La fin prochaine du conflit sardinier, n.476, 10 juillet, pp.436.

• PECHE MARITIME (La). 1928. Les résultats de l'accord entre les pêcheurs et les fabricants de conserves des Sables-d'Olonnes, n.513, 25 mars, pp.193-195. La sardine est vendue maintenant à l'encan à La Rochelle, n.525, 17 juin, p.387.

• PECHE MARITIME (La). 1929. L'éternel conflit sardinier, n.586, 18 août,513-514., n.587, 25 août, pp.529-530.

• PECHE MARITIME (La). 1933. Les moyens de parer à la crise sardinière et thonière, n.725, avril, pp.135-137.

• PECHE MARITIME (La). 1934. L'industrie de la conserve de sardines en France et à l'étranger, n.738, mai, pp.166-167, n.739, juin, pp.223-226. L'angoissante situation du port de St Jean de Luz, n.744, nov., p.444.

• Perard, J. 1910. La crise sardinière en 1909. Comité d'étude et de patronage pour l'amélioration du sort des marins pêcheurs, 26p.

• Pouchet, G. et J. de Guerne. 1887. Sur la nourriture de la sardine. C.R.Ac.Sc., mars, 3p.

• Pouchet, G. 1888. La sardine. Revue des Deux Mondes, t.86, 1er avril, 645-669

• Richard, A. de. 1903. Pourquoi la sardine disparaît-elle des côtes bretonnes. St Amand imp. Pivoteau, 16p.

• Reveret, J.P. 1987. Tiphaine de la Roche (1760), un précurseur de l'analyse des Pêches. Actes de la Conférence internationale sur les Pêches. Université du Québec à Rimouski, 10-15 août 1986, pp.491-497.

• Roche, G. 1893. La crise sardinière et les sciences biologiques marines. Revue générale des Sciences pures et appliquées, n.10, mai, 308-313.

• Roche, G. 1894. Note sur les conditions du développement de la sardine. Ann.des sc.nat.(zool.), t.XVI, mai, 4-6.

• Roche, G. 1898. La culture des mers en Europe. Paris, éd.F.Alcan, 328p.

• Roche, G. 1898. Les grandes pêches maritimes modernes de la France. Paris, Masson, 164p.

• Ropers, L. 1906. Exposition de la condition économique et sociale du pêcheur sardinier. Thèse de Doctorat, Faculté de l'Université de Paris, 287p.

• Sauvage, H.E. 1883. La grande pêche. Paris, éd. Jouvet et Cie,314p.

• Seilhac, L. de. 1903. La pêche de la sardine. Masson, Gauthier-Villars éd., Paris, 172p.

• Smith, H.M. 1901. The French sardine industry. Bull. U.S.F.C., 26p.

• Thomazi, A. 1947. Histoire de la pêche. Paris, ed.Payot, 631p.

• Troadec, J.P. 1988. «Why study fish population recruitment ?». *In* B.J. Rothschild (ed.). Toward a theory on biological-physical relationship in the world ocean. Kluwer Academic Publishers,pp. 477-500.

• Veron, L. 1887. Campagne des sennes à sardines en 1887: Pourquoi les pêcheurs repoussent ces engins. Quimper, 40p.

• Viel, C. 1985. Duhamel du Monceau, naturaliste, physicien et chimiste. Rev.Hist.Sci., 38, n.1, 55-71.

• Villiers, X. de. 1910. Un épisode de la crise sardinière en Bretagne: juillet septembre 1909. Thèse de Doctorat en Droit, Rennes.

II • LES FLUCTUATIONS DE L'ENVIRONNEMENT MARIN

Partie 1

Richesse et variabilité des upwellings.

3 • Les upwellings: le cadre physique des pêcheries côtières ouest-africaines.
CLAUDE ROY 38

4 • The influence of climatic changes on the coastal oceanography of Ghana.
MARTIN ALABI MENSAH 67

5 • Les sels nutritifs au voisinage de Dakar: cycle annuel moyen et variabilité interannuelle.
CLAUDE OUDOT et CLAUDE ROY 80

6 • Variations spatio-temporelles de la biomasse phytoplanctonique sur le plateau continental sénégalais.
DIAFARA TOURÉ
et ITAF DÉME GNINGUE 90

7 • Le zooplancton au Sénégal.
PAPA SAMBA DIOUF 103

8 • Dynamique du plancton dans les eaux côtières ouest-africaines : écosystèmes équilibrés et déséquilibrés.
DENIS BINET 117

9 • Quelques réflexions sur l'étude de l'environnement en vue d'analyser ses relations avec les ressources.
ALAIN HERBLAND 137

Partie 2

Mesurer les changements environnementaux.

10 • Dynamique de la zone intertropicale de convergence et climat des régions sahéliennes.
JEAN CITEAU, GIL MAHÉ
et HERVÉ DEMARCQ 141

11 • La variabilité des apports fluviaux au golfe de Guinée utilisée comme indice climatique.
GIL MAHÉ 147

12 • Variations spatiale et temporelle de la résurgence ivoiro-ghanéenne.
ROBERT ARFI, OLIVIER PEZENNEC, SOULEYMANE CISSOKO
et MARTIN A. MENSAH 162

13 • La variabilité des relations nitrate-température et nitrate-phosphate dans l'upwelling sénégalais.
CLAUDE ROY et CLAUDE OUDOT 173

3 • Les upwellings : le cadre physique des pêcheries côtières ouest-africaines

CLAUDE ROY
Océanographe ORSTOM, CRODT/ISRA, B.P. 2241 Dakar, Sénégal

RÉSUMÉ

Les résurgences d'eaux froides (upwelling), issues des couches profondes, le long du plateau continental constituent un des traits marquants de l'océanographie des zones côtières d'Afrique de l'Ouest. Après un rappel des caractéristiques d'un upwelling, quelques exemples permettent d'illustrer les effets de la composition des masses d'eau, de l'orientation du plateau continental, du brassage dû au vent sur les processus biologiques se développant dans ces upwellings. Les données météorologiques récoltées par les bateaux marchands le long du littoral ouest-africain sont utilisées pour établir une chronologie des upwellings côtiers de 1964 à 1988.

ABSTRACT

Upwelling of cold and nutrient rich water masses at the sea surface is one of the dominant features of the oceanographic regime off the West African coast. After a revue of the main properties of an upwelling process, the effects of the origin and composition of the upwelled water, of the orientation of the continental shelf and of wind mixing on biological processes in upwelling areas are investigated. The meteorological data collected by merchand ships along the West African coast are used to build a chronology of the coastal upwellings intensity from 1964 to 1988.

INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest, les ressources pélagiques côtières les plus importantes ont une caractéristique commune, elles sont situées dans des zones d'upwelling. Les upwellings constituent la principale source d'enrichissement des écosystèmes côtiers ouest-africains (fig. 1), mise à part la zone comprise entre la Guinée et le Libéria où les apports par les fleuves interviennent de façon significative dans le cycle saisonnier de la production (Bainbridge, 1960; Binet, 1983).

De nombreuses synthèses régionales présentant les caractéristiques physiques, chimiques et les traits majeurs de la production primaire ou secondaire des upwellings ouest-africains existent dans la littérature (Rossignol et Aboussouan, 1965; Rébert, 1983; Mittelstaedt, 1983; Gouriou, 1988; Binet, 1988). L'objet de cet article ne sera donc pas de présenter à nouveau une telle synthèse mais plutôt de mettre en évidence quelques caractéristiques importantes des upwellings et quelques résultats originaux présentant un intérêt pour explorer l'impact du milieu sur les ressources et leur exploitation.

Définir les traits caractéristiques d'un upwelling sera le premier point que nous aborderons. A cette fin, le modèle d'Ekman sera brièvement rappelé en vue d'introduire la paramétrisation de l'activité d'un upwelling à l'aide du transport d'Ekman, telle qu'elle a été proposée par Bakun (1973). L'effet de la latitude sur l'intensité des résurgences sera également souligné. Quelques exemples permettront ensuite d'illustrer les effets de particularités locales en Afrique de l'Ouest telles que l'origine des masses d'eaux résurgentes, l'orientation du talus continental ou de la direction du vent. Enfin, l'évolution depuis les années soixante des upwellings côtiers d'Afrique de l'Ouest sera évaluée à partir des observations réalisées par les bateaux marchands.

QU'EST CE QU'UN UPWELLING ?

Un upwelling côtier est un processus physique qui crée sous l'action du vent, un flux vertical ascendant à la côte. Ce flux prend naissance le long du talus continental et est dirigé vers la surface. Il apporte sur le plateau continental des eaux d'origine sub-superficielle. Ces eaux sont ensuite entraînées vers le large, en dehors de la zone de remontée, par la dérive de surface (fig. 2). La manifestation la plus évidente d'un upwelling côtier est la formation d'un gradient de température entre la côte et le large, les eaux issues de la résurgence étant plus froides que les eaux de surface adjacentes (fig. 3). Cette caractéristique a permis à Wooster *et al.* (1976) de localiser les principales zones d'upwelling entre 10°N et 40°N à partir des différences de température mesurées entre la côte et le large.

Un upwelling apporte dans la couche euphotique des éléments minéraux originaires des couches sub-superficielles. Les fortes concentrations d'éléments minéraux «nouveaux» en surface sont une des caractéristiques des upwellings côtiers (fig. 4). Cet apport d'éléments nutritifs dans la couche homogène va permettre de développer et de maintenir une forte production biologique dans la zone côtière. Ce potentiel productif est beaucoup plus important que celui existant dans les zones océaniques où la plus grande part des apports en sels minéraux provient de la régénération de la matière organique.

Un upwelling crée des structures physiques, chimiques et biologiques originales qui diffèrent de celles rencontrées habituellement dans les zones océaniques du large ou dans les écosystèmes tempérés (Barber et Smith, 1981; Cushing, 1989). Les processus qui se développent à l'intérieur de ces structures, notamment grâce à l'apport de sels minéraux, sont à l'origine de la forte productivité biologique enregistrée dans les upwellings.

Le modèle d'Ekman

Le moteur des upwellings côtiers est en général le vent, c'est le cas des upwellings rencontrés le long des côtes ouest-africaines, du Maroc au Sénégal, où les alizés soufflent dans une direction sensiblement parallèle à la côte (Wooster *et al.*, 1976). Le vent met en mouvement les couches superficielles de l'océan qui sont alors déviées par la force de Coriolis, le transport résultant au sein de la masse d'eau est orienté non pas dans la direction du vent mais est dévié vers la droite (gauche) dans l'hémisphère Nord (Sud). La couche superficielle soumise à l'action du vent est appelée couche d'Ekman du nom de V.W. Ekman qui le premier a développé les bases de la théorie décrivant l'effet du vent sur les courants (Ekman, 1905). L'épaisseur moyenne de la couche d'Ekman est de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Le transport d'Ekman est défini comme étant la masse d'eau se déplaçant, à l'intérieur de la couche d'Ekman, sous l'action du vent. Dans l'hémisphère nord, un vent qui souffle du pôle vers l'équateur le long d'une côte orientée Nord-Sud va entraîner un déplacement vers le large (pour une côte situé sur le bord Est d'un océan) de la masse d'eau comprise entre la surface et le bas de la couche d'Ekman. Un flux vertical le long du talus continental va permettre de compenser le déséquilibre à la côte (fig. 2).

Cette modélisation, très simplifiée, de la physique des upwellings est évidemment inapte à rendre compte de la complexité des structures rencontrées dans la nature. Elle néglige de nombreux paramètres comme la topographie de la côte, du fond, l'advection horizontale, la stratification verticale. Cependant, il nous a semblé intéressant de la rappeler ici car elle permet de rendre compte de deux des principaux éléments qui caractérisent un upwelling :

- un mouvement ascendant le long du talus continental qui est la source des apports en éléments minéraux;
- une dérive vers le large de la couche superficielle dans laquelle les phases successives de la production vont se développer.

Ce modèle permet, à partir du vent, d'estimer l'intensité de la résurgence dans un upwelling. En effet, le transport d'Ekman donne une bonne estimation du transport des masses d'eau par le vent (Smith, 1968) et **sa composante normale à la côte** est un indice de la quantité d'eau résurgente (Bakun, 1973; Smith, 1981). Ce paramètre peut être considéré comme un indice de l'Intensité d'un Upwelling Côtier (IUC); il est calculé à partir de l'équation donnant le transport d'Ekman (Ekman, 1905) dans laquelle la vitesse du vent est remplacée par sa composante parallèle à la côte :

$$(1) \quad IUC = \frac{r \,.Cd.\, V^2}{2.\, \Omega \,.\sin(\phi)}$$

r = densité de l'air
Cd = coefficient de rugosité à l'interface air-mer
V^2 = carré de la composante du vent parallèle à la côte
Ω = vitesse angulaire de rotation de la terre
ϕ = latitude

A partir de données de vent (stations météorologiques côtières, données bateaux marchands, vent géostrophique déduit de champs de pression), cet indice permet de calculer des chronologies de l'intensité d'un upwelling (Bakun 1973, 1987; Arfi, 1985; Teisson, 1982, Mendo *et al.*, 1987).

Fig. 1

Carte d'Afrique de l'Ouest avec la localisation des principaux upwellings côtiers.

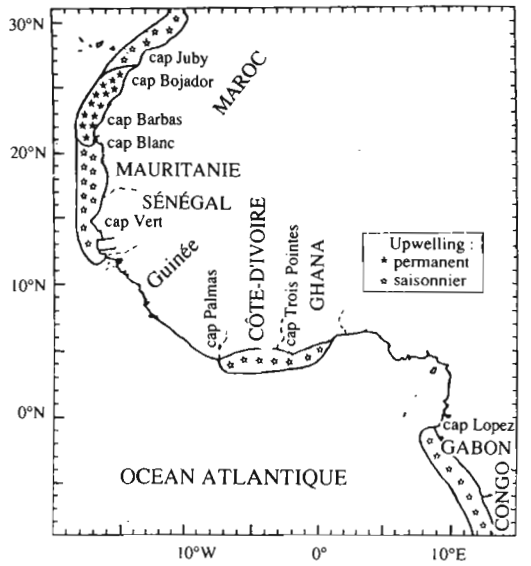


Fig. 2

Schéma simplifié d'un upwelling (d'après Bakun, 1989).

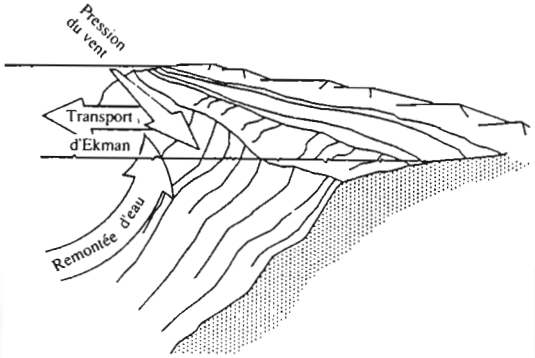


Fig. 3

Image thermique infra-rouge (satellite METEOSAT) de la Mauritanie au sud de la Guinée. Les eaux froides côtières sont en blanc et un dégradé de gris traduit le gradient thermique côte-large, (image du 8/05/1990 communiquée par H. Demarcq CRODT-UTIS).

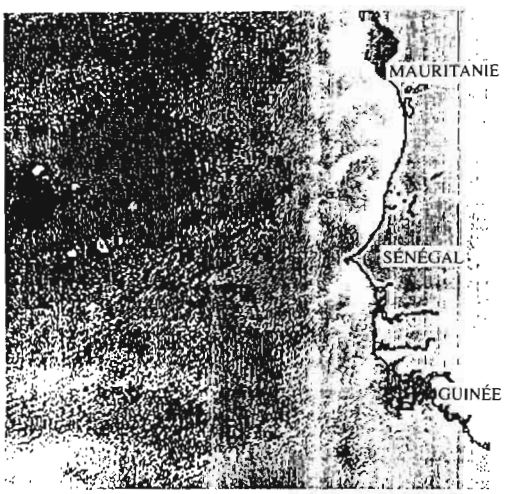
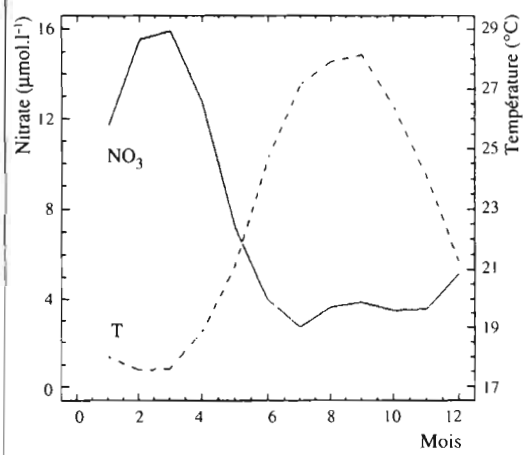


Fig. 4

Evolution saisonnière de la température de surface (°C) et des teneurs en nitrate (µmol.l^{-1}) à la station côtière de Yoff (Sénégal) (d'après Oudot et Roy, présent volume). Aux faibles températures enregistrées pendant l'upwelling correspondent des teneurs en nitrate atteignant 16 µmol.l^{-1}.



L'effet de la latitude

L'IUC est fonction du carré de la vitesse du vent mais cet indice est également inversement proportionnel au sinus de la latitude (équation 1). Pour une vitesse de vent identique, l'intensité d'un upwelling ne sera donc pas la même aux basses latitudes qu'aux latitudes élevées. On note ainsi (fig. 5) qu'à un vent de 4m.s^{-1} correspond, au Maroc (30°N), un IUC de l'ordre de 0,4 m^3.s^{-1}.m^{-1}; par contre, en Côte d'Ivoire (5°N), cet indice avec un vent identique atteint 2,4 m^3.s^{-1}.m^{-1}, soit une valeur six fois supérieure. La vitesse du vent n'est donc pas un indice suffisant pour comparer l'intensité de deux upwellings situés à des latitudes différentes. Cette figure suggère également qu'une fluctuation de la vitesse du vent d'amplitude équivalente mais à des latitudes différentes, va engendrer une variabilité plus importante de l'upwelling aux basses latitudes qu'aux latitudes élevées.

Une autre propriété intéressante, déduite de la relation précédente, est à souligner : la variation suivant la latitude de la relation entre l'intensité d'un upwelling et le brassage par le vent. L'énergie transmise par le vent à la surface de l'océan engendre des turbulences au sein des couches superficielles. Cette énergie est estimée à partir du cube de la vitesse du vent (Niiler et Kraus, 1977; Elsbery et Garwood, 1978). Pour des intensités d'upwelling équivalentes, le brassage par le vent sera plus important (un vent plus fort étant nécessaire) aux hautes latitudes qu'aux basses latitudes (fig. 5).

La circulation dans un upwelling : une structure à trois dimensions

Les profils verticaux de courants obtenus dans les principales régions d'upwellings montrent que les structures rencontrées sont assez proches du schéma d'Ekman (Barber et Smith, 1981; Smith, 1981). En surface, la couche d'eau superficielle est soumise à l'action du vent; quand la profondeur s'accroît, le flux est dévié vers la droite dans l'hémisphère nord. Sous cette couche superficielle contrôlée par le vent, un flux de compensation entraîne des masses d'eaux sub-superficielles vers la source de l'upwelling (fig. 6).

La permanence d'un sous-courant s'écoulant en sens inverse du vent vers les pôles est également un trait commun à l'ensemble des upwellings mondiaux (fig. 6) (Smith, 1968). La profondeur de ce sous-courant varie d'une région à l'autre. On le rencontre vers 100m de profondeur au Sénégal et vers 300m au nord du cap Blanc (Rébert, 1983; Mittelstaedt, 1983). Dans les régions où ce sous-courant est proche de la surface, il constitue la source des eaux résurgentes (Mittelstaedt, 1983; Brink, 1983). L'existence d'une circulation à deux couches s'écoulant dans des directions opposées (vers le large et le sud en surface, vers la côte et le pôle en sub-surface) et les échanges entre ces deux couches sous la forme de mélange ou de migration des organismes permettent le recyclage à la fois des sels nutritifs et du phytoplancton à l'intérieur de la zone côtière. Les conséquences de ce recyclage sur la production sont particulièrement importants en Côte-d'Ivoire et dans l'upwelling sénégalo-mauritanien (Binet, 1988).

Les images satellites illustrent la complexité des structures spatiales dans un upwelling (Koblinsky *et al.*, 1984; Simpson *et al.*., 1986). La limite entre les eaux froides résurgentes et les eaux du large n'est pas constituée par un front rectiligne, de multiples tourbillons constituent autant de structures distinctes qui évoluent dans le temps et dans l'espace (fig. 3). Ces zones frontales, enchevêtrées, où la rétention de lentilles d'eaux froides à proximité d'eaux plus chaudes produit des structures complexes et hétérogènes, favorisent le développement de la production biologique (Haury, 1984). Ces structures physiques peuvent également être un lieu de piégeage des particules ou des organismes présents au sein de la masse d'eau (Haury *et al.*, 1986). Peu d'études, mises à part celles réalisées devant la Californie, ont abordées la dynamique physique, chimique et biologique de ces structures, on peut néanmoins penser qu'elles constituent un des éléments majeurs d'un écosystème d'upwelling (Simpson *et al.*, 1984).

L'orientation du vent par rapport au plateau continental : l'exemple du Sénégal

L'intensité d'une résurgence est fonction de la composante du vent parallèle à la côte et donc de l'orientation du champ de vent. Cette orientation peut se modifier d'une région à l'autre mais aussi au cours du temps dans une même région. L'exemple du Sénégal va permettre d'en illustrer les effets.

Le long des côtes sénégalaises, la saison des alizés, vents de secteur N-NE à NW-N favorables au développement de l'upwelling, s'étend du mois de décembre au mois de mai (fig. 7). La presqu'île du cap Vert sépare le domaine maritime sénégalais en deux zones aux caractéristiques topographiques bien distinctes. Au nord de la presqu'île, le plateau continental est étroit et orienté N-NE. Au sud, le plateau continental s'élargit, le talus est situé entre 10 et 30 milles des côtes et est orienté N puis NW-N. Le champ de vent étant considéré comme homogène, l'intensité de l'upwelling sera différente de part et d'autre de la péninsule du cap Vert. Les modifications de la direction du vent au cours de la saison d'upwelling vont également créer des fluctuations temporelles, favorisant le développement de la résurgence tantôt au nord, tantôt au sud de la péninsule.

Les données de vent de la station météorologique de l'aéroport de Dakar Yoff ont permis de montrer que (Roy, 1989) :

• au début de la saison d'alizés, les alizés continentaux (secteur N-NE) sont dominants, pour ensuite s'orienter dans le secteur NW-N (fig. 7). L'intensité de l'upwelling est comparable de part et d'autre de la péninsule jusqu'à la fin février (fig. 8). A partir du mois de mars, la rotation du vent est accompagnée d'un accroissement de la vitesse. L'upwelling au nord de la presqu'île reste stable, par contre la résurgence s'intensifie au sud du Cap Vert (fig. 8), atténuant le gradient thermique de part et d'autre de la péninsule. Ceci est confirmé par les

Fig. 5

Relation théorique, à différentes latitudes, entre:
-a la vitesse du vent et le transport d'Ekman;
-b le transport d'Ekman et le cube de la vitesse du vent

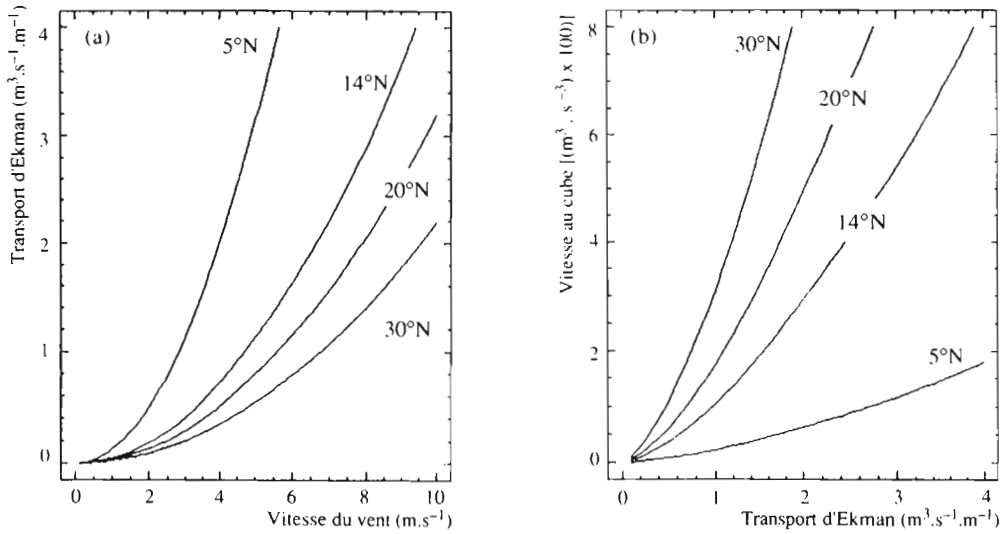
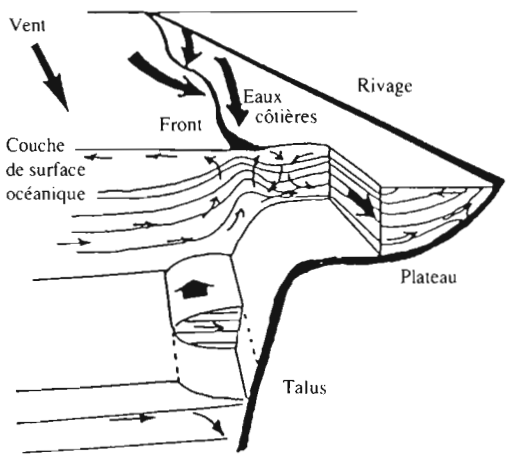


Fig. 6

Schéma tridimensionnel simplifié de la circulation dans un upwelling côtier (d'après Smith, 1968).



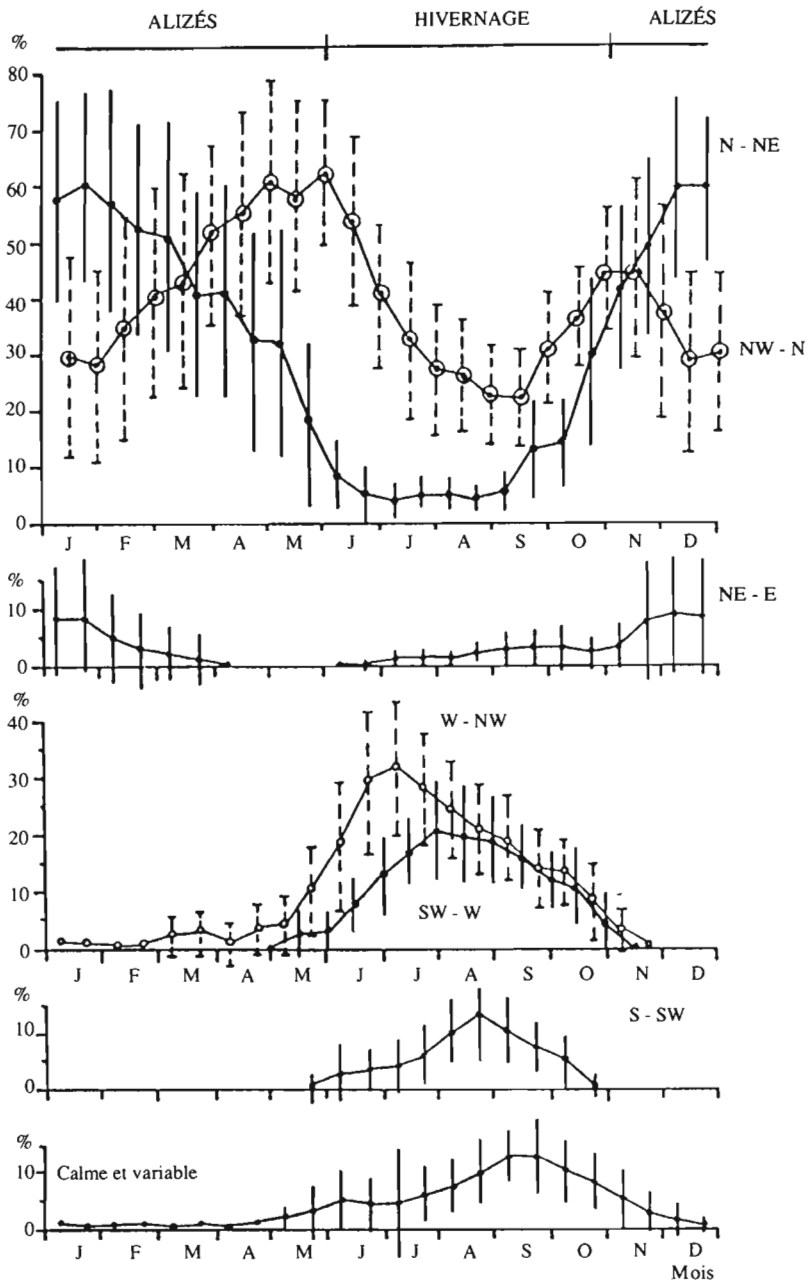
champs thermiques mesurées par le satellite METEOSAT (Demarcq, comm. pers.). L'affaiblissement progressif des alizés à partir du mois de mai entraîne une chute de l'activité de l'upwelling dans les deux zones mais avec une décroissance plus précoce au nord qu'au sud (fig. 8);

• concernant la variabilité inter-annuelle, la période 1963-1985 est marquée par l'alternance de périodes de faible et de forte activités des alizés qui s'est accompagnée d'une modification synchrone de l'orientation du vent (fig. 9). En période d'alizés forts, la direction prédominante des alizés étant N-NE, l'intensité de l'upwelling sénégalais est alors comparable de part et d'autre du cap Vert (fig. 10). En période d'alizés faibles, les alizés s'orientent de façon prépondérante au N-NW, l'activité de l'upwelling est alors plus importante au sud de la péninsule (fig. 10).

Les résultats des campagnes océanographiques du programme CIRSEN réalisées en février 1986 et mars 1987 illustrent l'effet des fluctuations de la direction du vent sur les apports en sels minéraux. En février 1986, des vents forts (5,1 $m.s^{-1}$) de secteur N-NE (63% des observations) sont établis. La campagne de mars 1987 est précédée d'une chute de la vitesse du vent (4,2 $m.s^{-1}$) accompagnée d'une rotation vers le secteur NW-N (67% des observations). Les teneurs de la couche superficielle en phosphate le long de deux radiales situées l'une au nord, l'autre au sud de la péninsule montrent

Fig. 7

Cycle annuel moyen par quinzaine et écart-type des fréquences de vent (%) par secteur calculées|d'après les observations de la station météorologique de l'aéroport de Dakar-Yoff (moyenne 1963-1986). D'après Roy (1989).



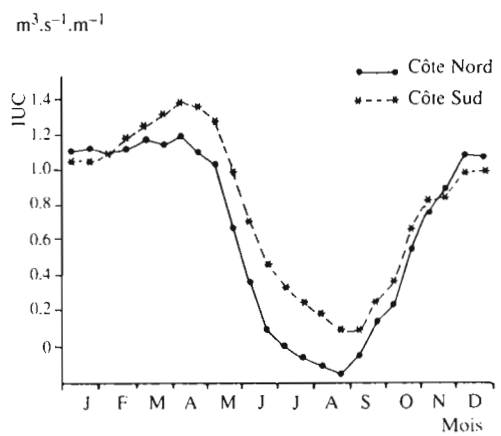
une disparité importante entre les deux campagnes (fig. 11). En février 1986, la distribution en surface des sels nutritifs est comparable dans les deux régions; en 1987 par contre, les concentrations en phosphate sont plus importantes au sud de la presqu'île qu'au nord. Ceci est en parfait accord avec les résultats précédents qui montraient une atténuation de l'activité de l'upwelling au nord du cap Vert en présence de vent de secteur NWN.
Les fluctuations de la vitesse et de la direction du vent entraînent des modifications non négligeables de l'activité d'un upwelling au cours du temps, des disparités importantes apparaissent également d'une région à l'autre suivant la topographie de la côte. En résultent des modifications des apports en sels nutritifs qui ne peuvent que se répercuter sur les premiers maillons de la chaîne trophique.

Largeur du plateau continental

La structure spatiale d'un upwelling est déterminée par ses composantes physiques : intensité et direction du champ de vent, topographie du plateau continental, latitude. De la largeur et de la pente du plateau continental, dépend le type de circulation rencontré. Un plateau étroit peut donner lieu à une seule cellule de remontée située près du rivage; un plateau large permet le développement de deux cellules de circulation, l'une située aux accores du talus et une seconde isolée sur le plateau continental (Brink, 1983; Jacques et Tréguer, 1986). Bien que certains auteurs, n'ayant jamais rencontré de structures à doubles cellules, aient mis en doute l'existence de ce schéma (Halpern, 1976), de nombreux faits (accumulation de détritus au dessus du talus, etc) attestent de son existence (Holloday et O'Brien, 1975; Stevenson *et al*, 1974).
Les données récoltées lors du programme CIRSEN du CRODT (Roy et Oudot, présent volume; Gning *et al*, à paraître) mettent en évidence les effets de ces deux types de structures sur la distribution de para-mètres physico-chimiques et biologiques. En février 1986, au nord de la presqu'île du cap Vert, les températures les plus faibles sont observées à la station la plus proche de la côte (fig. 12). Au sud de la presqu'île, le minimum thermique est rencontré non pas à la côte mais à l'aplomb du talus continental situé à environ 15 ou 20 milles de la côte suivant les radiales (fig. 12). La distribution des nitrates répond également à ce schéma. Au nord, les teneurs en nitrates les plus importantes sont à la côte. Au sud elles se situent aux accores du plateau (fig. 12). Les implications biologiques de telles structures sont illustrées par la distribution de la biomasse phytoplanctonique (fig. 12). Contrairement à la situation observée sur la côte nord où la biomasse phytoplanctonique, estimée à partir des teneurs en chlorophylle, ne dépasse pas 2µg.l^{-1} et est homogène jusqu'à 150 milles de la côte, sur la côte sud on observe un maximum de biomasse (> 9µg.l^{-1}) dans la bordure littorale accompagné d'un second pic au niveau du talus (fig. 12). Une telle structure traduit l'existence d'une cellule de circulation située au-dessus du plateau continental et isolée par une zone frontale des eaux océaniques, permettant ainsi le développement du phytoplancton dans la zone côtière. Cette structure augmente le temps de résidence de la biomasse phytoplanctonique à proximité de la côte et évite la dispersion par l'advection de ces organismes vers le large. Elle permet sans doute un meilleur couplage des productions primaires et secondaires au-dessus du plateau (Binet, 1988).

Fig. 8

Cycle annuel moyen par quinzaine de l'Indice d'Upwelling Côtier ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$), au nord et au sud de la presqu'île du cap Vert, calculé d'après les données de vent de la station météorologique de l'aéroport de Dakar-Yoff (moyenne 1963-1986). D'après Roy (1989).



Composition et origine des masses d'eaux résurgentes

Une littérature abondante a été publiée sur la composition et l'origine des eaux résurgentes dans les différents upwellings ouest-africains (Fraga, 1974; Manriquez et Fraga, 1982; Barton, 1985; Fraga *et al.*, 1985). Au sud du cap Blanc (20°N), elles sont constituées en majeure partie par les Eaux Centrales Sud Atlantique (ECSA), moins salées mais dont la teneur en sels minéraux est plus forte que celles des Eaux Centrales Nord Atlantique (ECNA) rencontrées au nord (fig. 13). La zone du cap Blanc est une zone frontière où la composition des masses d'eaux est tantôt dominée par des ECSA ou par des ECNA (Barton, 1985; Llinas *et al.*, 1985). Une coupe verticale, le long de la côte entre 19°N et 24°N, montre le gradient de nitrate existant entre les zones situées au sud du cap Blanc composées essen-tiellement d'ECSA et celles situées au nord où la proportion d'ECNA est dominante (fig. 14).
Les apports de sels minéraux en surface sont tributaires non seulement de l'intensité de la résurgence mais également de l'origine des eaux rencontrées à la

Fig. 9

Vitesse du vent ($m.s^{-1}$) et fréquences (%) des vents de secteur N-NE et NW-N par quinzaine en saison d'alizés (trait pointillé) et tendance (trait plein) à la station météorologique de l'aéroport de Dakar-Yoff (moyenne 1963-1986). D'après Roy (1989).

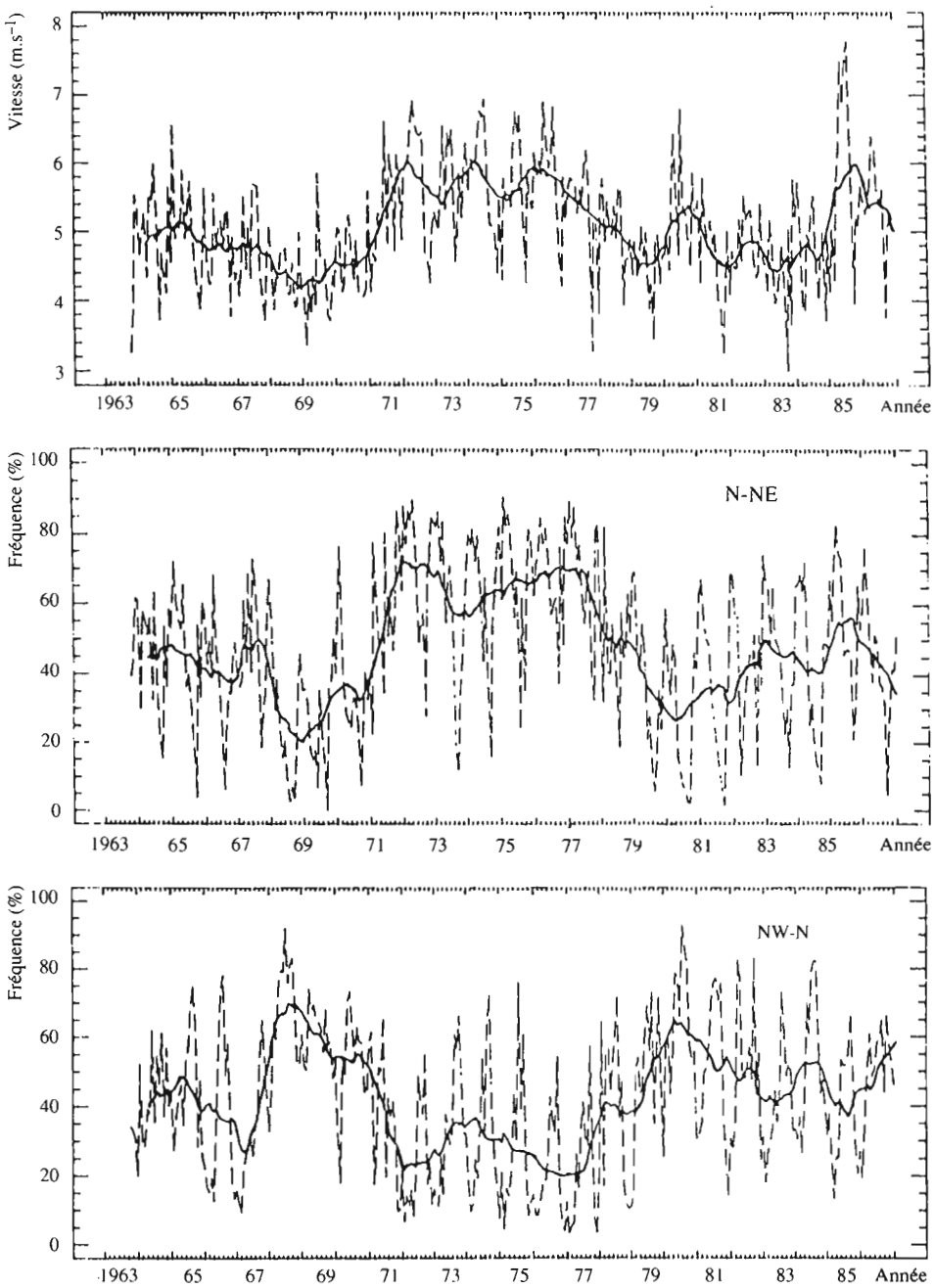


Fig. 10

Evolution entre 1963 et 1986 de l'IUC ($m^3.s^{-1}.10m^{-1}$) en saison froide au nord (trait pointillé) et au sud (trait plein) de la presqu'île du cap-Vert, calculée d'après les données de vent de la station météorologique de l'aéroport de Dakar-Yoff. D'après Roy (1989).

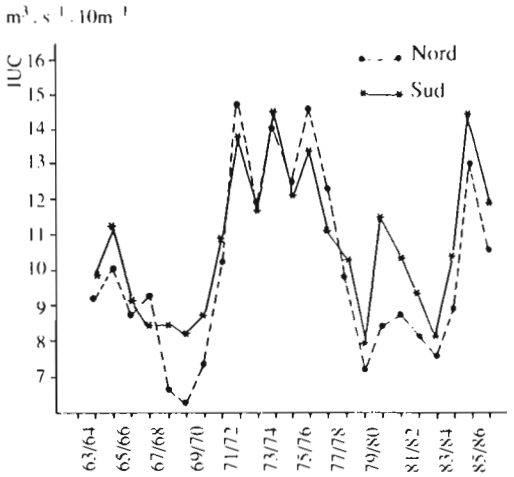
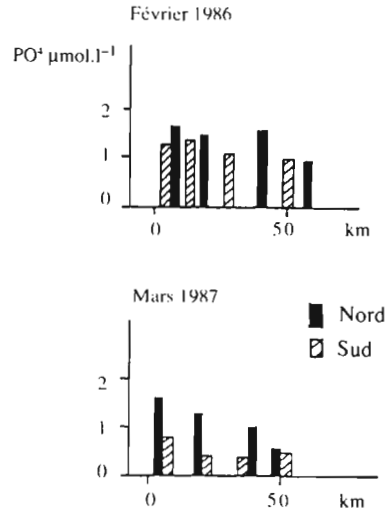


Fig. 11

Distribution en surface le long de deux radiales situées de part et d'autre de la presqu'île du cap Vert des teneurs en phosphate ($\mu mol.l^{-1}$) en février 1986 et mars 1987 (campagnes CIRSEN, CRODT). D'après Roy (1989).



source des upwellings. Une modification de la composition des eaux de la résurgence peut entraîner une variation importante de la production des eaux superficielles (Jacques et Tréguer, 1986). La concentration en sels minéraux des eaux résurgentes au sud du cap Blanc (ECSA) étant plus importante (rapport de 2 à 3) que celle des masses d'eaux rencontrées dans les upwellings sahariens ou maro-cains, on peut donc s'attendre à une productivité élevée de la zone sénégalo-mauritanienne, bien que l'intensité de la résurgence soit de plus faible ampli-tude qu'au nord (Voituriez et Herbland, 1982).

LES UPWELLINGS OUEST-AFRICAINS

Le régime éolien de la façade atlantique du continent africain entre 30°N et 10°N est dominé par des alizés de secteur nord-est à nord-ouest. Le régime saisonnier de ces alizés est le résultat du balancement de l'anticyclone des Açores et de la migration de la Zone Inter-Tropicale de Convergence (ZITC). Au cours de l'hiver boréal, la ZITC atteint sa position la plus méridionale, les alizés s'étendent entre 10°N et 28°N. A la fin du printemps, la migration vers le nord de la ZITC accompagne celle de la zone anticyclonique des Açores, la région située au sud du cap Blanc (20°N) est soumise en été à un régime de vent d'ouest chargé d'humidité. Au nord du cap Blanc, les alizés se renforcent et s'étendent au delà de 30°N.

Ces alizés ont une direction sensiblement parallèle à la côte et sont à l'origine des upwellings permanents ou saisonniers qui se développent entre 10°N et 30°N.

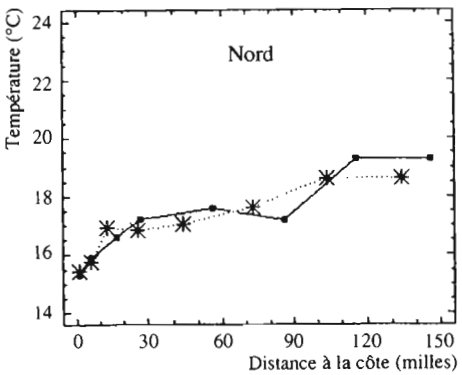
Cycle saisonnier des upwellings ouest africains entre 12°N et 30°N

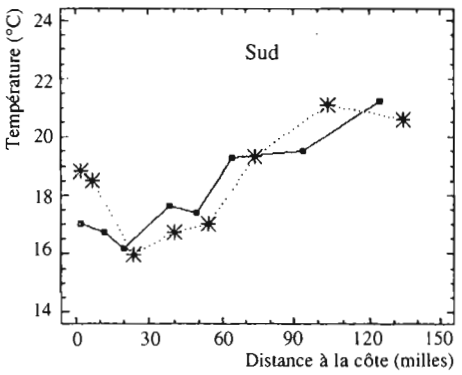
Avant d'aborder la variabilité de l'intensité des résurgences ouest-africaines observée au cours des trois dernières décennies, le cycle saisonnier de ces upwellings est rappelé. Le littoral entre 12°N et 30°N a été découpé en huit zones couvrant une surface s'étendant sur deux ou trois degrés de latitude et de 60 à 100 milles vers le large (fig. 15 et tab. 1). En chacune des ces zones, l'IUC est calculé à partir des observations de vent réalisées par les bateaux marchands, de 1964 à 1988 (cf. annexe).

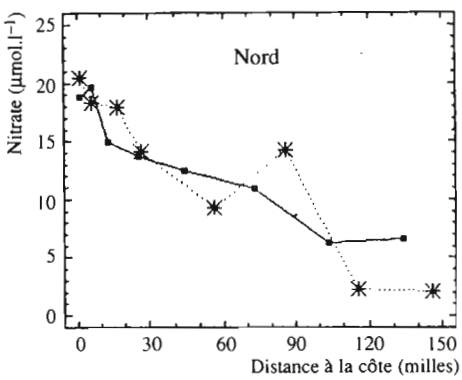
Le cycle moyen mensuel des IUC confirme les résultats présentés par Wooster *et al.*. (1976) à partir des différences de température entre la côte et le large (fig. 16 et tab. 1). Au nord de la zone centrée sur 26°30'N (Maroc nord), l'upwelling est saisonnier et se manifeste entre les mois de mars et août (IUC > 1,5 $m^3.s^{-1}m^{-1}$); c'est la période d'alizés de nord-est accompagnant la migration septentrionale de la Zone Inter-Tropicale de Convergence. Au sud de cette zone et jusqu'à 19°N (zones Maroc sud, Sahara nord, Sahara sud, Mauritanie nord), l'upwelling est quasi permanent avec cependant un maximum d'activité au cours du printemps (Sahara sud et Mauritanie nord) ou de l'été boréal (Maroc sud et Sahara nord). Entre la zone centrée sur 17°N et jusqu'à 13°30'N (zones Mauritanie sud et Sénégal nord et sud), la résurgence se développe en hiver et au printemps où elle atteint son amplitude maximale. Les zones où les valeurs maximales d'IUC sont rencontrées (> 3,0 $m^3.s^{-1}.m^{-1}$)

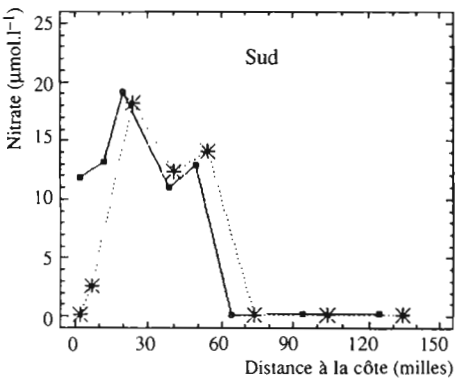
Fig. 12

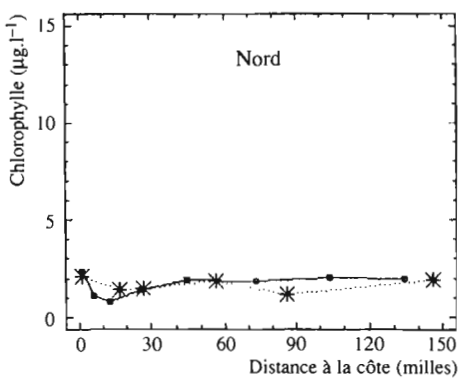
Distribution le long de différentes radiales situées au nord et au sud du cap Vert, de la température (°C), des nitrates (µmol.l^{-1}) et de la chlorophylle (µg.l^{-1}) en février 1986, (campagnes CIRSEN, CRODT).

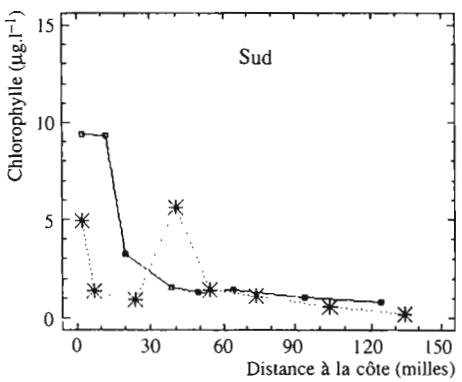










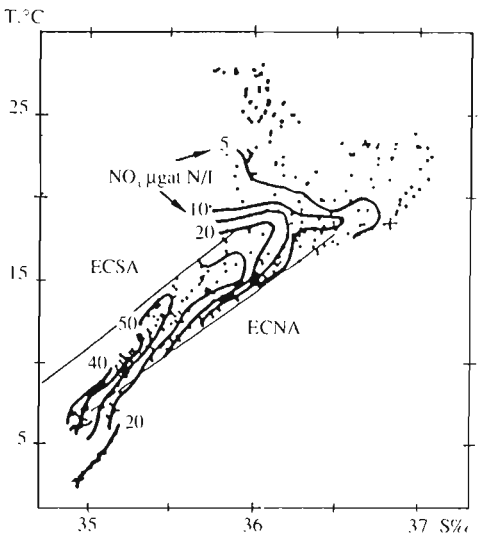


correspondent également aux régions où l'upwelling est permanent (Sahara nord et sud, Mauritanie nord).
Les autocorrélations sur les séries d'IUC désaisonnalisées (cf. annexe) montrent que, en dehors du signal saisonnier et mise à part la région Maroc sud pour laquelle on note un coefficient significatif pour les lags situés autour de 20 mois, aucune des séries ne semble contenir de signal périodique (fig. 17). Les coefficients chutent rapidement à des valeurs inférieures à 0,4 pour les lags supérieurs à 10 mois et ne dépassent pas par la suite le seuil de signification (pour les lags inférieurs à 96 mois). Ceci suggère que, en dehors de la variabilité saisonnière, aucun cycle ne peut être identifié sur la période considérée. La périodicité (T = 40 mois) observée sur la série d'IUC de la région Maroc sud apparaît également sur la série de vitesse du vent; cependant, cette périodicité ne correspond à notre connaissance à aucun signal déjà identifié.

Chronologie des upwellings ouest-africains de 1964 à 1988

Les séries mensuelles d'IUC permettent de mettre en évidence la variabilité interanuelle ainsi que l'existence d'éventuelles tendances sur le long terme. Pour les zones ou l'upwelling est permanent, l'ensemble des séries a été pris en compte; dans celles ou l'upwelling se manifeste de manière saisonnière, seule la période d'activité de la résurgence a été retenue (tab. 1).
Un lissage du signal saisonnier par une moyenne mobile (cf. annexe) met en évidence la variabilité interannuelle de l'activité de ces résurgences entre 1964 et 1988 (fig. 18). Entre 25°N et 12°N, chacune de ces séries montre une intensification relative des IUC au cours de la décennies 1970. Cette intensification apparaît également sur les enregistrements des stations météorologiques côtières au Sénégal et en Mauritanie (Teisson, 1982; Arfi, 1985; Roy, 1989). Un ajustement des séries désaisonnalisées par un polynôme (degré un ou deux) met en évidence l'évolution de la tendance sur le long terme dans chacune des huit régions (fig. 19, tab. 2). Entre 25°N et 30°N (zone Maroc sud et nord), un accroissement continu de l'IUC est observé entre 1964 et 1988. Ces résultats concordent avec ceux de Bakun (1990) qui observe un accroissement de la tension du vent parallèle à la côte entre 1946 et 1981. De 16°N à 25°N, la tendance peut être décrite par un polynôme de degré deux; l'IUC, après avoir atteint des valeurs maximales au cours de la décennie 1970, décroît ensuite jusqu'à la fin des années 1980. Entre 12°N et 16°N, on observe un accroissement linéaire de l'IUC, depuis les années 1960.
L'existence de tendances différentes d'une zone à l'autre (linéaire au Sénégal et au nord de 28°N, en forme de dôme dans les autres zones) semble exclure l'hypothèse d'un artefact dû aux méthodes d'observation (type d'anémomètre, taille des bateaux, ...) car les mêmes bateaux traversent chacune des zones. La comparaison des données bateaux marchands avec celles des stations côtières des aéroports montre des points communs entre ces différentes séries : forte activité des upwellings dans

Fig. 13
Diagramme T/S montrant la variation de concentration en nitrate entre ECSA et ECNA (d'après Minas *et al.*, 1982).



les années soixante-dix, suivie d'une période de plus faible activité pendant la décennie 1980 (Teisson, 1982; Arfi, 1985; Roy, 1989). Il semble donc qu'on puisse accorder une certaine validité à ces résultats.
Bakun (1990) attribue à l'effet de serre (augmentation du CO_2 atmosphérique) ce renforcement des upwellings qui serait le résultat d'une intensification du vent méridien dû à une accroissement du gradient de pression atmosphérique entre les zones de basses pressions continentales et les zones océaniques. Cette hypothèse ne permet cependant pas de rendre compte de l'évolution des IUC observée entre 16°N et 25°N depuis la fin des années 1980. Une analyse plus détaillée de la dynamique de la circulation atmosphérique serait nécessaire pour tenter de rendre compte de ces phénomènes.

Vitesse du vent et intensité de l'upwelling : deux facteurs limitants

Le vent, s'il est à l'origine des résurgences, engendre également un brassage au sein des couches superficielles. Un milieu riche en éléments minéraux ne suffit pas pour atteindre une production élevée (Jacques et Tréguer, 1986); le brassage créé par le vent à l'intérieur de la masse d'eau est également un des facteurs limitant la production (Huntsman et Barber, 1977). Connaître l'évolution conjointe de l'indice d'upwelling et de la vitesse du vent peut donc s'avérer particulièrement intéressant car, suivant la latitude, l'orientation de la côte, des IUC semblables peuvent correspondre à des vitesses de vent différentes.

Fig. 14

Coupe verticale le long de la côte entre 19°N et 24°N montrant la distribution en nitrate et nitrite (µmol.l^{-1}) (d'après Llinas *et al.*, 1985).

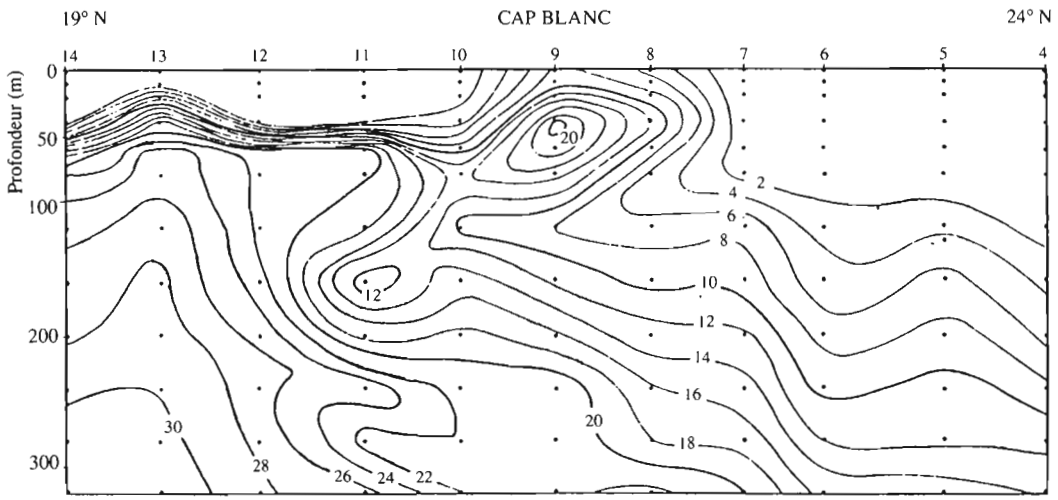


Fig. 15

Localisation des huit zones côtières pour lesquelles un IUC mensuel est calculé à partir des données de bateaux marchands de 1964 à 1988.

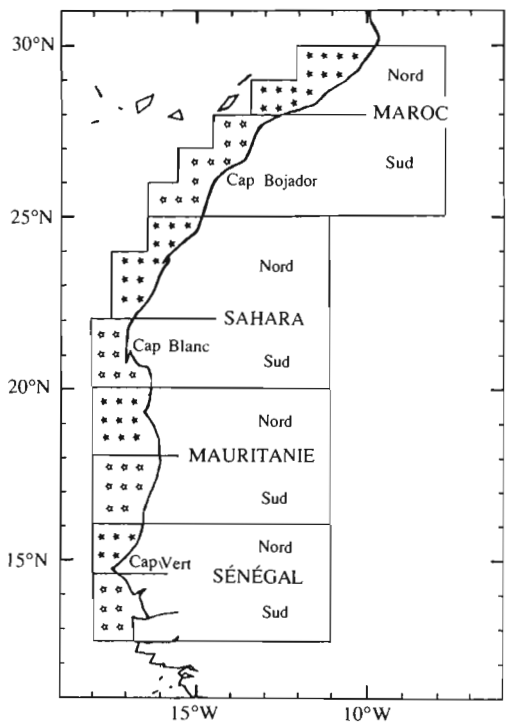


Fig. 16

Cycle annuel moyen et intervalle de confiance ($p > 0,05$) de l'IUC ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$) entre 12°30' N et 30°N.

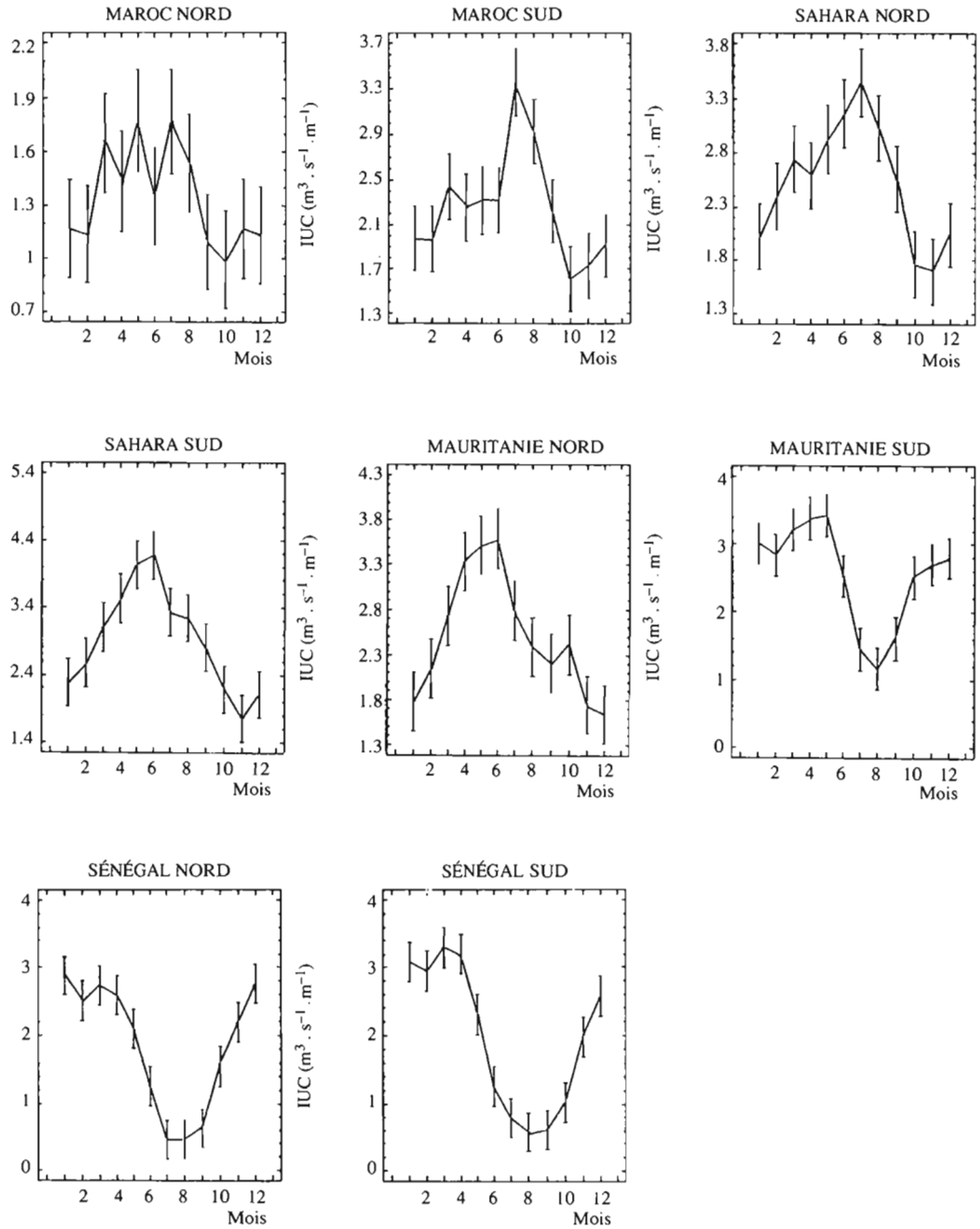


Fig. 17

Autocorrélations des séries mensuelles de l'IUC
(T < 96 mois) entre 12°30' N et 30°N.

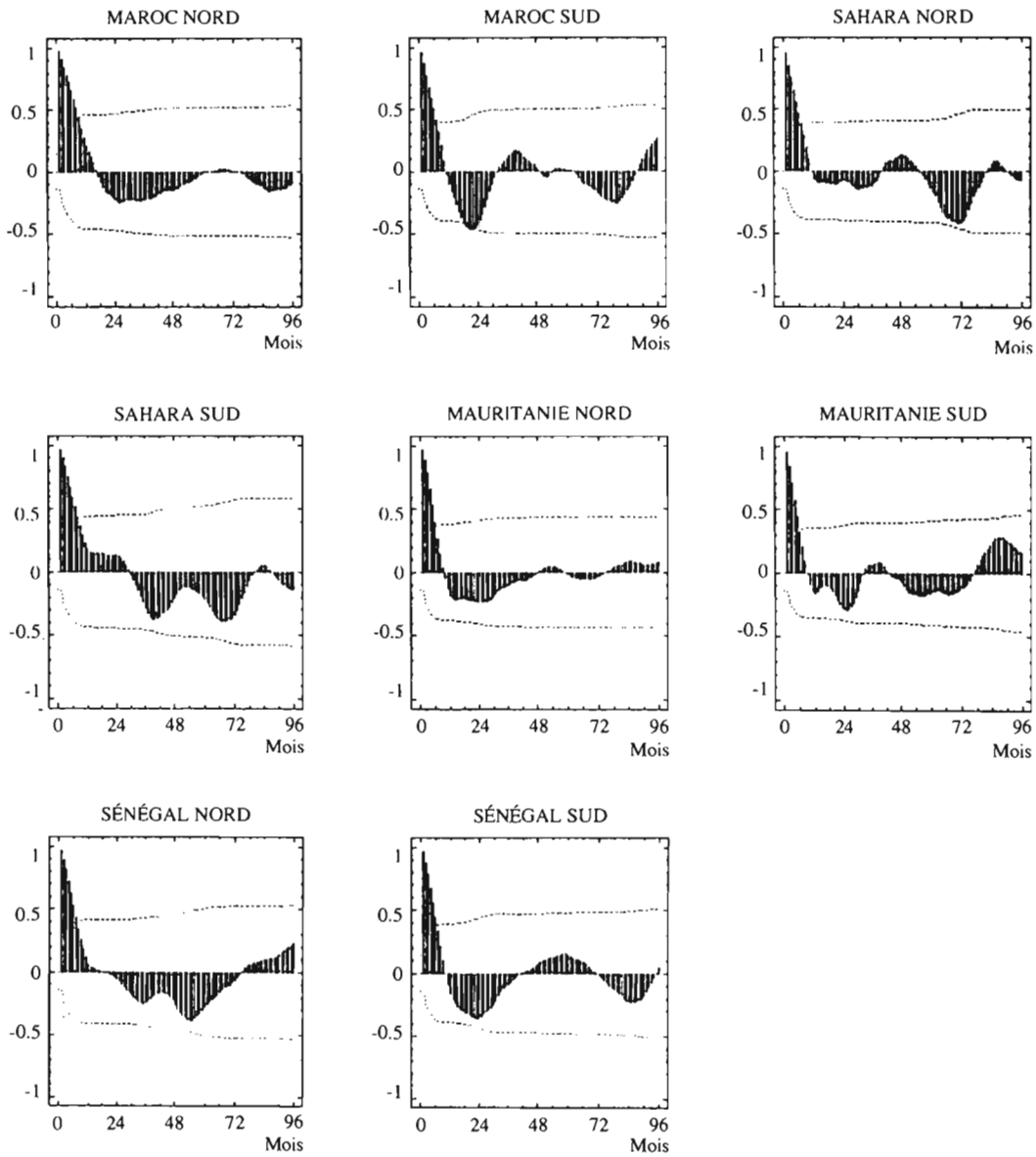
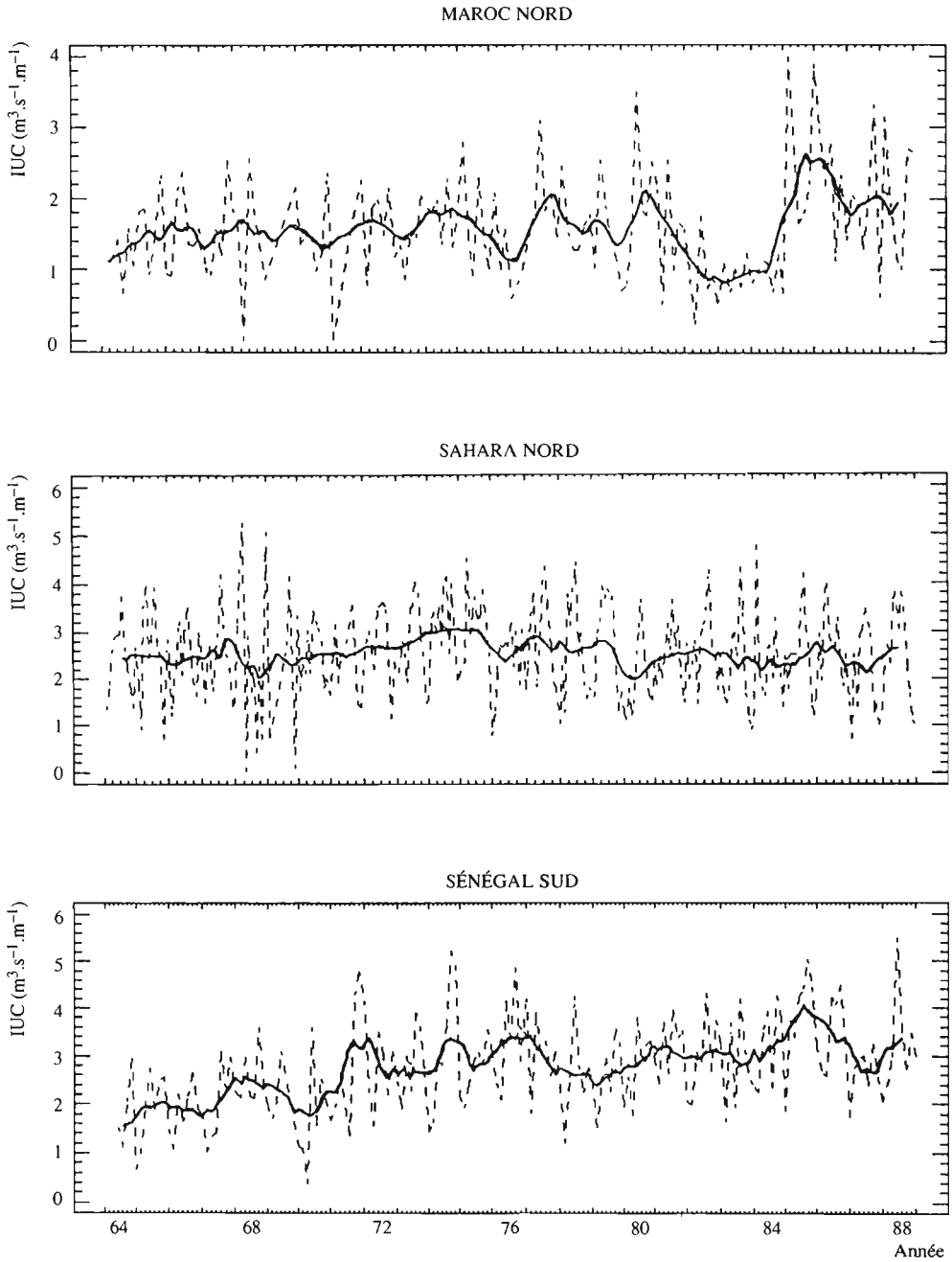


Fig. 18

Exemple de l'évolution entre 1964 et 1988 de l'IUC ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$) par mois (données brutes, trait pointillé) et de la variabilité interannuelle (série désaisonnalisée par une moyenne mobile, trait plein) pour les zones Maroc Nord, Sahara Nord et Sénégal sud.



Les huit séries d'IUC calculées à partir des observations des bateaux marchands constituent une base de données intéressante, car homogène le long du littoral ouest-africain, pour examiner et comparer les relations entre intensité de l'upwelling et brassage par le vent. Trois zones ont été sélectionnées : Maroc nord, Sahara nord et Sénégal sud, chacune d'entre elles étant représentative d'un type d'upwelling particulier (saisonnier et vent faible au Sénégal, permanent au Sahara, saisonnier et vent fort au Maroc). Le cycle moyen mensuel du vent et celui de l'IUC ont été calculés (tab. 3 et 4), l'évolution saisonnière du vent en fonction de l'IUC est présentée sur la figure 20.

Au Sénégal (zone Sénégal sud), l'intensité de l'IUC en saison d'upwelling se situe entre 2,0 $m^3.s^{-1}.m^{-1}$ et 3,2 $m^3.s^{-1}.m^{-1}$ avec des vitesses de vent restant inférieures à 6,5 $m.s^{-1}$. Par contre, au Maroc (zone Maroc nord) pendant la période d'activité de la résurgence, bien que l'IUC ne dépasse pas 1,8 $m^3.s^{-1}.m^{-1}$, la vitesse du vent se situe entre 7 $m.s^{-1}$ et 8 $m.s^{-1}$. Au Sahara où l'upwelling est permanent, la vitesse du vent oscille entre 5,8 et 8,2 $m.s^{-1}$.

L'intervalle entre 6 et 7 $m.s^{-1}$ est considéré comme une valeur seuil du vent : au delà de cette limite, les facteurs régulant la dynamique du phytoplancton ne sont plus d'origine biologique, le brassage par le vent étant alors le facteur dominant les autres sources de variabilité (Therriault et Platt, 1981; Demers *et al.*, 1987). Ce seuil met en évidence des caractéristiques singulières permettant de distinguer les zones situées au sud du cap Blanc et de celles localisées au nord. Au Sénégal, la vitesse du vent reste voisine de 6 $m.s^{-1}$ en saison d'upwelling, le facteur limitant de la production serait essentiellement les apports de sels minéraux par la résurgence, le vent ne dépassant pas le seuil critique. Au Maroc, la vitesse du vent reste supérieure à ce seuil tout au long de la saison d'upwelling, le facteur limitant la production ne serait pas la quantité de sels nutritifs rendue disponible, la dynamique de la production serait essentiellement dominée par une contrainte physique : le brassage par le vent. Devant les côtes sahariennes, cette contrainte serait dominante de janvier à octobre.

L'effet antagoniste du vent sur la production biologique

Les différences observées dans les cycles de production de part et d'autre du cap Blanc, qui ont été soulignées par Binet (1988 et présent volume), trouvent peut-être leur origine dans l'alternance des facteurs dominant la production biologique de part et d'autre de cette région. Au sud du cap Blanc, les maxima saisonniers de phyto et de zooplancton sont en phase (Toure, 1983; Medina-Gaertner, 1985). Plus au nord et notamment au Maroc, il existe un décalage important entre le développement du phytoplancton qui a lieu en été pendant l'upwelling et celui du zooplancton qui est maximum en automne ou en hiver (Furnestin, 1957, 1976). Binet (1988) attribue à une vitesse de dérive moins importante et à l'existence d'une double cellule de circulation, le couplage étroit entre productions primaire et secondaire au sud du cap Blanc. On note que la limite géographique entre les deux types de production correspond également à celle où le brassage par le vent supplante les apports en sels minéraux comme facteur limitant de la production (fig. 21). Si les éléments apportés par Binet (présent volume) sont indéniablement des facteurs importants permettant un meilleur couplage des productions primaires et secondaires, l'effet du brassage par le vent tel qu'il a été mis en évidence ici ne peut être négligé. Notamment, l'alternance au cours des saisons d'upwelling de périodes pendant lesquelles la production est tantôt dominée par la turbulence et tantôt par les apports en sels minéraux, comme on l'observe vers 25°N (zone Sahara nord, fig. 20), constitue un élément clé de la dynamique saisonnière de ces upwellings et des facteurs de production.

Un cas particulier : l'upwelling ivoiro-ghanéen

La dynamique de l'upwelling ivoiro-ghanéen se distingue de celle des upwellings de la façade est de l'Afrique de l'Ouest. En effet, le vent n'est pas le moteur principal de cette résurgence (Houghton, 1976; Bakun, 1978). Différentes hypothèses ont été proposées pour expliquer l'apparition des eaux froides en surface au cours de l'été boréal le long du littoral de la Côte-d'Ivoire et du Ghana : intensification du courant de Guinée entraînant une remontée de la thermocline (Ingham, 1970), effet d'ondes océaniques se propageant le long des côtes (Moore *et al.*, 1978; Servain *et al.*, 1982; Picaut, 1983), effet de cap au niveau du cap des Trois Pointes et du cap des Palmes (Marchal et Picaut, 1977), contribution du vent local (Colin, 1988). A ce jour, aucun de ces mécanismes ne semble à même de pouvoir expliquer seul la dynamique de cette résurgence, elle serait le reflet d'interactions complexes entre ces différents mécanismes.

L'effet du vent n'étant pas le seul mécanisme à l'origine de cet upwelling, l'IUC ne peut être utilisé pour quantifier la variabilité de cette résurgence, la proximité de l'équateur étant également une limite pour l'application de la théorie d'Ekman. Des indices basés sur les anomalies de température de surface dans la zone côtière ont été proposés (Cury et Roy, 1987; Arfi *et al.*, présent volume).

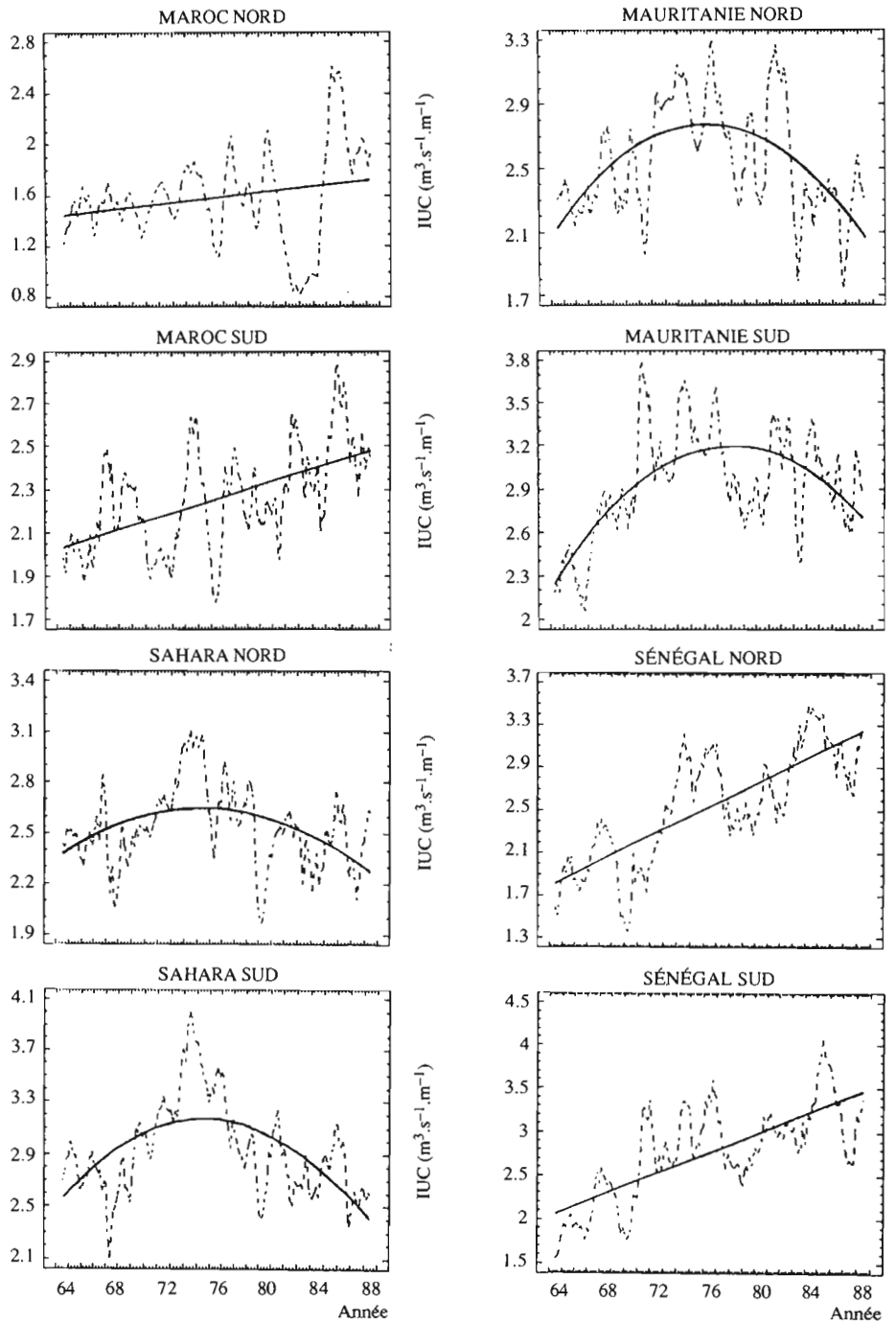
Il est important de noter que, malgré la faiblesse relative des vents dans cette région, les teneurs en sels nutritifs dans la zone côtière suggèrent que l'intensité de cette résurgence peut être comparée à celle des upwellings sénégalais ou de Mauritanie (Herbland et le Loeuff, à paraître).

CONCLUSION

Le long du littoral ouest-africain, les upwellings côtiers constituent un des traits les plus marquants de l'océanographie de cette région. Qu'ils soient permanents ou saisonniers, ces upwellings modifient profondément les structures physiques et biologiques au sein des écosystèmes et sont à l'origine de la forte productivité biologique de ces régions côtières. Cependant, les composantes physiques et chimiques de ces upwellings diffèrent d'une région à l'autre: la latitude varie entre 5°N (Côte-d'Ivoire) et 35°N (Maroc), l'origine des eaux résurgentes n'est pas la même au Maroc et au

Fig. 19

Variabilité interannuelle de l'IUC ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$) (série désaisonnalisée par une moyenne mobile, trait pointillé) et tendance (ajustement par un polynome de degré un ou deux, trait plein) de 1964 à 1988 entre 12°30' N et 30°N.



Sénégal, le plateau continental est plus ou moins large d'une région à l'autre, l'intensité du vent décroît du nord au sud. Ces différences qualitatives et quantitatives entre les composantes des différents upwellings d'Afrique de l'Ouest génèrent des structures et des dynamiques particulières d'une région à l'autre.

Ces éléments ont des répercutions sur le développement des processus biologiques au sein de ces écosystèmes. Un plateau continental large, par une structure hydrodynamique particulière, accroît le temps de résidence des eaux résurgentes près de la côte et favorise ainsi la rétention et le développement des populations planctoniques dans la zone littorale. Le brassage par le vent apparaît également comme un facteur déterminant permettant de différencier les régions situées de part-et d'autre du cap Blanc. Au sud de ce cap, le facteur limitant la production secondaire serait les apports en sels minéraux; plus au nord, les turbulences créées par un vent en général supérieur à 6m.s^{-1} seraient le facteur dominant la dynamique de la production primaire et secondaire.

Une intensification générale des alizés et des résurgences caractérise la décennie 1970 le long de la façade Atlantique ouest-africaine. Depuis les années 1980, une tendance linéaire conduit à un accroissement continu des upwellings saisonniers situés au nord de 25°N et au sud du cap Blanc. Les upwellings permanents se développant au nord du cap Blanc et devant les côtes sahariennes montrent une décroissance continue depuis le début des années 1980, leur activité ayant culminé au cours des années 1970.

Fig. 20

Relation entre la vitesse moyenne du vent (m.s^{-1}) par mois et l'IUC (m^{3}.s^{-1}.m^{-1}) mensuel pour les zones Maroc nord, Sahara nord, Sénégal sud (moyenne 1964-1988).

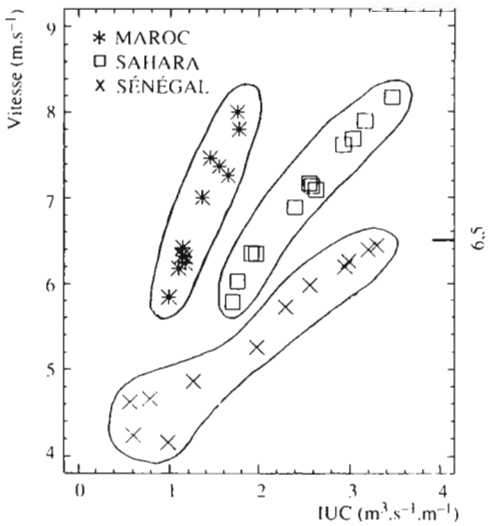
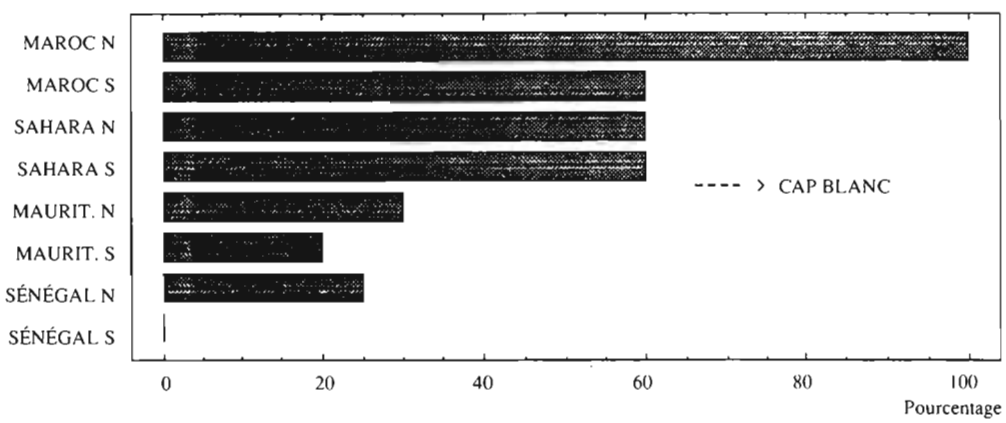


Fig. 21

Rapport, exprimé en %, entre le nombre de mois pendant lesquels la vitesse du vent est supérieure à 7 m.s^{-1} pendant la saison d'upwelling et la durée (exprimée en mois) de cet upwelling entre 12°30' N et 30°N.



ANNEXE :

Calcul des séries d'IUC à partir des observations météorologiques des bateaux marchands

Les observations météorologiques récoltées par les navires marchands longeant la côte africaine constituent une base de données particulièrement intéressante, car homogène le long des côtes. Bien que la qualité des données n'atteigne pas celle des stations météorologiques côtières, ces données permettent de s'affranchir des particularités locales attachées aux sites de ces stations côtières (brise de terre, relief modifiant localement le champs de vent, etc), rendant difficile toute étude comparative à l'échelle régionale. L'Indice d'Upwelling Côtier (IUC) pour huit régions situées le long de la façade ouest du continent africain (fig. 15) est calculé de 1964 à 1988 à partir d'un fichier rassemblant les observations météorologiques individuelles recueillies par les bateaux marchands. Ce fichier est constitué des paramètres suivants :

- date
- position
- température de surface de la mer
- composantes NS et EW du vent.

Ce jeux de données a été extrait du fichier TDF11 du National Climatic Center (USA).

Validation des données

Après avoir extrait les données dans chacune des huit zones, un premier test a permis d'éliminer les valeurs jugées aberrantes (température supérieure à 32°C ou inférieure à 8°C, vitesse du vent supérieure à 100km/h). Pour chaque zone, les écart-types mensuels de la température de surface et des deux composantes du vent sont calculés et les valeurs situées au delà de plus ou moins trois fois cet écart type sont éliminées. Le nombre de données par mois après traitement dans chacune des zones est présenté sur la figure 22. Dans chacune des zones, l'année 1969 et les premiers mois de 1971 sont caractérisées par un faible nombre de données (inférieur à 10/mois). Mise à part la zone Maroc nord pour laquelle le nombre moyen de données par mois est de l'ordre de 20, dans les autres zones, plus fréquentées car traversées par des lignes de navigation, le nombre moyen d'observations mensuel varie entre 50 et plus de 100.

La vitesse moyenne du vent par mois (moyenne du module des observations individuelles) de 1964 à 1988, ainsi que le cycle moyen mensuel de ces vitesses ont été calculés pour chacune des huit régions (tab. 4 à 12).

Calcul de l'Indice d'Upwelling Côtier

A partir des observations de vent individuelles, la composante normale à la côte du transport d'Ekman a été calculée :

$$(1)\ IUC = \frac{r.\,Cd\,.V^2}{2.\Omega\,\sin(\phi)}$$

r = densité de l'air
Cd = coefficient de rugosité à l'interface air-mer
V^2 = carré de la composante du vent parallèle à la côte
Ω = vitesse angulaire de rotation de la terre
ϕ = latitude

La côte est modélisée en prenant comme référence l'orientation de l'isobathe 100m (tab. 1). La latitude utilisée est la latitude moyenne de la zone considérée (tab. 1). La densité de l'air a été prise égale à 0,0012 $g.cm^{-3}$. Un coefficient Cd variable permet de rendre compte des variations de la vitesse du vent le long de la côte; ceci permet une comparaison, plus proche de la réalité, de l'intensité de ces upwellings. Les valeurs de Cd, déterminées à partir de la littérature (Hellerman et Rosenstein, 1983; Smith, 1988), sont les suivantes :

Cd = 0,0010 pour les vitesses inférieures à 5 $m.s^{-1}$
Cd = 0,0017 pour les vitesses comprises entre 5 et 8 $m.s^{-1}$
Cd = 0,0024 pour les vitesses supérieures à 8 $m.s^{-1}$

En chacune des zones, une série mensuelle de 1964 à 1988 est construite en faisant la moyenne par mois des IUC positifs, ceci afin de ne prendre en compte que la composante vers le large du transport d'Ekman, responsable de la résurgence (tab. 13 à 20). Ces observations positives représentent, en dehors de la zone Maroc, plus de 80% des observations totales. Le cycle moyen mensuel de l'IUC dans chacune des régions est calculé à partir de ces séries (tab. 3).

Traitement

Après avoir désaisonnalisée et rendue stationnaire chacune des séries mensuelles, le calcul des autocorrélations est réalisé (fig. 17).

Pour les zones où l'upwelling est saisonnier, de nouvelles séries ne comportant que la période d'activité de la résurgence sont construites. Un seuil fixé arbitrairement à 1,5 $m^3.s^{-1}.m^{-1}$ est utilisé pour ce découpage (tab. 1). Dans les zones où l'upwelling est permanent, l'intégralité des séries est conservée. Ces huit séries mensuelles d'IUC en période d'upwelling sont désaisonnalisées à l'aide d'une moyenne mobile (la périodicité étant annuelle pour les upwelling permanents, ou égale à la durée de la saison d'upwelling pour les régions où la résurgence est saisonnière). Ces séries filtrées permettent d'évaluer les fluctuations interannuelles de l'IUC en saison d'upwelling le long de la côte ouest-africaine. Un ajustement de ces séries désaisonnalisées par un polynôme de degré un ou deux permet ensuite de mettre en évidence d'éventuelles tendances sur le long terme (fig. 19, tab. 2).

Fig. 22

Nombre d'observations météorologiques, par mois, réalisées par les bateaux marchands dans les huit régions côtières entre 12°30' N et 30°N.

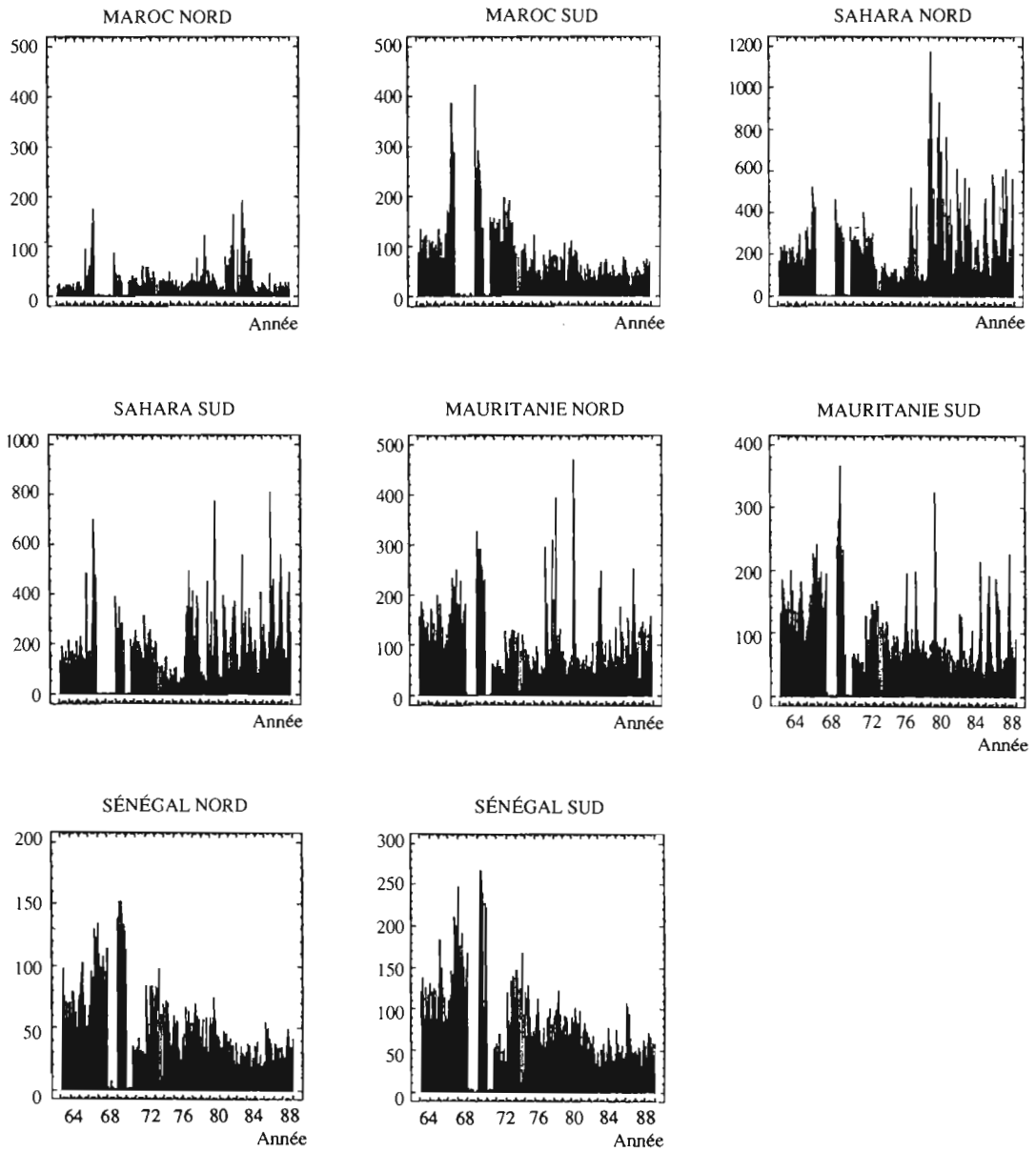


Tableau 1

Calendrier des upwellings, amplitude de variation de l'IUC ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$), latitude moyenne et orientation du plateau continental pour les huit zones considérées.

ZONES	CALENDRIER	INTERVALLE $m^3.s^{-1}.m^{-1}$		LATITUDE ORIENTATION
MAROC NORD	Mars - Août	1,35	1,77	29°N 240°
MAROC SUD	Permanent	1,61	2,93	26°30' N 220°
SAHARA NORD	Permanent	1,70	3,45	23°30"N 205°
SAHARA SUD	Permanent	1,76	4,17	21°N 190°
MAURITANIE NORD	Permanent	1,64	3,59	19°N 260°
MAURITANIE SUD	Oct. à juin	1,60	3,43	17°N 190°
SENEGAL NORD	Déc. à mai	1,54	2,88	15°20' N 220°
SENEGAL SUD	Déc. à mai	1,98	3,29	13°30' N 180°

Tableau 2

Paramètres de l'équation de la tendance et erreur type (entre parenthèses) pour les huit séries d'IUC entre 1964 et 1988.

zone	$y = a + b*t + c*t^2$ paramètres (*) et erreur type		
MAROC NORD	a = 1.4 (0,1)	$b = 2.0\ 10^{-3}$ $(0,7\ 10^{-3})$	
MAROC SUD	a = 2,0 (0,02)	$b = 1,6\ 10^{-3}$ $(0,1\ 10^{-3})$	
SAHARA NORD	a = 2,4 (0,1)	$b = 4,2\ 10^{-3}$ $(0,6\ 10^{-3})$	$c = -1,6\ 10^{-5}$ $(0,2\ 10^{-5})$
SAHARA SUD	a = 2,6 (0,1)	$b = 9,0\ 10^{-3}$ $(0,8\ 10^{-3})$	$c = -3,3\ 10^{-5}$ $(0,3\ 10^{-5})$
MAURITANIE NORD	a = 2,1 (0,1)	$b = 9,2\ 10^{-3}$ $(0,8\ 10^{-3})$	$c = -3,2\ 10^{-5}$ $(0,3\ 10^{-5})$
MAURITANIE SUD	a = 2,2 (0,1)	$b = 1,5\ 10^{-3}$ $(0,1\ 10^{-3})$	$c = -6,0\ 10^{-5}$ $(0,5\ 10^{-5})$
SENEGAL NORD	a = 1,8 (0,1)	$b = 8,5\ 10^{-3}$ $(0,5\ 10^{-3})$	
SENEGAL SUD	a = 2,1 (0,1)	$b = 8,3\ 10^{-3}$ $(0,6\ 10^{-3})$	

(* significatifs pour $p < 0,01$)

Tableau 3

Cycle moyen par mois de l'IUC ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$) le long de la côte ouest-africaine.

	Maroc nord	Maroc sud	Sahara nord	Sahara sud	Maurit. nord	Maurit. sud	Sénég. nord	Sénég. sud
1	1.17	1.97	1.97	2.29	1.78	3.00	2.88	2.98
2	1.14	1.96	2.40	2.58	2.14	2.83	2.50	2.95
3	1.65	2.44	2.63	3.10	2.73	3.21	2.73	3.29
4	1.44	2.25	2.59	3.53	3.34	3.38	2.59	3.19
5	1.77	2.31	2.93	4.04	3.52	3.43	2.10	2.30
6	1.35	2.32	3.16	4.17	3.59	2.52	1.26	1.26
7	1.76	3.36	3.45	3.32	2.79	1.44	.46	.79
8	1.54	2.93	3.03	3.24	2.39	1.16	.47	.58
9	1.09	2.22	2.56	2.80	2.21	1.60	.63	.61
10	.99	1.61	1.76	2.18	2.41	2.50	1.54	.98
11	1.17	1.72	1.70	1.76	1.75	2.70	2.19	1.98
12	1.13	1.91	1.91	2.11	1.64	2.79	2.75	2.57

Tableau 4

Cycle moyen par mois de la vitesse du vent ($m.s^{-1}$) le long de la côte ouest-africaine.

	Maroc nord	Maroc sud	Sahara nord	Sahara sud	Maurit. nord	Maurit. sud	Sénég. nord	Sénég. sud
1	6.31	6.66	6.34	6.50	6.56	6.93	6.66	6.26
2	6.42	6.76	6.89	6.78	6.56	6.67	6.62	6.19
3	7.26	7.53	7.09	7.26	7.12	7.00	7.01	6.44
4	7.47	7.22	7.14	7.82	7.72	7.34	7.24	6.39
5	7.80	7.35	7.62	8.47	7.99	7.32	6.69	5.73
6	7.00	7.41	7.90	8.61	7.77	6.57	5.84	4.86
7	8.00	8.74	8.18	7.59	6.86	5.54	4.85	4.66
8	7.37	8.18	7.69	7.46	6.42	5.08	4.61	4.62
9	6.18	7.15	7.17	7.02	6.19	5.52	4.51	4.24
10	5.84	6.20	6.03	6.34	6.69	6.27	5.32	4.16
11	6.24	6.45	5.79	5.78	6.14	6.57	6.02	5.26
12	6.32	6.86	6.35	6.45	6.40	6.75	6.54	5.98

Tableau 5

Vitesse du vent ($m.s^{-1}$) par mois dans la zone Maroc Nord, de 1964 à 1988.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	7.4	4.6	6.9	7.3	7.1	6.2	7.6	6.4	4.7	5.8	6.6	6.5
1965	6.9	5.9	7.6	8.6	6.6	7.6	8.8	6.1	5.6	5.3	5.5	8.5
1966	3.7	5.9	6.0	8.2	9.4	7.8	7.4	7.4	7.1	4.8	7.1	5.6
1967	5.7	5.6	6.2	7.3	7.3	7.1	9.3	8.0	4.8	6.0	5.8	6.1
1968	9.2	8.2	6.6		8.3	7.8		6.6	6.1	2.5		6.1
1969	1.5							7.4	8.1			
1970	6.5	7.0	6.5	6.7	7.3	5.9	7.2	8.5	6.2	5.3	7.0	7.4
1971		2.8	5.1			5.6		8.8	6.4	5.0	6.8	5.5
1972	6.5	6.9	6.2	8.0	8.6	6.7	8.4	6.9	4.4	5.0	6.0	6.8
1973	5.5	7.9	7.4	5.8	7.3	7.3	8.8	8.3	6.3	6.8	6.1	6.5
1974	6.4	8.3	8.2	9.0	6.9	8.7	7.7	7.8	7.3	8.5	5.6	6.4
1975	6.7	6.9	9.4	7.5	7.3	9.3	7.1	6.3	6.9	6.0	7.1	6.6
1976	5.1	6.8	8.1	7.2	7.9	5.4	5.9	6.9	8.2	8.3	7.1	5.8
1977	5.4	5.3	6.3	7.1	9.2	7.7	9.0	8.3	5.8	6.8	6.7	5.9
1978	7.9	5.1	8.8	7.9	7.2	7.3	7.7	7.9	6.9	6.9	5.6	5.3
1979	6.8	6.1	6.2	9.2	7.3	7.4	6.9	5.4	4.4	5.1	6.5	6.8
1980	5.6	6.1	6.2	6.3		8.5	8.0	8.7	6.0	5.8	7.4	8.0
1981	5.3	7.4	7.4	5.1	8.6	5.3	8.0	8.0	7.5	5.5	5.9	4.3
1982	6.0	6.9	4.5	4.9	8.0	6.3	6.1	5.3	4.4	6.1	5.7	6.3
1983	6.3	7.6	6.1	5.5	6.1	5.2	7.4	5.6	3.8	3.6	3.7	5.6
1984	9.5	5.6	5.6	6.0	6.4	5.0	6.4	5.2	4.6	5.0	6.2	7.2
1985	6.2	6.6		9.6	7.6	8.0	8.9		7.1	6.1	5.4	6.6
1986	6.9	6.2		8.8	9.1	6.7	9.0	8.4		9.9	7.2	5.9
1987	6.1	7.6	7.7	7.8	6.6	8.2		5.7	5.5	6.4	6.1	6.0
1988	8.1	6.8	9.9	8.1	7.4	7.0		9.2	6.0	3.9	6.6	5.9

Tableau 6

Vitesse du vent ($m.s^{-1}$) par mois dans la zone Maroc Sud, de 1964 à 1988.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	5.3	6.2	6.7	6.5	7.7	6.6	9.1	7.4	5.8	6.5	5.9	7.1
1965	6.4	4.4	7.1	8.9	6.4	7.5	9.2	7.6	6.3	3.7	6.0	8.1
1966	4.7	5.8	6.3	7.6	6.7	7.2	8.0	7.1	6.4	5.0	7.3	7.1
1967	6.7	7.1	7.1	4.9	6.4	7.6	8.9	7.8	7.4	6.2	5.5	6.1
1968		8.2	9.0		7.2	7.3		8.1	7.8	4.6		
1969	5.7						9.7	8.4	8.8			
1970	5.7	6.8	5.4	7.9	6.6	7.3	8.7	9.1	7.3	5.8	6.4	5.7
1971			6.6			6.6		8.4	6.0	5.8	5.1	6.2
1972	7.2	6.9	5.6	6.7	8.4	7.1	7.6	8.4	5.6	4.1	6.0	6.4
1973	5.8	7.3	7.3	5.6	7.1	7.1	8.4	8.6	7.2	6.5	5.2	5.8
1974	7.6	7.9	7.8	7.7	6.4	8.6	9.3	8.7	9.4	7.6	6.3	7.1
1975	6.8	6.0	8.6	7.7	6.8	7.6	8.0	7.4	8.7	6.9	7.8	6.1
1976	5.6	7.3	6.9	6.3	6.7	6.6	6.1	6.7	6.8	7.3	7.3	5.7
1977	6.8	6.2	7.9	7.3	7.0	6.9	9.9	8.9	6.9	6.2	6.8	5.0
1978	6.9	5.6	9.7	7.9	8.0	8.1	8.8	9.0	5.8	5.6	7.2	5.3
1979	6.4	6.3	7.7	8.6	7.7	7.9	8.8	8.3	7.4	5.5	8.2	6.9
1980	6.2	7.0	6.5	5.9	7.1	8.4	8.4	7.9	7.1	6.3	6.9	7.9
1981	7.0	6.5	5.9	5.9	7.3	7.3	9.2	8.1	7.8	6.4	5.8	5.4
1982	6.5	7.3	8.9	6.3	9.3	7.7	9.6	7.9	7.3	6.8	7.2	8.4
1983	8.3	6.7	7.7	7.8	8.5	7.4	8.8	7.7	6.9	6.6	5.1	6.4
1984	9.2	8.8	7.3	7.4	7.8	6.8	8.7	7.8	6.3	7.3	6.4	7.0
1985	6.5	6.5	8.5	7.7	6.9	7.4	9.5	9.4	7.9	7.9	5.0	7.4
1986	7.5	6.9		8.3	8.4	7.0	8.6	8.5	7.5	7.8	7.7	8.4
1987	5.1	6.9	7.4	7.6	7.9	8.6	9.1	8.1	6.7	6.0	6.9	6.7
1988	8.9	7.0	8.7	8.4	6.9	7.1	9.0	8.9	7.3	6.2	6.2	6.5

Tableau 7

Vitesse du vent ($m.s^{-1}$) par mois dans la zone Sahara Nord, de 1964 à 1988.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	5.4	6.2	6.9	7.5	7.8	7.5	8.6	7.3	6.8	5.9	5.4	7.2
1965	6.1	4.8	8.2	8.7	7.0	7.5	8.9	7.2	6.9	4.1	6.1	7.6
1966	4.9	6.3	6.6	8.2	6.5	7.6	8.5	7.4	6.5	5.9	7.5	7.4
1967	5.9	6.8	7.3	5.9	7.1	7.7	9.0	8.0	7.2	6.7	5.4	5.8
1968	8.1			5.1	8.1	5.7	6.8	3.8	8.1	5.1		
1969	4.0						6.8	7.6	9.2		2.0	7.8
1970	5.8	6.9	6.1	7.7	6.5	8.3	7.7	7.9	7.6	6.2	6.1	6.2
1971		8.1	7.1	7.8		7.6		8.5	7.1	5.6	5.3	6.9
1972	7.3	7.6	6.9	6.4	8.4	8.5	8.6	8.2	6.8	4.9	6.8	6.6
1973	6.7	7.5	6.9	6.3	8.2	8.4	8.8	8.6	7.5	7.3	5.6	6.1
1974	8.2	8.2	7.7	8.2	7.4	9.1	9.3	7.0	8.8	7.3	6.5	7.1
1975	6.8	6.8	9.3	7.6	8.2	8.6	7.4	8.3	8.7	7.9	6.8	4.8
1976	5.6	6.3	7.4	7.3	7.5	7.5	7.9	6.6	7.7	6.6	7.8	6.1
1977	6.8	8.1	8.5	6.1	7.2	8.7	9.3	8.3	7.4	6.1	6.1	4.9
1978	6.8	5.1	8.6	7.7	8.6	9.4	6.8	7.8	6.6	6.0	6.3	5.9
1979	5.9	7.5	7.9	8.5	8.3	8.8	8.4	8.5	6.8	5.3	5.9	5.4
1980	5.1	6.1	5.1	5.5	7.0	7.7	8.4	7.1	6.3	5.8	5.6	6.9
1981	6.2	6.9	6.3	6.8	8.0	7.3	8.4	7.2	7.8	6.3	5.6	7.4
1982	6.5	6.9	7.3	5.8	7.7	7.9	8.1	9.1	7.1	6.9	5.9	7.3
1983	6.3	5.6	5.9	7.5	7.8	7.0	9.3	8.4	6.1	5.1	4.5	5.4
1984	9.5	6.2	5.7	5.5	7.1	7.4	6.2	8.1	6.6	6.5	5.4	7.0
1985	6.1	6.9	6.6	6.8	6.9	8.1	9.1	7.4	7.4	5.3	5.2	6.2
1986	7.8	6.4	8.5	8.6	7.5	7.3	7.4	8.1	6.3	6.2	7.0	5.8
1987	4.4	7.2	5.4	7.2	7.8	8.3	7.9	7.7	5.2	5.7	4.9	5.4
1988	7.1	7.1	6.9	8.4	8.6	7.6	8.7	8.1	6.6	6.0	5.3	5.3

Tableau 8

Vitesse du vent ($m.s^{-1}$) par mois dans la zone Sahara Sud, de 1964 à 1988.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	4.5	5.4	7.5	8.1	7.6	8.4	7.4	7.2	7.1	6.3	5.7	6.6
1965	6.6	5.2	8.7	8.6	7.9	7.5	8.8	8.2	6.8	5.0	5.5	7.2
1966	5.4	6.6	6.0	8.2	6.7	8.0	9.4	7.3	7.1	6.3	6.0	6.5
1967	5.7	7.9	7.4	6.6	7.8	8.5	7.2	8.2	6.1	6.5	5.5	5.8
1968	7.1	5.5					6.6	5.1	5.0	4.6	4.6	8.9
1969					9.2		7.1	6.6	7.1		2.0	7.9
1970	6.5	6.1	6.1	8.0	7.3	9.2	7.7	8.4	7.9	6.8	6.4	6.7
1971		5.6	6.1	6.1		9.4		8.2	7.5	5.8	5.8	6.3
1972	7.6	8.1	7.2	7.3	8.9	9.2	9.0	8.7	7.5	5.8	7.1	6.8
1973	6.0	7.5	7.7	6.7	9.2	9.1	8.5	8.4	6.9	8.0	5.6	6.7
1974	7.9	8.6	9.0		8.2		7.0	7.3		8.1	7.3	6.4
1975	6.4	7.6	8.4	8.8	9.3	9.6	6.5	8.4	7.9	8.1	7.8	4.7
1976	6.2	8.0	8.0	8.5	8.7	8.2	9.2	7.3	8.9	7.3	7.4	6.8
1977	6.6	7.9	8.1	7.0	8.2	8.9	9.0	7.2	7.2	6.4	5.3	5.7
1978	7.2	5.6	8.3	9.2	9.1	9.1	6.8	7.6	6.0	5.8	5.5	5.2
1979	5.2	7.5	7.2	8.4	9.0	9.7	8.0	7.9	6.5	6.3	6.1	5.3
1980	5.7	5.9	5.9	6.6	7.9	8.9	6.3	6.9	6.6	6.3	5.9	6.8
1981	6.1	7.6	7.1	9.1	9.1	7.6	7.8	7.8	8.4	6.1	5.5	9.0
1982	5.1	6.3	6.6	6.1	9.2	8.3	7.5	7.7	6.4	6.1	5.6	6.8
1983	5.5	5.7	6.7	8.7	9.1	7.6	7.6	7.4	6.6	6.1	5.3	5.4
1984	8.6	5.9	6.7	5.4	8.7	7.0	6.9	7.4	7.0	6.1	5.8	6.2
1985	6.3	7.3	8.0	7.7	8.2	8.0	7.2	7.0	6.2	5.4	6.0	6.5
1986	8.5	7.6	9.0	9.0	8.2	8.3	6.2	5.9	5.6	6.3	6.2	6.1
1987	5.5	7.2	4.5	7.3	8.6	8.7	7.6	7.6	6.1	6.1	5.0	5.5
1988	5.9	6.1	6.7	8.2	8.6	8.3	6.9	6.7	6.8	6.6	5.6	5.4

Tableau 9

Vitesse du vent ($m.s^{-1}$) par mois dans la zone Mauritanie Nord, de 1964 à 1988.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	5.2	5.4	7.7	8.4	6.4	7.5	5.6	6.2	6.0	6.2	5.9	6.8
1965	6.4	5.9	7.7	7.7	7.7	7.4	6.5	6.3	6.4	6.2	5.8	5.9
1966	5.5	6.4	6.4	7.5	7.3	7.4	8.1	6.2	5.8	5.8	6.2	6.2
1967	5.7	8.4	6.8	7.3	8.0	7.7	5.1	6.4	5.4	6.1	6.9	6.5
1968	6.2	7.0	7.8	7.9	9.0	8.0	7.1	7.1	6.6	4.8	6.0	6.8
1969	6.1				6.9		8.7	5.8	3.0		3.8	8.2
1970	7.1	5.8	6.6	7.4	7.8	8.7	5.7	6.3	6.9	7.8	7.1	7.1
1971		2.5	7.7	8.9	7.6			5.7	6.8	5.4	5.7	6.3
1972	7.5	7.6	8.2	7.9	8.6	8.7	7.2	6.8	7.1	7.4	7.1	7.3
1973	6.3	7.9	7.6	7.6	8.9	8.4	7.9	6.8	6.8	7.7	6.5	7.3
1974	7.3	7.8	8.4	9.6	8.4		7.1	6.0	7.4	7.0	7.5	6.3
1975	6.2	7.6	7.8	8.1	8.9	8.6	5.6	5.8	6.2	7.1	7.2	5.9
1976	6.4	7.7	8.3	8.8	9.0	8.4	8.6	5.7	7.7	8.4	6.9	7.1
1977	7.4	7.1	7.0	6.0	8.4	7.3	8.4	7.2	6.2	7.8	5.1	5.4
1978	8.4	4.9	7.4	7.1	7.7	7.2	7.2	6.9	5.2	6.2	5.4	5.7
1979	4.8	7.3	7.2	7.6	8.9	8.3	7.0	7.1	7.2	7.9	6.7	6.2
1980	6.1	6.6	7.7	5.7	5.8	6.0	6.9	6.9	6.7	7.4	6.2	7.3
1981	6.7	6.8	7.7	9.1	8.5	9.1	7.6	7.2	7.0	8.7	6.8	7.3
1982	7.2	7.6	6.3	7.4	9.4	8.2	7.3	6.9	8.8	8.6	5.6	6.7
1983	6.0	4.8	5.3	5.7	6.9	5.9	6.7	6.1	5.7	5.6	7.0	6.0
1984	8.7	6.8	6.4	7.4	7.7	6.3	4.8	5.9	4.3	5.5	6.6	6.4
1985	6.0	6.6	7.1	8.5	8.5	7.3	6.3	5.3	5.5	5.2	5.9	5.9
1986	8.0	7.8	8.1	8.4	6.9	6.8	5.7	6.3	4.8	5.2	4.7	5.1
1987	5.1	5.0	4.6	6.9	7.9	7.4	7.9	7.7	5.1	6.6	5.4	5.1
1988	7.2	6.0	5.1	8.2	8.7	7.9	5.8	5.9	5.9	5.7	5.6	5.5

Tableau 10

Vitesse du vent ($m.s^{-1}$) par mois dans la zone Mauritanie Sud, de 1964 à 1988.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	5.4	4.8	7.1	7.5	5.3	6.3	4.7	4.5	5.0	5.1	5.8	6.6
1965	6.9	6.1	7.0	7.3	6.6	5.9	4.8	4.6	5.2	6.1	5.4	6.8
1966	5.7	6.1	5.9	6.6	6.8	5.4	5.7	5.0	4.8	4.9	6.2	6.1
1967	5.9	7.9	6.2	7.8	7.5	6.0	4.1	4.3	4.4	5.5	6.6	6.2
1968	6.5	7.0	7.9	7.3	8.1	6.3	5.2	5.3	5.2	4.4	5.6	6.6
1969	6.9				8.1	7.7	8.4	5.8				7.0
1970	7.4	5.6	6.6	6.4	7.0	6.5	4.8	4.6	5.3	6.3	6.5	6.8
1971	8.6		9.7	9.6	9.2			4.3	5.2	4.8	6.7	6.0
1972	7.6	7.5	7.4	7.5	7.9	6.7	4.9	5.5	5.9	6.8	6.4	7.6
1973	6.4	7.2	7.5	6.8	7.4	6.6	6.4	5.3	6.1	6.9	6.3	7.8
1974	7.5	7.4	8.8	8.9	7.6	7.2	4.5	3.8	7.2	6.6	7.0	6.8
1975	6.8	7.2	7.4	7.8	8.5	6.7	5.0	4.6	4.9	5.6	7.5	5.8
1976	7.2	6.7	7.7	7.6	8.8	6.9	5.7	5.6	5.3	7.0	7.2	7.3
1977	7.6	7.5	6.8	6.1	7.4	6.5	6.1	6.3	5.3	7.3	5.4	6.3
1978	8.1	6.1	7.1	7.6	7.5	6.2	5.2	4.8	5.0	6.2	6.3	6.4
1979	5.7	6.6	6.5	6.9	7.8	6.4	5.8	5.5	5.3	6.9	6.6	5.6
1980	6.7	7.1	7.3	6.9	6.2	5.9	5.6	5.1	5.6	7.2	5.8	7.6
1981	6.6	7.4	7.6	8.7	8.0	7.2	5.9	5.1	5.5	6.7	6.0	7.0
1982	7.5	7.2	5.9	7.5	9.0	7.6	5.3	5.2	6.3	6.9	7.1	7.2
1983	5.5	5.7	6.3	6.3	6.2	6.3	6.0	4.5	5.8	5.5	7.3	7.2
1984	9.1	7.3	6.7	8.0	6.9	6.1	5.5	6.2	6.0	6.3	6.9	7.4
1985	6.8	6.8	7.3	6.7	7.2	6.0	5.0	5.2	6.5	5.9	7.4	7.3
1986	7.0	6.3	6.7	7.0	5.9	7.6	6.4	4.9	5.3	6.8	7.6	5.9
1987	5.4	6.0	5.6	6.9	6.7	6.8	6.3	5.8	5.8	7.7	6.6	8.1
1988	8.2	5.7	5.1	6.2	5.2	6.8	5.3	5.2	5.6	6.9	7.5	5.5

Tableau 11

Vitesse du vent ($m.s^{-1}$) par mois dans la zone Sénégal Nord, de 1964 à 1988.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	5.0	4.5	6.3	6.8	4.1	4.7	4.3	3.9	3.8	4.1	5.4	6.0
1965	6.8	5.7	6.6	6.4	6.1	4.9	4.2	4.7	3.9	5.1	4.5	6.5
1966	5.2	5.9	6.0	5.7	6.2	4.6	4.4	4.1	4.3	3.8	5.3	5.6
1967	5.2	6.8	5.8	7.3	6.6	5.0	3.9	4.1	4.2	4.7	5.8	6.8
1968	6.2	6.3	7.1	6.7	7.2	5.4	4.3	4.7	3.9	4.3	5.5	6.0
1969	6.1			7.7	6.5	7.7	5.1	5.1	3.0		2.5	3.5
1970	7.0	5.0	6.0	5.6	6.3	5.5	4.4	4.0	4.4	4.8	6.1	6.7
1971	5.1		7.7		6.1	8.9		4.0	4.6	3.8	5.8	5.8
1972	6.8	6.3	6.9	7.3	6.6	5.1	4.3	4.4	5.1	5.2	5.0	7.1
1973	5.9	7.3	7.7	6.9	6.1	5.5	4.8	4.5	5.4	5.9	5.8	7.7
1974	6.8	7.4	8.4	8.4	6.4	7.3	7.3	4.1	4.5	5.8	6.9	6.0
1975	6.4	7.5	6.7	7.1	7.4	4.9	4.4	3.6	4.5	4.8	6.9	6.1
1976	7.6	7.2	8.1	7.0	7.5	5.2	5.2	5.2	4.7	5.6	6.9	6.4
1977	7.2	7.8	6.4	6.9	6.7	5.9	4.9	5.2	4.6	6.8	5.4	6.7
1978	7.7	5.6	7.1	6.2	7.3	5.6	4.8	4.5	4.7	5.2	5.9	6.3
1979	6.8	6.4	6.9	7.3	5.8	4.5	5.3	4.8	5.2	4.9	6.8	5.2
1980	6.4	7.1	7.8	6.8	7.3	5.7	5.4	4.5	4.7	6.2	6.4	7.4
1981	6.2	6.5	6.9	7.9	6.5	6.0	4.6	4.9	4.7	6.4	5.6	6.5
1982	7.2	6.8	6.2	7.9	7.3	6.4	4.5	5.8	4.2	6.0	6.1	8.5
1983	7.1	6.6	7.4	6.9	7.9	5.4	5.9	4.6	5.0	4.2	7.3	7.4
1984	7.5	7.2	8.0	8.2	7.8	5.8	5.1	5.6	4.7	5.9	7.8	7.1
1985	7.7	7.1	7.6	7.8	7.8	6.2	3.8	4.0	4.7	4.8	5.9	7.5
1986	6.9	7.5	7.4	8.1	5.8	7.2	5.7	4.8	3.7	6.1	7.8	7.7
1987	7.4	6.1	6.8	6.3	6.9	5.9	5.1	5.3	4.8	6.9	6.3	7.4
1988	8.6	7.7	6.5	7.6	7.4	6.7	4.9	5.0	5.6	6.3	7.0	5.8

Tableau 12

Vitesse du vent ($m.s^{-1}$) par mois dans la zone Sénégal Sud, de 1964 à 1988.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	4.7	4.4	5.2	6.1	3.6	4.0	4.2	4.3	4.2	3.5	3.9	5.0
1965	5.9	5.3	5.6	5.9	4.9	4.0	4.3	4.6	4.1	4.3	3.9	5.5
1966	4.9	5.1	5.7	5.2	5.1	4.1	3.9	4.2	4.2	3.4	4.4	4.7
1967	4.8	6.3	5.3	6.5	5.6	4.1	4.0	4.7	4.1	3.7	5.4	6.6
1968	5.5	5.5	6.7	5.9	5.5	4.8	4.1	4.0	3.6	3.6	5.3	5.5
1969	6.2				4.8	5.6	5.1	5.1			4.2	3.5
1970	6.7	4.6	5.7	5.1	5.1	4.5	4.1	4.5	3.9	3.9	5.1	5.8
1971		5.3	8.5	7.8	7.8	8.0		4.3	3.8	3.6	5.6	5.0
1972	6.6	6.2	5.7	6.5	6.0	4.0	4.3	4.1	3.8	3.5	5.4	6.5
1973	5.8	7.0	6.6	5.7	5.2	4.3	4.6	4.7	4.2	3.7	5.0	6.7
1974	6.4	6.8	8.0	7.9	5.7	5.5	5.7	4.4	4.5	4.8	5.2	6.0
1975	5.9	6.3	6.1	6.7	6.3	4.6	4.1	4.6	4.2	4.1	6.0	5.6
1976	7.3	6.7	7.8	6.1	7.2	4.9	4.6	5.4	4.5	4.8	5.0	7.2
1977	6.3	6.4	5.8	6.3	5.8	4.6	4.8	4.9	3.4	4.7	4.5	5.8
1978	7.3	6.2	5.6	6.1	5.9	4.5	5.2	5.0	4.5	4.4	5.1	5.8
1979	6.2	5.7	6.6	6.2	5.5	4.6	4.5	4.2	4.3	4.9	5.7	5.4
1980	7.1	6.4	6.6	6.3	6.1	4.7	4.4	4.1	4.9	5.0	5.6	6.9
1981	6.1	6.9	6.5	6.9	5.4	5.1	4.6	4.8	4.2	4.5	5.3	6.6
1982	6.3	7.5	6.0	6.8	6.7	4.4	5.1	4.7	3.9	4.6	4.8	6.9
1983	5.8	7.2	6.2	6.0	5.5	4.9	4.9	4.7	5.0	3.9	5.5	7.1
1984	6.8	5.5	7.2	7.0	5.6	5.5	5.1	4.4	3.9	4.6	6.8	6.7
1985	7.3	7.2	7.9	7.5	6.6	4.6	4.4	4.3	5.4	4.2	6.0	5.8
1986	7.6	7.2	7.4	6.6	5.4	5.8	5.4	5.1	4.1	4.5	6.4	6.6
1987	6.4	5.8	6.2	5.6	5.7	5.0	4.7	4.7	4.3	5.5	5.6	6.3
1988	8.3	7.0	5.8	6.8	6.3	5.4	5.7	5.5	4.7	4.8	5.9	5.9

Tableau 13

Valeurs mensuelles de l'IUC ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$) de 1964 à 1988 dans la zone Maroc Nord.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	.6	.4	1.1	1.1	1.4	.7	1.6	1.0	.6	1.1	1.5	1.1
1965	1.3	.6	1.8	1.9	.9	1.5	2.3	.9	.9	.1	1.1	2.7
1966	.5	.8	.9	2.1	2.4	1.4	1.3	1.6	.8	.5	1.7	.9
1967	.9	.6	1.1	.9	1.6	1.2	2.5	1.9	.8	1.1	.7	1.1
1968	1.7	2.7	1.6	.0	2.6	1.8		.9	1.0	.0		1.1
1969	.0							2.2	2.0			
1970	.6	1.7	1.4	1.5	1.5	1.0	1.2	2.4	.9	1.0	2.0	1.2
1971		.0	.0			1.5		2.3	1.1	.8	1.4	.9
1972	1.3	.9	.8	1.9	2.0	1.5	2.2	1.2	.6	.3	.8	.9
1973	1.0	1.9	1.4	.9	1.6	1.4	2.0	1.9	1.4	1.4	1.2	1.1
1974	1.2	2.1	1.8	2.0	1.3	2.3	1.3	1.7	1.4	2.5	1.0	1.5
1975	1.6	1.5	2.8	1.5	.9	2.3	1.4	1.0	1.3	.9	1.7	1.1
1976	.5	1.4	2.1	1.0	1.6	.6	.8	1.0	2.5	2.1	1.7	.6
1977	.6	.9	1.4	1.6	3.1	1.8	2.0	1.4	.9	1.2	1.3	.8
1978	2.0	.5	2.5	1.5	1.3	1.3	1.6	1.8	1.2	1.4	1.1	.2
1979	1.5	.8	1.0	2.5	1.9	1.5	1.2	.7	.4	.4	1.3	1.8
1980	.6	1.0	.8	1.5	3.5	1.8	1.7	2.5	.7	.9	1.7	2.4
1981	.6	1.8	2.1	.5	2.5	1.0	1.7	1.6	1.2	1.0	1.1	.6
1982	1.0	1.2	.9	.2	1.7	.7	.9	.5	.3	.9	.9	1.5
1983	2.2	1.5	1.1	.7	1.0	.7	1.2	.8	.3	.3	.1	.7
1984	3.2	.9	.9	1.1	1.1	.7	1.2	.7	.5	.8	.9	1.3
1985	1.0	1.2	4.0	2.7	1.6	1.8	2.2	3.9	1.6	.8	.3	.9
1986	1.8	.6	3.0	2.2	2.8	1.1	2.3	1.4	3.3	2.9	1.5	.8
1987	.4	1.0	2.0	1.9	1.3	2.0	3.3	.6	.6	1.1	.9	1.0
1988	1.8	1.3	3.1	1.9	1.2	1.0	2.7	2.7	1.0	.2	.7	1.1

Tableau 14

Valeurs mensuelles de l'IUC ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$) de 1964 à 1988 dans la zone Maroc Sud.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	.9	1.8	1.9	1.6	2.5	1.8	3.5	2.3	1.4	1.8	1.4	2.3
1965	1.6	.5	2.2	3.4	1.8	2.3	3.6	2.5	2.0	.3	1.6	3.0
1966	1.0	1.3	1.9	2.6	1.9	2.3	2.6	2.2	1.7	.8	2.3	2.2
1967	2.0	2.3	2.2	.8	1.7	2.3	3.5	2.6	2.5	1.8	1.0	1.7
1968		2.6	3.4		2.4	1.9		2.9	1.9	.4		
1969	1.0						4.1	3.0	3.2			
1970	1.1	2.0	1.2	2.8	1.9	2.3	3.3	4.0	2.3	1.3	1.9	1.2
1971			1.1			1.6		3.0	1.5	1.4	1.0	1.6
1972	2.5	1.8	1.4	2.2	3.1	2.2	2.5	3.3	1.3	.5	1.5	1.7
1973	1.4	2.4	2.3	1.1	2.4	2.2	3.1	3.3	2.2	1.9	1.1	1.2
1974	2.7	2.6	2.3	2.3	1.5	3.0	3.9	3.2	3.9	2.6	1.9	2.0
1975	2.0	1.6	3.3	2.7	1.6	2.4	2.7	2.2	3.3	1.9	2.8	.9
1976	1.5	1.8	2.0	1.4	1.8	1.7	1.5	1.9	1.9	2.2	2.5	1.2
1977	1.9	1.5	3.1	2.5	2.1	2.2	4.2	3.3	2.2	1.5	2.1	.6
1978	2.1	1.1	4.5	2.9	2.8	3.0	3.2	3.5	1.4	1.1	1.9	1.0
1979	.9	1.8	2.6	3.1	2.7	2.5	3.3	2.9	2.3	1.1	3.1	1.9
1980	1.5	2.1	1.5	1.4	2.0	3.0	3.1	2.6	2.2	1.9	2.0	3.0
1981	2.4	1.8	1.4	1.3	2.0	2.3	3.8	2.8	2.7	1.5	.9	1.1
1982	1.7	2.6	3.3	1.0	3.9	2.3	4.1	2.5	2.3	1.8	2.0	3.4
1983	2.9	1.8	2.5	2.3	3.3	2.2	3.3	2.4	1.9	1.8	.5	1.4
1984	4.1	3.7	2.1	2.2	2.3	1.8	3.1	2.5	1.8	2.4	1.6	2.0
1985	1.2	1.7	3.1	2.6	2.0	2.5	3.9	4.3	2.9	2.9	1.0	2.3
1986	2.5	1.9	4.3	3.3	3.0	2.1	3.2	3.2	2.5	2.7	2.3	2.9
1987	.7	2.0	1.8	2.8	2.6	3.3	3.8	3.0	1.8	1.5	1.9	1.2
1988	3.1	2.4	3.0	3.3	1.8	2.0	3.7	3.7	2.4	1.4	1.2	1.1

Tableau 15

Valeurs mensuelles de l'IUC ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$) de 1964 à 1988 dans la zone Sahara Nord.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	1.3	1.9	2.5	2.9	3.0	2.9	3.8	2.7	2.3	1.8	1.4	2.7
1965	1.8	.9	3.5	4.0	2.5	2.8	3.9	2.6	2.6	.7	1.9	2.9
1966	1.2	1.9	2.3	3.3	2.1	3.0	3.5	2.7	2.0	1.6	3.0	2.7
1967	1.5	2.2	2.7	1.7	2.6	2.9	4.2	3.2	2.5	2.3	1.4	1.5
1968	3.2	4.2	5.3	.0	3.0	1.7	2.3	.4	2.3	.7		5.1
1969	.7						2.5	2.7	4.2		.1	3.4
1970	1.7	2.3	2.1	3.1	2.1	3.5	3.3	3.1	2.8	1.8	2.0	1.6
1971		3.2	1.9	2.5		2.8		3.6	2.6	1.5	1.4	2.1
1972	2.8	3.0	2.6	2.2	3.5	3.5	3.6	3.5	2.4	1.1	2.4	2.1
1973	2.2	2.8	2.5	1.9	3.5	3.5	4.1	3.8	2.9	2.6	1.5	1.6
1974	3.3	3.5	3.0	3.5	2.7	4.1	4.1	2.5	4.0	2.8	2.0	2.1
1975	2.3	2.3	4.5	2.9	3.4	3.7	3.0	3.5	3.9	3.1	2.6	.8
1976	1.3	2.2	2.7	2.7	2.8	2.7	3.2	2.2	3.0	1.9	3.1	1.7
1977	2.3	3.3	3.8	1.8	2.5	4.0	4.4	3.5	2.6	1.9	1.8	1.0
1978	2.3	1.2	3.8	3.1	3.8	4.5	2.5	3.0	2.0	1.5	1.8	1.6
1979	1.6	3.0	3.2	4.0	3.7	3.9	3.6	3.7	2.2	1.3	1.7	1.3
1980	1.1	1.8	1.2	1.4	2.5	3.0	3.7	2.5	2.1	1.6	1.5	2.4
1981	1.8	2.5	2.0	2.4	3.2	2.6	3.7	2.7	3.1	2.1	1.5	2.8
1982	2.0	2.3	2.8	1.4	3.0	3.1	3.4	4.3	2.5	2.5	1.7	2.5
1983	1.6	1.4	1.8	2.9	3.0	2.4	4.3	3.4	1.7	1.1	.9	1.2
1984	4.8	2.1	1.8	1.6	2.6	2.7	2.0	3.3	2.3	2.1	1.4	2.5
1985	1.8	2.3	2.3	2.3	2.3	3.4	4.2	3.0	2.7	1.4	1.2	1.7
1986	2.9	1.9	3.8	4.0	2.9	2.6	2.7	3.3	2.1	1.8	2.5	1.5
1987	.7	2.5	1.4	2.9	3.0	3.5	3.2	3.0	1.2	1.5	1.0	1.4
1988	2.4	2.7	2.3	3.6	3.8	3.0	3.8	3.5	2.3	1.7	1.1	.9

Tableau 16

Valeurs mensuelles de l'IUC ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$) de 1964 à 1988 dans la zone Sahara Sud.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	.9	1.6	3.1	3.7	3.0	4.0	3.1	3.2	2.7	2.2	1.7	2.4
1965	2.1	1.2	4.5	4.1	3.5	3.3	4.3	3.9	2.6	1.2	1.5	2.7
1966	1.4	2.3	2.0	3.6	2.6	3.7	4.9	3.3	2.8	2.2	1.8	2.1
1967	1.5	3.4	3.3	2.5	3.5	4.0	3.0	4.1	2.1	2.2	1.6	1.7
1968	2.8	.9					2.1	1.0	.9	.8	.5	3.4
1969	5.7				4.6		2.8	1.6	2.5		.1	3.9
1970	2.3	2.0	2.3	3.7	2.9	4.7	3.5	4.1	3.6	2.5	2.4	2.4
1971		2.9	2.4	1.8		4.5		3.9	3.2	1.7	1.8	1.7
1972	3.2	3.5	3.0	3.0	4.3	4.7	4.5	4.4	3.2	1.7	2.7	2.3
1973	1.8	3.2	3.4	2.2	4.8	4.7	4.1	4.1	2.6	3.5	1.6	1.9
1974	3.1	4.0	4.8	5.8	3.7	5.8	2.7	3.3	6.3	3.7	3.0	2.1
1975	2.3	3.2	4.2	4.5	4.8	5.1	2.3	4.1	3.8	3.8	2.9	.9
1976	1.9	3.6	3.5	3.9	4.2	3.7	4.9	3.4	4.5	2.8	2.8	2.5
1977	2.7	3.5	4.1	2.9	3.8	4.6	4.7	3.1	2.7	2.2	1.3	1.6
1978	2.7	1.6	3.9	4.8	4.7	4.6	2.8	3.4	1.9	1.7	1.4	1.2
1979	1.5	3.2	2.8	4.2	4.7	5.3	3.7	3.8	2.3	2.0	2.0	1.2
1980	1.6	1.9	2.0	2.5	3.8	4.6	2.3	2.7	2.4	2.1	1.9	2.5
1981	1.9	2.9	2.8	4.8	4.5	3.2	3.4	3.5	4.1	2.0	1.5	4.7
1982	1.2	2.2	2.3	2.0	4.8	3.8	3.0	3.3	2.2	1.9	1.6	2.4
1983	1.0	1.6	2.5	4.2	4.7	3.3	3.2	3.2	2.4	1.9	1.5	1.5
1984	4.1	2.1	2.6	1.7	4.1	2.8	2.9	3.2	2.7	2.2	1.9	2.0
1985	2.3	3.1	3.7	3.5	3.8	3.6	3.1	2.9	2.2	1.6	1.9	1.8
1986	3.9	3.1	4.8	4.8	3.8	4.0	2.2	1.9	1.7	2.2	2.1	1.7
1987	1.6	2.9	1.0	3.2	4.0	4.3	3.3	3.3	2.0	1.9	1.4	1.5
1988	1.8	2.2	2.4	3.8	4.1	3.9	2.9	2.6	2.6	2.3	1.4	.9

Tableau 17

Valeurs mensuelles de l'IUC ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$) de 1964 à 1988 dans la zone Mauritanie Nord.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	1.1	1.4	3.3	3.7	2.4	3.1	1.9	2.4	2.2	2.0	1.6	2.3
1965	1.5	1.7	3.3	3.2	3.3	3.3	2.4	2.3	1.8	1.8	1.3	1.3
1966	1.2	2.2	2.1	3.0	3.1	3.0	3.8	2.3	1.7	1.6	1.4	1.3
1967	.8	3.4	2.5	2.8	3.8	3.5	1.3	2.6	1.5	1.8	2.5	1.4
1968	1.2	2.4	3.4	3.6	4.6	3.7	3.3	3.0	2.2	1.0	1.7	2.0
1969	2.5				2.0		3.8	.8	.0		.5	3.9
1970	2.5	1.6	2.3	3.0	3.5	4.5	1.8	2.4	2.6	3.2	2.7	2.0
1971		.1	2.4	3.3	.0			1.9	2.2	1.2	1.4	1.5
1972	2.8	2.6	3.7	3.3	3.9	4.3	2.9	2.8	2.6	2.9	2.2	1.8
1973	1.3	3.1	3.2	3.3	4.4	4.1	3.4	2.7	2.7	3.2	2.0	1.5
1974	1.7	2.6	3.8	5.0	3.9	5.7	2.4	2.0	3.2	2.4	2.9	1.5
1975	1.0	2.9	3.3	3.7	4.3	4.2	1.6	1.7	2.4	2.9	1.7	1.5
1976	1.5	2.9	3.5	4.5	4.5	4.2	4.2	1.9	3.1	3.6	2.2	2.5
1977	2.9	2.1	2.7	2.1	4.1	3.3	4.3	3.1	2.3	3.4	1.0	1.3
1978	3.2	1.3	3.0	2.9	3.4	3.1	3.2	2.7	1.6	1.8	.9	1.3
1979	1.2	2.4	2.6	3.4	4.8	4.2	2.8	2.9	3.3	3.4	2.1	1.0
1980	1.6	1.9	3.2	1.9	1.9	2.1	2.9	2.8	2.7	3.2	1.8	2.3
1981	1.5	2.4	3.4	4.6	4.2	4.6	3.6	3.0	2.8	4.1	1.9	2.2
1982	2.2	3.0	1.9	3.2	5.1	4.0	3.1	2.6	4.5	3.8	1.5	1.3
1983	.7	1.0	1.6	1.8	2.6	1.9	2.8	2.2	2.0	1.6	2.4	1.8
1984	3.4	1.7	2.3	3.0	3.5	2.5	1.5	2.4	1.5	1.7	2.2	1.3
1985	1.5	2.5	2.7	4.1	4.1	3.0	2.3	1.4	1.5	1.3	1.7	1.3
1986	2.1	3.2	3.4	4.0	2.9	3.0	2.2	2.2	1.2	1.4	.9	.9
1987	1.2	1.1	.9	2.9	3.5	3.3	3.6	3.3	1.5	2.7	1.6	1.2
1988	2.3	1.8	1.2	3.9	4.3	3.9	1.8	2.1	2.0	1.8	1.6	.6

Tableau 18

Valeurs mensuelles de l'IUC ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$) de 1964 à 1988 dans la zone Mauritanie Sud.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	1.6	1.2	3.1	3.7	1.6	2.0	.7	1.0	1.1	1.5	2.0	2.9
1965	2.8	2.1	3.1	3.1	2.5	2.0	1.0	.8	1.2	2.1	1.5	2.8
1966	1.8	2.4	2.2	2.4	3.0	1.4	1.5	1.0	1.1	1.3	2.2	2.0
1967	1.5	4.0	2.4	3.7	3.4	2.0	.4	.7	.7	1.9	2.7	2.2
1968	2.5	2.9	4.0	3.3	4.2	2.4	1.4	1.5	1.5	.9	1.8	2.8
1969	3.5				4.2	1.7	3.1	1.4				4.0
1970	3.6	1.8	2.8	2.7	3.1	2.5	.8	.9	1.4	2.5	2.8	2.8
1971	4.6		6.0	4.6	5.6			.6	1.3	1.3	2.8	2.0
1972	3.7	3.5	3.3	3.5	3.8	2.9	1.0	1.6	2.0	2.7	2.5	3.3
1973	2.2	3.1	3.9	3.0	3.4	2.6	2.2	1.0	2.2	3.0	2.4	3.4
1974	3.3	3.5	5.4	5.1	3.5	3.1	.6	.5	3.2	2.6	3.1	2.9
1975	2.9	3.5	3.5	3.9	4.6	3.0	1.0	.8	1.3	1.7	3.2	2.0
1976	3.2	3.1	3.8	3.5	5.2	2.8	1.8	1.0	1.9	3.3	3.0	3.4
1977	3.8	3.6	3.0	2.2	3.5	2.3	2.3	2.3	1.6	3.5	1.7	2.6
1978	4.2	2.3	3.2	3.8	3.5	2.2	1.4	1.0	1.3	2.4	2.5	2.5
1979	2.0	2.7	2.7	3.1	4.0	2.5	2.0	1.5	1.3	3.2	2.7	1.7
1980	2.8	3.4	3.5	3.1	2.3	1.8	1.2	1.1	1.7	3.4	1.9	3.7
1981	2.4	3.6	3.8	4.8	4.0	3.0	1.7	1.1	1.3	3.2	1.9	2.9
1982	3.2	3.1	2.3	3.7	5.4	3.3	1.5	1.1	2.2	3.2	3.3	3.0
1983	1.6	2.1	2.4	2.4	2.5	2.3	1.9	1.0	1.9	1.8	3.5	2.9
1984	5.6	3.4	2.9	3.9	3.0	2.6	1.3	2.3	2.1	2.6	3.2	3.2
1985	3.0	3.6	3.7	2.8	2.9	1.8	1.0	1.0	2.0	2.2	3.5	3.3
1986	3.2	2.4	3.0	3.2	2.1	4.0	2.0	.9	1.2	3.0	4.0	1.9
1987	1.6	2.1	1.8	3.3	2.8	2.9	1.7	1.7	1.6	3.9	3.1	4.1
1988	4.4	1.8	1.4	2.5	1.7	3.3	1.4	1.3	1.4	3.0	3.6	1.6

Tableau 19

Valeurs mensuelles de l'IUC ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$) de 1964 à 1988 dans la zone Sénégal Nord.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	1.4	.9	2.0	2.5	.6	.6	.3	.3	.3	.6	1.6	2.1
1965	3.0	1.7	2.3	1.9	1.8	.7	.4	.3	.5	1.4	1.0	2.6
1966	1.5	2.0	2.0	1.3	1.9	.6	.4	.2	.6	.6	1.8	2.3
1967	1.6	2.7	1.8	2.8	2.0	.8	.1	.1	.3	1.1	1.9	2.8
1968	2.7	2.0	2.8	2.1	2.3	1.1	.3	.6	.3	.9	1.6	2.2
1969	2.8			2.0	1.3	.5	.7	1.0	.0		.2	.3
1970	2.9	1.2	1.9	1.7	1.8	.9	.3	.2	.5	1.2	2.1	3.0
1971	1.0		2.3	1.7	1.5	5.1		.3	.6	.7	1.8	2.0
1972	2.5	2.3	2.3	2.5	2.0	.9	.3	.4	1.0	1.0	1.7	3.0
1973	2.0	3.2	3.4	2.5	1.5	1.1	.3	.4	1.1	1.8	1.8	3.9
1974	2.8	3.5	4.3	3.8	1.6	1.6	1.4	.4	.6	1.9	2.6	2.1
1975	3.1	3.4	2.3	2.9	3.0	.8	.3	.1	.4	1.1	2.8	2.4
1976	3.8	3.0	3.8	2.4	3.3	1.0	.6	.3	.6	1.4	3.0	2.6
1977	3.2	3.7	1.9	2.2	2.0	1.6	.6	.7	.6	2.9	1.4	3.1
1978	3.7	1.4	2.7	1.9	2.5	1.1	.3	.4	.7	1.3	2.3	2.5
1979	2.9	2.2	2.8	2.9	1.4	.7	.7	.6	1.1	1.1	2.7	1.5
1980	2.4	3.0	3.4	2.8	2.6	1.1	.5	.4	.6	2.1	2.4	3.9
1981	2.3	2.5	2.5	3.4	1.6	1.1	.4	.5	.9	2.3	1.6	2.8
1982	3.8	2.3	2.0	3.1	2.4	1.1	.5	1.5	.6	2.4	2.2	4.9
1983	3.4	2.3	3.4	2.2	3.5	.6	.3	.3	.3	.5	3.5	3.4
1984	3.8	3.2	3.7	3.4	2.8	1.7	.5	1.0	.7	2.5	4.0	2.9
1985	3.7	3.1	3.4	3.9	2.8	1.1	.0	.2	1.2	1.2	1.8	3.7
1986	3.4	3.1	3.3	3.3	1.1	2.6	.8	.5	.3	2.2	3.9	3.8
1987	3.4	1.6	2.7	2.2	2.4	1.0	.5	.4	.8	2.9	2.5	3.5
1988	4.9	3.5	2.5	3.2	2.9	2.2	.3	.6	1.3	1.9	2.6	1.7

Tableau 20

Valeurs mensuelles de l'IUC ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$) de 1964 à 1988 dans la zone Sénégal Sud.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1964	1.5	1.1	2.0	3.0	.7	.6	.4	.3	.3	.6	1.0	2.0
1965	2.7	1.9	2.5	2.5	1.5	.7	.5	.3	.3	1.0	1.1	2.2
1966	1.6	2.2	2.7	1.9	1.8	.8	.6	.4	.4	.4	1.0	1.3
1967	1.4	3.1	2.3	3.0	2.3	.7	.3	.3	.3	.5	2.1	3.0
1968	2.1	2.1	3.6	2.5	2.0	1.4	.5	.8	.3	.8	1.7	2.1
1969	3.1				1.1	1.0	1.4	1.6			1.1	.4
1970	3.6	1.5	2.5	2.1	1.7	1.0	.6	.4	.5	.8	1.9	2.6
1971		1.3	4.3	4.8	4.2	4.8		.3	.4	.3	2.3	1.5
1972	3.5	3.0	2.2	3.1	2.5	.9	.7	.6	.4	.4	1.9	3.0
1973	2.3	3.9	3.6	2.7	1.4	.7	.7	.7	.9	.6	1.6	2.9
1974	2.8	3.7	5.2	4.9	2.2	2.1	.9	.5	.5	1.5	1.9	2.4
1975	2.9	3.1	2.8	3.5	3.0	.8	.6	.2	.4	.7	2.4	2.1
1976	4.2	3.3	4.9	2.9	4.2	1.2	.6	.5	.4	1.1	1.8	3.9
1977	3.0	3.3	2.6	3.1	2.3	1.0	1.0	1.0	.6	1.5	1.2	2.5
1978	4.3	2.8	2.2	2.8	2.4	.9	.9	.9	.4	1.1	1.5	2.5
1979	2.9	2.2	3.6	3.3	1.9	.9	.7	.7	.8	1.6	2.6	1.8
1980	3.8	2.9	3.2	3.3	2.9	1.4	.6	.6	1.0	1.8	2.4	3.7
1981	2.6	4.0	3.3	3.5	2.1	1.3	.8	1.0	.8	1.3	2.0	3.1
1982	2.8	4.3	2.7	3.7	3.2	.8	1.5	.7	.7	1.3	1.6	3.7
1983	1.9	4.2	3.1	2.5	2.4	.9	.6	.4	.7	.5	2.2	3.5
1984	3.9	2.3	4.3	3.8	1.9	1.9	1.3	.6	.7	1.1	3.7	3.4
1985	4.2	4.4	5.1	4.4	3.2	.9	.6	.4	.9	.7	2.7	2.6
1986	4.2	4.1	4.5	3.3	1.8	2.2	1.1	.6	.4	1.3	2.7	2.9
1987	3.0	2.4	3.3	2.5	2.0	.9	1.0	.4	1.1	2.1	2.4	3.0
1988	5.5	3.6	2.7	3.5	3.0	1.5	1.2	.5	1.4	1.4	2.6	2.3

DISCUSSION

HERBLAND: Il est important d'insister sur l'hétérogénéité des zones d'upwelling le long du littoral ouest-africain. Des upwellings côtiers peuvent être caractérisés par des indices égaux (anomalies de températures par exemple) mais être le reflet de processus physiques et biologiques très différents.

BINET: Quelle est la différence entre turbulence, transport d'Ekman et indice d'upwelling ?

ROY: La turbulence est estimée à partir de la vitesse du vent élevée au cube, cet indice est indépendant de la latitude. Le transport d'Ekman est calculé à partir de la vitesse du vent au carré, divisé par le paramètre de Coriolis qui est fonction du sinus de la latitude. L'indice d'upwelling, qui est la composante normale à la côte du transport d'Ekman, est fonction de la vitesse du vent, de son orientation par rapport à la côte et de la latitude.

MILLET: Existe-t-il d'autres indices que le transport d'Ekman pour caractériser l'intensité des upwellings ?

ROY: Les différences entre les températures de surface à la côte et au large peuvent être utilisées comme indice de l'intensité d'un upwelling. En utilisant cet indice, on obtient des résultats très proches de ceux obtenus avec le transport d'Ekman.

OUDOT: Il y a cependant des limites à l'utilisation de l'indice d'Ekman qui devient inutilisable près de l'équateur. On fixe la limite de validité de cet indice autour de 4 ou 5 degrés de part et d'autre de l'équateur.

FREON: Il faut, je pense, insister sur l'étroite relation qui lie la dynamique du plancton à l'intensité des turbulences.

ROY: De fortes turbulences peuvent en effet nuire au couplage qui existe entre le phytoplancton et le zooplancton. La stabilité dans la couche homogène détermine l'efficacité de ce couplage.

CHAUVEAU: Est-il possible d'établir une classification des différentes régions d'Afrique de l'Ouest sur le critère de leur richesse halieutique ?

FREON: Il existe une concordance assez bonne entre les valeurs des indices d'upwelling et la richesse halieutique.

CURY: Des différences de productivité d'une zone à l'autre existent et peuvent être quantifiées. Ce n'est pas toujours évident en valeur instantanée mais globalement. A l'échelle saisonnière, l'upwelling de Côte- d'Ivoire apparaît, par exemple, comme étant moins productif que l'upwelling sénégalo-mauritanien, bien que de forts enrichissements puissent y être observés ponctuellement.

MARCHAL: Quelle est l'influence des sous-courants, des tourbillons, d'une part sur les eaux transportées vers le large et d'autre part sur le flux de compensation ?

ROY: Effectivement, dans un upwelling côtier les structures sont tourbillonnaires. Le modèle d'Ekman est une simplification extrême des processus physiques mis en jeu. Cependant, si l'on s'intéresse à la circulation résiduelle, il y a un bon accord entre les observations et ce modèle très simple.

MARCHAL: Que se passe-t-il si le vent dominant provient de l'équateur ?

ROY: On observe un «downwelling», c'est-à-dire une accumulation d'eau à la côte.

CITEAU: Existe-t-il des validations qui permettent de considérer que la turbulence peut s'exprimer par la vitesse du vent au cube ? Le nombre de Richardson par exemple.

ROY: Le nombre de Richardson fait référence à la stabilité qui résulte de la stratification verticale et des courants existants au sein d'une masse d'eau. Nous nous intéressons ici au transfert d'énergie à l'interface air-mer. De nombreuses références sur ce sujet existent dans la littérature.

BIBLIOGRAPHIE

• Arfi, R. 1985. Variabilité inter-annuelle d'un indice d'intensité des remontées d'eaux dans le secteur du Cap-Blanc (Mauritanie). J. Fish. Aquat. Sci.. 12:1969-1978.

• Bainbridge, V. 1960. The plankton of inshore waters off Freetown, Sierra Leone. Fishery publications, Colonial Office 13, 43 p.

• Bakun, A. 1973. Daily and weekly upwelling indices, West Coast of north America 1946-71. U.S. Dep. Comm., NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-671, 103p.

• Bakun, A. 1978. Guinea current upwelling. Nature, 271: 147-150.

• Bakun, A. 1990. Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. Science, 247: 198-201.

• Bakun, A. et R.H. Parrish. 1980. Environmental inputs to fishery population models for eastern boundary current regions. *In* Workshop on the effects of environmental variation on the survival of larval pelagic fishes. G. D. Sharp, ed. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, Paris. IOC Workshop Rep.,28:67-104.

• Barber, R.T. et R.L. Smith. 1981. Coastal upwelling ecosystems. *In*: Analysis of marine ecosystems, A. Longhurst, ed, Academic Press, p31-68.

• Barton, E.D. 1985. Structure and variability of the central water mass front off Cabo Blanco. October 1981-April 1982. *In*: Simposio Internacional sobre las areas de afloramiento mas importantes del Oeste Africanao, C. Bas, R. Margalef et P. Rubies (eds), Institudo de investigaciones pesqueras, Barcelona, Vol. 1, p. 49-61.

• Belvèze, H. et K. Erzini. 1983. The influence of hydroclimatic factors on the availability of the sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum) in the moroccan atlantic fishery. *In*: Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources, G.D. Sharp, J. Csirke Ed., FAO, FIRM/R, 291 (2): 285-327.

• Binet, D. 1983. Phytoplancton et production primaire des régions côtières à upwelling saisonniers dans le Golfe de Guinée. Océanogr. trop., 18 (2): 331-335.

• Binet, D. 1988. Rôle possible d'une intensification des alizés sur le changement de répartition des sardines et sardinelles le long de la côte ouest-africaine. Aquat. living Resour., 1: 115-132.

• Boëly, T., Fréon P. et B. Stequert. 1982. La croissance de *Sardinella aurita* (Val. 1847) au Sénégal. Océanogr. trop.,17(2): 103-119.

• Brink, K.H. 1983. The near-surface dynamics of coastal upwelling. Prog. Oceanogr., 12: 223-257.

• Colin, C. 1988. Coastal upwelling events in front of the Ivory Coast during the FOCAL program. Oceanologica Acta, 11: 125-138.

• Cury, P. 1989. Approches modélisatrices des relations à court, moyen et long termes entre la dynamique des stocks de poissons pélagiques côtiers et les fluctuations climatiques. Thèse de Doctorat de Biomathématiques. Université Paris 7, 258p.

• Cury, P. et C. Roy. 1987. Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de Côte-d'Ivoire: une approche globale. Oceanologica Acta.,10, 3: 347-357.

• Cury, P. et C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 46: 670-680.

• Cushing, D. H. 1982. Climate and fisheries. Academic Press, New York and London, 373p.

• Cushing, D.H. 1989. A difference in structure between ecosystems in strongly stratified waters and in those that are only weakly stratified. J. Plankt. Res., 11: 1-13.

• Demers, S., J.C. Therriault, E. Bourget et A. Bah. 1987. Resuspension in the shallow sublittoral zone of a macrotidal estuarine environment: wind influence. Limnol. Oceanogr., 32(2): 327-339.

• Ekman, V.W. 1905. On the influence of the earth's rotation on ocean currents. Ark. f. Mat. Astr. och Fysik. K. Sv. Vet. Ak., Stockholm, Vol. 2, 11.

• Elsbery, R.L. et R.W. Garwood. 1978. Sea surface temperature anomaly generation in relation to atmospheric storms. Bull. Amer. Meteor. Soc., 59 (7): 786-789.

• FAO, 1985. Rapport de la troisième réunion du groupe de travail *ad hoc* sur la sardine (*Sardina pilchardus* Walb.). COPACE/PACE series 85/39, 157p.

• Fraga, R. 1974. Distribution des masses d'eau dans l'upwelling de Mauritanie. Téthys, 6:5-10.

• Fraga, F., E.D. Barton et O. Llinas. 1985. The concentration of nutrients salts in «pure» North ans South Atlantic Central Waters. *In*: Simposio Internacional sobre las areas de afloramiento mas importantes del Oeste Africanao, C. Bas, R. Margalef et P. Rubies, (eds.), Institudo de investigaciones pesqueras, Barcelona, Vol. 1, p. 25-36.

• Fréon, P. 1984. Des modèles de production appliqués à des fractions de stock dépendants des vents d'upwelling (pêche sardinière au Sénégal). Océanogr. Trop., 19 (1): 67-94.

• Fréon, P. 1988. Réponses et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation: Analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. Etudes et Thèses, ORSTOM, 287 p.

• Furnestin, M. L. 1957. Chaetognathes et zooplancton du secteur atlantique marocain. Rev. Trav. Inst. Pêches marit. 21 (1 et 2), 356 p.

• Furnestin, M. L. 1976. Les copépodes du plateau continental marocain et du détroit canarien. I. Répartition quantitative. Cons. int. Explor. Mer, CM 1976/L: 8, 5p.

• Furnestin, J. et M.L. Furnestin. 1959. La reproduction de la sardine et de l'anchois des côtes Atlantiques du Maroc (saisons et aires de ponte). Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 23, 1:, 79-104.

• Gning I., C. Roy et D. Toure. à paraître. Variabilité spatio-temporelle de la température, des nitrates et de la chlorophylle devant les cotes du Sénégal. A paraître dans Doc. Sci. Cent. Rech. Oceanogr. Dakar-Thiaroye.

• Gouriou, Y. 1988. Le milieu dans l'Atlantique tropical est. *In* Fonteneau, A. et J. Marcille (eds), Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est. FAO, Doc. Tech. Pêches:, 292: 11-32.

• Halpern, D. 1976. Structure of a coastal upwelling event observed off Oregon during July 1973. Deep-Sea Res., 23: 495-508.

• Haury, L.R. 1984. An offshore eddy in the California current ssytem, part 4: plankton distributions. Prog. Oceanogr., 13: 95-111.

• Haury, R. H., J. J. Simpson, J. Pelaez, C. J. Koblinsky et D. Weisenhahn. 1986. Biological consequences of a recurent eddy off Point Conception, California. J. Geophys. Res., 91, C11: 12937-12956.

• Hellerman, S. et M. Rosenstein. 1983. Normal monthly wind stress over the world ocean with error estimates. J. Phys. Oceanogr., 13, 7: 1093-1104.

• Herbland, A. et P. Le Loeuff. 1988. Les sels nutritifs au large de la Côte d'Ivoire. *In* :Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire.,1 le milieu marin. Le Loeuff P., E. Marchal, J. B. Amon Kothias (eds), ORSTOM Paris.

• Holloday, C. G. et J.J. O'Brien. 1975. Mesoscale variability of sea surface temperatures. J. Phys. Oceanogr., 5: 761-772.

• Houghton, R. W. 1976. Circulation and hydrographic structure over the Ghana continental shelf during the 1974 upwelling. J. Phys. Oceanogr., 6: 909-924.

• Huntsman, S. A. et R. T. Barber. 1977. Primary production off northwest Africa : the relationship to wind and nutrient conditions. Deep-Sea Res., 24: 25-34.

• Ingham, M. C. 1970. Coastal upwelling in the northwestern of Gulf of Guinea. Bull. Mar. Sci., 20: 2-34.

• Jacques, G. et P. Tréguer. 1986. Ecosystèmes pélagiques marins. Collection d'écologie, 19. Masson ed., Paris, 243p.

• Koblinsky, C. J., J. J. Simpson et T. D. Dickey. 1984. An offshore eddy in the California current system, part 2 : surface manifestation. Prog. Oceanogr., 13: 51-69.

• Llinas, O., F. Fraga et E.D. Barton. 1985. Nutrient distributions in the central water mass front near Cabo Blanco, October 1981. *In*: Simposio Internacional sobre las areas de afloramiento mas importantes del Oeste Africanao, C. Bas, R. Margalef et P. Rubies(eds.), Institudo de investigaciones pesqueras, Barcelona, Vol. 1, p. 37-48.

• Manriquez, M. et F. Fraga. 1982. The distribution of water masses in the upwelling region of Northwest Africa in November. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 39-47.

• Marchal, E. et J. Picaut. 1977. Répartition et abondance évaluées par échointégration des poissons du plateau continental ivoiro-ghanéen en relation avec les upwellings locaux. J. Res. Océanogr., 2: 39-57.

• Medina-Gaertner, M. 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: 141p.

• Mendo, J., L. Pizarro et S. Castillo, 1987. Monthly turbulence and Ekman transport indexes, 1953 to 1985, based on local wind records from Trujillo and Callao, Peru. *In*: D. Pauly and I. Tsukayama (eds.), The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change. ICLARM studies and Reviews 15, 351p. IMARPE, Callao,

Peru; GTZ, Eschborn, Federal Republic of Germany; and ICLARM, Manila, Philippines

• Minas, H.J., Codiposti L.A., R.C. Dugdale. 1982. Nutrients and primary production in the upwelling region off Northwest Africa. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 148-183.

• Mittelstaedt, E. 1983. The upwelling area off Northwest Africa. A description of phenomena related to coastal upwelling. Prog. Oceanog., 12: 307-331.

• Moore, D. W., P. Hisard, J.P. McCreary, J. Merle, J.J. O'Brien, J. Picaut, J.M. Verstraete et C. Wunsch. 1978. Equatorial adjustment in the eastern Atlantic ocean. Geophys. Res. Lett., 5: 637-640.

• Niiler, P.P. et E.B. Kraus. 1977. One-dimensional models of the upper ocean. *In* :E.B. Kraus (ed.), Modelling and prediction of the upper layers of the ocean. Pergamon Press, New-York, p.143-172.

• Parrish, R.H., A. Bakun, D.M. Husby, et C.S. Nelson. 1983. Comparative climatology of selected environmental processes in relation to Eastern boundary current pelagic fish reproduction. *In*: Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources, G.D. Sharp, J.Csirke (ed.), FAO Fish Rep., 291, 3, 731-777.

• Picaut, J. 1983. Propagation of the seasonal upwelling in the eastern equatorial Atlantic. J. Phys. Oceanogr., 13: 1, 18-37.

• Rébert, J. P. 1983. Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais. Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 93, 186p.

• Rossignol, M. et M.T. Aboussouan. 1965. Hydrologie marine côtière de la presqu'île du Cap-Vert. Contribution à l'étude de la productivité des eaux. Doc. Sci. CRODT, 2, 166p.

• Roy, C. 1989. Fluctuations des vents et variabilité de l'upwelling devant les côtes du Sénégal. Oceanologica Acta., 12, (4): 361-369.

• Roy, C., P. Cury, A. Fontana et H. Belvèze. 1989. Stratégies spatio-temporelles de la reproduction des clupéidés des zones d'upwelling d'Afrique de l'Ouest. Aquat. Living Resourc., 2:21-29.

• Servain, J., J. Picaut et J. Merle. 1982. Evidence of remote forcing in the equatorial Atlantic ocean. J. Phys Oceanogr., 12: 457-463.

• Simpson, J. J., C. J. Koblinsky, J. Pelaez, L. R. Haury et D. Weisenhahn. 1986. Temperature-plant pigment-optical relations in a recurrent offshore mesoscale eddy near Point Conception, California. J. Geophys. Res., 91, C11: 12919-12936.

• Simpson, J. J., C. J. Koblinsky, L.R. Haury et T. D. Dickey. 1984. An offshore eddy in the California current system, preface. Prog. Oceanogr., 13: 1-4.

• Smith, R.L. 1968. Upwelling. Oceanogr. Marine Biol. Ann. Rev., 6: 11-46.

• Smith, R.L. 1981. A comparison of the structure and variability of the flow field in three coastal upwelling regions: Oregon, Northwest Africa and Peru. *In*: Coastal Upwelling, (ed.), F.A. Richards American Geophysical Union, Washington, D.C.

• Smith, S. D. 1988. Coefficients for sea surface wind stress, heat flux, and wind profiles as a function of wind speed and temperature. J. Geophys. Res., 93, C12: 15467-15472.

• Stevenson, M.R., R. Garvine et B. Wyatt. 1974. Lagrangian measurements in a coastal upwelling zone off Oregon. J. Phys. Oceanogr., 4: 321-336.

• Teisson, C. 1982. Application de la théorie d'Ekman à l'étude des courants et des remontées d'eaux profondes le long des côtes sénégalaises. Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 106, 79p.

• Therriault, J.C. et T. Platt. 1981. Environmental control of phytoplankton patchiness. J. Fish. Res. Bd. Can.: 38(6): 368-641.

• Touré, 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, 186 p.

• 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.

• Wooster, W. S., A. Bakun et D.R. McLain. 1976. The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic. J. Mar. Res., 34: 131-141.

4 • The influence of climatic changes on the coastal oceanography of Ghana

MARTIN ALABI MENSAH
Oceanographer, Fisheries Department Research & Utilization Branch, Tema, Ghana

ABSTRACT

Monthly means of amounts of rainfall recorded at two stations in Ghana over the period 1979-1981 and 1987, rates of river flow and sediment transport recorded at seven stations quite close to the sea and monthly means of zooplankton displacement volumes taken off Tema (Ghana) are analysed. Two patterns of annual rainfall occur in Ghana. In pattern 1 which is dominant, major rains occur during the period May - July but mainly in May and June, while minor rains take place between September and October but most often in October, as it happened in the years 1979-1981. In pattern 2 which is rare, major rains occur in September while the minor rains take place during the period March - May, as it occurred in 1987. The rainfall patterns correlate with the patterns of river flow and sediment discharge into the sea. Rainfall pattern 1 correlates with the major coastal upwelling and is, therefore, more likely to exert immediate positive influence on biological production in Ghanaian coastal waters. Thus, rainfall patterns should be considered in modelling the effects of the environment on coastal pelagic fisheries.

RÉSUMÉ

Les moyennes mensuelles de la pluviométrie relevée à deux stations du Ghana sur la période 1979-1981 et 1987, les débits des rivières et des sédiments transportés pour sept stations situées près de la mer, ainsi que les moyennes mensuelles des déplacements de volumes planctoniques devant Tema (Ghana), sont analysés. Deux schémas annuels différents sont observés au Ghana. Le premier est dominant et les pluies apparaissent entre mai - juillet (principalement entre mai et juin), tandis que la petite saison des pluies a lieu entre septembre et octobre (plus souvent en octobre comme cela se produisit durant les années 1979-1981). Pour le second schéma qui est peu fréquent, les pluies ont lieu en septembre alors que les pluies secondaires ont lieu entre mars et mai, comme cela apparaît en 1987. Le premier schéma des pluies est corrélé avec l'upwelling et est ainsi plus susceptible d'exercer une influence positive sur la production biologique des eaux ghanéennes. Ainsi, les schémas des pluies devraient être considérés lorsque l'on modélise les effets de l'environnement sur les pêcheries pélagiques côtières.

INTRODUCTION

The coastal oceanography of Ghana has been sufficiently described by several authors (Howat, 1946; Mensah 1973, 1974; Houghton and Mensah 1978; Mensah and Koranteng; 1988). It is dominated by a seasonal coastal upwelling which occurs for approximately three months (July - September) of the year. For the rest of the year a strong thermocline exists, except for a few weeks in January, February or March, when a minor upwelling

occurs. This thermocline fluctuates in depth between 10 and 40 metres.

Several authors have also described the linkage between the Ghanaian coastal oceanography and abundance and availability of the coastal pelagic stocks especially, *Sardinella aurita*. Among these authors are Mensah (1973); Ofori-Adu (1975, 1977); FRU/ORSTOM (1976); Houghton and Mensah (1978); and Mensah and Koranteng (1988).

Until the near-collapse of the sardinella stocks in 1972 due to overfishing of the adult stocks, the relationship between the *Sardinella* landings, plankton production and upwelling indices has been linear and positively correlated. This relationship has broken down since 1973, though the linear relationship has been maintained between upwelling index and plankton production.

The mechanism of the coastal upwelling has been the subject of research by several authors (Ingham, 1970; Pople and Mensah, 1971; Houghton, 1976; Bakun, 1978; Houghton and Mensah, 1978; Adamec and O'Brien *et al.*, 1978; Clarke, 1978; Philander, 1979; Citeau, Piton and Voituriez, 1981; Picaut, 1983; Houghton, 1983). In summary, the driving force for the Ghanaian coastal upwelling is non-local and not related to the local wind force. The current prevailing view is that low frequency waves observed over the shelf and on the equator in the Gulf of Guinea may provide a non-local driving mechanism for this coastal upwelling.

Very little work has been done on relating the abundance and availability of coastal pelagic fish stocks to the local climatic factors. Using river flow data recorded in Ivory Coast since 1966, Binet (1982) has related the *Sardinella aurita* fishery of Ivory Coast and Ghana to coastal oceanography and climatic changes. This paper describes the correlation between the patterns of rainfall, river discharge and sediment transport into the sea, zooplankton production and the sort of relationship it may have with the Ghanaian coastal fisheries.

THE DATA

Three series of data have been used: (a) amounts of rainfall; (b) rates of river flow and sediment discharges into the sea; (c) quantities of zooplankton.

Rainfall data: These were monthly means of amounts of rainfall recorded at two stations (Axim and Saltpond) on the coast for the period 1979-1981 and 1987 by the Meteorological Services Department of Ghana. They are presented in table 1 and figure 1. These data were selected from data available for eight stations on the coast during 12 years when rainfall data were regularly available within the 1971-1987 period (tab. 1 and 2).

River discharges and sediment transport: These data records of rates of river flow and sediment transport into the sea were taken by the Water Resources Research Institute of Ghana. They were recorded at seven stations quite close to the sea (fig. 2) and for the period 1987-1988 (tab. 3 and fig. 3).

Fluctuations in zooplankton abundance during the period 1973-1977: Monthly means of zooplankton displacement volumes in ml/1000 litres of sea water taken on the continental shelf along a transect off Tema were used. The gear used in collecting the zooplankton was ICITA net operated step-obliquely from approximately 8-32 metres to the surface. These data are presented in figure 4 and table 4.

OBSERVED PATTERNS

Patterns of rainfall

The two stations (Axim and Saltpond) and the period 1979-1981 and 1987, were chosen in order to illustrate the patterns of rainfall and any changes in the patterns (fig. 1, tab. 1). For every month there is some amount of rainfall in one part of the country or the other. The amounts of rainfall vary from month to month producing two main peaks - major and minor. The timing of the peaks also varies. The major peaks occur between May and July while the minor peaks occur between September and October in some years such as in 1979-1981 but in other years such as 1987 the major peaks occur in September while the minor peaks occur between March and May. Further examination of the data for the eight stations and the 12-year period (tab. 1 and 2) showed that the major peaks occurred more commonly between May and July than in September or November. In fact, for the 12-year period, the major rainfall peaks occurred in September or November in only 1975 and 1987.

Patterns of river discharges and sediment transport

Since there are no data available on river discharges and sediment transport for the period 1979-1981, patterns of river discharges and sediment transport cannot be described for that period.

River discharge patterns in 1987-1988: At five of the sampling stations (Jumoro, Dominase, Beposo/Daboasi, Okyereko and Ekotsi) in 1987, the rates of river flow reached their major peaks in October while at the remaining two sampling stations (Mankesim and Todizenu) the major peaks were reached in September (fig. 3, tab. 3). There were hardly any minor peaks except at two stations, Dominase and Todizenu, where the minor peaks occurred in March and July respectively. In 1988, three stations (Dominase, Mankesim and Ekotsi) registered major peaks in October, one station (Jumoro) in September, another station (Todizenu) in June; there was no identifiable major peak at one station, Okyereko, while no recording was made at the seventh station (Beposo/Daboasi). A weak minor peak was observed at only one station - Dominase-in June.

Sediment transport patterns in 1987-1988: Five of the sampling stations (Jumoro, Dominase, Beposo/Daboasi, Okyereko and Ekotsi) registered peak sediment loads in October of 1987 (fig. 3, tab. 3); the other two stations (Mankesim and Todizenu) recorded peaks in September. The timing of occurrence of minor peaks

Fig. 1

Rainfall pattern at Axim 1979-1981 (a); rainfall pattern at Saltpond 1979-1981 (b); mean rainfall at Axim and Saltpond 1979-1981 (c); rainfall pattern at Axim and Saltpond 1987 (d).

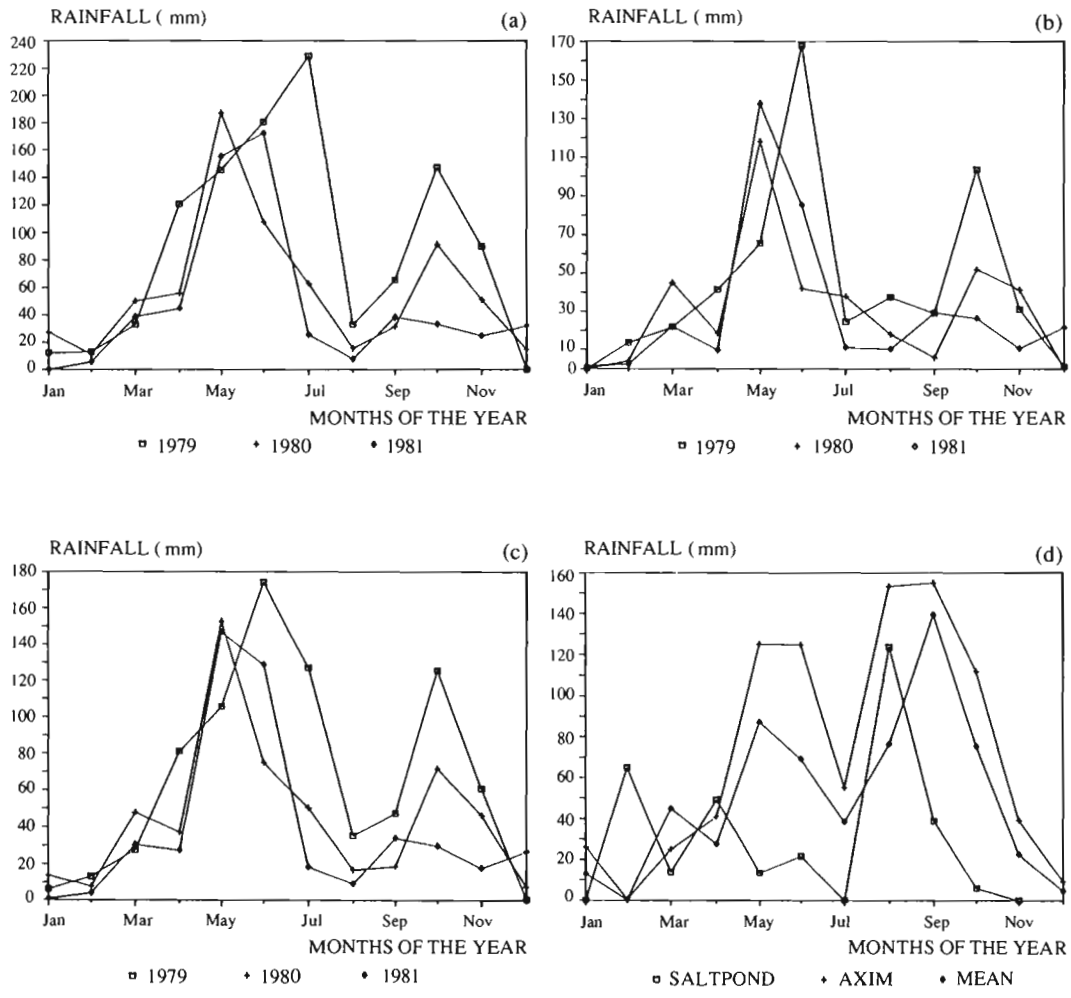
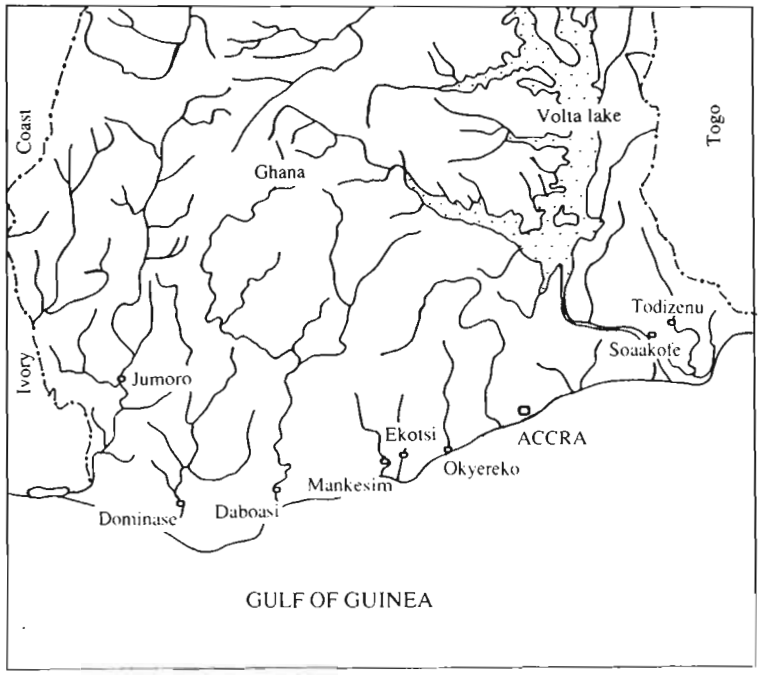


Fig. 2
Locations of sampling stations



was rather variable, taking place either in April or May or July. The situation was more variable in 1988. Major peak transport of sediment load occurred in April at one station (Todizenu); in May at one station (Dominase); in June at one station (Okyereko); in September at another station (Jumoro) and in October at two stations (Mankesim and Ekotsi) (fig. 3, tab. 3). Five weak minor peaks were observed - three occurred in June (Jumoro, Mankesim and Ekotsi) while the remaining two occurred in October (Dominase and Okyereko).

Zooplankton production patterns

The period 1973 - 1977 was selected to illustrate the effect of rainfall patterns on zooplankton production because there were sufficient zooplankton data available during the period. Despite the lack of zooplankton data during August 1976 (fig. 4), it shows clearly that during the period 1973 - 1977, peak of zooplankton production occurred during the three-month period- July - September, especially in September in 1973, 1975 and 1977. For the rest of the year, zooplankton production was minimal.

DISCUSSION

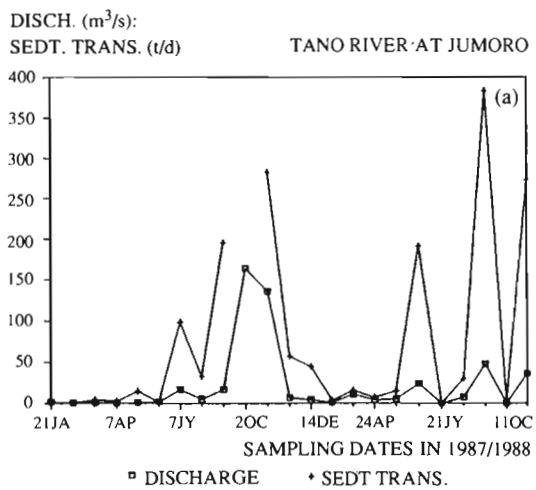
Correlation between the patterns of rainfall, river discharge and sediment transport and zooplankton production.

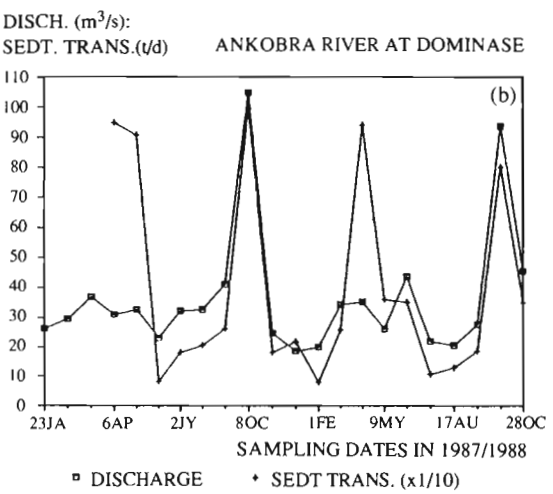
The results show that two main patterns of rainfall occur in Ghana; one pattern is more common than the other. In pattern 1, the more common pattern, major rainfall takes place generally during May and July but mainly during May and June and the minor rainfall occurs between September and October but most often in October. This pattern of rainfall took place during the period 1979-1981 (fig. 1) and in all years during the period 1971-1987 except in 1975 and 1987. In pattern 2, major rainfall takes place during September and November while the minor rainfall occurs between March and May, as occurred in 1987 (fig. 1d). and also in 1975 (tab. 2). The pattern of rainfall in 1987 (pattern 2) is very consistent with the pattern of river flow and sediment transport into the sea in 1987. The river flow pattern in 1988, to a large extent, is consistent with the pattern in 1987, though the transport pattern is rather variable in 1988. Analysis of rainfall data for 1988, whenever available, will explain the situation more clearly. Based on the results of the 1987 data analysis, even though there are no river discharge and sediment transport data available for the years 1979-1981, one could fairly assume, that the patterns of river discharge and sediment transport would be consistent with rainfall pattern 1.

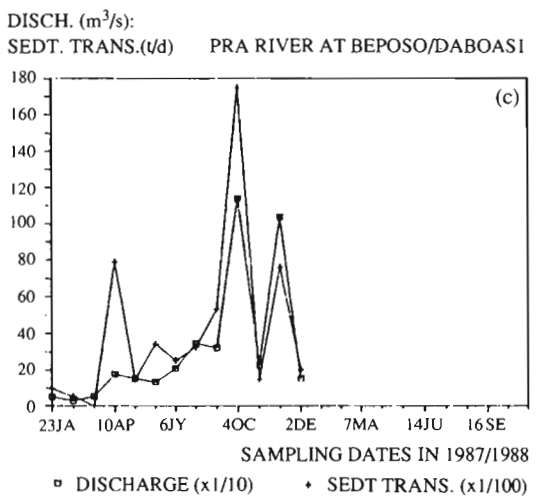
It is generally known that nutrients and other chemical elements that are used in the process of photosynthesis in the sea are replenished from land sources through river run off as a result of rains. Where a nutrient element is a limiting factor in photosynthesis, its depletion in the sea will limit photosynthesis and consequently limit phytoplankton and zooplankton

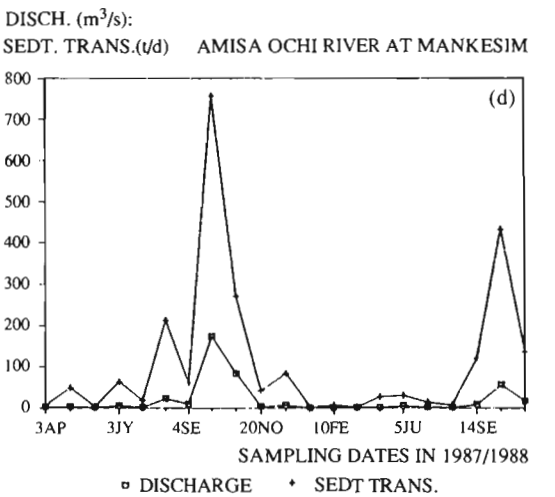
Fig. 3

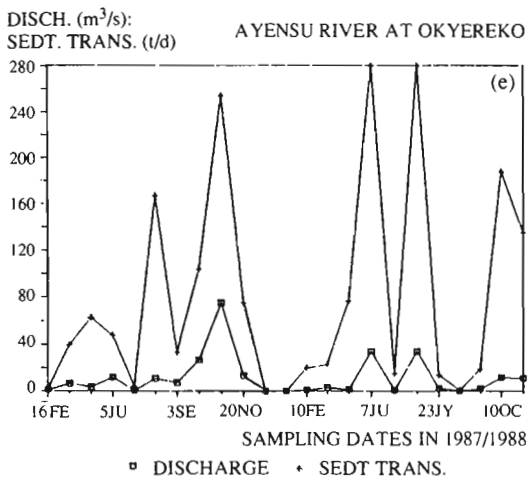
Discharge and sediment transport

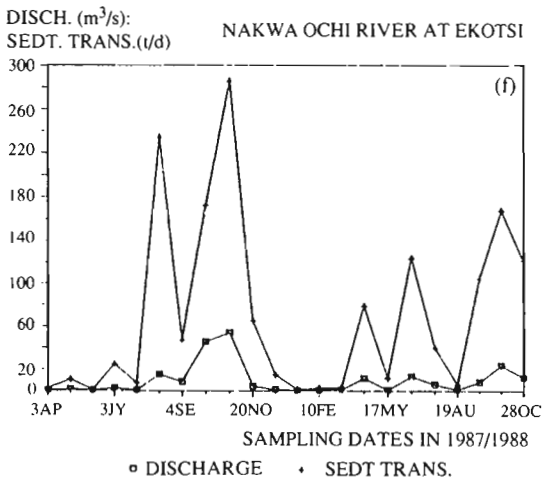









DISCH. (m3/s):
SEDT. TRANS. (t/d)
AYENSU RIVER AT OKYEREKO
(e)
280
240
200
160
120
80
40
0
16FE
5JU
3SE
20NO
10FE
7JU
23JY
10OC
SAMPLING DATES IN 1987/1988
DISCHARGE
SEDT TRANS.


DISCH. (m3/s):
SEDT. TRANS.(t/d)
NAKWA OCHI RIVER AT EKOTSI
(f)
300
260
220
180
140
100
60
20
0
3AP
3JY
4SE
20NO
10FE
17MY
19AU
28OC
SAMPLING DATES IN 1987/1988
DISCHARGE
SEDT TRANS.

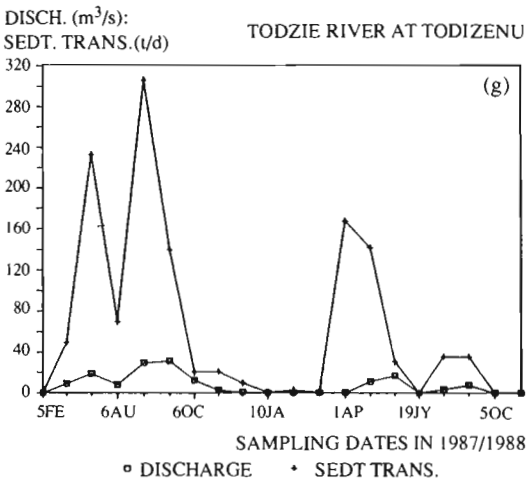
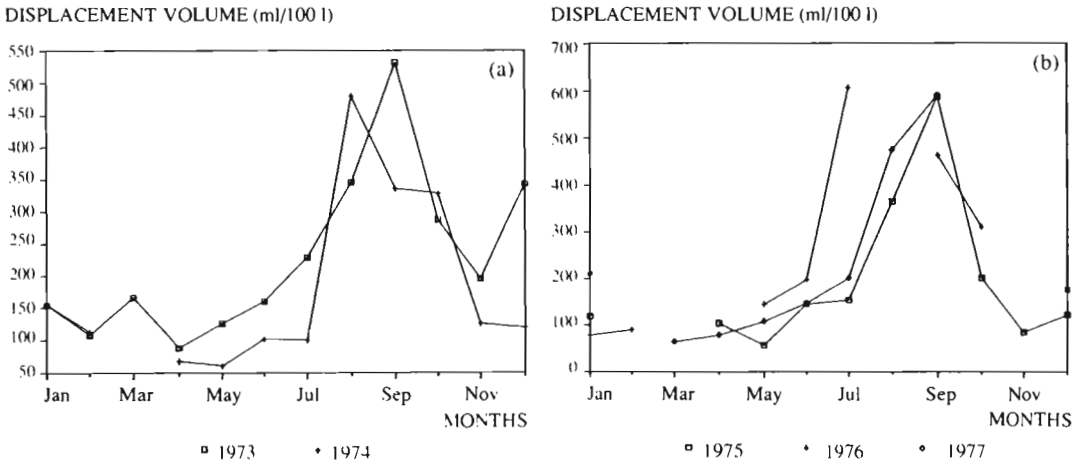

DISCH. (m3/s):
SEDT. TRANS.(t/d)
TODZIE RIVER AT TODIZENU
(g)
320
280
240
200
160
120
80
40
0
5FE
6AU
6OC
10JA
1AP
19JY
5OC
SAMPLING DATES IN 1987/1988
DISCHARGE
SEDT TRANS.

Fig. 4
Monthly mean zooplankton



production and hence fish larval survival, no matter how excellent the upwelling is in a particular year. The annual major coastal upwelling in Ghana takes place during July, August and September, and so, considering the dominant rainfall pattern (pattern 1), the major coastal upwelling is always preceded by the major rains except in 1975 and 1987 when the major upwelling was preceded by the minor rains (rainfall pattern 2). However, the pattern of zooplankton production in 1975 was the same as in the other years when the major coastal upwelling was preceded by the major rains (fig. 4). Thus, the one year with a different rainfall pattern from the four years with other rainfall pattern did not adversely affect zooplankton production during the major upwelling.

The timing of the rainfall patterns is very important in the Ghanaian coastal pelagic fisheries, especially the *Sardinella aurita* fishery. The *S. aurita* fishery is described, in detail (see Binet, 1982; Koranteng in this volume). The fishery is seasonal and it takes place mainly during the three months period of July - September. For the rest of the year there may be few sporadic landings especially during the period January - March. The two periods mentioned coincide with the major coastal upwelling and the minor coastal upwelling respectively. It is during the upwellings that the nutrients brought into the sea as a result of the rains are utilised in the process of photosynthesis to provide food for the coastal pelagic fish stocks. Thus, rainfall pattern 1 gives an almost immediate positive effect on the success of the *S. aurita* fishery while the effect of rainfall pattern 2 may not be felt if it occurred only once in a number of successive years with rainfall pattern 1. Patterns of rainfall and their timing in relation to the occurrence of the coastal upwelling should be considered when modelling the effect of the environment on coastal pelagic fisheries. It is important to mention an observation made in Ghana in 1968. In that year, the rains were exceptionally heavy and extended from June to late August. In that year, the major upwelling was the poorest and coastal pelagic catches, especially *S. aurita*, were correspondingly very poor. It should, therefore, be noted that the timing of the end of the peak rainfall is important in reaping the benefits of the positive correlation between the rainfall pattern, river discharge sediment transport and zooplankton production.

CONCLUSION

It is concluded that patterns of rainfall correlate with the rates of river flow and sediment discharge into the sea. Rainfall pattern 1 correlates with the major coastal upwelling and so it influences high zooplankton production during the upwelling. The sediments replenish the nutrients consumed in photosynthesis which provides food for fishes. Thus, rainfall patterns are important climatic changes which affect coastal pelagic fisheries.

BIBLIOGRAPHY

• Adamec, D. and J.J. O'Brien. 1978. The seasonal upwelling in the Gulf of Guinea due to remote forcing. J. Phys. Oceanogr., 8: 1050-

1060.

• Bakun, A. 1978. Guinea Current upwelling. Nature; (271): 147-150.

• Binet, D. 1982. Influence des variations climatiques sur la pêcherie des *Sardinella aurita* ivoiro-ghanéennes: relation sécheresse-surpêche. Oceanol. Acta, 5 (4): 443-452.

• Citeau J., Piton B. and B. Voituriez. 1981. Remote sensing of the upwelling season in the Eastern Tropical Atlantic ocean. *In* J.P. McCreary, D.W. Moore and J.M. Witte (eds.), Recent Progress in Equatorial Oceanography: Report of the final meeting of SCOR working group 47 in Venice (Italie) April 27-30: 283-295.

• Clarke, A.J. 1978. On the generation of the seasonal coastal upwelling in the Gulf of Guinea. J. Geophys. Res., 84: 3743-3751.

• FRU/ORSTOM. 1976. Rapport du groupe de travail sur *S. aurita* des côtes ivoiro-ghanéennes. Fishery Research Unit Tema; Centre de Recherches Oceanographiques Abidjan; Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.

• Houghton, R.W. 1976. Circulation and hydrographic structure over the Ghana continental shelf during the 1974 upwelling. J. Phys. Oceanogr. 6 (6): 909-924.

• Houghton, R.W. 1983. Seasonal variation of the subsurface thermal structure in the Gulf of Guinea. J. Phys. Oceanogr., 13 (11): 2070-2081.

• Houghton, R.W. and Mensah M.A. 1978. Physical aspects and biological consequences of Ghanaian coastal upwelling. *In* Upwelling Ecosystems R. Boje and M. Tomczak (eds), pp 167-180.

• Howat, G.R. 1946. Report on Fisheries Development for the year 1946. Osu Fisheries Station, Accra.

• Ingham, M.C. 1970. Coastal upwelling in the Northwestern of Gulf of Guinea. Bull. Mar. Sci., 20: 2-34.

• Mensah, M.A. 1973. The marine environment and fish production in Ghanaian waters. In the Ghana Fishing Industry published by the Fishery Research Unit Tema, 25-41.

• Mensah M.A. 1974. The occurrence of the marine copepod *Calanoides carinatus* in Ghanaian waters. Ghana J. Sci., 14 (2): 147-166.

• Mensah, M.A. and Koranteng, K.A. 1988. A review of the oceanography and fisheries resources in the coastal waters of Ghana, 1981-1986. Mar. Fish. Res. Rep. N°8, Fishery Research Unit, 35p.

• O'Brien J.J., D. Adamec and D.W. Moore. 1978. A simple model of equatorial upwelling in the Gulf of Guinea. Geophys. Res. Lett., 5: 641-644.

• Ofori-Adu, D.W. 1975. Beach hydrography and the inshore fishery of Ghana for the period 1968-71. Mar. Fish Res. Rep., (5): 56p.

• Ofori-Adu, D. W. 1977. The occurrence of thermoclines and the significance of thermocline depth variations to the surface schooling fishes. Mar. Fish. Res. Rep., (6): 50p.

• Philander, S.G.H. 1981. The response of Equatorial oceans to a relaxation of the trade winds. J. Phys. Oceanogr., 11: 176-189.

• Picaut, J. 1983. Propagation of the seasonal upwelling in the Eastern Equatorial Atlantic. J. Phys. Oceanogr., 13 (1): 18-37.

• Pople, W and Mensah M.A. 1971. Evaporation as the upwelling mechanism in Ghanaian coastal waters. Nature Physical Science, 234 (44): 18-20.

Table 1

Monthly mean rainfall (mm) 1979-81 and 1987
Source: Meteorological Services Department, Ghana.

1979	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ada	0,83	0	14,17	26,1	54,47	103,7	4,4	5,7	10,23	61,07	16,67	0
Accra	0	0	17	13	55	85,4	17,2	18,63	26,17	57,9	20,13	0
Saltpond	0	13,7	21,97	41,63	65,93	167,9	24,77	37,67	29,17	103,77	31,33	1,17
Cape Coast	5,1	4,9	32,23	50,33	92,03	155,3	44,75	20,47	54,1	67,33	52,3	5,83
Komenda	0	39,1	8,9				63,5	31,4	24,1	74,47	38,73	12,87
Takoradi	0,43	3,8	41,23	31,43	67,7	147,23	69,65	18,23	72,4	57,5	47,17	15,9
Axim	12,3	12,97	33,37	121,07	145,77	180,87	229,4	33,2	65,7	147,57	90,33	0
Half Assini	0,27	0	0	46,9		125,6	86,23				90,47	0

1980	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ada	0	13,87	8,23	38,2	61,27	37,43	1,63	11,57	10,9	22,4	16,53	3,73
Accra	0	1,77	14,83	60,37	81,67	55,73	23,7	19,97	32,67	25,33	15,13	2,43
Saltpond	0,13	4,17	45,25	18,53	118,3	42,17	37,97	18,05	5,9	52,23	41,63	0,27
Cape Coast	4,57	1,13	18,9	23,07	115,57	55,37	36,97	28,45	24,43	46,07	24,57	
Komenda	1,6		11,4	61,3		26,9	29,8		85,2	47		
Takoradi	0,1	0,9	13,6	76,37	160,23	36,83	69,97	24,7	15,43	39,93	49	0
Axim	27,6	11,27	50,73	56,3	187,4	108,03	62,83	15,7	31,7	91,93	51,4	14,87
Half Assini	2,87	5,97		27,77	144,2	127,97	16,33			98,7	60,77	

1981	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ada	0,37	6,43	21,23	9,1	52,13	58,07	73,2	10,07	18,7	24,8	4,93	0,77
Accra	0,67	3,8	13,1	7,8	46,73	48,2	27,93	18,97	32,93	22,67	4,07	0,1
Saltpond	1,63	2,47	22,17	9,7	138	85,37	11,2	10,33	29,53	26,43	10,73	21,77
Cape Coast									21,47		15,17	
Komenda						98,37			18,73	21,93	20,77	10,17
Takoradi	13,67	4	22,2	43,87		118,17	16,63	7,83	24,37	28,27	11,63	9
Axim	0,1	5,67	39,13	45,03	155,63	172,5	25,63	7,87	38,63	33,5	24,97	32,23
Half Assini			57,63		231,33	363,6		16,5				

1987	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ada	0	0	0		25,03		6,63	53,4	80,2	26,2		4,7
Accra		8,8	34,5	17,5	5,9	6,13	28,63	91,57	23,85	45,5		
Saltpond			65,13	14,07	49,5	13,7	21,8		123,93	39,05	6	
Cape Coast			31,67	14,8		3,75	42,7	48,8	162,87	67,6	13,73	0
Komenda			15,7	26,7		10,7	25,93	52,77	168,93	65,5	12,03	15,57
Takoradi	2,55	9,75	6,6	10,55	56,77	54,53	20,55	93,37	112,8	68		
Axim	26,37	0,53	25,15	41,3	125,4	125,03	55,4	153,57	155,27	112,13	39,47	9,4
Half Assini				25,3	105	83,2	8,9	42,7	211	93,8	24,95	
SALT	0	0	65,13	14,07	49,5	13,7	21,8	0	123,93	39,05	6	0
AXIM	26,37	0,53	25,15	41,3	125,4	125,03	55,4	153,57	155,27	112,13	39,47	9,4
MEAN	13,185	0,265	45,14	27,685	87,45	69,365	38,6	76,785	139,6	75,59	22,735	4,7

Mean monthly rainfall (mm)

Table 2(a):

1971	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ada	1,86	23,28	20,32	17,69	34,88	129,03	39,37	10,50	5,08	1,61	8,64	5,93
Accra	0,00	35,81	19,90	37,00	13,63	109,47	20,49	23,28	21,50	7,45	6,60	3,47
Saltpond	12,70	4,07	14,82	48,60	24,47	182,03	39,29	7,87	5,17	0,00	6,86	4,32
Cape Coast	5,50	12,19	25,65	16,76	50,88	260,94	51,81	38,69	8,89	0,00	20,20	1,10
Komenda						198,29	47,41	14,65	7,79	1,10	2,67	4,91
Takoradi	11,85	20,83	27,69	38,10	41,83	210,82	35,81	9,31	2,46	7,87	23,12	45,30
Axim	2,88	43,10	47,16	41,49	49,78	238,00	75,78	16,09	12,62	11,01	33,40	25,40
Half Assini						312,33	97,71	58,25	22,41	9,23	78,11	55,96

Table 2(b)

1972	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ada	0,17	7,20	20,40	96,40	11,43	159,26	1,18	0,00	5,08	0,56	9,99	0,42
Accra	0,17	12,45	20,32	74,55	13,63	75,44	0,93	0,51	11,77	17,10	7,45	0,51
Saltpond	0,00	23,20	40,98	53,60	18,29	98,64	6,60	3,34	8,21	16,09	11,18	17,02
Cape Coast		36,71	19,56	59,94	37,93	58,16	13,21	6,86	9,57	5,33	33,36	34,93
Komenda	0,00	12,09	29,64	39,88	18,88	54,61	12,53	11,30	13,29	17,69	3,39	44,79
Takoradi	0,25	21,34	41,23	34,93	34,63	25,23	36,24	3,18	15,15	87,04	14,14	12,45
Axim	0,93	28,11	76,20	82,04	126,83	66,29	116,25	9,65	26,93	53,85	44,28	27,35
Half Assini	4,83	27,26	72,64	61,60	108,71	123,78	141,22	10,03	8,47	70,70	60,45	12,62

Table 2(c)

1973	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ada	0,00	6,94	14,31	35,14	53,68	157,82	15,41	19,56	21,08	39,88	1,78	5,16
Accra	0,00	0,59	33,70	18,88	38,27	137,08	30,90	11,00	43,27	17,10	0,00	8,55
Saltpond	0,42	4,23	45,80	20,04	72,98	131,23	26,07	30,90	30,40	35,30	0,42	17,10
Cape Coast	16,34	15,07	51,56	28,87	51,65	146,13	25,40	32,13			0,00	0,42
Komenda	4,74	16,09	45,30	37,51	44,36	177,72	10,08	44,11	17,86	35,73	12,79	32,09
Takoradi	14,73	15,16	54,27	18,71	31,58	109,98	10,59	48,51	22,52	49,28	5,33	24,21
Axim	12,28	32,60	39,71	59,18	48,43	212,85	11,68	53,17	11,85	85,09	17,10	35,81
Half Assini	0,00	25,74	26,50	50,88	81,37	297,44	40,39	51,14	54,44	118,96	27,94	17,61

Table 2(d)

1974	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ada	3,38	0,17	8,80	21,25	79,88	276,10	19,90	2,11	18,88	7,28	0,00	2,03
Accra	2,62	0,51	26,25	15,58	71,20	114,89	39,37	3,98	32,60	2,80	15,24	6,94
Saltpond	3,81	20,32	26,67	33,02	62,95	217,51	20,40	7,36	72,39	19,64	1,69	11,43
Cape Coast	5,42	14,90	21,59	28,70	124,55	304,29	24,64	3,73	75,18	4,74	0,00	12,96
Komenda	6,27	14,39	32,68	17,53	78,06	305,73	46,40	1,95	93,90	11,18	1,86	14,73
Takoradi	26,84	7,28	36,15	45,21	78,99	212,01	46,99	11,77	69,00	14,82	6,35	9,40
Axim	1,27	21,08	57,57	17,27	107,10	396,66	154,94	8,98	57,49	43,27	22,86	31,92
Half Assini	14,31	12,28	43,09	25,40	65,19	299,72	177,29	21,76	50,63	30,40	43,10	5,67

Table 2(e)

1975	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ada	0,00	32,51	18,63	41,40	35,98	138,60	25,06	0,08	0,00	187,96	165,10	150,71
Accra	0,00	23,79	26,84	22,77	46,14	90,42	18,63	2,29	378,46	93,13	548,64	481,75
Saltpond	0,00	17,36	27,35	17,44	56,98	77,56	19,22	5,00	36,41	279,40	866,99	34,71
Cape Coast	0,00	32,51	30,99	17,27	60,79	83,57	29,21	8,64	269,24	559,65	657,86	324,27
Komenda	0,25	16,76	51,23	7,62	94,66	26,16	36,07	30,26	13,55	393,70	839,05	13,55
Takoradi	0,00	10,58	29,97	19,47	92,54	63,42	92,79	6,94	74,51	75,351	111,67	23,71
Axim	5,25	23,88	51,90	25,15	86,62	210,65	147,06	10,58	156,63	572,351	108,29	567,27
Half Assini	0,00	16,34	36,66	18,88	149,01	191,01	118,53	20,49	679,871	115,911	348,74	212,51

Table 2(f)

1976	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ada	0,00	14,87	21,67	50,57	38,73	25,77	0,10	8,73	0,60	21,15	0,25	3,73
Accra	0,00	16,10	15,40	44,27	16,73	39,97	4,00	0,77	5,53	33,33	7,60	0,33
Saltpond	0,00	49,13	19,73	73,17	32,73	28,57	2,33	25,93	1,43	5,50	3,30	1,90
Cape Coast	0,00	23,37	46,25	40,30	65,20	44,67	1,33	20,67	0,20	12,90	22,20	4,30
Komenda	0,00	9,90	26,57	58,73	43,53	46,10	0,43	22,33	2,90	10,80	7,53	
Takoradi	0,17	15,93	22,53	61,57	77,20	84,27	37,13	17,30	0,77	12,73	18,40	16,70
Axim	2,47	38,27	65,47	111,70	179,80	177,40	9,40	24,20	0,80	18,47	60,87	38,10
Half Assini	0,77	18,97	34,47	155,50	155,80	273,47	23,00	0,30	1,55	28,13	33,60	56,30

Table 2(g)

1977	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ada	4,33	0,00	1,97	37,00	33,50	10,33	0,37	0,43	9.47	25,23	9,47	0,00
Accra	1,33	3,80	8,20	36,03	24,47	18,40	0,87	4,80	2,47	40,43	2,47	4,30
Saltpond	7,30	14,00	7,20	47,50	33,23	66,40	2,70	4,40	4,07	14,97	4,07	0,10
Cape Coast	28,70	3,07	25,45	20,10	18,95	90,93	3,63	2,20	2,97	13,17	2,97	0,93
Komenda		0,00	21,33	66,95	22,30	78,93	1,65	3,37		12,83		
Takoradi	22,50	3,90	21,07	21,27	39,73	63,10	1,70	4,17	20,50	4,53	20,50	5,93
Axim	8,60	3,77	55,17	54,30	68,13	99,17	2,40	1,97	47,20	35,33	47,20	12,37
Half Assini	0,33	13,95	31,00	30,83	36,60	222,93	3,90	4,37	76,77	26,53	76,77	13,50

Table 2(h)

1978	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ada	18,20	12,37	14,80	60,77	70,30	7,63	0,10	0,00	3,47	7,17	2,80	0,00
Accra	0,10	3,40	0,93	40,50	104,20	37,97	7,17	1,57	7,83	18,30	0,10	0,00
Saltpond		11,20	4,85	50,53	120,40	35,03	12,80	1,50	10,33	16,03	29,57	0,40
Cape Coast	18,47	20,70	5,00	38,03	75,00	65,17	7,13	3,10	3,45	39,27	12,10	2,30
Komenda				44,20		0,00	0,00	10,70	18,95	28,65	7,60	3,10
Takoradi	7,87	4,73	11,37	41,13	82,35	68,20	13,40	24,80	6,37	57,47	35,00	15,70
Axim	8,33	50,87	66,90	124,27	312,05	132,70	19,03	15,80	17,73	127,83	25,57	7,17
Half Assini		26,40	1,10	43,70	76,75	189,70	495,80	4,60	4,20	17,17		13,80

Table 3

River discharge (m^3/s) and sediment transport (tons/day) at seven (7) stations in Ghana
Source: Water Resources Research Institute, Ghana

(a) STATION : JUMORO
RIVER : TANO

WATER DATE	TEMP. (°C)	DISCHARGE (m^3s^{-1})	CONC. (mg/l)	S/TRANS (ton/day)
21JA	29	1,7	10	1,5
11FE	30	0,57	20	0,98
11MA	31	0,96	57	4,7
7AP	29	0,57	60	3
13MY	30	1,44	122	15
9JU	30	2,32	10	2
7JY	29	16,79	68	99
24JY	30	5,32	72	33
14AU	29	16,79	135	196
2OC	27	164,18	85	1210
22OC	28	136,32	24	283
27NO	30	6,99	94	57
14DE	30	4,36	120	45
12FE	29	1,19	36	3,7
16MA	25	10,99	17	16
24AP	30	4,36	20	7,5
18MY	31	5,32	32	15
16JU	29	23,87	93	192
21JY	27	-	53	-
18AU	27,5	7,59	46	30
15SE	27	47,8	93	384
11OC	26	-	40	-
27OC	28,5	36,1	88	274

(b) STATION : DOMINASE
RIVER : ANKOBRA

WATER DATE	TEMP. (°C)	DISCHARGE (m^3s^{-1})	CONC. (mg/l)	S/TRANS (ton/day)
23JA	22	26,34	115	262
13FE	30	29,74	993	2550
13MA	31	37,1	-	-
6AP	31	31,2	352	949
6MY	30	32,85	320	908
2JU	27	23,22	41	82
2JY	27	32,43	65	182
5JY	27	32,85	73	207
1AU	29	41,35	74	264
8OC	27	104,85	70	997
8NO	29	24,78	85	182
2DE	29	18,69	136	220
1FE	30	20,1	46	80
1MA	30	34,55	87	260
3AP	29	35,4	308	942
9MY	29	26,33	159	362
14JU	27	43,89	93	353
21JY	25,5	22,09	56	107
17AU	27	20,67	73	130
16SE	26,5	27,75	78	187
12OC	26,5	93,73	99	802
28OC	26	45,59	89	351

(c) STATION : BEPOSO/DABOASI
RIVER : PRA

WATER DATE	TEMP. (°C)	DISCHARGE (m^3s^{-1})	CONC. (mg/l)	S/TRANS (ton/day)
23JA	31	50,06	221	956
9FE	32	29,765	206	530
10MA	32	53,55	-	0
10AP	32	176,92	518	7920
7MY	32	154,2	112	1490
3JU	31	133,46	298	3440
6JY	29	209,26	141	2550
5JY	29	348,01	108	3250
5AU	27	323,38	192	5360
4OC	26	1139,89	178	17500
3NO	-	227,27	76	1490
8NO	31	1038,95	85	7630
2DE	31	154,21	152	2030
1JA	30	-	54	-
1FE	32	-	56	-
7MA	30	-	156	-
4AP	30	-	40	-
17MY	30	-	133	-
14JU	28	-	109	-
23JY	26	-	81	-
19AU	27,5	-	90	-
16SE	26	-	219	-
10OC	27,3	-	89	-
26OC	28	-	101	-

(d) STATION: MANKESIM
RIVER : OCHI AMISA

WATER DATE	TEMP. (°C)	DISCHARGE (m^3s^{-1})	CONC. (mg/l)	S/TRANS (ton/day)
3AP	32	2,94	32	8,1
7MY	30	3,45	166	49
5JU	30	1,93	31	5,1
3JY	28	6,28	120	64
25JY	28	2,27	96	19
7AU	27	23,53	106	215
4SE	28	10,42	69	62
24SE	29	175,25	50	757
15OC	29	85,21	37	272
20NO	31	3,88	124	42
12DE	29	7,11	139	85
21JA	32	1,1	39	3,7
10FE	30	1,42	60	7,4
15MA	31	1,93	21	3,5
17MY	32	2,66	123	28
5JU	27	5,97	61	31
22JY	26	2,66	65	15
19AU	29	1,93	48	8
14SE	26	9,32	152	122
10OC	27	56,38	89	434
26OC	28	17,08	93	137

(e) STATION : OKYEREKO
RIVER : AYENSU

WATER DATE	TEMP. (°C)	DISCHARGE (m^3s^{-1})	CONC. (mg/l)	S/TRANS (ton/day)
6FE	30	1,13	20	2
3AP	32	6,57	71	40
7MY	31	3,68	199	63
5JU	28	11,89	47	48
3JY	29	0,49	106	4,1
7AU	27	10,93	177	167
3SE	29	7,31	52	33
24SE	29	26,67	45	104
15OC	29	75,27	39	254
20NO	30	13,17	66	75
12DE	29	0	147	0
12JA	0	15	0	
10FE	2	0,99	230	20
5MA	30	3,09	87	23
22AP	29	1,44	618	77
7JU	28	34,09	95	280
17MY	30	0,85	207	15
14JU	28	34,09	95	280
23JY	26	2,29	73	14
20AU	26	0,14	84	1
18SE	26	2,12	105	19
10OC	26,5	11,75	185	188
26OC	28	11,19	140	135

(f) STATION : EKOTSI
RIVER : OCHI NAKWA

WATER DATE	TEMP. (°C)	DISCHARGE (m^3s^{-1})	CONC. (mg/l)	S/TRANS (ton/day)
3AP	32	0,88	38	2,9
6MY	30	1,90	65	11
5JU	30	0,88	19	1,4
3JY	29	2,80	105	25
25JY	27	0,88	100	7,6
7AU	27	15,35	177	235
4SE	29	8,66	63	47
24SE	28	45,62	44	173
15OC	30	54,26	61	286
20NO	30	4,53	166	65
12DE	28	1,39	127	15
21JA	31	0,54	34	1,6
10FE	32	0,54	61	2,8
15MA	33	1,10	30	2,9
22AP	30	11,84	77	79
17MY	30	0,99	141	12
14JU	28	13,54	106	124
23JY	26	6,03	76	40
19AU	29,5	1,39	49	5,9
16SE	26	8,41	144	105
10OC	26,5	23,65	82	168
26OC	28,5	12,40	113	121

(g) STATION : TODIZENU
RIVER : TODZIE

WATER DATE	TEMP. (°C)	DISCHARGE (m^3s^{-1})	CONC. (mg/l)	S/TRANS (ton/day)
5FE	29	0	59	0
3JU	27	9,09	64	50
2JY	27	18,97	142	233
6AU	29	8,18	99	70
3SE	28	29,73	119	306
13SE	28	31,71	51	140
6OC	29	12,52	19	21
9NO	29	2,83	87	21
10DE	29	0,85	142	10
10JA	32	0,42	82	1,1
9FE	32	0,42	82	3
4MA	33	0,48	25	1
1AP	32	0,48	40	168
1MY	29	11,36	171	142
10JU	28	16,99	97	31
19JY	26	-	77	-
15AU	26	3,54	100	36
12SE	27	7,65	54	36
5OC	27	-	92	-
25OC	28	-	88	-

Table 4

Monthly mean zooplankton displacement volumes (ml/1000 l)
(Number of samples in brackets)

	1973	1974	1975	1976	1977
JAN	154,4 (12)	155,93 (14)	119,25 (4)	78,88 (16)	211 (4)
FEB	108 (4)	112,75 (12)		90,43 (7)	
MAR	166 (1)				64 (4)
APR	88,79 (9)	68,08 (12)	104,13 (8)		78,75 (4)
MAY	125,88 (8)	61,5 (12)	57 (8)	144,43 (7)	107,75 (4)
JUN	160,33 (9)	102,14 (7)	145 (11)	198,25 (12)	147,5 (14)
JUL	229,9 (10)	100,67 (9)	154 (11)	607,25 (12)	201,25 (12)
AUG	346,67 (15)	480,25 (12)	365,25 (16)		475 (7)
SEP	532,13 (8)	336 (12)	587,63 (16)	463,24 (17)	590,5 (2)
OCT	287,25 (8)	328,3 (20)	201 (8)	310,58 (19)	
NOV	195,5 (4)	125,31 (16)	84,5 (8)		
DEC	343,47 (15)	119 (4)	121,71 (7)	180,75 (22)	173,19 (12)

5 • Les sels nutritifs au voisinage de Dakar : cycle annuel moyen et variabilité interannuelle

CLAUDE OUDOT
Océanographe ORSTOM - ORSTOM, BP 1386, Dakar, Sénégal

CLAUDE ROY
Océanographe ORSTOM - CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal

RÉSUMÉ

Des observations hebdomadaires réalisées de 1985 à 1989 à partir du rivage dans une zone d'upwelling côtier (presqu'île du cap Vert au Sénégal) permettent de décrire les fluctuations saisonnières et interannuelles des composantes physico-chimiques de l'écosystème. L'accroissement important des teneurs en sels minéraux observé de janvier à avril correspond à l'étalement des eaux froides issues de la résurgence. Le cycle saisonnier de la chlorophylle présente une structure bimodale avec un maximum principal en fin d'upwelling (avril) et un maximum secondaire au quatrième trimestre au début de la période de refroidissement. Ces mesures côtières constituent un outil approprié pour une surveillance en continu d'un écosystème tel qu'un upwelling côtier; elles permettent d'appréhender la variabilité des apports en éléments nutritifs en réponse aux fluctuations d'intensité de la résurgence.

ABSTRACT

Weekly sampling of the coastal waters in an upwelling area (the Cap-Verde peninsula off Senegal) gives an overview of the inter-annual and seasonal variability of the physical and chemical ecosystem components. The sharp increase of nutrients concentration from January to April is the chemical signature of the enrichment by the upwelled waters. The chlorophyll seasonal cycle has a bimodal structure with a maximum at the end of the upwelling season and a secondary peak in the 4th quarter during the beginning of the upwelling season. These coastal samplings are adapted for a long term survey of a coastal upwelling ecosystem. These measurements give an overview of the nutrients inputs variability into the ecosystem in response to the upwelling fluctuations.

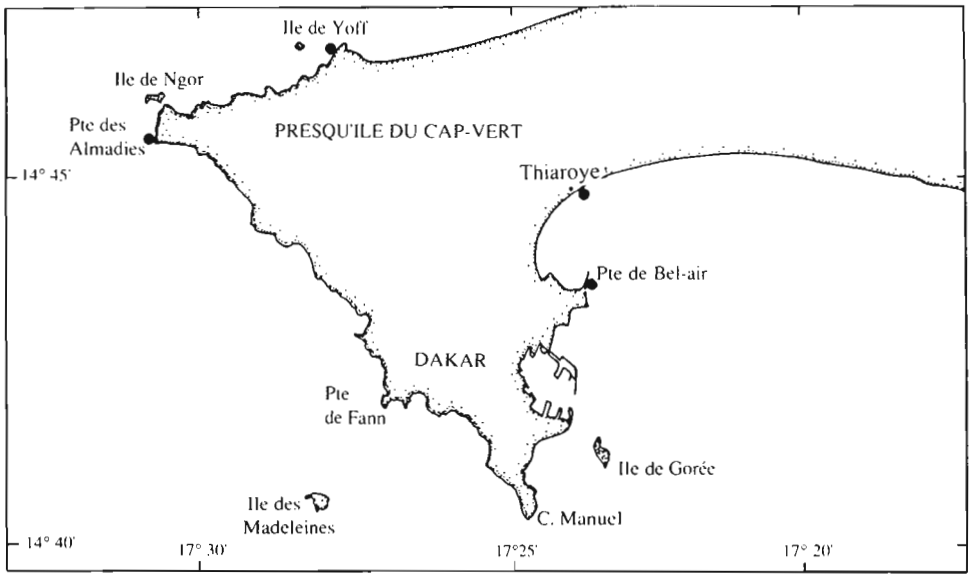
INTRODUCTION

Dans le cadre d'une étude de la variabilité inter et intra-annuelle des paramètres physico-chimiques intervenant dans le cycle du CO_2, le groupe PIRAL (ORSTOM/Dakar) a réalisé des mesures de température, salinité, oxygène et sels nutritifs (nitrate, nitrite et phosphate) sur des échantillons d'eau de mer collectés en plusieurs points du rivage autour de la presqu'île du Cap-Vert. Ces observations hebdomadaires, démarrées en février 1985, constituent aujourd'hui une série continue d'observations et permettent de définir pour chacun des paramètres un cycle annuel moyen. Ces différentes séries permettent également d'illustrer la variabilité interannuelle des apports en sels minéraux au cours des saisons d'upwelling de 1985 à 1989.

Les modèles de dynamique des populations utilisés pour étudier les effets de la variabilité hydroclimatique sur les stocks pélagiques en Afrique de l'Ouest supposent une corrélation étroite entre l'intensité de

Fig. 1

Localisation des points de prélèvements hebdomadaires sur le pourtour de la presqu'île du Cap-Vert.



l'upwelling, les apports en sels minéraux et finalement la production (Fréon, 1984; Cury et Roy, 1987; Mendelssohn et Cury, 1987). A l'aide des données présentées ici, la validité de ces relations sera examinée, notamment pour les deux premières d'entre-elles.

MÉTHODES D'OBSERVATIONS ET REPRÉSENTATIVITÉ DES MESURES

Une fois par semaine (même jour, même heure), de l'eau de mer de surface est prélevée sur le rivage à l'aide d'un seau en quatre points autour de Dakar: Yoff, Pointe des Almadies, Thiaroye et Bel-Air (fig. 1). Les échantillons récoltés sont analysés le plus souvent dès le retour au laboratoire, c'est-à-dire au plus tard 3 heures après le prélèvement suivant les méthodes classiques utilisées en chimie marine et rappelées par Oudot (1987). Pendant certaines périodes, les dosages ont été différés après empoisonnement des échantillons par du chlorure mercurique ($HgCl_2$).

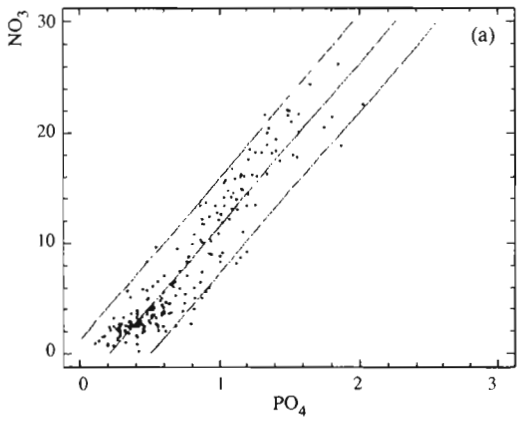
La première question à laquelle il nous faut répondre est la représentativité de ces prélèvements côtiers. Sont-ils soumis à des pollutions littorales (rejets domestiques, industriels) ? Quelle est l'importance des échanges avec les sédiments ? Un diagramme de corrélation entre les teneurs en nitrate (NO_3) et phosphate (PO_4) enregistrées aux différents points de prélèvement constitue un premier test de la qualité et de la cohérence des échantillons récoltés. En effet, les variations de la teneur de ces deux éléments au sein de l'océan se font toujours dans un rapport constant, voisin de la composition moyenne du plancton en azote et phosphore (N/P=16). Une pente de la droite de régression NO_3/PO_4 qui s'éloigne de cette valeur sera donc l'indice d'une contamination des échantillons par des facteurs externes. A la station de Yoff, la pente de la droite de régression entre nitrate et phosphate est égale à 14,7; cette régression linéaire permet d'expliquer 88% de la variance (fig. 2-a). La relation entre nitrate et phosphate à la station de Yoff semble correspondre au schéma rencontré dans des structures océaniques classiques; cette relation est similaire à celle obtenue à partir de données récoltées lors de campagnes océanographiques devant le Sénégal en saison d'upwelling (fig. 2-c). Par contre, dans la baie de Hann (station de Thiaroye), on observe une forte dispersion des points (fig. 2-b): ce diagramme illustre les effets de la pollution urbaine de la baie de Hann et de l'eutrophisation qui en résulte. Dans la suite de cette étude, nous nous limiterons donc à la présentation des résultats de la station de Yoff où les observations semblent se rapprocher le plus des conditions sur le plateau continental.

CYCLES ANNUELS MOYENS

A partir des observations hebdomadaires, les moyennes mensuelles de février 1985 à mai 1989 de la température, de la salinité, des teneurs en nitrate et en chlorophylle ont été calculées (fig. 3-a, b). L'énergie transférée par le vent à la colonne d'eau est estimée à l'aide de deux

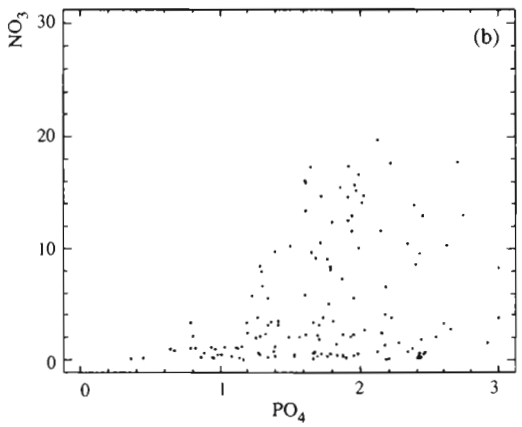
Fig. 2

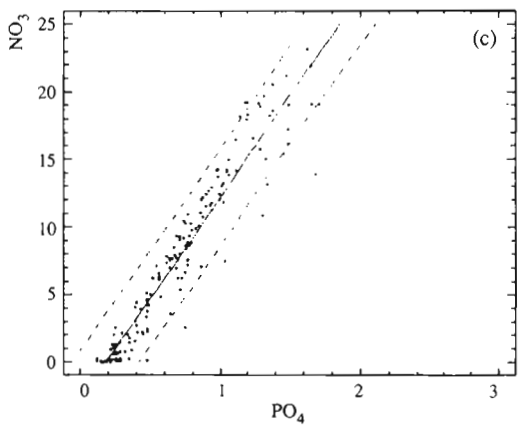
Diagramme de corrélation nitrate-phosphate ($\mu mol.l^{-1}$) aux stations côtières de: (a) Yoff, (b) Thiaroye (1985-1989), (c) sur le plateau continental (campagnes CIRSEN-CRODT, 1986-1988).



	Estimation	Erreur standard	T	
Ordonnée	-3,09	0,31	-9,88	0,00
Pente	14,69	0,36	39,97	0,00

Coefficient de corrélation = 0,94 R-carré = 88,39 %
Nombre de point = 211



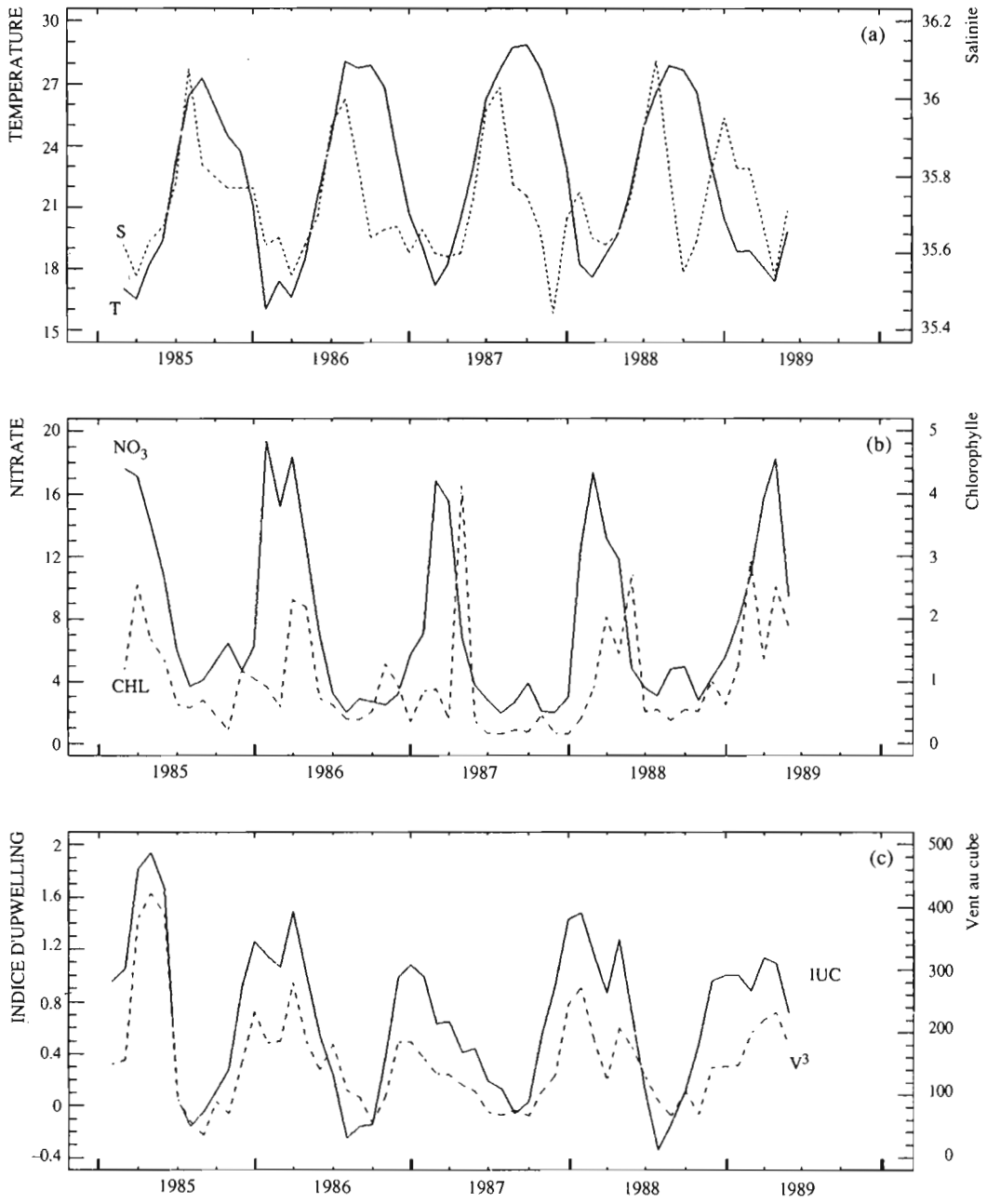


	Estimation	Erreur standard	T	
Ordonnée	-2,75	0,26	-10,58	0,00
Pente	14,95	0,33	44,86	0,00

Coefficient de corrélation = 0,96 R-carré = 92 %
Nombre de point = 174

Fig. 3

Moyennes mensuelles de 1985 à 1989: (a) de la température (°C) et de la salinité; (b) du nitrate ($\mu mol.l^{-1}$) et de la chlorophylle ($\mu g.l^{-1}$) à la station côtière de Yoff. (c) de l'IUC ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$) et du brassage par le vent ($m^3.s^{-3}$) d'après les données de vent de la station météorologique de l'aéroport de Dakar-Yoff.



indices: le premier, calculé à partir de la composante normale à la côte du transport d'Ekman, est un Indice de l'intensité d'un Upwelling Côtier (IUC) (Bakun, 1973); le second, obtenu à partir de la vitesse du vent au cube, est un estimateur du brassage vertical (fig. 3-c). Ces deux indices ont été calculés à partir des mesures trihoraires de vent réalisées à la station météorologique de l'aéroport de Dakar-Yoff. Pour chacun de ces paramètres, une forte périodicité annuelle se dégage des observations réalisées depuis février 1985. Ce sera le premier point que nous allons aborder.

Le cycle annuel moyen de la température de surface de la mer à Yoff montre que l'amplitude saisonnière est en moyenne supérieure à 10°C, les plus fortes températures sont rencontrées en septembre pendant la saison chaude et humide, les plus faibles sont rencontrées en février-mars pendant la saison d'upwelling (fig. 4-a). La température de surface de la mer chute à partir du mois d'octobre, se stabilise entre 17°C et 18°C au cours du premier trimestre et croît ensuite régulièrement du mois d'avril à juillet pour atteindre 28°C en septembre (fig. 4-a); La salinité suit un schéma sensiblement identique (fig. 4-a), on note cependant une dessalure importante (S<35,7%.) des eaux de surface à partir du mois d'août due à l'advection d'eaux guinéennes et aux pluies de la saison humide (Rossignol et Aboussouan, 1965; Rébert, 1983). Pendant la saison d'upwelling, la salinité est basse et se stabilise entre 35,5 et 35,7‰.. A la fin de l'upwelling, la salinité augmente; des eaux tropicales chaudes et salées (T>25°C, S>35,9‰.) envahissent le plateau continental jusqu'au mois de juillet, pour ensuite être remplacées par des eaux dessalées (Rossignol et Aboussouan, 1965; Rébert, 1983).

L'IUC estime la quantité d'eau déplacée vers le large par le vent, c'est un indice couramment utilisé pour estimer l'intensité d'un upwelling (Bakun, 1973). Les valeurs les plus élevées sont observées pendant la période d'upwelling, de décembre à mai (fig. 4-e). On note que cet indice reste élevé jusqu'au mois de mai alors que la température s'accroît dès le mois d'avril (fig. 4-a). De décembre à avril, l'IUC reste supérieur à 1 $m^3.s^{-1}.m^{-1}$.

Le cycle annuel moyen du nitrate est en opposition de phase avec celui de la température (fig. 4-b). Les plus fortes concentrations de nitrate (plus de 16µmol.l^{-1}) sont observées entre le mois de février et le mois de mars pendant la saison d'upwelling et les plus faibles (<3 µmol.l^{-1}) de juin à novembre dans les eaux chaudes. L'amplitude annuelle moyenne dépasse 13 µmol.l^{-1} Les concentrations de nitrate ne sont jamais nulles, les plus faibles valeurs restant voisines de 3 µmol.l^{-1} pendant la saison chaude. Ceci peut paraître surprenant car l'eau de mer de surface dans les régions tropicales, en dehors des zones d'upwelling, est épuisée en nitrate. Cet excès de nitrate reste cependant compatible avec les teneurs en phosphate observées simultanément (fig. 2-a), le rapport entre ces deux composés étant voisin de celui de la composition du plancton (N/P=16). En saison chaude, les sels minéraux mesurés dans l'eau circulant sur le rivage sont vraisemblablement le résultat de la diffusion turbulente à partir des sédiments, la couche d'eau échantillonnée lors des prélèvements ne dépassant pas en effet 1 à 2 mètres de profondeur suivant la marée. La baisse importante de température à partir du mois d'octobre n'est pas accompagnée de l'accroissement attendu de nitrate (fig. 4-b). Ce déficit apparent en nitrate peut être la conséquence de l'advection d'eau froide déjà épuisée en éléments minéraux ou d'une consommation sur place de ces mêmes éléments par le phytoplancton. L'examen du cycle annuel moyen de la chlorophylle pourra nous apporter des éléments de réponse.

Le cycle annuel moyen du phosphate est en tout point comparable à celui du nitrate (fig. 4-d); les plus fortes teneurs (>1,2 µmol.l^{-1}) sont observées en période d'upwelling et les plus faibles en saison chaude (<0,5 µmol.l^{-1}). On note également des teneurs en phosphate non nulles dans les eaux chaudes, signe d'un enrichissement des eaux du rivage à partir des sédiments.

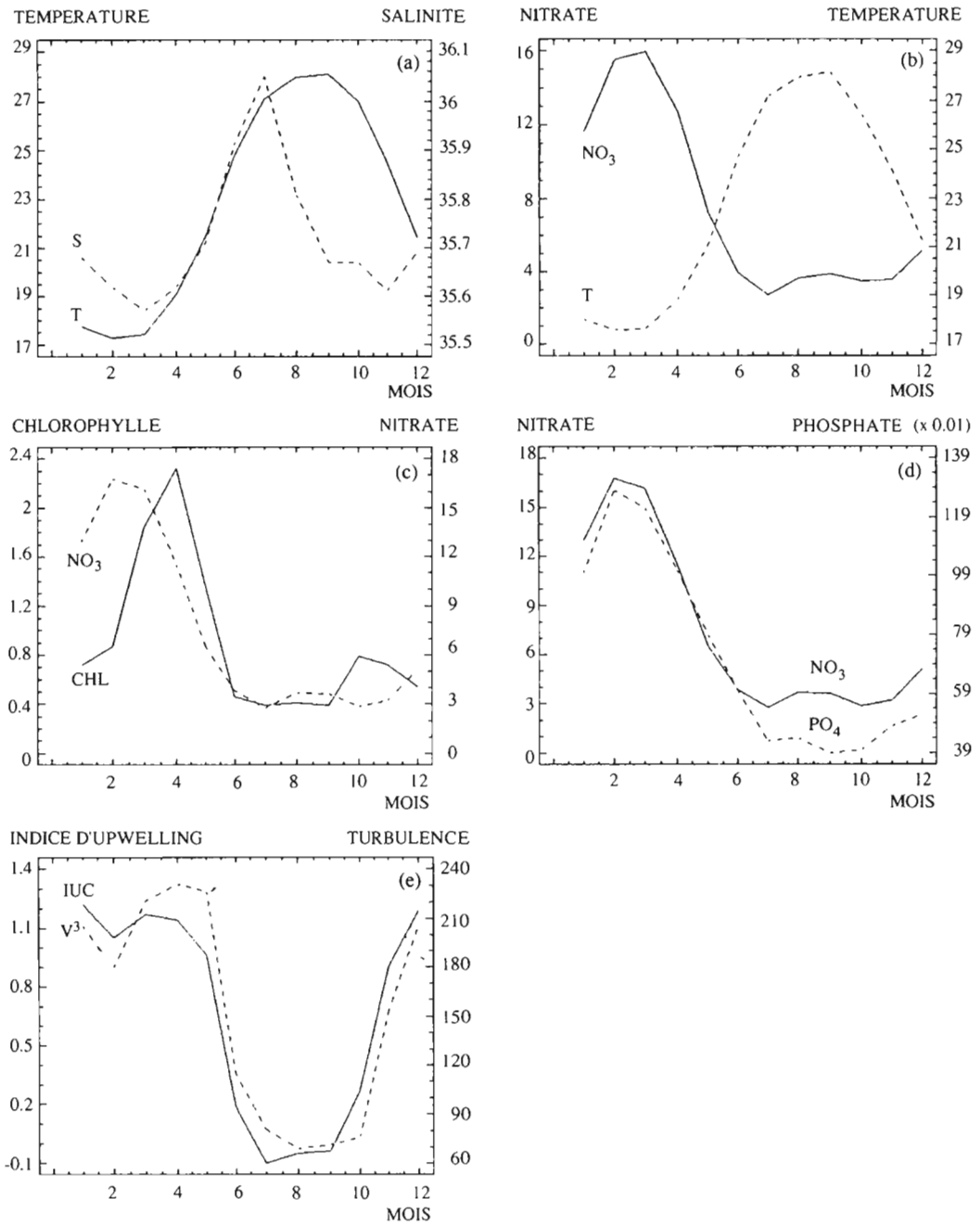
Le cycle annuel moyen de la chlorophylle (fig. 4-c) présente une structure bimodale avec un premier pic en avril et un pic secondaire d'octobre à novembre. En saison d'upwelling, il existe un décalage d'environ deux mois entre le pic de nitrate associé aux eaux froides (février-mars) et celui de chlorophylle (avril) (fig. 4-c). A la côte, le développement maximum du phytoplancton ne correspond pas à la période où les plus fortes teneurs en éléments minéraux sont observées. Ce décalage pourrait être la simple conséquence de la consommation des sels minéraux par le phytoplancton. Cependant au cours du mois d'avril, l'intensité de l'upwelling commence à décroître, la température s'accroît et l'apport de nitrate par l'upwelling diminue. Le développement du phytoplancton n'explique pas à lui seul la baisse du nitrate en avril-mai qui est le reflet de la relaxation de la résurgence. En février-mars, l'intensité de l'upwelling est maximale, la dérive rapide des eaux superficielles vers le large s'oppose au développement du phytoplancton à la côte. A partir du mois d'avril, la décroissance du transport d'Ekman (fig. 4-e) se traduit par une dérive moins rapide des eaux superficielles et un accroissement de la stabilité verticale, permettant cette fois un développement à la côte du phytoplancton. Le pic secondaire de chlorophylle en fin d'année est sans doute la cause du déficit apparent du nitrate observé au cours de la même période (fig. 4-c). L'upwelling démarre en novembre et le phytoplancton bénéficie de l'apport en sels minéraux pour se développer simultanément. L'intensification de l'upwelling au cours du premier trimestre détruit la stabilité verticale (fig. 4-e) et limite le développement du phytoplancton malgré les apports importants de sels nutritifs.

L'étude du cycle moyen annuel de la température, des sels minéraux et de la chlorophylle nous a montré que sur la bordure littorale de la presqu'île du Cap-Vert:

- les températures les plus faibles sont observées en période d'upwelling de novembre à mai;
- l'upwelling entraîne un accroissement très important des teneurs en sels minéraux de la zone côtière;
- le cycle du phytoplancton est déphasé par rapport à

Fig. 4

Cycles moyens mensuels sur la période 1985-1988 à Yoff: (a) de la température (°C) et de la salinité (‰); (b) de la température (°C) et du nitrate (µmol.l^{-1}); (c) de la chlorophylle (µg.l^{-1}) et du nitrate (µmol.l^{-1}); (d) du nitrate (µmol.l^{-1}) et du phosphate (µmol.l^{-1}), (e) de l'IUC (m^3.s^{-1}.m^{-1}) et du brassage par le vent (m^3.s^{-3}).



celui de la température et du nitrate dans la bordure littorale; l'abondance du phytoplancton à la côte, estimée par la teneur en chlorophylle, malgré un léger accroissement en début de saison froide, reste faible pendant la pleine saison d'upwelling et est maximale en fin de saison froide;

- en saison chaude, la diffusion turbulente à partir des sédiments entraîne dans la zone littorale un enrichissement significatif de la colonne d'eau en sels minéraux.

VARIABILITÉ INTER-ANNUELLE

Les prélèvements hebdomadaires réalisés à Yoff depuis février 1985 permettent d'analyser la variabilité interannuelle des apports en sels minéraux et d'aborder celle de la production phytoplanctonique au cours des saisons d'upwellings qui se sont succédées au cours des cinq années d'observations.

Les écarts entre la série temporelle 1985-1989 (moyennes mensuelles) et le cycle moyen annuel pour la température, le nitrate et la chlorophylle (fig. 5-a, b, c) permettent, pour chacun de ces paramètres, de distinguer deux années aux caractéristiques opposées. L'année 1985 est caractérisée par des températures situées en dessous de la courbe moyenne et des teneurs en nitrate toujours supérieures à la moyenne (fig. 5-a, b). La situation observée au cours de l'année 1987 est l'inverse de celle constatée en 1985: les températures rencontrées sont plus élevées et les teneurs en nitrate plus faibles que la moyenne, notamment pendant la période d'upwelling de décembre 1986 à mai 1987 (fig. 5-a, b). Pendant la saison d'upwelling 1985-1986, les températures et les teneurs en nitrate sont proches de la moyenne en début et en fin d'upwelling; au cours du premier trimestre, les températures inférieures à la moyenne illustrent une intensification de la résurgence qui se traduit également par un accroissement des apports en nitrate. L'année 1988 est proche du schéma moyen. La caractéristique principale de l'upwelling de 1988-1989 est la faible intensité de la remontée en début de saison froide, suivie par une intensification notable à la fin du premier trimestre. La variabilité interannuelle de la chlorophylle est plus difficile à interpréter (fig. 5-c). En 1987, bien que le pic de chlorophylle observé en avril soit le plus fort de toute la série, les valeurs observées de part et d'autre de ce maximum sont inférieures à celles du cycle moyen. A partir de ces figures, il est possible de classer les saisons d'upwelling observées de 1985 à 1989 de la façon suivante:

- 1985 et 1986: upwelling fort (température et teneur en nitrate respectivement inférieure et supérieure à la moyenne pendant la saison d'upwelling);
- 1988 et 1989: upwelling d'intensité moyenne;
- 1987: upwelling faible (température plus élevée, et teneur en sels minéraux plus faible que la moyenne).

Pour illustrer cette variabilité interannuelle, les moyennes par saison d'upwelling, de janvier à mai, pour les différents paramètres ont été calculées. Bien qu'il soit présomptueux de tirer des conclusions à partir de cinq années d'observations, nous allons examiner les relations qui existent entre les différents paramètres moyennés par saison d'upwelling. La température et l'IUC sont utilisés comme des indicateurs de l'intensité de l'upwelling: à un upwelling fort (faible) correspondent des températures basses (élevées) et des valeurs d'IUC fortes (faibles) (fig. 6-a). A des upwellings forts (faibles) correspondent des vitesses de vent élevées et un brassage important (faible) (fig. 6-b). La teneur moyenne en nitrate pendant la saison froide est inversement proportionnelle à l'intensité de l'upwelling estimée par la température : plus l'upwelling est fort plus la teneur moyenne en nitrate est élevée (fig. 6-c). Une relation similaire est obtenue à partir de l'indice d'upwelling avec cependant une dispersion plus importante des points (fig. 6-d). Par contre, il ne semble pas y avoir de relation simple entre la teneur moyenne en chlorophylle et l'intensité de l'upwelling estimée à partir de la température ou de l'IUC (fig. 6-e, f). Ces résultats ne permettent cependant pas de conclure à une absence de relation entre intensité de l'upwelling et teneur en chlorophylle. En effet, une seule mesure hebdomadaire de chlorophylle, réalisée en un seul point à la côte, ne peut être représentative des processus biologiques qui se développent sur le plateau tels que la dynamique du phytoplancton, la distribution spatiale de la chlorophylle étant par nature très hétérogène.

CONCLUSION

Des observations hebdomadaires réalisés à partir du rivage dans une zone d'upwelling constituent un moyen simple et peu onéreux d'assurer une surveillance continue de l'écosystème. Les résultats obtenus à la station de Yoff sont cohérents avec des mesures effectuées au large lors de campagnes océanographiques et permettent ainsi d'étudier à court, moyen et long terme la variabilité de l'écosystème. Ce type de mesures constitue un outil adapté à des études halieutiques qui nécessitent de plus en plus souvent de connaître la variabilité de l'environnement et d'intégrer dans les modèles des paramètres décrivant cette variabilité.

REMERCIEMENTS

Cette étude a pu être réalisée grâce au soutien financier de l'ORSTOM pour l'acquisition des données et à la collaboration du CRODT/ISRA pour assurer la continuité des prélèvements des échantillons d'eau de mer. Pour leur aide précieuse, tant au niveau des prélèvements que des mesures, nous tenons à remercier E. Fukaï, R. Gérard, P. Lamour, Y Montel, P. Morin et J. Pages.

Fig. 5

Moyennes mensuelles (——) et cycles annuels moyens (-----), à la station côtière de Yoff de 1985 à 1989:
(a) de la température (°C), (b) du nitrate ($\mu mol.l^{-1}$) et
(c) de la chlorophylle ($\mu g.l^{-1}$).

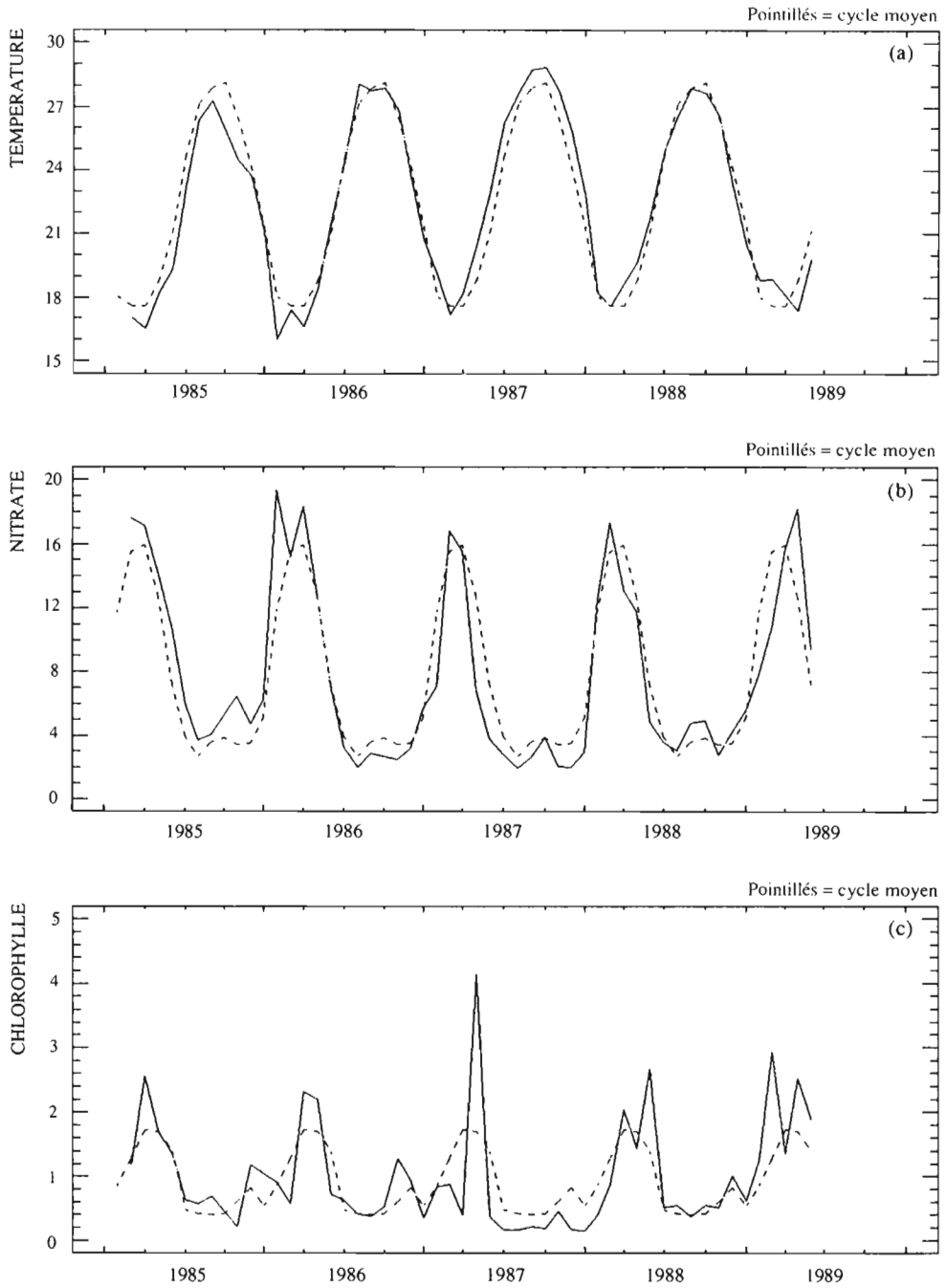
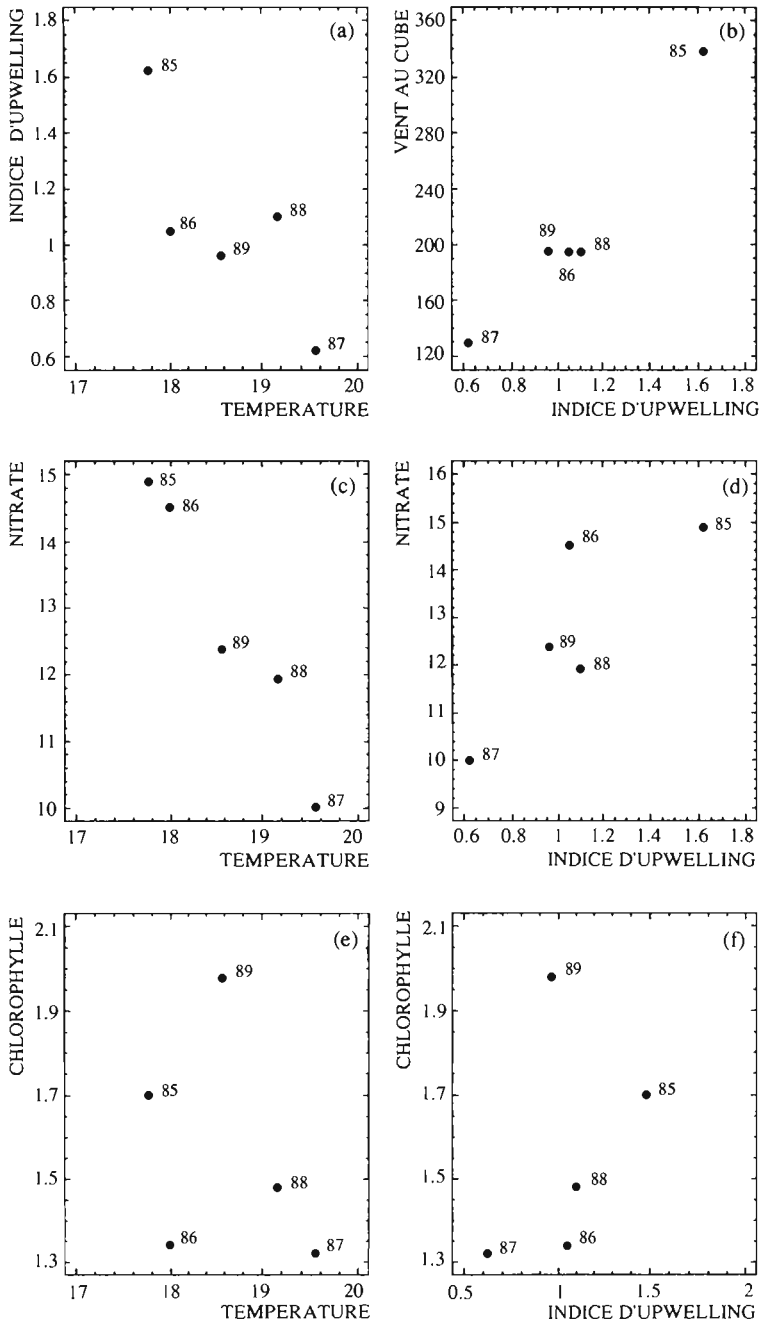


Fig. 6

Relation entre: (a) température et IUC, (b) vent au cube et IUC, (c) nitrate et température, (d) nitrate et IUC, (e) chlorophylle et température, (f) chlorophylle et IUC. (Valeurs moyennes en saison d'upwelling, de janvier à mai, pour la période 1985-1989).



BIBLIOGRAPHIE

• Bakun A. 1973. Daily and weekly upwelling indices, West Coast of north America 1946-71. U.S. Dep. Comm., NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-671, 103p.

• Cury P. et C. Roy. 1987. Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de Côte-d'Ivoire: une approche globale. Oceano. Acta.,10, 3, 347-357.

• Fréon P. 1984. Des modèles de production appliqués à des fractions de stock dépendants des vents d'upwelling (pêche sardinière au Sénégal). Océanogr. Trop., 19 (1), 67-94.

• Mendelssohn R. et P. Cury. 1987. Fluctuations of a fortnightly abundance index of the Ivoirian coastal pelagic species and associated environmental conditions. Can. J. Fish. Aquat. Sci., Vol. 44, 408-421.

• Oudot C. 1987. Observations physico-chimiques et biomasse végétale dans l'océan Atlantique équatorial. Atlas FOCAL, vol. 2 (PIRAL), Trav. Doc. ORSTOM, 209, 215p.

• Rébert J. P. 1983. Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais. Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr., Dakar-Thiaroye, 93, 186p.

• Rossignol M. et Aboussouan M. T. 1965. Hydrologie marine côtière de la presqu'île du Cap-Vert. Contribution à l'étude de la productivité des eaux. Publ. prov. ORSTOM, 166p.

6 • Variations spatio-temporelles de la biomasse phytoplanctonique sur le plateau continental sénégalais

DIAFARA TOURÉ
Physicien, CRODT/ISRA, B.P. 2241, Dakar, Sénégal

ITAF DÈME GNINGUE
Chimiste, CRODT/ISRA, B.P. 2241, Dakar, Sénégal

RÉSUMÉ

La distribution de la biomasse phytoplanctonique varie en fonction des saisons aussi bien en surface que dans la couche d'eau. En saison chaude, le maximum de biomasse est situé au sommet de la nitracline entre 50 et 75 m. En surface, on observe trois concentrations principales: entre Saint-Louis et Kayar sur la côte nord, sur la Petite Côte et devant l'embouchure de la Casamance sur la côte sud. En saison froide, le maximum subsuperficiel remonte vers 10 m ou atteint la surface. A la côte, quatre concentrations principales sont observées, deux sur la côte sud dont les emplacements sont relativement inchangés et deux autres sur la côte nord à Saint-Louis et à Kayar. Cependant, selon l'intensité de l'upwelling, les emplacements et les concentrations de ces maxima peuvent changer.

ABSTRACT

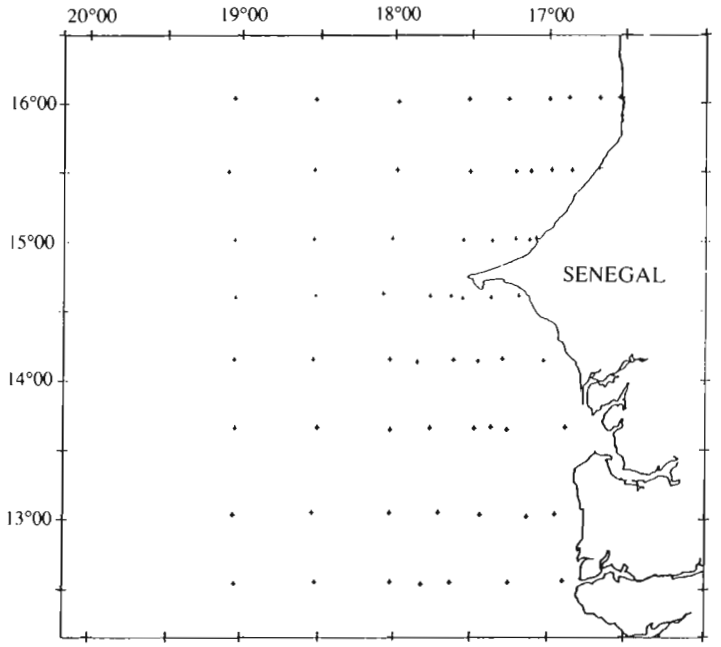
Seasonal variabilities are observed for the distribution of phytoplankton biomasses in the water column and at the surface of the Senegalese continental shelf. During the warm season a maximum of biomass is observed at the top of the nitracline between 50 and 75 meters in the water column. At the surface, three peaks of phytoplankton are observed: one between Saint-Louis and Kayar and two others off the South coast at the «Petite Côte» and off the Casamance mouth. During the cold season, the maximum of biomass observed in the water column is between 10 meters and the surface. Four peaks of phytoplankton concentrations are detected, two on the South coast for which the location is unchanged, two others on the North coast off Saint-Louis and Kayar. During the cold season the locations and concentrations of the peaks of maximum biomass can change according to the upwelling intensity.

INTRODUCTION

L'étude de la biomasse phytoplanctonique dans les eaux sénégalaises n'a été jusque là que très sporadique. Les rares travaux réalisés dans ce domaine (Rébert, 1978; Amade, 1977 et Touré, 1983) ont essentiellement porté sur la Baie de Gorée ou de Hann et les alentours de la presqu'île du cap Vert. Dans ce travail, nous essayons pour les principales saisons hydrologiques de décrire la variabilité spatio-temporelle de la biomasse phytoplanctonique des eaux maritimes sénégalaises en relation avec les conditions du milieu notamment le développement de l'upwelling. L'accent sera particulièrement mis sur l'étude du comportement des différents peuplements phytoplanctoniques des eaux sénégalaises en rapport avec le développement et la variabilité de l'upwelling entre 1986 et 1987. Les données utilisées sont celles des campagnes océanographiques réalisées au cours de cette période dans le cadre du Programme CIRSEN sur le plateau continental sénégalais et ses abords (fig. 1).

Fig. 1

Plan de campagne et position des stations.



VARIATION SAISONNIÈRE

La figure 2 montre la variation des concentrations de chlorophylle en fonction de la profondeur de disparition du disque de Secchi. Il ressort qu'aux deux grandes saisons hydrologiques correspondent deux systèmes de production.

Saison chaude

Distribution verticale. La figure 3 montre la distribution verticale de la chlorophylle *a*, des sels nutritifs (NO_3 et PO_4), de la température et du pourcentage de saturation en oxygène. A cette époque, il est aisé de remarquer les rôles importants joués par la thermocline et la nitracline dans la répartition verticale des peuplements phytoplanctoniques et notamment leur influence sur la position du maximum de chlorophylle.

En effet, avec l'accalmie des vents, la structure hydrologique montre une stabilité élevée. Le fort éclairement aidant, on observe le développement du phytoplancton le long de toute la colonne d'eau (jusqu'à 75 m de profondeur).

Comme Morel (1982) pour le Dôme de Guinée, nous constatons également dans la région sénégalaise que la nitracline coïncide avec le milieu de la pycnocline.

Le maximum de chlorophylle *a* est en moyenne de l'ordre de 3 mg/m^3 et se localise au sommet de la nitracline où les conditions d'éclairement et nutritives sont bonnes et la stabilité grande. Ce sont les situations tropica-

Fig.2

Relation entre les valeurs moyennes de la chlorophylle *a* dans la couche de surface (0-10m) et la profondeur de disparition du disque de Secchi (Zsec.).

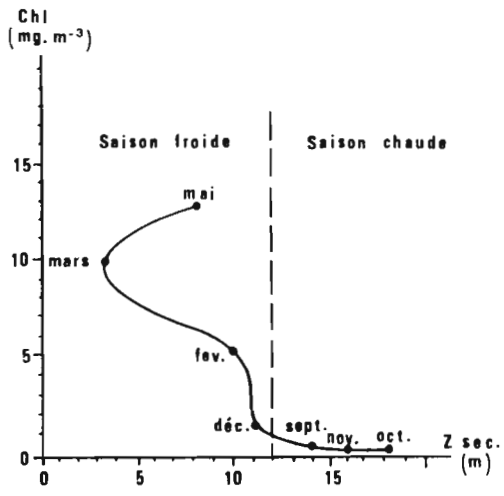
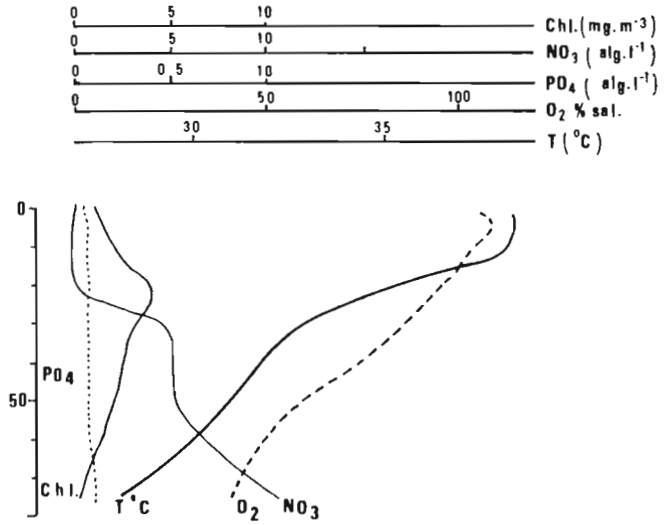


Fig.3

Distribution verticale de la chlorophylle *a*, des phosphates, des nitrates, de la température et du pourcentage de saturation en oxygène à une station au large de la baie de Gorée.



les typiques (STT) (Voituriez et Herbland, 1982).
Sur les figures 4, 5 et 6 sont représentées les coupes de chlorophylle *a* aux radiales:

2: niveau - Saint Louis
4: niveau - Petite Côte
7: niveau - Casamance.

Ces figures montrent sur l'ensemble du plateau continental l'existence de deux types de maximum du phytoplancton:

- le maximum du large lié au sommet de la nitracline
- et celui de la côte qui est en surface et qui semble être lié à une autre source de sels nutritifs.

Distribution en surface. Sur la figure 7, on remarque au cours de cette période, dans les eaux sénégalaises, l'existence de trois concentrations principales de chlorophylle qui se développent essentiellement le long de la côte. Une concentration occupe toute la côte nord de Saint-Louis à Kayar, la seconde est localisée le long de la Petite Côte et la troisième devant l'embouchure de la Casamance.
Ces eaux relativement oligotrophes se caractérisent par de faibles biomasses phytoplanctoniques (1 à 3 mg/m^3). Le cantonnement de ces peuplements phytoplanctoniques le long de la côte au moment où l'upwelling n'est pas en activité ne peut s'expliquer que par la présence dans les eaux d'éléments nutritifs issus de la régénération de la matière organique dégradée d'origine continentale. Selon Rébert (1978), cette matière organique dégradée proviendrait des phénomènes de pollution. Si cette hypothèse est valable pour le phytoplancton de la baie de Hann, elle ne saurait l'être pour les autres peuplements qui sont suffisamment éloignées de la principale source de pollution (Dakar).
Toutefois, on constate sur la figure 8 que l'une des caractéristiques de cette période est le développement et le maintien de la biomasse (2 à 3 mg/m^3) longtemps après le pic de nitrate. Ce qui étaye bien l'idée que le phytoplancton se développe aussi grâce à la régénération des sels nutritifs.

Saison des eaux froides (fin décembre à mai)

Distribution verticale. Si en saison chaude la constance du facteur lumière et la relative grande stabilité des eaux ont beaucoup facilité l'étude de la variabilité du phytoplancton qui ne dépend alors que des sels nutritifs, en saison froide, par contre, le développement de la turbulence rend ce phénomène plus complexe.
En fin décembre, les vents du nord sont encore faibles mais suffisamment réguliers pour provoquer le début de l'upwelling. Le début de la remontée des eaux profondes vers la surface engendre une turbidité importante par la remise en suspension des particules sédimentaires; ceci aura pour conséquence de limiter la pénétration de la lumière et par conséquent de gêner le développement du phytoplancton en profondeur. Cette période se caractérise par la disparition progressive de la couche homogène de surface et du soulèvement de la thermocline et de la nitracline. Pour les peuplements du large, le maximum se situe environ à l'immersion 10

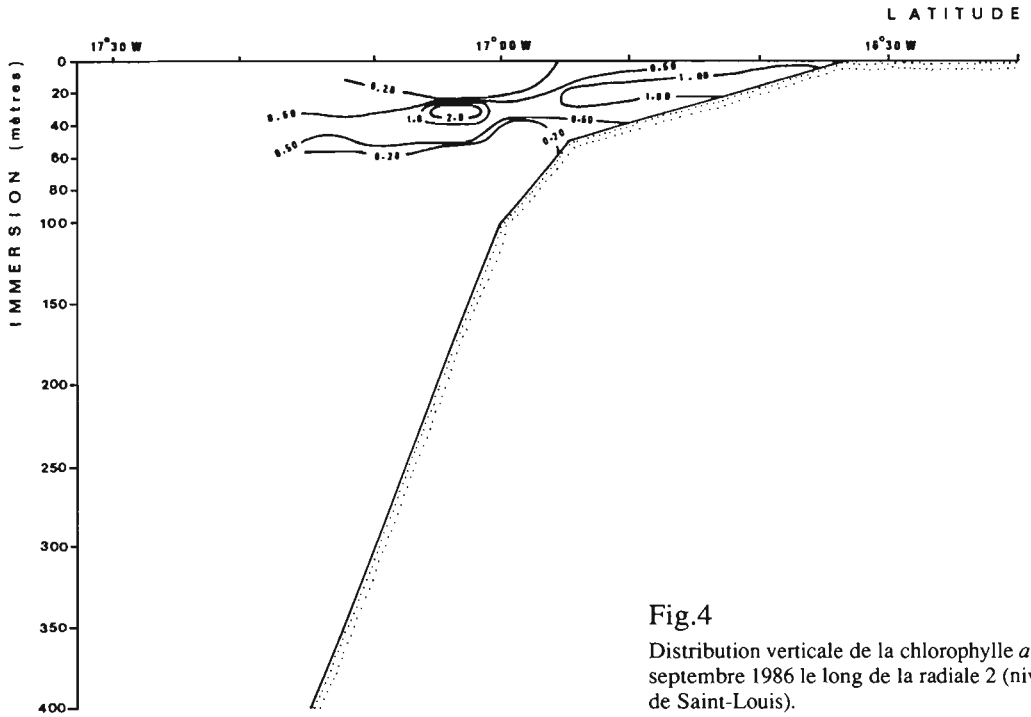


Fig.4

Distribution verticale de la chlorophylle *a* en septembre 1986 le long de la radiale 2 (niveau de Saint-Louis).

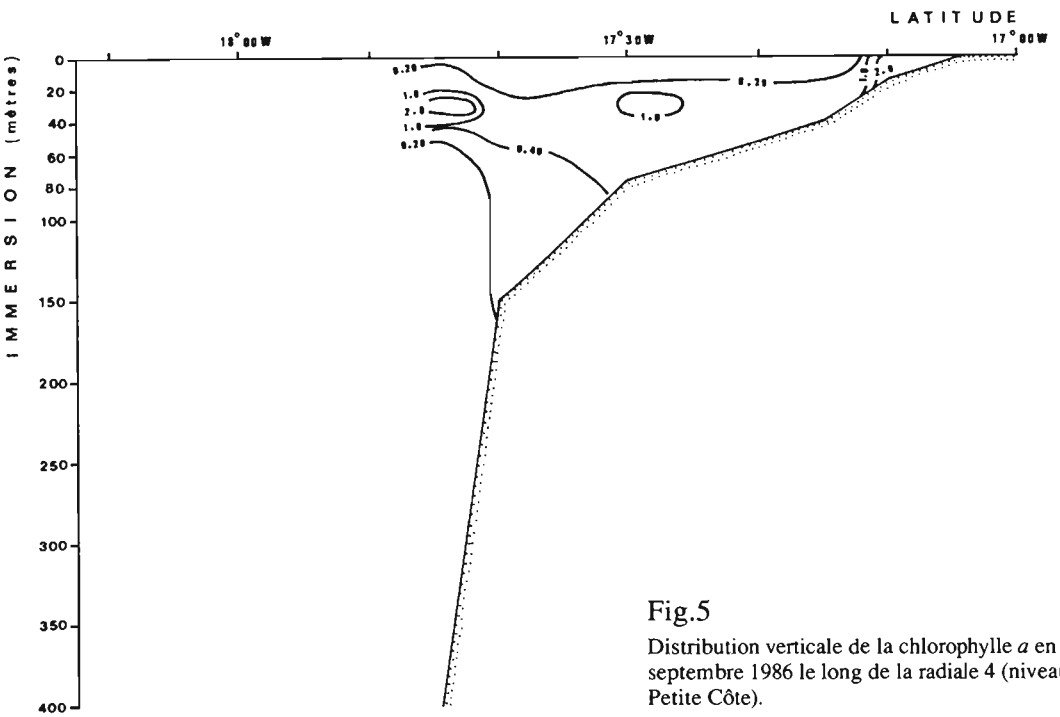


Fig.5

Distribution verticale de la chlorophylle *a* en septembre 1986 le long de la radiale 4 (niveau Petite Côte).

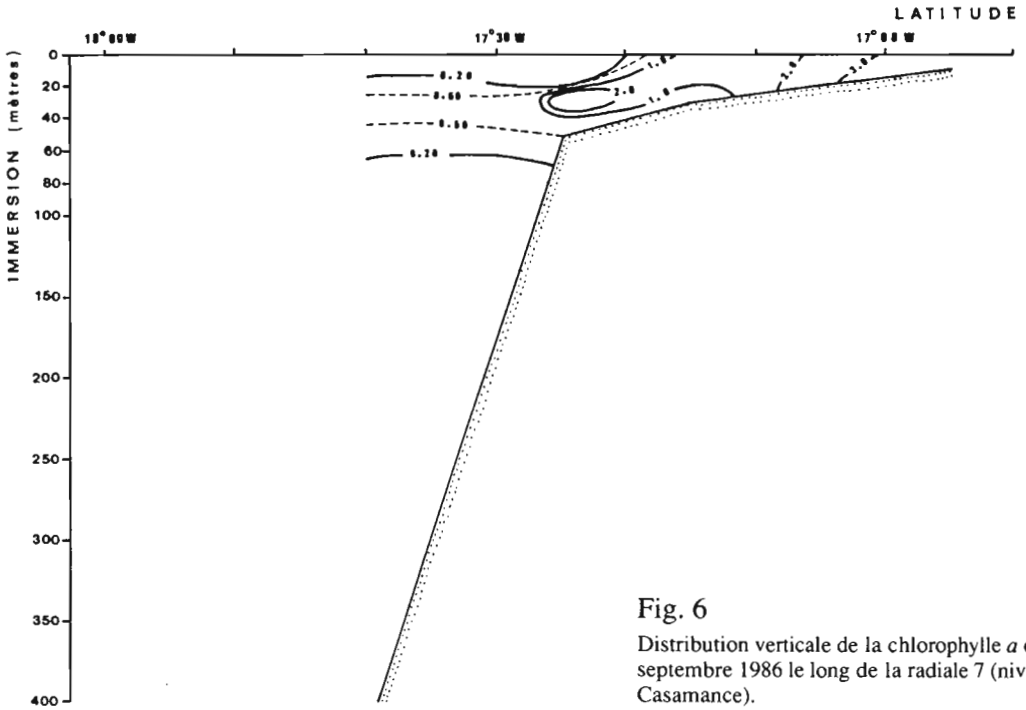


Fig. 6

Distribution verticale de la chlorophylle *a* en septembre 1986 le long de la radiale 7 (niveau Casamance).

Fig. 7

Distribution en surface de la chlorophylle *a* en septembre 1987.

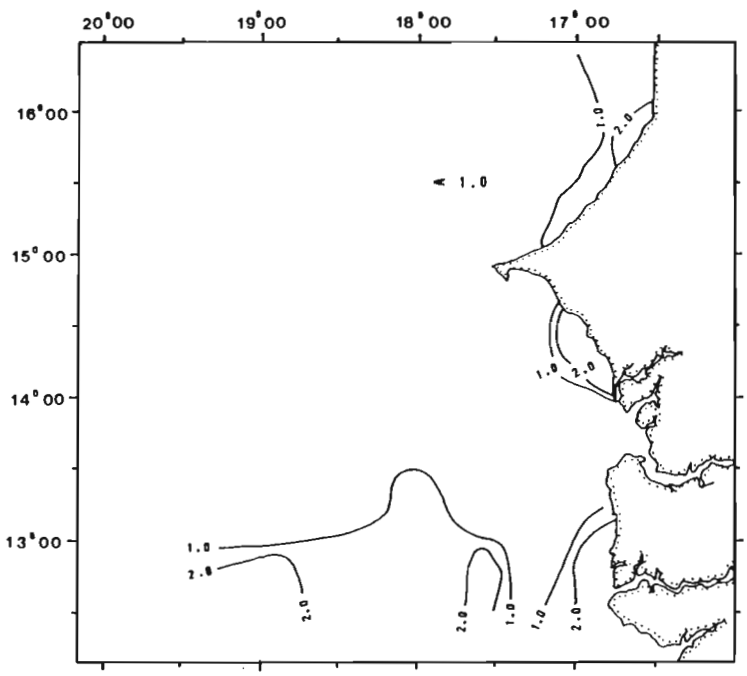


Fig.8

Distribution temporelle des valeurs moyennes de la chlorophylle *a* et des nitrates de surface à la station côtière de Thiaroye en saison chaude.

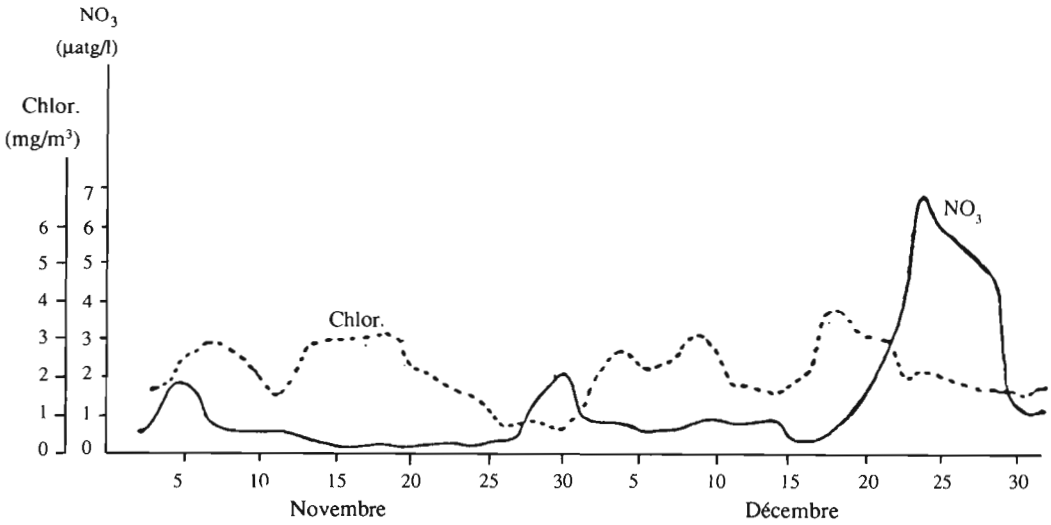
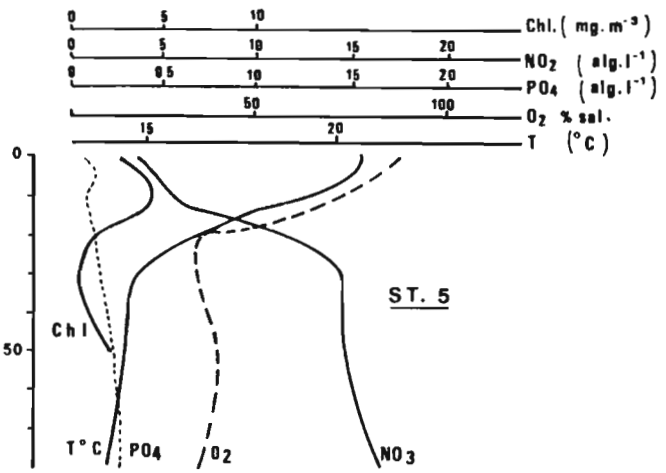


Fig. 9

Distribution verticale de la chlorophylle *a*, de la température, des nitrates, des phosphates et du pourcentage de saturation en oxygène à une station au large de la baie de Gorée à la fin du mois de décembre 1985.



mètres toujours au sommet de la nitracline dans les eaux bien éclairées de la pycnocline (fig. 9).
Quand l'upwelling est intense (février-mars), les nutriments arrivent en surface. L'éclairement solaire incident pénétrant mal (Zsec = 5 m) à cause de l'augmentation de l'absorption et de la diffusion par les substances dissoutes et en suspension, le développement du phytoplancton se limite à la couche superficielle (jusqu'à 20-30 mètres) et le maximum de chlorophylle est en surface (fig. 10).
Cette situation est bien illustrée par les coupes réalisées aux niveaux de Saint-Louis, de la Petite Côte et de la Casamance (fig. 11, 12, 13). On constate sur ces figures qu'au nord comme au sud, le maximum des peuplements du large se retrouve en surface, alors qu'à la côte c'est toute la colonne d'eau (0-10 m) qui est occupée par le phytoplancton.

Distribution en surface. Le passage de la saison chaude à la saison des eaux froides d'upwelling se caractérise par une redistribution des concentrations de chlorophylle. Aux trois précédentes concentrations s'ajoute une quatrième qui fait son apparition à la côte nord. Si l'emplacement des deux concentrations de phytoplancton de la partie sud du plateau continental varie peu, au nord par contre, on observe deux peuplements phytoplanctoniques situés respectivement devant Saint-Louis et Kayar.
Comme Rolfe (1982) pour l'upwelling mauritanien, nos observations dans les eaux sénégalaises indiquent une forte variabilité de la biomasse phytoplanctonique avec l'intensité de l'upwelling. Les figures 14a, 14b, 15a et 15b représentent la distribution en surface de la température de l'eau et des concentrations de chlorophylle *a* en saison d'upwelling, des années 1986 et 1987. On remarque que, d'une année à l'autre, malgré la variabilité de l'intensité de l'upwelling, les quatre principaux peuplements phytoplanctoniques restent toujours caractéristiques des eaux sénégalaises de cette période. Il n'y a que leur emplacement ainsi que leur concentration qui peuvent varier en fonction de l'intensité de la remontée des eaux.
En 1986, année à fort upwelling, toutes les concentrations de phytoplancton sont localisées à la côte (fig. 14b). Seule la concentration de la Petite Côte s'est déplacée vers le sud pour se développer aux alentours de la pointe de Sangomar. Ceci pourrait s'expliquer par le fort développement de l'upwelling du sud de la presqu'île du cap Vert (T°<15°C) où les conditions de turbulence et de turbidité ne favorisent pas le développement des peuplements phytoplanctoniques. Ceci est bien étayé par la figure 16. Sur cette figure, on remarque qu'à partir de décembre, bien que la teneur des eaux de surface en nitrate ait fortement augmenté, on n'observe plus de relation entre ce nutriment et la concentration de chlorophylle. On remarque par contre que ce sont les eaux du pourtour immédiat de la source de remontée comme celles de la pointe de Sangomar qui offrent les meilleures conditions de développement au phytoplancton.
Quant au peuplement situé entre la Gambie et la Casamance, il est à son tour divisé en deux peuplements situés de part et d'autre de la veine d'eau froide d'upwelling.
La concentration du large (sur les fonds de 30 mètres) est légèrement plus importante (plus de 5 mg/m^3) que celle qui est plaquée à la côte.
En 1987, année à upwelling faible (minimum de température 15,8°C) (figure 15a), on retrouve encore les quatre peuplements de phytoplancton mais légèrement plus développés. En effet, l'upwelling étant moins intense, la stabilité des eaux devient plus grande alors que les éléments nutritifs et le rayonnement solaire sont abondants. Le peuplement de Saint-Louis se développe jusqu'au niveau de Kayar. A la latitude de Kayar, contrairement aux situations précédentes, le peuplement phytoplanctonique se développe au large sur le rebord du plateau continental. Quant au peuplement de la région de la Petite Côte, il s'est beaucoup développé autour de l'upwelling, occupant ainsi toute la zone comprise entre le cap Manuel et la pointe de Sangomar (fig. 15b). Celui de l'extrême sud du plateau continental s'est aussi davantage développé (plus de 11 mg/m^3).

CONCLUSION

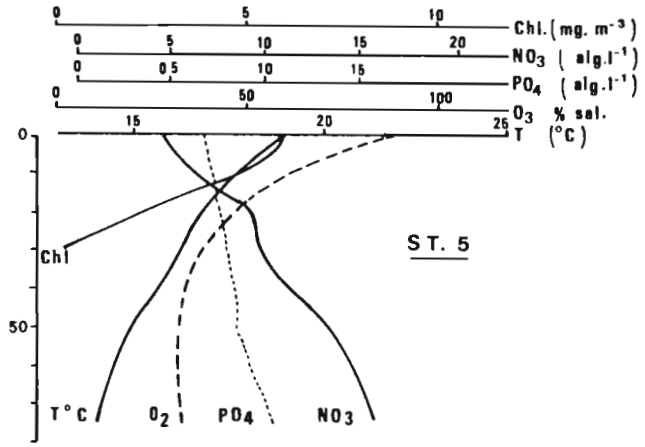
Les observations réalisées au cours de ces deux années (1986 et 1987) ne sont pas suffisantes pour permettre une description exacte de la variabilité spatio-temporelle de la teneur en chlorophylle des eaux sénégalaises. Elles ont toutefois permis de localiser les différents peuplements phytoplanctoniques et d'avoir un aperçu de leur comportement en fonction de l'intensité de la remontée des eaux profondes. Un certain nombre de problèmes demeurent et parmi eux:

- le cantonnement de la plupart des peuplements phytoplanctoniques le long de la côte aussi bien en saison chaude qu'en saison froide;
- la composition de ces peuplements phytoplanc-toniques qui restent toujours distincts les uns des autres.

Ces campagnes océanographiques ont été réalisées une fois tous les trois ou quatre mois. Il est évident qu'il existe une forte variation aussi bien entre les saisons qu'à l'intérieur d'une même saison. Il serait donc intéressant de suivre en continu l'évolution des profils de chlorophylle à une station du large débarrassée de toute contamination côtière et qui pourrait être visitée au moins une fois par semaine.

Fig. 10

Distribution verticale de la chlorophylle *a*, de la température, des nitrates, des phosphates et du pourcentage de saturation en oxygène à une station au large de la baie de Gorée à la fin du mois de février 1985.



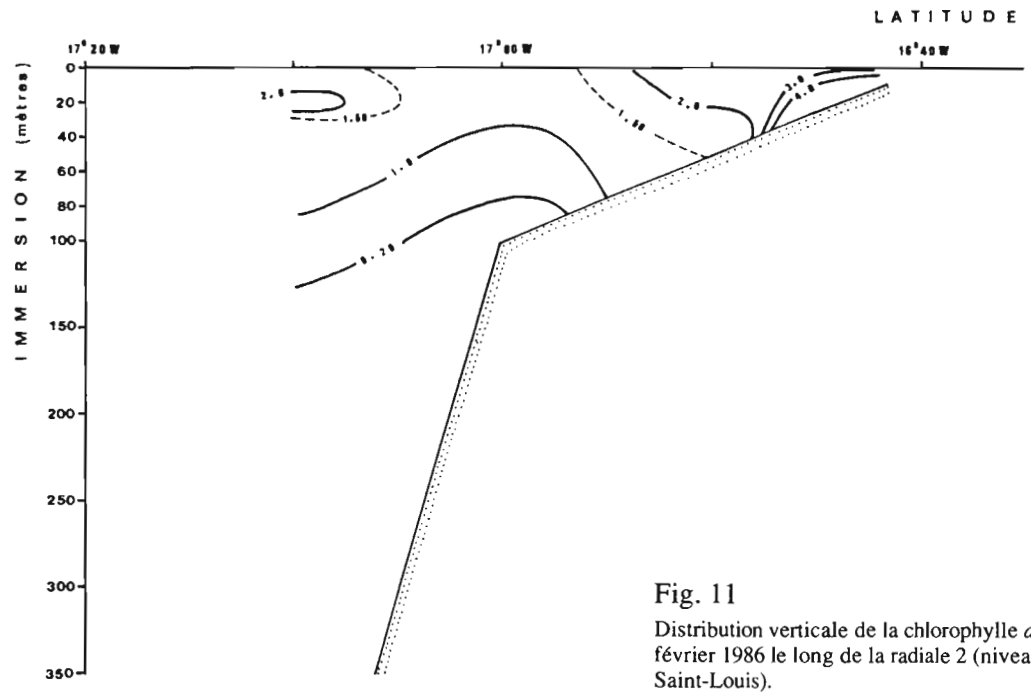


Fig. 11

Distribution verticale de la chlorophylle *a* en février 1986 le long de la radiale 2 (niveau Saint-Louis).

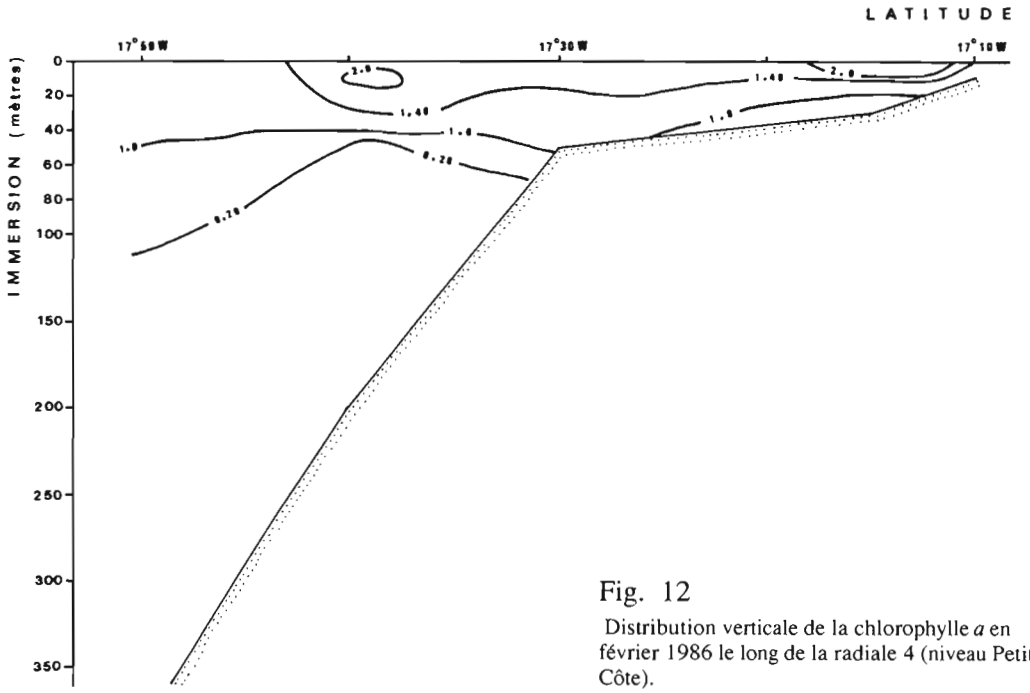


Fig. 12

Distribution verticale de la chlorophylle *a* en février 1986 le long de la radiale 4 (niveau Petite Côte).

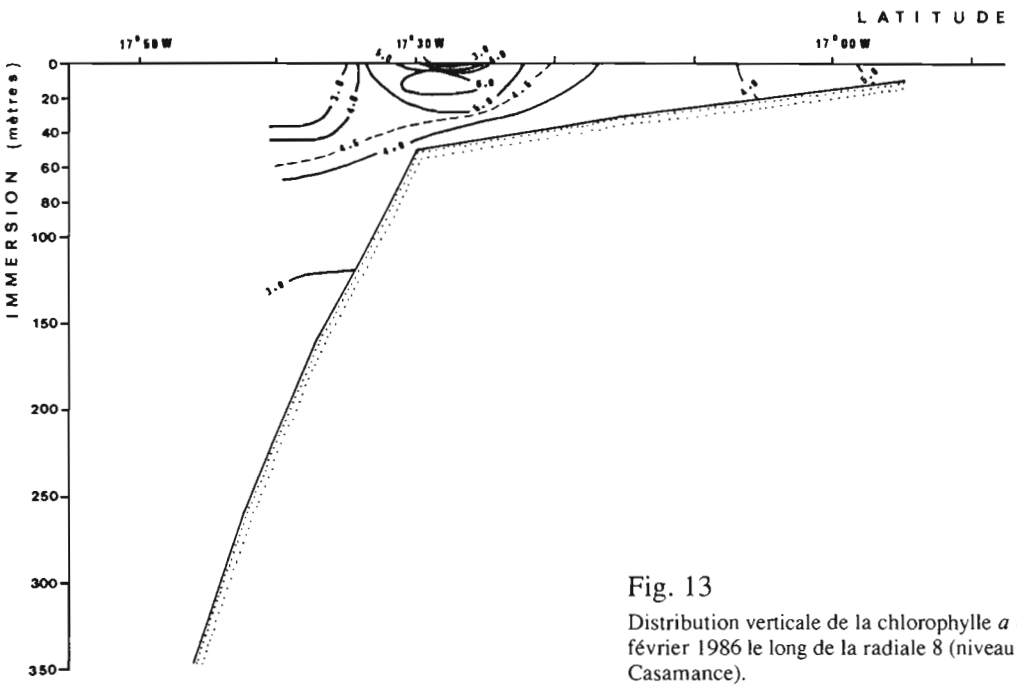


Fig. 13

Distribution verticale de la chlorophylle *a* en février 1986 le long de la radiale 8 (niveau Casamance).

Fig. 14

(a) Distribution en surface de la température en février 1986.
(b) Distribution en surface de la chlorophylle *a* en février 1986.

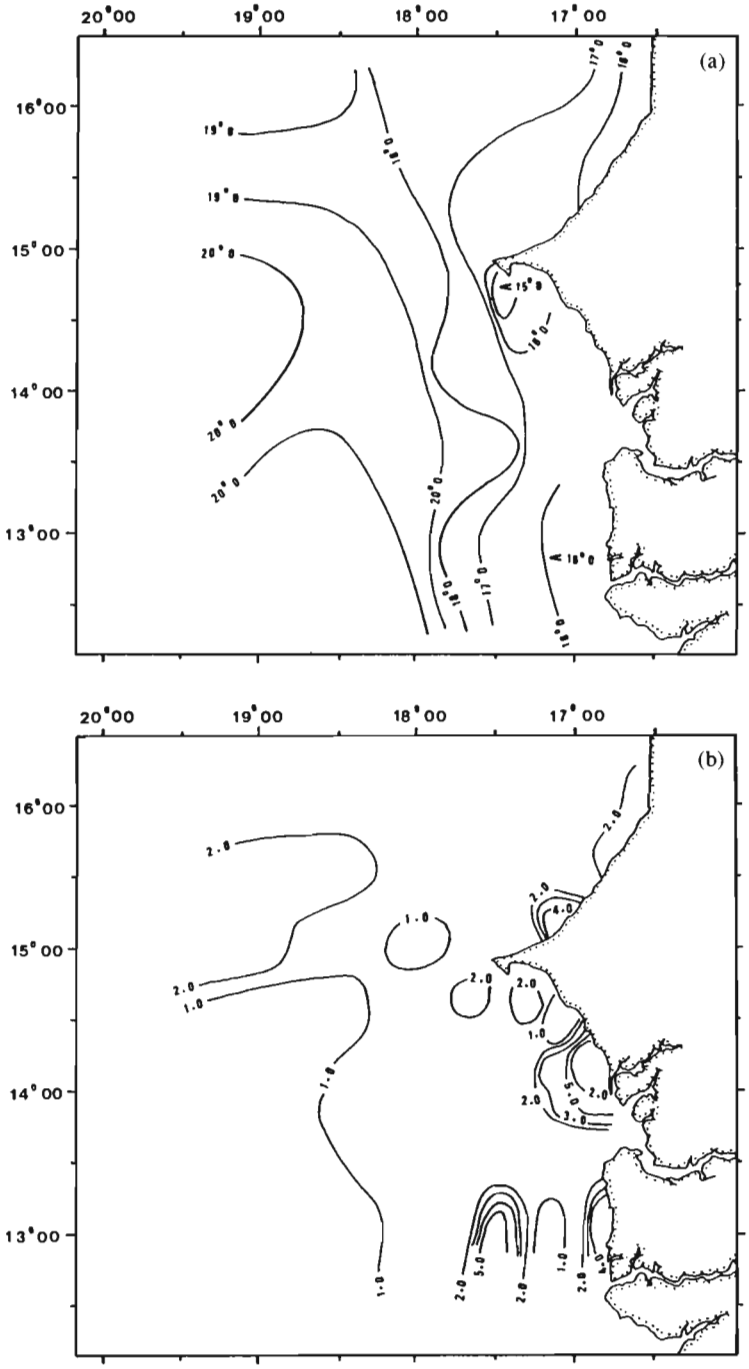


Fig. 15

(a) Distribution en surface de la température en mars 1987.
(b) Distribution en surface de la chlorophylle *a* en mars 1987.

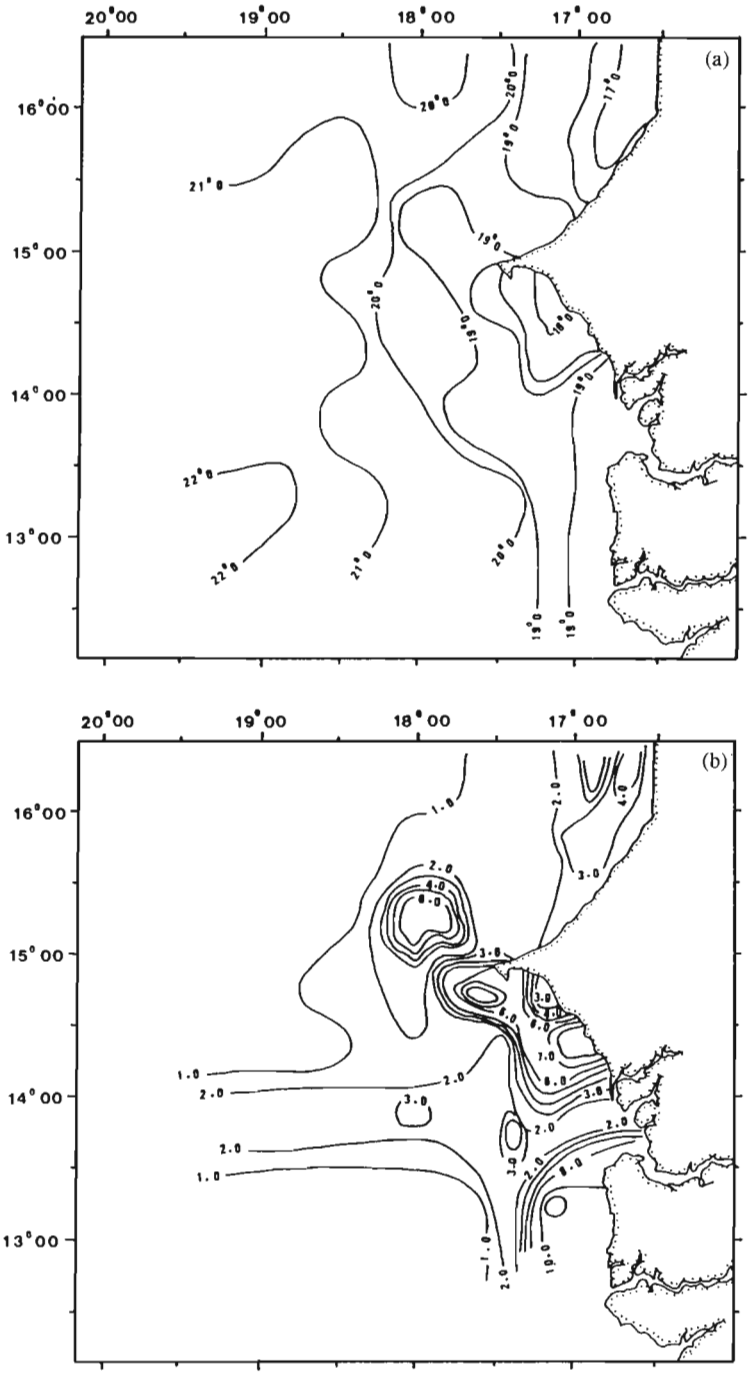
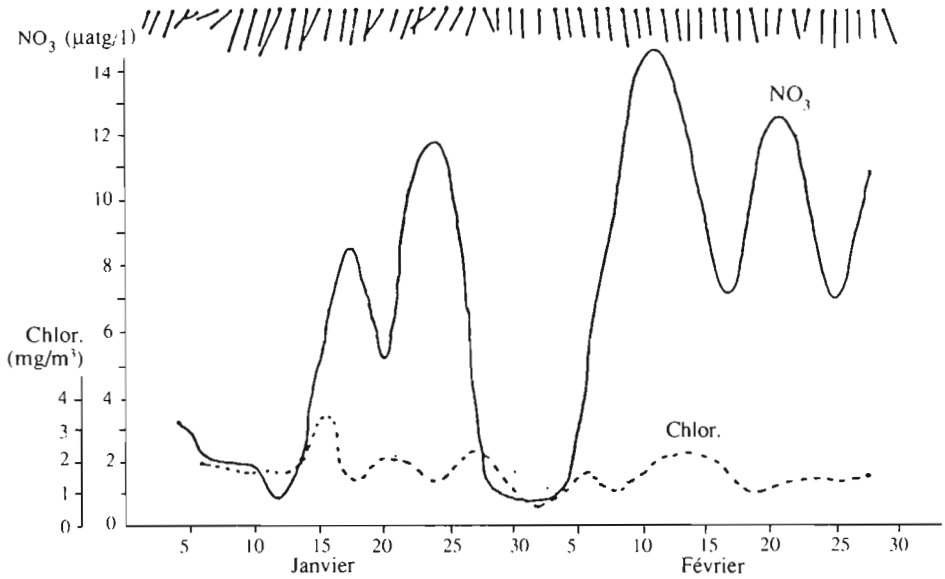


Fig. 16

Distribution temporelle des valeurs moyennes lissées des concentrations de nitrates et de la chlorophylle *a* de surface à la station côtière de Thiaroye, en relation avec les vents journaliers de Dakar-Yoff.



DISCUSSION

FREON: Il est remarquable de constater que les zones de pêche coïncident avec les zones de concentration du phytoplancton !

FONTENEAU: Les sardinelles sont abondantes quelle que soit la saison; il y a sans doute un enrichissement de la zone côtière en dehors de la saison d'upwelling.

CECCHI: Il semble qu'en saison chaude, les zones à production phytoplanctonique élevée se situent devant les embouchures des fleuves. En dehors de la saison d'upwelling, ce type d'enrichissement n'est donc pas à négliger.

ROY: En saison chaude, l'enrichissement côtier peut être lié à des ondes internes. Lors des campagnes CIRSEN, nous avons observé lors de points fixes au large de la Casamance des oscillations, dues à la marée, de très fortes amplitudes (oscillations verticales de la thermocline de 30 à 40 mètres) à l'accore du plateau continental. Ces ondes internes peuvent être à l'origine d'enrichissements non négligeables.

MARCHAL: On a vu qu'il y a du phytoplancton en saison chaude, réparti sur une colonne d'eau importante. Si l'on considère les biomasses phytoplanctoniques intégrées sur la colonne d'eau, les différences observées entre saison chaude et saison d'upwelling ne vont-elles pas être réduites ?

TOURE: En saison d'upwelling, bien que les teneurs en chlorophylle ne soient pas toujours supérieures à celles de saison chaude, le «turn-over» est beaucoup plus important. La production est donc beaucoup plus élevée durant les périodes d'upwelling que durant la saison chaude.

BINET: Il faut aussi rappeler que, pour les copépodes, c'est surtout la densité en phytoplancton qui est importante. Mieux vaut, à biomasse égale, un bloom homogène qu'une biomasse largement répartie.

HERBLAND: Les figures proposées sont des images instantanées. Il existe une variabilité à court terme, non mesurable par un suivi tel que vous l'avez pratiqué et qui pourrait être mesurée par l'imagerie satellitaire.

DEMARCQ: On observe effectivement des perturbations à court terme dans la structure de l'upwelling sous forme de pulsations. Il existe une variabilité temporelle insoupçonnable par les mesures classiques, d'où l'intérêt d'un suivi continu à l'aide des satellites.

LEVENEZ: Il existe des concentrations d'organismes le long de la thermocline. Celles-ci disparaissent lorsque l'upwelling se déclenche. Existe-t-il un suivi de la

variabilité du phytoplancton liée à celle de la thermocline ?

TOURE: Nous n'avons pas, au Sénégal, étudié les phénomènes à court terme.

HERBLAND: On observe au large des concentrations de phytoplancton dues à des blooms le long des divergences des grands courants. On observe également des fluctuations saisonnières dans les communautés phytoplanctoniques avec, en particulier, des apparitions de blooms constitués de toutes petites cellules. Ces modifications doivent probablement se dissiper sur l'ensemble de la chaîne trophique.

BIBLIOGRAPHIE

• Amade Ph. 1977. Etude biochimique de la baie de Gorée. Résultats de mesures. Arch. Centre de Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 42.

• Morel A. 1982. Optical properties and radiant energy in the waters of the Guinea Dome and the Mauritanian upwelling area in relation to primary production. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. 180: 94-107 .

• Rébert J.P. 1978. Les teneurs en chlorophylle des eaux de surface à la station côtière de Dakar (Résultats des mesures de 1973-1977). Doc. Centre de Rech. Oceanogr. Dakar-Thiaroye, 67: 14p.

• Rolfe B. 1982. The phytoplankton in the West African upwelling area north of Cap Blanc in January and February 1975. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer., 180: 239-243.

• Touré 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. Sc. Centre Rech. Océanogr., Dakar-Thiaroye, n° 93.

• Voituriez B. et Herbland A. 1982. Comparaison des systèmes productifs de l'Atlantique Tropical Est: Dômes thermiques, upwelling côtier et upwelling équatorial. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer., 180: 114-130.

7 • Le zooplancton au Sénégal

PAPA SAMBA DIOUF
Biologiste, CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal

RÉSUMÉ

Une synthèse des différents travaux réalisés sur le zooplancton du Sénégal est présentée. Il apparaît à la lumière des diverses études qu'à l'échelle saisonnière, l'abondance du zooplancton est étroitement liée aux fluctuations de l'upwelling. A la période d'upwelling correspond une diminution de la diversité et une augmentation de l'abondance du zooplancton, particulièrement des Copépodes herbivores comme *Calanoides carinatus*. En ce qui concerne les variations spatiales, la région allant de la Gambie à la presqu'île du cap Vert semble être la partie la plus riche en période d'upwelling, alors qu'en saison chaude c'est dans la zone casamançaise que l'on trouve les plus forts biovolumes. Les conclusions des différents auteurs ayant travaillé sur l'alimentation des sardinelles, prédateurs du zooplancton, ne sont pas toujours concordantes.

ABSTRACT

The different works realized on the zooplankton of Senegal are synthesized. In the light of several studies, it appears that at the seasonal scale, zooplankton abundance is strongly related to upwelling fluctuations. The upwelling period corresponds to a decrease in specific diversity and to an increase in zooplankton abundance, specially of herbivorous Copepoda like Calanoides carinatus. With regard to spatial variations, the area from the Gambia to the cap Vert peninsula, seems to be the richest part during the upwelling period; whereas during the warm season, it is in the Casamance zone that the highest zooplankton volumes are found. The conclusions of different authors who worked on the feeding of sardinellas, which are zooplankton predators, do not always agree.

INTRODUCTION

Différents travaux ont été réalisés sur le zooplancton du Sénégal. Mais jusqu'à ce jour, aucune synthèse de ces diverses études n'a été faite afin de comprendre la dynamique globale des systèmes zooplanctoniques. Notre objectif est de combler cette lacune. Pour ce faire nous traiterons successivement:

- des variations temporelles,
- des variations spatiales,
- de la dynamique spatio-temporelle du zooplancton en relation avec l'upwelling,
- du zooplancton et de la nutrition des sardinelles.

VARIATIONS TEMPORELLES

Abondance et espèces caractéristiques des différentes saisons hydrologiques

Les seuls travaux sur le zooplancton du Sénégal ayant permis la récolte de données couvrant au moins un cycle annuel sont ceux de Gaudy et Seguin (1964), Seguin (1966), Séret (1983 et 1985) et de Médina-Gaertner (1983, 1985 et 1988a). Malheureusement, l'aire d'étude est restreinte et de plus limitée au plateau continental. Gaudy et Seguin (1964) n'ont travaillé que sur les Copépodes. Seguin (1966), comme Gaudy et Seguin (1964), ne donne pas l'abondance totale du zooplancton. Ils ont surtout étudié les variations quantitatives saisonnières des principaux zooplanctontes. De ces études (Gaudy, 1963; Gaudy et Seguin, 1964 ; Seguin, 1966), il ressort que le zooplancton de la région de Dakar peut être séparé en deux catégories:

- les espèces pérennes qui se rencontrent toute l'année quelles que soient les conditions hydrologiques. Il s'agit pour les Copépodes de *Eucalanus pileatus*, *E. subtenuis*, *Euchaeta marina*, *Scolecithrix danae*, *Temora stylifera*, *T. turbinata*, *Centropages chierchiae*, *Candacia pachydactyla*, *C. curta*, la plupart des *Cyclopoidae* et des *Harpacticoidae* ; pour les mollusques, *Creiseis acicula* ; les *Sergestidae*, *Lucifer faxoni* ; les Ostracodes, *Euconchoecia chierchiae* ; les Cladocères, *Penilia avirostris* ; les Chaetognathes, *Sagitta enflata* et *S. friderici* ; les Appendiculaires, *Oikopleura longicauda*.
- les espèces liées à certaines masses d'eaux (tab. 1).

Pour étudier les variations saisonnières du zooplancton total, nous nous baserons sur les travaux de Séret et de Médina-Gaertner qui sont les seuls à aborder ce sujet. Selon Médina-Gaertner (1985 et 1988a) (fig. 1), pour les gros zooplanctontes capturés par un filet de 355 microns de vide de maille, on trouve de fortes valeurs de novembre 1982 à janvier 1983, en mars et en juin 1983. En ce qui concerne le plancton récolté par un filet de 100 microns de vide de maille, les maxima d'abondance se succèdent durant toute l'année et seule la période de juillet est marquée par de faibles effectifs. De l'avis de Séret (1985) (fig. 2), le zooplancton total est abondant de mi-mars à septembre 1982 - avec toutefois une chute en juin et en janvier 1983. Le pic secondaire d'abondance du zooplancton total de fin juillet à mi-septembre peut paraître surprenant si l'on sait qu'il est associé aux eaux tropicales réputées pauvres. Fréon (1988) évoque plusieurs raisons qui pourraient expliquer partiellement ce pic:

- la reprise des alizés durant quelques jours début juillet et début août et la remontée d'eaux froides au niveau des sources d'upwelling ;
- la reminéralisation et la remise en suspension des sédiments et les apports des effluents urbains ;
- l'enrichissement lié à la crue des fleuves de la Sénégambie, notamment la Gambie et le Sénégal, qui d'ailleurs peut être difficilement retenu à cause du déficit pluviométrique correspondant à cette période;
- l'alimentation du zooplancton au sommet de la nitracline où la pénétration de la lumière et les sels

Tableau 1

Espèces caractéristiques des différentes saisons hydrologiques.

Période froide	Période chaude et salée		Période chaude et désalée	Période de transition
17°C < T° < 21°C	22°C < T° < 27°C	22°C < T° < 29°C	27°C < T° < 29°C	T° et S °/oo
35 °/oo< S <36 °/oo	35,8 °/oo< S <36 °/oo	S < 36 °/oo	S < 35 °/oo	Variables
Janvier à mai	Mai à juin	Juillet à août	Septembre à octobre	Novembre à décembre
Copépodes	**Copépodes**	**Copépodes**	**Siphonophores**	**Copépodes**
Calanoides carinatus	*Calanus minor*	Pontellides	*Diphyes bojani*	*Calanoides carinatus*
Eucalanus attenuatus	*Undinula vulgaris*		**Thaliacé**	*Eucalanus attenuatus*
Eucalanus crassus	**Mollusques**	**Siphonophores**	*Thalia democratica*	*Eucalanus crassus*
Euchirella rostrata	*Atlanta inclinata*	*Muggiaea atlantica*	**Poissons**	*Euchirella rostrata*
Euchaeta hebes	*Atlanta lesueuri*	*Lensia subtilis*	œufs et alevins	
Candacia bipinnata	*Diacria quadridentata*	*Lensia canoidea*		
Chaetognathes	**Siphonophores**	**Chelophyes**		
Sagitta	*Physalia physalis*	*appendiculata*		
serratodentata	**Meduses**	**Cténophores**		
	Phialidium	*Beroe forskali*		
	Hemisphaericum	**Salpes**		
		Salpa fusiformis		
		Iasis zonaria		

Fig. 1

Nombre moyen d'organismes récoltés par le filet de 355 µm (•——•——•) et de 100 µm (■ – – – ■), de juin 1982 à juin 1983 et de décembre 1983 à avril 1984.

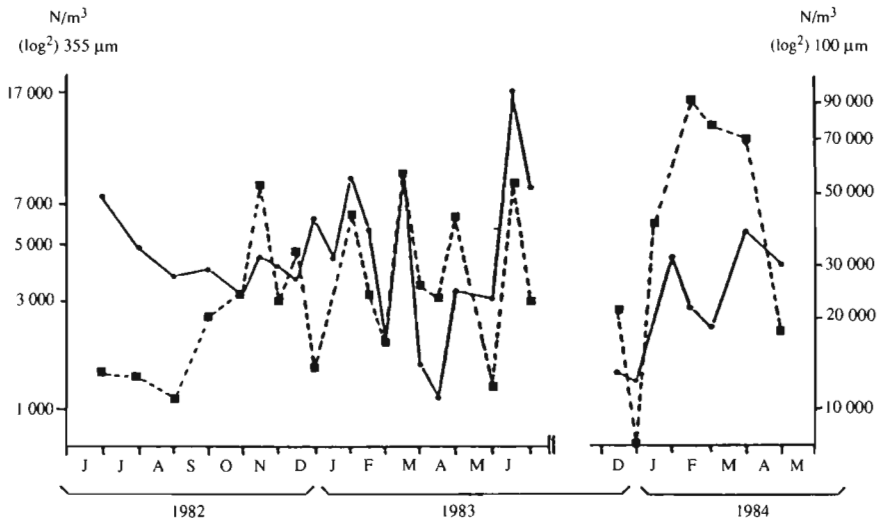
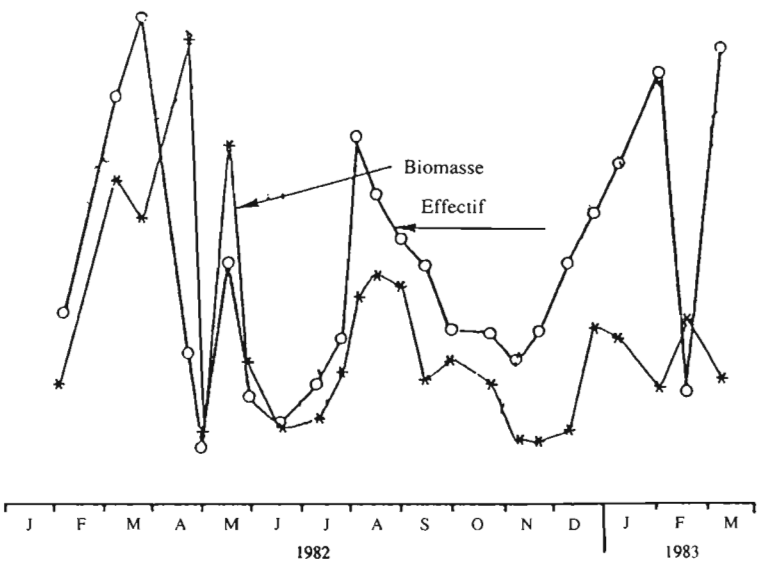


Fig. 2

Variations saisonnières d'abondance du zooplancton sur la Petite Côte (d'après Séret, 1985).



nutritifs permettent le développement du phytoplancton (Séret, 1985).
Nous pensons toutefois que ce pic secondaire serait dû aux apports terrigènes et urbains du début de l'hivernage.
En examinant la composition spécifique du zooplancton de cette période (fin juillet à mi- septembre), on se rend compte que parmi les espèces dominantes, on trouve *Penilia avirostris* et *Acartia grani* qui ont des stratégies démographiques (Binet, 1979) pour la première et alimentaire (Rodriguez et Jiminez, 1983) pour la seconde, opportunistes et qui sont capables de proliférer dans des eaux côtières relativement pauvres. De plus, *Acartia grani* est en mesure de se développer en grand nombre dans les zones subissant une pollution organique.
Il apparaît donc que, malgré des méthodes d'échantillonnage identiques, des zones d'étude qui se recouvrent très largement et l'utilisation du même matériel, Séret (1985) et Médina-Gaertner (1985) aboutissent à des résultats divergents en ce qui concerne les variations temporelles de l'abondance du zooplancton. Ceci vient confirmer l'importante variabilité du plancton, variabilité probablement accrue par la complexité des mécanismes hydrologiques observés en baie de Gorée.

Diversité

Par comparaison avec le zooplancton des côtes ivoiriennes (Binet, 1977), de la zone Nigéria-Ghana (Thiriot, 1977) et de la zone Mauritanie-Maroc (Weikert, 1982), le zooplancton du Sénégal est très diversifié. En effet, plus de 180 espèces et plus de 50 types de larves et d'oeufs ont été signalés (Siva E Souza, 1956 ; Furnestin 1956 et 1960 ; Seguin et Ibanez, 1974; Khromov, 1965; Seguin, 1966; Séret, 1985). Au point de vue abondance, les Copépodes constituent le taxon dominant. Selon Séret (1985), l'abondance des Copépodes est maximale en période d'upwelling (92,6 % du zooplancton total) et minimale durant la saison de transition vers la saison froide (27,4 %). Afin de caractériser la diversité et de connaître la structure des populations zooplanctoniques, Médina-Gaertner (1985) a calculé pour chaque mois et chaque station l'indice de diversité de Shannon et Weaver.
Cet indice varie entre une valeur maximale obtenue lorsque toutes les espèces sont également représentées et une valeur minimale qui correspond à la situation dans laquelle chaque espèce est représentée par un seul individu, une espèce comprenant le reste de l'effectif (Daget, 1979). En pratique, l'indice de diversité ne dépasse pas 4,5 bits/individu (Frontier, 1983). Son analyse permet de voir si l'on est en présence d'une biocénose évoluée (indice de diversité élevée) ou au contraire si l'on a affaire à un peuplement jeune, peu évolué (indice de diversité faible).
En juin 1982, l'indice de diversité est faible. Cela coïncide avec le début de la saison chaude et l'apparition des eaux tropicales. Lorsque ces dernières ont envahi la baie de Dakar, l'indice de diversité augmente jusqu'à 3 à 4 bits / individu ce qui pourrait correspondre à une fin d'évolution des peuplements. En octobre, on assiste à une chute de la diversité spécifique des stations les plus côtières (pour les individus capturés par le filet de 100 microns) et en novembre (pour le filet de 355 microns), à l'arrivée des eaux guinéennes. Les mois de janvier et de février correspondent à des phases de maturation des communautés zooplanctoniques, notamment pour les stations côtières situées entre Niangal (station 4) (fig. 3) et le fond de la baie de Dakar, ainsi qu'à celles des 25 m (stations 6 et 7). En mars-avril, il y a une chute de l'indice, pratiquement à toutes les stations. Cette époque correspond à la réactivation de l'upwelling. Il apparaît comme l'ont signalé plusieurs auteurs (Bainbridge, 1972; Boucher, 1982; Médina-Gaertner, 1985; Jacques et Tréguer, 1986) que globalement, les périodes d'upwelling sont caractérisées par un zooplancton peu diversifié mais abondant.

VARIATIONS SPATIALES

Variations nord-sud

Bainbridge (1972) a effectué deux campagnes de récoltes de zooplancton le long des côtes ouest africaines de la presqu'île du cap Vert à la Sierra Leone (la première en mai et la seconde en octobre-novembre) (fig. 4). En mai, les quantités les plus importantes se localisent dans le secteur D (fig. 4). Ceci est à peu près en accord avec les conclusions de Casanova *et al* (1982). En effet, ces auteurs étudiant le zooplancton de la Sénégambie en août 1975 trouvent qu'il existe deux zones nettement différenciées par les valeurs de la biomasse:

- un secteur nord-ouest relativement pauvre avec des biomasses comprises entre 4 et 16 mg de poids sec/m^3 d'eau filtrée ;
- un secteur sud-est beaucoup plus riche avec des valeurs dépassant 30 mg en plusieurs stations.

En octobre-novembre, selon Bainbridge (1972), du cap Vert aux îles Bissagos (secteurs D et E), les biovolumes des stations les plus côtières sont nettement plus faibles que ceux enregistrés en mai. En outre, le secteur E semble légèrement plus riche que le secteur D. Durant le mois d'octobre 1987, nous avons effectué une campagne de pêche zooplanctonique dans le secteur D. La récolte a été réalisée avec un filet du modèle WP2 de 200 microns de vide de maille. Aussi bien pour l'abondance que pour les biovolumes (fig. 5), les quantités les plus élevées ont été enregistrées sur la radiale de Joal. Au point de vue de la diversité, la zone de Banjul est la plus riche avec une moyenne de 21 espèces capturées par trait. Cette richesse est due à un mélange de peuplements mer-estuaire. La radiale de Joal présente le moins d'espèces avec seulement 14 espèces par trait. Aux environs de Dakar, 18 espèces sont récoltées en moyenne par trait. Cette campagne d'octobre 1987 a coïncidé avec l'installation d'une thermocline très prononcée interdisant les échanges entre les couches de fond et de surface. Ceci a eu pour conséquence un déficit d'oxygène en profondeur et une augmentation anormale du taux de nitrite (Caverivière et Touré,

Fig. 3

Situation géographique de la baie de Dakar et localisation des zones prospectées pour l'étude du zooplancton.

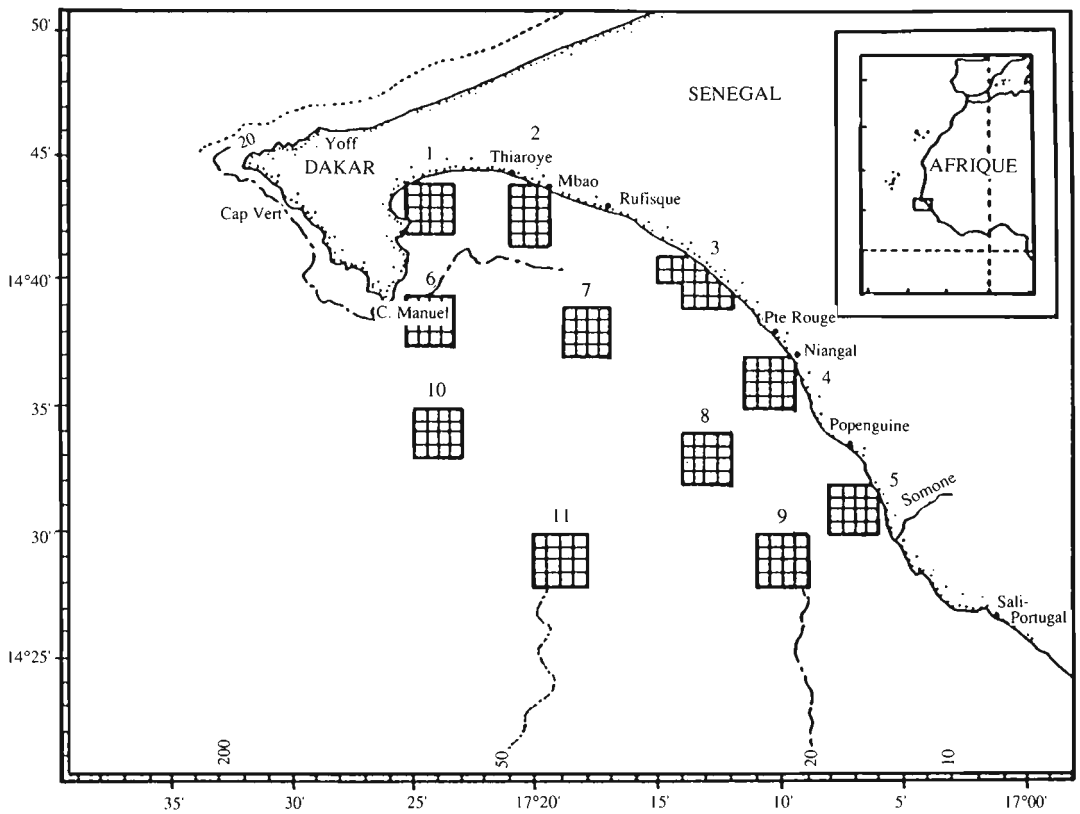


Fig. 4

Stations, températures de surface et biovolumes dans la partie ouest du golfe de Guinée au cours de campagnes effectuées en mai-juin et en octobre. Les températures de surface supérieures à 27°C sont indiquées en pointillés.

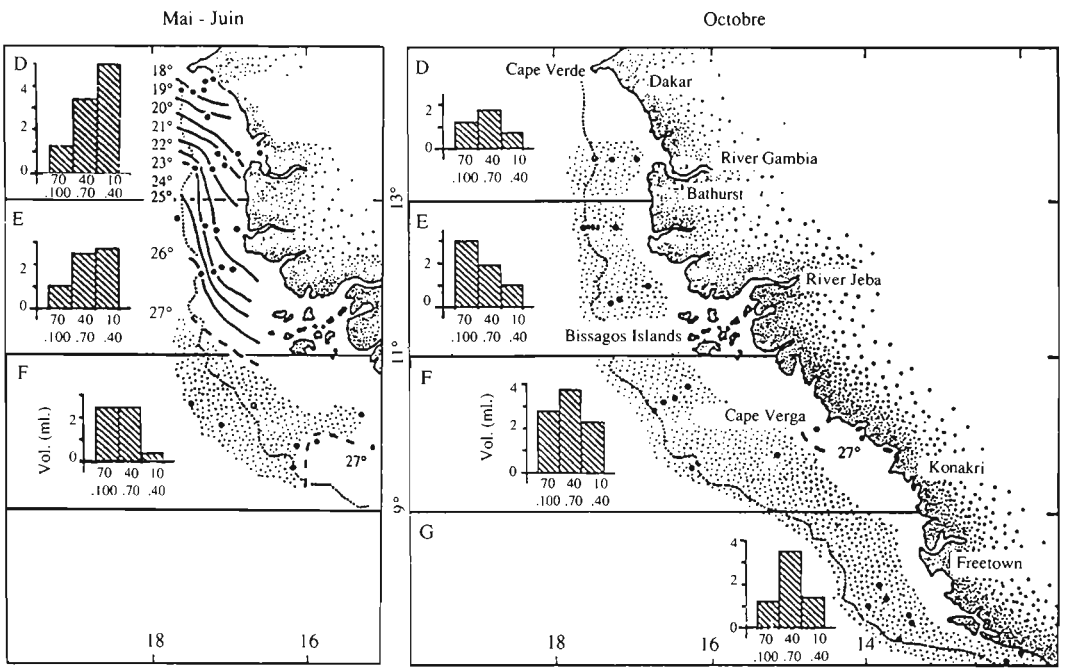


Fig. 5

Campagne de récolte de zooplancton d'octobre 1987.
Situation des stations de prélèvement et biovolumes.

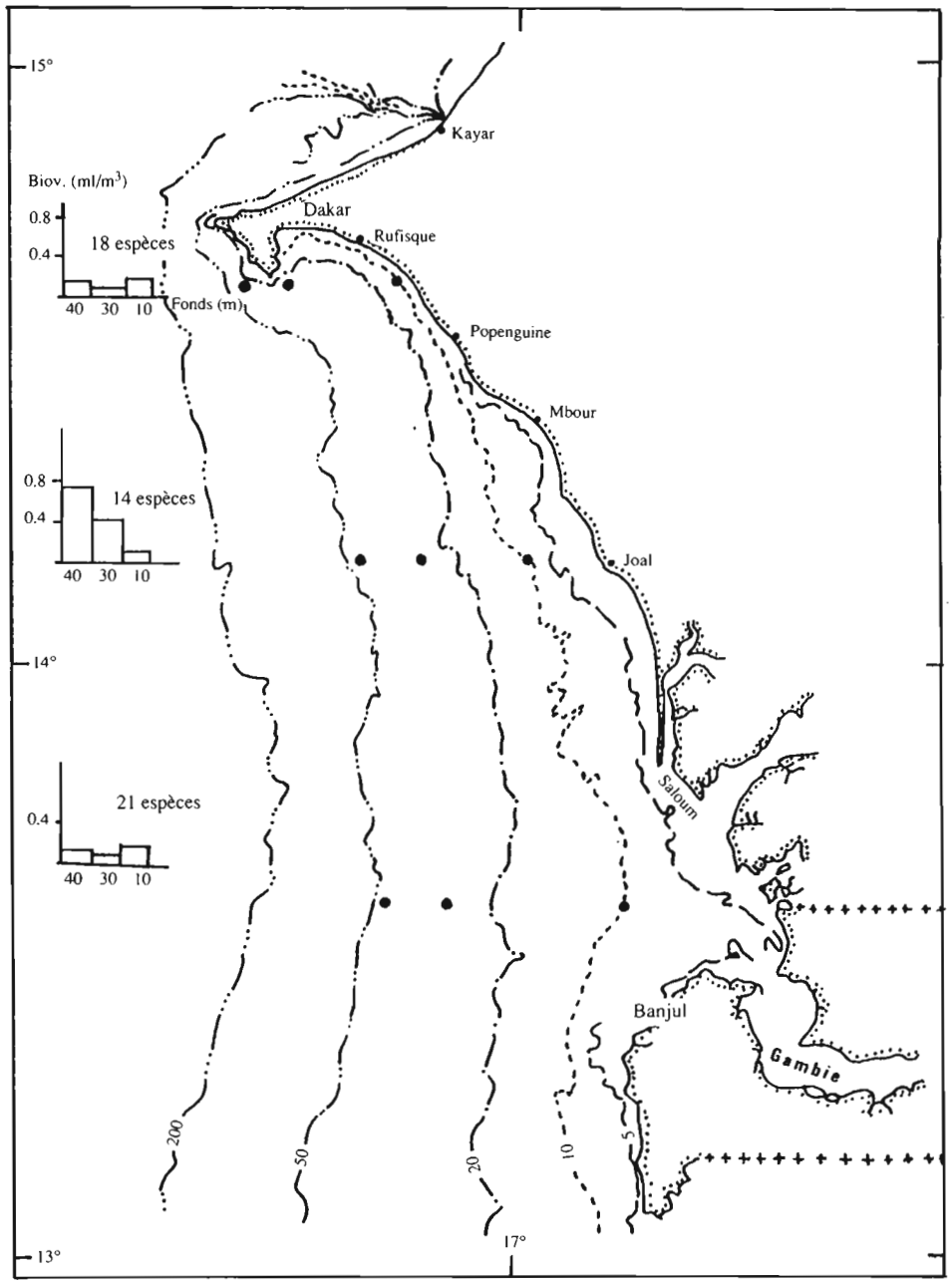
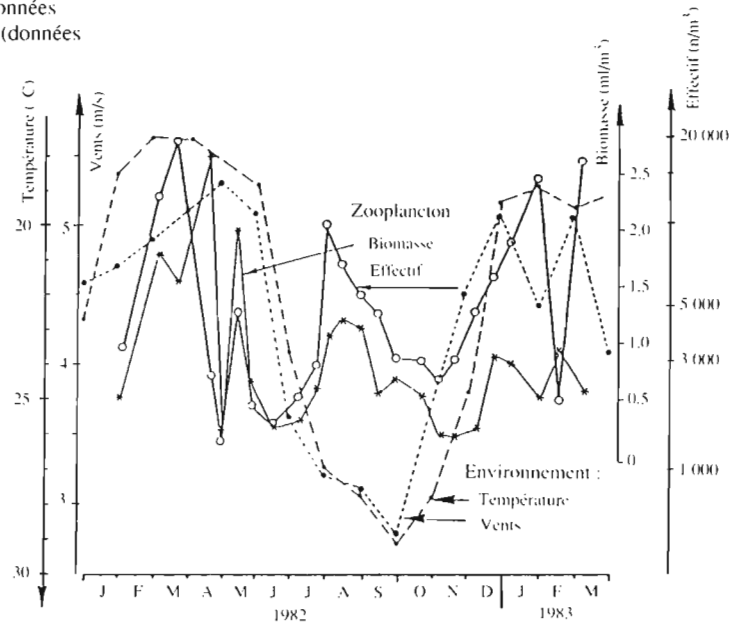


Fig. 6

Variations saisonnières d'abondance du zooplancton sur la Petite Côte (d'après Seret, 1985) et fluctuations de deux indices d'upwelling: vent (données ASECNA) et température de surface (données CRODT) 16 jours auparavant.



1990). Ce phénomène était beaucoup plus intense dans les environs de Mbour-Joal, ce qui explique la moins grande diversité dans cette zone. En effet, toutes les espèces de fond avaient disparu.

Variations côte-large

Les travaux de Bainbridge (1972) semblent indiquer que durant la saison d'upwelling, les stations les plus côtières sont les plus riches. Par contre, durant la saison chaude au sud de la zone frontale (cap Verga), les stations du milieu ou de la partie externe du plateau sont les plus riches. Au niveau de la radiale de Joal, nos résultats d'octobre 1987 confirment ceux de Bainbridge (1972). Par contre, sur les radiales de Dakar et de Gambie, la faiblesse des biovolumes et l'insignifiance des différences ne permettent pas de tirer des conclusions. Du point de vue de la diversité spécifique, Médina-Gaertner (1985), sur la base de moyennes annuelles montre qu'il existe un gradient décroissant du large vers la côte. Cette observation corrobore celles de Binet et Dessier (1972) et Binet (1978) au Congo et en Côte-d'Ivoire. Les fortes valeurs du large reflèteraient un mélange des communautés de bathymétrie différente qui ne se produirait pas à la côte.

DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DU ZOOPLANCTON EN RELATION AVEC L'UPWELLING.

Dynamique temporelle

En examinant la figure 6 empruntée à Fréon (1988), on se rend compte que tous les pics d'abondance, à l'exception de celui de fin juillet à mi-septembre 1982, sont enregistrés en période de fort vent d'alizés et de minimum thermique, c'est-à-dire pendant la saison des upwellings. De même, en se référant à la figure 1 de Médina-Gaertner (1985), on constate que la majorité des pics d'abondance a lieu pendant la période d'upwelling. D'une manière générale, les upwellings ont un effet positif sur l'abondance du zooplancton (Touré, 1971).

L'espèce la plus caractéristique de l'upwelling sénégalais est sans aucun doute le Copépode *Calanoides carinatus*. En effet, ces variations sont très sensibles aux fluctuations mensuelles et interannuelles de l'upwelling. C'est ainsi que, de décembre 1982 à février 1983, selon Médina-Gaertner (1985), *C. carinatus* présente de fortes densités avec deux pics, l'un en janvier et l'autre en mai. La moindre abondance de février 1983 à avril 1983 correspond à un affaiblissement de l'upwelling.

Par ailleurs, en comparant les hivers 1982-1983 et 1983-1984, on se rend compte que les populations de *C. carinatus* - qui sont un excellent indicateur d'upwelling (Bainbridge, 1960 et 1972; Binet, 1983) - étaient moins abondantes en 1982-83 à cause de la faiblesse de

l'upwelling, qu'en 1983-84 année d'upwelling normal. Du point de vue de la diversité, les périodes d'upwelling correspondent à un appauvrissement spécifique du zooplancton sénégalais (Médina-Gaertner, 1985).

D'une manière générale, l'hydrologie et surtout la structure verticale des masses d'eaux du Sénégal sont caractérisées pendant la saison chaude par une relative stabilité. Ce n'est qu'avec l'arrivée d'alizés relativement forts que la stabilité du système est profondément perturbée par l'upwelling. Cet état de fait a une importante influence sur le zooplancton. En effet, durant la saison chaude, la stabilité de l'écosystème permet une maturation progressive, au sens de Margalef (1958) comme semble l'attester l'évolution de l'indice de diversité. Il faut toutefois signaler que ce système est légèrement perturbé par l'arrivée des eaux guinéennes dessalées qui provoquent la disparition des espèces les moins euryhalines. Mais le phénomène qui affecte le plus la stabilité de l'écosystème est l'upwelling: d'une part par l'action de la température défavorable aux espèces thermophiles ; d'autre part par son action d'enrichissement trophique que seulement quelques Copépodes herbivores (particulièrement *Calanoides carinatus*) peuvent exploiter en se reproduisant rapidement dans des conditions de compétition réduite et en limitant les pertes par entraînement par une stratégie de migration verticale entre courants opposés (Binet et Suisse de Sainte Claire, 1975). Ces espèces forment alors un système plus jeune et plus homogène comme le prouve le calcul de l'indice de diversité de Shannon et Weaver. Avec le retour de conditions hydrologiques plus stables, les ressources énergétiques disponibles sont pleinement utilisées par un complexe varié d'espèces plus aptes à la compétition. En quittant les couches de surface pour les eaux plus profondes, *C. carinatus*, peut éviter cet accroissement de compétition jusqu'à ce que la maturité de l'écosystème des couches de surface soit à nouveau détruit (Bainbridge, 1972).

Dynamique spatiale

Bainbridge (1972) a étudié les variations spatiales de l'abondance du zooplancton de la côte de l'Afrique de l'Ouest (fig. 4). Durant la période d'upwelling, les quantités les plus abondantes de zooplancton se trouvaient, près de la côte dans le secteur D où *C. carinatus* était l'espèce dominante. Les biovolumes étaient plus faibles dans le secteur E ; mais c'est dans cette zone que l'on trouve la plus grande diversité.

Nous avons essayé de mettre en parallèle l'évolution de l'upwelling au niveau de la côte sud de la presqu'île du cap Vert et celle du zooplancton en utilisant les travaux de Séret (1983). Au début de février 1982, un noyau d'upwelling est situé en face de Pointe Rouge. Les concentrations de chlorophylle *a* sont relativement élevées (6 mg/l) (Dia, 1983). C'est à cet endroit que l'on trouve également les plus forts biovolumes de zooplancton (2,60 ml/m^3). A partir de cette cellule, on note une diminution progressive des quantités de zooplancton (fig. 7a). En fin février 1982-début mars, la remontée des eaux profondes se poursuit et toute la côte de Thiaroye jusqu'au sud de Mbour est envahie par des eaux froides de moins de 15°C riches en nitrates. La cellule d'upwelling se trouve sur le bord du talus au niveau de Pointe Rouge. Durant cette période, le maximum de zooplancton (fig. 7b) se localise sur une bande parallèle à la côte entre Thiaroye et le cap des Biches sur les fonds de 10 m. A partir de ce noyau, le zooplancton diminue également. Dans ce cas, la cellule d'upwelling ne semble pas coïncider avec le maximum de zooplancton.

A la mi-mars, le relâchement des alizés provoque l'arrêt de la remontée d'eaux froides. Les eaux se réchauffent alors légèrement en surface. L'isotherme 16°C observée à la fin du mois de février remonte au nord vers la côte jusqu'aux fonds de 20 m entre Thiaroye et Pointe Rouge (Dia, 1983). C'est sur ces fonds de 20 m en face de Thiaroye que l'on trouve le maximum de zooplancton (fig. 7c).

Il apparaît donc que les relations entre les cellules d'upwelling et les zones d'abondance maximale ne sont pas toujours faciles à établir; ceci certainement à cause de phénomènes hydrodynamiques complexes.

Par ailleurs, en période d'upwelling, Seguin et Ibanez (1974), Seguin (1966), Médina-Gaertner (1985) signalent que des espèces habituellement considérées comme néritiques peuvent être rencontrées au large, vraisemblablement entraînées vers le large par les alizés.

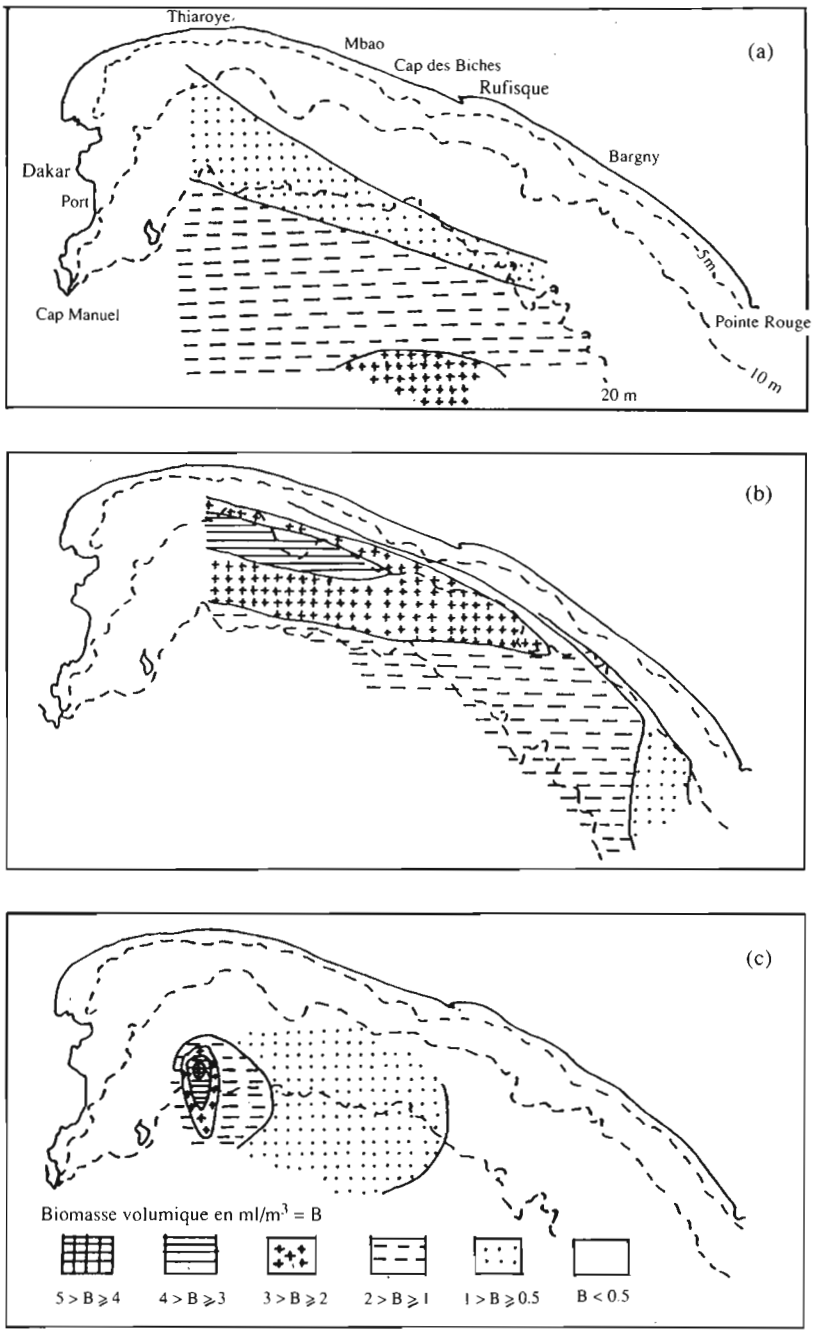
ZOOPLANCTON ET NUTRITION DES SARDINELLES

Les deux sardinelles pêchées au Sénégal (*Sardinella aurita* et *S. maderensis*) présentent des habitudes alimentaires voisines (Nieland, 1980 et 1982; Médina-Gaertner, 1985 et 1988b; Fréon, 1988). Les Copépodes prennent une part très importante dans le régime alimentaire des sardinelles (Mainguy et Doutre, 1958; Postel, 1960; Khromov, 1960 et 1962; Prosvirov and Riabikov, 1961; Barth 1970; Boâly 1979; Dia, 1972; Pham-Tuoc et Szypula, 1973; Nieland 1980 et 1982; Médina-Gaertner, 1985 et 1988b). Au cours de la saison chaude, ils peuvent constituer plus de 77 % de l'alimentation des juvéniles et 84 % de *S. maderensis* adulte. Alors que ce sont les *Cyclopoidae* qui prédominent chez les premiers, ce sont surtout des Copépodes de grande taille comme les *Calanoida* qui sont consommés par les adultes. En saison froide, les Copépodes sont toujours abondants dans la diète des sardinelles adultes (78 %). En cette période, les *Harpacticoida* et les *Calanoida* sont les Copépodes les mieux représentés. Par contre, ils sont pratiquement absents (5 %) chez les juvéniles de *S. maderensis* et n'interviennent que pour le tiers chez ceux de *S. aurita*. En cette période, 90 % des proies des juvéniles de *S. maderensis* et 58 % des juvéniles de *S. aurita* sont des larves de cirrhipèdes (Médina-Gaertner, 1988b).

Selon Nieland (1982), le phytoplancton et les détritus interviennent également dans l'alimentation des sardinelles. D'après ce dernier auteur, durant la saison

Fig. 7

Biomasses volumiques échantillonnées le 5 février 1982 avec un filet 355 µm (a), le 6 mars (b) et le 19 mars (c).



d'upwelling la nourriture des sardinelles est principalement constituée de zooplancton au nord du cap Vert et de phytoplancton au sud. En dehors de la saison d'upwelling, les sardinelles du sud du cap Vert se nourrissent surtout de détritus.

Dans ses premiers travaux, Nieland (1980) accordait beaucoup d'importance à ces détritus qui sont en fait de petits grains de sable mélangés à des diatomées et à des bactéries, que l'on trouve chez toutes les sardinelles capturées près de la côte.

Dans des travaux ultérieurs effectués en saison froide et plus au large, Nieland (1982) obtient des résultats différents: les détritus sont peu abondants, voire inexistants alors que le zooplancton constitue l'essentiel de l'alimentation.

L'importance des détritus initialement signalée n'est pas nécessairement liée à la proximité de la côte, mais pourrait provenir de l'ingestion active de particules en suspension près du fond, au cours des périodes de faible abondance du plancton (Fréon, 1988).

Electivité des prises

Electivité selon l'espèce. Afin de savoir si les sardinelles choisissent les proies ingérées ou si elle prélèvent leur nourriture dans le milieu sans sélection apparente, Médina-Gaertner (1985, 1988b) a utilisé l'indice d'Ivlev (1961) dont la formule est la suivante:

$$E_i = \frac{e_i - p_i}{e_i + p_i}$$

avec : e_i = abondance relative de l'espèce-proie i dans l'estomac du prédateur ;

p_i = abondance relative de la même espèce i dans le milieu.

L'indice d'Ivlev varie de -1 à +1. Si $e_i = p_i$, alors $E_i = 0$ et on dit qu'il n'y a pas de sélection. Si $e_i > p_i$, alors E_i tend vers 1, il existe une sélection, le prédateur consomme préférentiellement cette proie. Si $e_i < p_i$, alors E_i tend vers -1, les proies sont trop grosses ou trop rapides pour être ingérées convenablement par le poisson, soit elles sont au contraire trop petites pour être retenues au niveau du filtre branchial, ou bien elles ne peuvent pas être consommées par le prédateur pour une raison quelconque. Il apparaît que:

• durant la saison chaude, les juvéniles de sardinelles recherchent surtout les *Cyclopoidae* (*Oithona nana*) et les *Harpacticoidae* (*Sphirella spp.*, *Euterpina acutifrons*, *Microsetella norvegica*). Alors que globalement les *Calanoida* ne sont pas surconsommés, au niveau spécifique, les *Acartia spp.* supportent une pression trophique particulièrement forte, ainsi que *Temora turbinata* (par *S. aurita* uniquement). Les larves de Cirrhipèdes (Lepas spp. et Balanus spp.), les nauplii de plusieurs espèces de Copépodes, les Amphipodes et les larves de lamellibranches (pour *S. maderensis* seulement) sont aussi préférentiellement consommés par les juvéniles. Chez les adultes, la sélection concerne surtout *Paracartia grani*, *Acartia spp.*, *Saphirella spp.*, *Euterpina actutifrons*, les larves de *Lepas spp.*, les Cladocères, *Microsetella norvegica* et *O. nana*;

• en saison froide, les juvéniles manifestent une préférence pour les *Harpacticoidea* (*Euterpina acutifrons* et *Microsetella norvegica*) ainsi que pour les *T. turbinata*, les larves de *Lepas* et *Calanoides carinatus*. De même, les indices d'électivité de *Paracartia grani*, des larves de crustacés et des larves de poisson sont très élevés. Curieusement, alors que *O. nana* était utilisé durant la saison chaude, elle semble délaissée au cours de la saison froide.

Les adultes continuent de surconsommer *Saphirella spp.*, *Microsetella norvegica*, les larves de *Lepas spp.*, *Euterpina acutifrons* (*S. maderensis*) et *Acartia spp.* (*S. aurita*), mais d'autres espèces sont également recherchées comme *T. turbinata*, *Corycaeus spp.*, *Oncaea spp.*, *Macrosetella gracilis* et les larves de *Balanus spp.* (Médina-Gaertner, 1985 et 1988 b).

Les travaux de Médina-Gaertner (1985 et 1988b) ont montré que le mode d'alimentation des sardinelles ne consiste pas 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 de Nieland (1982). En effet, selon Nieland (1982), 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. il faut toutefois noter que ses échantillons comportaient peu de juvéniles.

Sélectivité selon la taille. En saison chaude, la taille des zooplanctontes les plus consommées par les juvéniles va de 200 à 400 µm, puis suivent les classes de taille 200 à 400 µm et 600 à 800 µm. Pour les adultes, la gamme de taille est beaucoup plus grande. On trouve surtout des éléments dont la taille est comprise entre 0,4 et 1,6 mm,. Durant la saison froide, la taille des proies consommées par les juvéniles est légèrement supérieure à celles trouvées au cours de la saison chaude. Pour les adultes de *S. aurita* ,la gamme des tailles les plus fréquentes s'étend de 400 à 1600 µm (Médina-Gaertner 1988b).

Etat de réplétion de l'estomac. L'état de réplétion de l'estomac de *Sardinella aurita* a été étudié par Pham-Thuoc et Szypula (1973) sur 2 781 individus en utilisant une échelle à 5 stades. Il apparaît une variation très nette: les estomacs les moins remplis sont rencontrés en novembre, décembre et janvier et les plus remplis en juillet.

CONCLUSION

Malgré certaines contradictions entre les conclusions de certains auteurs (Médina-Gaertner, 1985 et 1988a; Séret, 1985) en ce qui concerne les variations temporelles de l'abondance, il est nettement apparu qu'à l'échelle saisonnière les peuplements zooplanctoniques réagissent aux fluctuations de l'upwelling.

L'upwelling est la principale source d'enrichissement trophique de l'écosystème; toutefois les apports

terrigènes et urbains (baie de Dakar) du début de l'hivernage pourraient constituer, bien qu'à un degré moindre, une autre source, comme semble le prouver le pic d'abondance de fin juillet à mi-septembre.
En saison chaude, le zooplancton du Sénégal bénéficie d'un contexte hydrologique relativement stable permettant la coexistence d'un complexe d'espèces très variées. Cette situation correspond à un état de maturité de l'écosystème caractérisé par un indice de diversité élevé. La persistance de cet état pendant une grande partie de la saison chaude suggère l'existence de phénomènes internes de régulation.
Avec l'arrivée de l'upwelling, l'équilibre est rompu, les phénomènes régulateurs internes n'arrivent plus à maintenir l'état de stabilité de l'écosystème. Avec la résurgence, se met en place un peuplement jeune, peu diversifié et constitué essentiellement d'espèces herbivores capables de profiter du «bloom» de phytoplancton consécutif à l'apport de sels nutritifs. Ce nouvel écosystème qui se met en place est très instable, comme l'attestent les fluctuations d'abondance qui résultent des pulsations de l'upwelling.
Les conclusions quelque peu divergentes des chercheurs (Séret, 1983 et 1985 ; Médina-Gaertner, 1983, 1985 et 1988a) ayant travaillé sur une aire géographique se recoupant très largement et ayant utilisé une méthodologie et un matériel identiques mettent en évidence l'énorme variabilité du zooplancton. A ce propos, il serait souhaitable, dans les études ultérieures, d'utiliser une méthodologie qui tienne compte de la micro-distribution. Le recours à la télédétection pour repérer les différentes parties de l'upwelling (source de la résurgence, panache...), puis la réalisation d'un échantillonnage stratifié pourrait être, à ce titre, d'un grand intérêt.
Un autre aspect qu'il serait bon d'étudier est la vitesse de réponse du zooplancton à l'upwelling pour mieux comprendre les relations sels nutritifs-phytoplancton et surtout phytoplancton-zooplancton. Car même si l'on peut admettre qu'au Sénégal les relations phytozooplancton sont en phase (Binet, présent volume), elles ne sont pas toujours évidentes à établir.
En ce qui concerne la prédation du zooplancton par les sardinelles, il semble que l'alimentation opportuniste, avec absence totale de sélection devrait être abandonnée; en effet, les travaux de Médina-Gaertner (1988b) prouvent le contraire.

DISCUSSION

BINET: A propos de la faible diversité du nombre d'espèces en période d'upwelling, nous avons constaté en Côte-d'Ivoire qu'il y a au contraire un enrichissement en espèces qui coïncidé avec l'arrivée en surface de l'upwelling. Quand les conditions du milieu changent, on assiste à une disparition rapide par mortalité de la plupart des espèces. Au Sénégal, il ne semble pas que l'on atteigne une grande maturité des populations.

DIOUF: Au Sénégal, aussi, tout au début de l'upwelling, on note une légère augmentation de la diversité due au fait que la remontée d'eau amène avec elle les espèces du fond qui viennent s'ajouter à celles de la surface. Mais très rapidement cette diversité baisse et seules quelques espèces, le plus souvent des herbivores,demeurent.

BINET: On observe deux espèces dominantes en début de saison chaude. Il s'agit d'espèces opportunistes. Observez-vous des espèces capables de se développer très vite en passant d'une reproduction sexuée à une reproduction par parthénogenèse?

DIOUF: Oui, ce type d'espèce peut en effet proliférer lorsque le milieu commence à s'enrichir.

BINET: Entre les travaux de Séret et Médina-Gaertner, les lieux d'échantillonnages n'étaient pas exactement les mêmes. Les fréquences d'échantillonnage étaient-elles identiques ?

DIOUF: Elles étaient très proches.

ROY: Les différences observées entre les résultats de ces deux auteurs proviennent sans doute d'un environnement différent. Il faudrait situer ces observations dans leur contexte hydrologique et météorologique propre et reconstituer l'histoire de la masse d'eaux avant le prélèvement.

DIOUF: Les pulsations dans une zone d'upwelling peuvent être très rapides et nécessitent un échantillonnage fin.

LALOE: Quel est le sens d'une étude de l'évolution mensuelle de la biomasse planctonique alors que ces populations ont des temps de réponse très courts, bien inférieurs au mois ? Le problème du pas de temps des mesures est ici crucial. Un effet "mois" va certainement apparaître si l'on ne dispose pas de données suffisamment rapprochées, il s'agira alors d'un artefact lié à la forte variabilité du système. Les résultats des deux auteurs ne sont pas contradictoires, simplement le pas d'échantillonnage était peut-être insuffisant pour décrire la variabilité du processus étudié.

DIOUF: La fréquence d'échantillonnage est en général un problème de coût. On pourrait augmenter la fréquence d'échantillonnage en saison d'upwelling ou la dynamique des phénomènes est plus rapide qu'en saison chaude.

ROY: On a très peu parlé de la dimension spatiale de ces phénomènes. Peut-on comparer l'évolution temporelle à l'évolution dans l'espace ?

BINET: Oui, en théorie. On retrouve dans l'espace, des successions comparables à celle observées dans le temps.

CECCHI: C'est une simplification régulièrement utilisée. Cependant il faut faire des réserves quant il s'agit de perturbations importantes.

FREON: La réponse de Binet est peut-être influencée par le fait qu'il a échantillonné essentiellement en Côte-d'Ivoire où la dynamique des perturbations est de moindre amplitude que dans la région sénégalo-mauritanienne. Ne serait-il pas intéressant de suivre les masses d'eaux à l'aide d'une drogue comme l'a fait Herbland en Mauritanie ?

MARCHAL: Le suivi d'une masse d'eau apporte des informations différentes de celles données par un suivi temporel en un point fixe. Les deux approches sont complémentaires.

HERBLAND: La télédétection permet de programmer des campagnes à la mer, pilotées par des informations fournies en temps réel, afin de suivre une même masse d'eau. Cela se fait pour les anneaux du Gulf Stream.

DURAND: Les relations trophiques entre les petits pélagiques et l'écosystème semblent mal connues; Diouf montre également que l'on connaît peu de choses sur la dynamique du plancton.

MARCHAL: C'est exact, on connaît mal les aspects nutritionnels de ces espèces. Les sardinelles seraient capables d'être phyto ou zooplanctonophages, cette espèce serait donc opportuniste.

BINET: Les Clupéidés sont en général opportunistes, dans certaines conditions, les sardinelles peuvent être uniquement phytoplanctonophages.

DIOUF: Médina-Gaertner montre un changement de régime alimentaire des sardinelles en fonction de leur développement.

KIFANI: Cette adaptation se fait-elle sur le court ou le long terme ?

BINET: Les sardines consomment ce qui est disponible dans l'immédiat.

FREON: Cette adaptation peut se faire à l'échelle des individus ou des populations. Andreu note des différences géographiques du nombre de branchiospines et de leur écartement en même temps qu'une modification de ces caractères en fonction de l'âge. Par ailleurs, on sait qu'il existe deux modes d'alimentation des Clupéidés:

- une filtration passive permanente, liée à la respiration et qui produit des proies en fonction du filtre branchial (de nuit surtout);
- une alimentation active (de jour essentiellement) durant laquelle les individus s'écartent de leur trajectoire à l'intérieur du banc pour capturer certaines proies, en particulier les essaims de plancton.

Ceci peut en partie expliquer les différences observées dans les contenus stomacaux, notamment en fonction de l'heure de la capture.

DIOUF: Médina-Gaertner montre l'existence d'une sélection des proies. Les traits de plancton ont été réalisés dans le milieu où ont été pêchés les sardinelles.

MARCHAL: Dia a étudié en Côte-d'Ivoire les contenus stomacaux des sardinelles et n'a pas trouvé de relation nette avec le plancton échantillonné. Il en conclut que les sardinelles se nourrissent sur les essaims, d'où une sélectivité par rapport au milieu.

BIBLIOGRAPHIE

- Bainbridge V. 1960. Occurrence of *Calanoides carinatus* in the plancton of the Gulf of Guinea. Nature , 188, 4754: 932-933.
- Bainbridge V. 1972. The zooplankton of the Gulf of Guinea. Bull. Mar. Ecol.,8: 61-97.
- Barth R. 1970. Observaçoes biologica na *Sardinella aurita*. Inst. de perquisas marhina, 43, 25 p.
- Binet D. 1977. Contribution à la connaissance du zooplancton néritique ivoirien ; Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., 16 (1): 19-61.
- Binet D. 1978. Analyse globale des populations de Copépodes pélagiques du plateau continental ivoirien. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., Vol. XVI, 1: 19-61.
- Binet D. 1979. Le zooplancton du plateau continental ivoirien. Essai de synthèse écologique. Oceanol. Acta, 2 (4): 397-410.
- Binet D. 1983. Zooplancton des régions cotières à upwellings saisonniers du Golfe de Guinée. Oceanogr. Trop,18 (2): 357-380.
- Binet D. Présent Volume. Dynamique du plancton dans les eaux côtières ouest africaines. Ecosystèmes équilibrés et déséquilibrés.
- Binet D. et Dessier A., 1972. Premières données sur les Copépodes pélagiques de la région congolaise. III Diversité spécifique. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.., 10 (3): 243-250.
- Binet D. et Suisse de Sainte-Claire E., 1975. Le Copépode planctonique *Calanoides carinatus*. Répartition et cycle biologique au large de la Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM. sér. Océanogr., 13 (1): 15-30.
- Boëly T. 1979. Biologie des deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita V.* et *S. maderensis L.*) des côtes sénégalaises. Thèse Doct. Etat Univ. P. et M. Curie, Paris VI, 219p.
- Boucher J. 1982. Peuplement de Copépodes des upwellings côtiers nord-ouest africains. II Maintien de la localisation spatiale. Oceanol. Acta, 5 (2): 199-207.
- Casanova B., Casanova J.P., Ducret F. et Rampal J. 1982. Biomasse et composition chimique et faunistique du zooplancton du secteur sénégambien (Campagne CINECA de la «Thalassa», août 1973). Rapp. P. -v. Réun. Cons.inst. Explor. Mer, 180: 266-269.
- Caverivière A. et Touré D., 1990. Note sur les mortalités de Mérou (*Serranidae*) observées en fin de saison chaude, devant les côtes du Sénégal, particulièrement en 1987. Doc. Scient. CRODT., 116: 43-63.
- Daget J. 1979. Les modèles mathématiques en écologie. Masson, Paris, 172 p.
- Dia A. 1983. Biomasse et biologie du phytoplancton de la Petite Côte sénégalaise. Relation avec l'hydrologie. In: Etude de l'environnement côtier au sud du cap Vert (Sénégal). Rapp. Prov. CRODT, p. 84-149.

• Dia A.E.K. 1972. Etude de la nutrition de certains Clupéidés (poissons téléostéens) de Côte d'Ivoire. Rapp. Sci. FAO/PNUD RS, 11: 1-33.

• Fréon P. 1988. Réponses et adaptations des stocks de Clupéidés d'Afrique de l'Ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation. Analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. Ed. ORSTOM, 287 p.

• Frontier S. 1983. Stratégies d'échantillonnage en écologie. Masson, Paris, 494p.

• Furnestin M.L. 1956. Chaetognathes recueillis par l'Elie Monier au large des côtes du Sénégal. Bull. IFAN., sér. A, t XXIII, 2: 406-409.

• Furnestin M.L. 1960. Observations sur quelques échantillons de zooplancton d'Afrique Occidentale. Bull. IFAN, sér. A, t XXII, 1: 142-151.

• Gaudy R. 1963. Sur une nouvelle espèce du genre Euchaeta (*Copepoda calanoida*) des eaux de Dakar. Rec. Trav. St. Mar. End.,Bull. 34, Fasc. 45: 4-14.

• Gaudy R. et Seguin G. 1964. Note sur la répartition annuelle des Copépodes pélagiques des eaux de Dakar. Rec. Trav. St. Mar. End. Bull; 34, Fasc. 50: 211-217.

• Ivlev V.S. 1961. Experimental ecology on the feeding of fishes. Yale Univ. Press., New Haven, 302 p.

• Jacques G. et Tréguer P. 1986. Les écosystèmes pélagiques marins. Masson, Paris, New York, Barcelone, Milan, 243 P.

• Khromov N.S. 1960. Distribution of plankton and the food of *Sardinella* in the Dakar region. Rybnoe Khozyaistvo, 36 (1): 7-12.

• Khromov N.S. 1962. On the distribution and dynamics of plankton, and the food of *Sardinella* in the fishing grounds off West Africa (In Russian). Trudy VNIRO, 46: 214-235.

• Khromov N.S. 1965. Some results on the plankton from the Dakar-Freetown region (In Russian). Trudy VNIRO, 57: 393- 404.

• Mainguy P. et Dourtre M. 1958. Variations annuelles de la teneur en matières grasses de trois Clupéidés du Sénégal (*Ethmalosa fimbriata Bowdich, Sardinella eba C.V., Sardinella aurita C.V.*). Rev. Trav. Inst. Pêches Marit., 22 (3): 303-321.

• Margalef R. 1958. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. A.A. Buzzati-Traverso (ed.) *in* Perspectives in Marine Biology, . Berkeley and Los Angeles, University of California Press: p. 323-349.

• Médina-Gaertner M. 1983. Etude du zooplancton côtier et de son utilisation par les juvéniles de poissons pélagiques comme source de nourriture. *In*: Etude de l'environnement côtier au sud du Cap-Vert (Sénégal). Rapp. Prov. CRODT.: 189-216.

• Médina-Gaertner M. 1985. Etude du zooplancton côtier de la baie de Dakar et de son utilisation par les poissons comme source de nourriture. Thèse Doct. 3ème cycle Univ. Bretagne Occidentale, 141 p.

• Médina-Gaertner M. 1988a. Analyse des communautés zooplanctoniques de la baie de Dakar et leurs relations avec l'hydrographie. Inv. Pesq., 52 (1): 17-36.

• Médina-Gaertner M. 1988b Relation entre l'alimentation des poissons et le zooplancton de la baie de Dakar (Sénégal). Inv. Pesq., 52 (2): 155-191.

• Nieland H. 1980. Die nahrung von sardinen, sardinellen, und maifischen vor der westküste Afrikas. Inst. Für. Meereskunde Univ. Kiel, 137 p.

• Nieland H., 1982. The food of *Sardinella aurita* (Val.) and *S. eba* (Val) off the coast of Senegal. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 369-373.

• Pham-Tuoc and Szypula J. 1973. Biological characteristic of gilt sardine, *Sardinella aurita* Cuv. et Val. 1847, from Northwest African coast. Act. Ichth. Pisc., 3 (1): 19-37.

• Postel E. 1960. Rapport sur la sardinelle (*Sardinella aurita* Valenciennes) (Atlantique africain). FAO, FB/60/S6: 40 p.

• Prosvirov A.N. and Riabikov O.G. 1961. Some problems in the biology and fishing of *Sardinella aurita* in the Takoradi and Dakar region. Trudy BaltNIRO, 7: 3-16 (Translated from Russian).

• Rodriguez V. et Jimenez F. 1983 Données préliminaires relatives à l'influence du dimorphisme sexuel de l'espèce *Acartia grani* sur l'exploitation des ressources. Rapp. Comm. Int. Mer Médit., 28 (9): 169 - 174.

• Seguin G. 1966. Contribution à l'étude de la biologie du plancton de la baie de Dakar. Etude quantitative et observation écologique au cours d'un cycle annuel. Bull.IFAN, sér A, t XXVIII, 28 (1): 1-90.

• Seguin G. et Ibanez F. 1974. Zooplancton de radiales effectuées le long de la côte sénégalaise par le navire océanographique Laurent Amaro en mai 1968. Bull. IFAN, sér A, t XXXIII, 4: 842-879.

• Séret C. 1983. Zooplancton de la Côte sud de la presqu'île du cap Vert (Sénégal). *In:* Etude de l'environnement côtier au sud du cap Vert (Sénégal) Rapp. Prov. CRODT: 157-188.

• Séret C. 1985. Zooplancton de la côte sud de la presqu'île du Cap-Vert. Doc. CRODT (non publié).

• Siva E Sousa A., 1956. Contribution à l'étude du microplancton de Dakar et des régions maritimes voisines. Bull.IFAN, sér. A, t XVIII, 2: 335-371.

• Thiriot A. 1977. Peuplements zooplanctoniques dans les régions de remontées d'eau du littoral atlantique africain. Doc. Scient., 3(1): 1-72.

• Touré D. 1971. Variation quantitative du zooplancton dans la région du Cap-Vert de septembre 1970 à août 1971. Doc. Scient.CRODT, 39, 25p.

• Weikert H. 1982. Some features of zooplancton distribution in upper 200 m in the upwelling region off Northwest Africa. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 280-288.

8 • Dynamique du plancton dans les eaux côtières ouest-africaines : écosystèmes équilibrés et déséquilibrés

DENIS BINET
Chercheur ORSTOM, Antenne ORSTOM, Centre IFREMER, B.P. 1049, 44037 Nantes-Cedex 01, France

RÉSUMÉ

L'afflux brutal de sels nutritifs dans la couche euphotique s'accompagne de stress, notamment hydrodynamiques, retardant le démarrage de la production primaire et son transfert vers l'échelon secondaire, d'où l'existence de relations indirectes entre phyto et zooplancton. Dans les régions soumises à des upwellings, permanents ou saisonniers, les cycles planctoniques sont très différents entre la zone s'étendant du Maroc au cap Blanc, d'une part et celles de la Mauritanie au Sénégal, ainsi que de la Côte-d'Ivoire au Ghana d'autre part. Du cap Spartel au cap Blanc les remontées d'eaux ont lieu toute l'année. Au dessus du plateau, le courant des Canaries n'est pas compensé par une circulation en direction opposée. Il n'y a qu'une seule cellule d'upwelling. L'advection vers le large et la turbulence hydrodynamique sont fortes. Aussi les maxima de phyto et zooplancton sont-ils décalés, dans le temps, de plusieurs semaines, dans l'espace, de plusieurs dizaines de milles. Les plus fortes biomasses secondaires se trouvent souvent aux accores. Dans les régions d'alternance (Mauritanie-Sénégal, Côte-d'Ivoire-Ghana), les cycles de productions primaire et secondaire sont en phase. Advection et turbulence moins fortes favorisent le contact des herbivores et du phytoplancton, tandis que le jeu des migrations verticales entre courants contraires ralentit la diffusion des populations zooplanctoniques et assure un meilleur couplage entre niveaux de production successifs. Autour des estuaires, soumis à un fort effet de chasse pendant les crues, la production primaire ne se développe que pendant la saison sèche (Sierra Leone), tandis qu'au débouché des lagunes ivoiriennes, au débit modéré, le plancton profite immédiatement des effluents terrigènes.

ABSTRACT

The nutrient input to euphotic layer comes with stress for the ecosystem, especially hydrodynamic. That perturbation delays the phytoplankton outburst and the transfer towards secondary level, hence the phytoplankton-zooplankton connexion is indirect. The planktonic cycles are very different in permanent (Morocco to Cape Blanc) and temporary (Mauritania-Senegal, Ivory Coast-Ghana) upwelling areas. From Cape Spartel to Cape Blanc, upwellings occur almost all the year-round. The Canary current is not compensated by a counter current over the shelf and the cross-shelf circulation pattern is a single upwelling cell. Offshore advection and turbulence are strong, so the zooplankton maximum lags behind the phytoplankton bloom, several weeks in time, and tenths of miles in space. The higher biomasses are often encountered off the shelf edge. Off Mauritania-Senegal and Ivory Coast - Ghana, upwelling and stability alternate seasonally, so the primary and secondary production cycles are in phase. Lesser turbulence and advection increase the duration of contact between herbivorous copepods and phytoplankton. Vertical migrations between opposite currents weakens the zooplanktonic advective losses

and increases the coupling between successive production levels. In the estuary of the Sierra Leone river, the strong flushes of the flooding season keep the primary production off. On the contrary, in the plume of Ivoirian lagoons with moderate flow, the phytoplankton takes advantage of the terrigenous effluents.

INTRODUCTION

Planctons végétal et animal sont, dans les réseaux trophiques, le relais entre les processus physico-chimiques d'enrichissement et les petits poissons pélagiques. A un instant donné, l'état du plancton reflète les aléas subis par la masse d'eau qui l'abrite. Les facteurs climatiques (ensoleillement, vent...) sont transmis à l'écosystème, avec leurs variations, sous forme de flux thermique, cinétique, nutritif, par le biais du plancton. Le plancton apporte l'énergie nécessaire à la croissance et à la reproduction des poissons adultes, au développement de leurs larves. Il va donc, en partie, conditionner le succès d'une cohorte et son recrutement, mais aussi ses déplacements trophiques et sa disponibilité à la pêcherie.

Les pages suivantes rappellent les grands traits de l'hydroclimat et de la circulation, au dessus du plateau continental ouest africain, avant de présenter les écosystèmes planctoniques, en termes d'équilibre ou de déséquilibre entre les productions primaire et secondaire.

On appellera, ci-dessous, côte marocaine le littoral de 36 à 28°N et Sahara celui compris entre 28 et 21°N (fig.1).

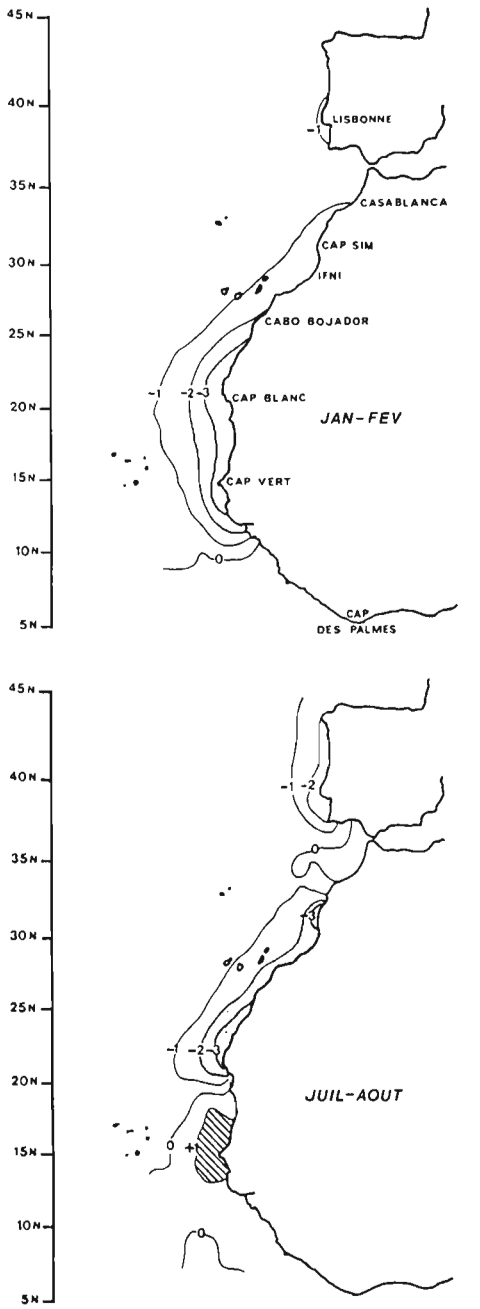
FACTEURS DE LA PRODUCTION

On pourrait imaginer un écosystème pélagique, entièrement situé dans la zone euphotique, dans lequel la turbulence empêcherait toute perte par sédimentation, où la reminéralisation bactérienne rendrait immédiatement disponible les sels nutritifs pour la production photosynthétique. La biomasse de ce système en équilibre ne dépendrait que de la quantité totale de N, P et Si, ainsi que de son turn-over.

Les écosystèmes côtiers sont très différents de ce modèle. La reminéralisation est beaucoup moins rapide que l'assimilation (Jacques et Tréguer, 1986) et une partie de la matière vivante sans cesse créée est continuellement perdue, par sédimentation ou par advection vers le large. L'excrétion en azote (NH_4) et en phosphore (PO_4) ne suffit pas à compenser les pertes et n'apporte pas le silicium nécessaire aux diatomées. Un apport externe est nécessaire au maintien d'une biomasse constante. Ces sels nutritifs peuvent parvenir dans la zone euphotique à partir de remontées d'eaux profondes, ou à partir du milieu continental.

Fig. 1

Upwelling de la côte nord-ouest africaine (système du courant des Canaries). La différence de température entre les eaux côtières et celles du large montre le balancement saisonnier de la zone d'upwelling entre les positions extrêmes occupées en février et août; d'après Parrish *et al.* (1983).



Au dessous de la couche euphotique, la matière organique est reminéralisée par l'activité bactérienne. Lorsque ces eaux profondes remontent vers la surface, leurs sels nutritifs sont rendus disponibles à la production photosynthétique. Dans un upwelling d'Ekman, la remontée d'eau est due à une compensation de l'entraînement par le vent des eaux superficielles vers le large. C'est le cas de toutes les bordures orientales des grands océans balayées par les alizés et notamment de la côte nord-ouest africaine. Les résurgences de la côte nord du golfe de Guinée sont peut-être, elles aussi, partiellement dues au vent (Colin, 1988), mais le rôle d'ondes transocéaniques (Bakun, 1978; Picaut et Verstraete, 1976; Picaut, 1984) ainsi qu'un «effet de cap» sur le courant superficiel sont aussi envisagés (Ingham, 1970). La nature du mécanisme générateur des remontées de sels nutritifs est très importante pour l'ensemble de l'écosystème: dans un upwelling d'Ekman, il y a d'importants transports perpendiculaires à la côte, que n'entraîne pas une remontée de la thermocline sous l'influence d'ondes internes, d'ajustement géostrophique ou de turbulences créées par un cap dans le sillage d'un courant.

A la surface des terres émergées, le ruissellement draîne vers la mer matière organique en décomposition et sels minéraux, également entraînés par percolation vers les nappes phréatiques. La composition en sels nutritifs des eaux fluviales rejetées en mer dépend de la nature des terrains du bassin versant, du couvert végétal et du climat (Binet, 1983 a). L'influence fertilisante de ces apports terrigènes est contrariée par leur turbidité qui réduit la pénétration de la lumière. Cependant la décharge des eaux continentales en mer a un autre effet enrichissant: en s'écoulant au dessus d'eaux plus salées, elles exercent un frottement créateur de mouvement turbulent qui peut faire remonter des eaux sous-jacentes.

La remise en suspension du sédiment, lorsque la turbulence superficielle se propage jusqu'au fond, est aussi une forme de fertilisation des eaux littorales dans les régions agitées et peu profondes. Enfin, les apports éoliens représentent une dernière source d'éléments nutritifs, non quantifiée, mais qui pourrait ne pas être négligeable le long des côtes désertiques.

La présence de sels nutritifs dans la couche euphotique ne suffit pas à assurer une poussée phytoplanctonique. Il semble nécessaire que les eaux subissent un certain conditionnement biologique, encore mal défini, mais qui pourrait tenir à la présence de certains agents chélateurs (Barber *et al.*, 1971). Enfin, il est évidemment nécessaire que des germes soient présents (advection à partir des zones voisines). Et il faut que la turbulence s'atténue, car si la couche homogène est plus épaisse que la couche euphotique, les cellules ayant commencé à se diviser seront entraînées à l'obscurité et le démarrage de la production primaire interrompu (théorie de Sverdrup). La stratification peut s'établir à partir du ralentissement du vent, favorisée par le réchauffement superficiel diurne.

On conçoit donc que le lien entre les facteurs physiques responsables de l'enrichissement et l'intensité de la production primaire ne peut être assimilé à une relation linéaire que dans d'étroites limites spatio-temporelles. Le vent entraîne une remontée de sels nutritifs dans la couche euphotique, mais la turbulence inhibe la production; les effluents fluviaux apportent également des éléments nutritifs, mais leur turbidité empêche la pénétration de la lumière. On peut donc s'attendre à ce que les processus les plus intéressants pour la production primaire, dans les eaux côtières, soient faits d'une succession de perturbations et de relaxations.

De la nature des sels nutritifs disponibles, ainsi que du gradient vertical de densité dépendent le type de production généré. Dans les eaux néritiques, enrichies par des apports terrigènes ou profonds, l'abondance de sels nutritifs et notamment de la silice, permet des blooms de diatomées. Dans les eaux océaniques ou côtières oligotrophes, stratifiées, on observe davantage de péridiniens de petite taille. Cushing (1989) remarque que les petites diatomées peuvent vivre dans des eaux peu stratifiées, grâce à un faible rapport respiration/photosynthèse, tandis que ce taux, trois fois plus élevé chez les péridiniens, leur impose de vivre dans des eaux fortement stratifiées.

La différence importe pour le zooplancton, parce que diatomées et péridiniens n'ont pas tous la même valeur nutritive pour le zooplancton. Plusieurs copépodes diminuent le rythme de leur filtration, quand ils sont en présence de certains dinoflagellés (Gill et Harris, 1987), ou ne s'en nourrissent pas (Huntley *et al.*, 1986). On peut assister à des régurgitations ou des pertes de contrôle moteur, avec des *Gonyaulax* ou des *Ptychodiscus* (Sykes et Huntley, 1987). *Acartia tonsa* se nourrit plutôt de tintinnides que de dinoflagellés (Stoecker et Sanders, 1985). Enfin, la vitesse de croissance de *Calanus finmarchicus* est plus élevée en présence de diatomées en chaîne (*Chaetoceros*) que de diatomées isolées (*Thalassiosira*) ou de microflagellés (Diel et Klein Breteler, 1986). Il ne faudrait cependant pas généraliser ces observations à l'ensemble des diatomées et des dinoflagellés (Huntley *et al.*, 1987).

La cinétique des productions primaire et secondaire est très différente. Il suffit de quelques heures pour qu'une algue monocellulaire se divise, tandis qu'il s'écoule de une à trois semaines entre l'éclosion et la ponte d'un copépode. Le phytoplancton peut donc exploiter assez rapidement un afflux de sels nutritifs (si les conditions hydrodynamiques et lumineuses s'y prêtent), tandis que les métazoaires filtreurs, à reproduction sexuée, ne peuvent mettre à profit immédiatement un bloom végétal. Ces disparités montrent toute l'importance des phénomènes de rétention et diffusion sur le transfert de la production primaire vers l'échelon secondaire.

DESCRIPTION RÉGIONALE ET SAISONNIÈRE DU MILIEU

De Gibraltar au golfe de Guinée, les mécanismes de fertilisation du milieu côtier changent selon la saison et

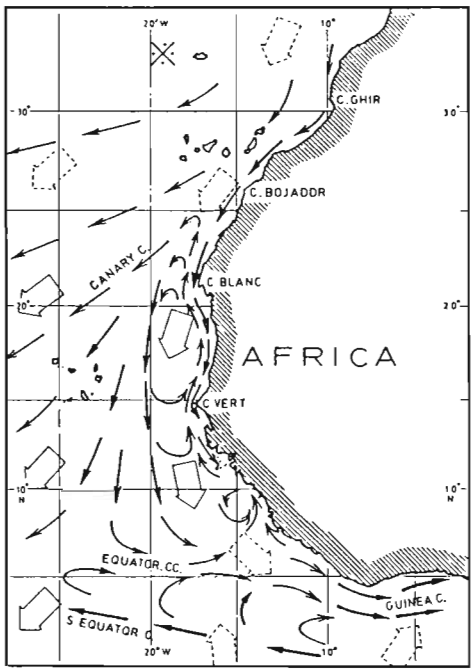
la région en fonction de la situation des centres d'action climatiques et de la morphologie du littoral sous-marin.

Climat, hydroclimat, circulation superficielle

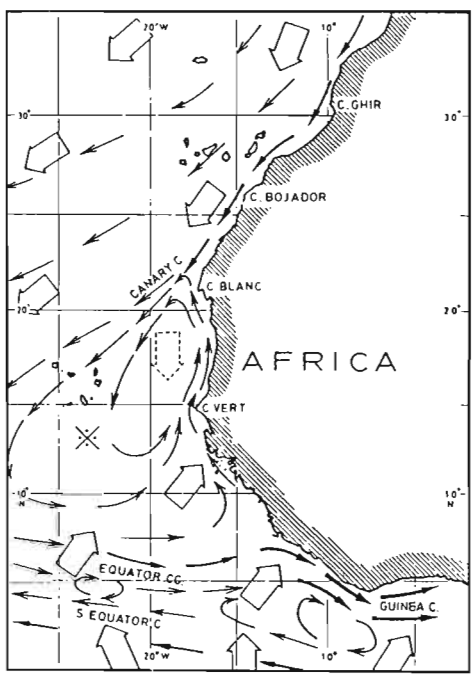
D'une façon approximative, le climat est régi par le déplacement saisonnier des hautes pressions des Açores et de Sainte-Hélène et des dépressions continentales saharienne et namibienne. Les alizés nord et sud, engendrés par ces centres d'action, entretiennent en partie les courants des Canaries et de Benguela et sont le moteur des remontées d'eaux le long des côtes qu'ils longent. La confluence des alizés ou zone intertropicale de convergence (I.T.C.Z.), dont la trace au sol est l'équateur météorologique, est décalée dans l'hémisphère nord par rapport à l'équateur géographique.
On peut déterminer trois systèmes météorologiques et hydrologiques le long de cette côte, selon la circulation atmosphérique prépondérante: alizé du nord-est, zone de confluence des alizés (I.T.C.Z.) et alizé du sud-ouest.

Du cap Spartel aux Bissagos: le système canarien . Le déplacement saisonnier de l'anticyclone des Açores, de la dépression saharienne et de la zone intertropicale de convergence détermine le balancement des alizés et donc la position et l'intensité des upwellings le long de la côte ouest africaine (Wooster *et al.*, 1976; Parrish *et al.*, 1983) (fig. 1).
En été, l'anticyclone des Açores exerce son influence sur tout le littoral marocain et saharien. La dérive superficielle (courant des Canaries) se dirige vers le sud-ouest et les affleurements d'eaux profondes ont lieu du Maroc à la Mauritanie (35 à 20°N). Plus au sud, le front intertropical de convergence remonte vers le nord et la mousson atteint le sud de la Mauritanie. En surface, au dessus des plateaux sénégalais et mauritanien, la circulation est dirigée vers le nord, il y a accumulation d'eaux à la côte avec des dessalures localement importantes (Rébert, 1983). La situation est à l'opposé de celle d'une résurgence (fig. 2b).
En hiver, le système est décalé vers le sud. Le nord de la façade atlantique marocaine est atteint par les dépressions issues du front boréal. Elles amènent de la pluie, de Gibraltar aux Canaries. Il n'y a pas de remontée d'eau au nord du cap Juby (28°N). Mais au sud de ce cap, la circulation superficielle dirigée vers le sud, accompagnée de résurgences, se fait sentir jusqu'au front des Bissagos (12°N), (fig. 2a).
En définitive, la circulation superficielle au dessus du plateau, largement dépendante du régime éolien, est généralement dirigée vers le sud, c'est le courant des Canaries. Exceptionnellement en hiver au nord du Maroc (Anonyme, 1975) et régulièrement en été au Sénégal, la circulation de surface est inversée. De 20 à 25°N, les remontées d'eaux sont permanentes, encadrées au nord par une zone où elles n'ont lieu qu'en été et au sud où elles n'ont lieu qu'en hiver.
Les upwellings côtiers sont liés au flux méridional. Tant que les alizés restent forts, le flux sud prévaut et il se produit des remontées d'eau (Mittelstaedt, 1983). L'in-

Fig. 2
Circulation superficielle théorique. Les flèches blanches indiquent la direction des vents dominants : a) hiver, b) eté. D'après Mittelstaedt (1983).



a- Hiver



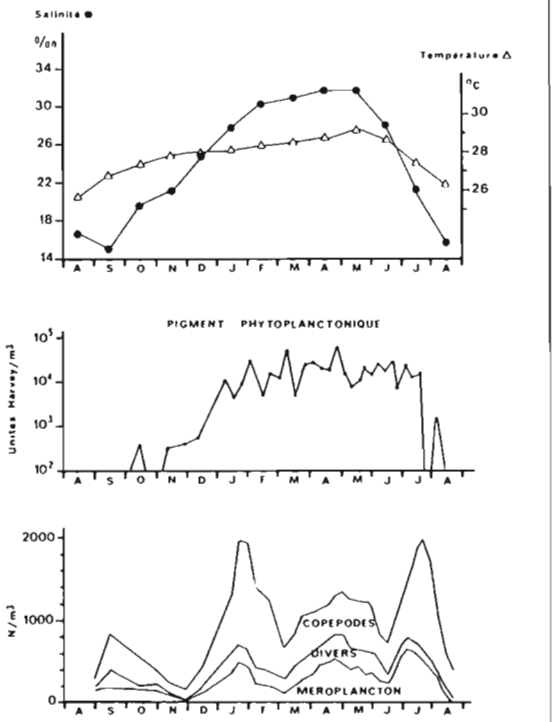
b- Eté

verse ne se produit que lorsque les alizés faiblissent.
Le courant côtier qu'engendrent les alizés, du Maroc au Sénégal, fait l'unité de cette vaste région; il est improprement appelé courant des Canaries puisque les eaux qui s'écoulent en surface, vers le sud, y sont constamment renouvelées à partir de l'eau centrale Nord-Atlantique (E.C.N.A.), au nord du cap Blanc et de l'eau centrale Sud-Atlantique (E.C.S.A.), au sud de ce cap. Les remontées d'eaux profondes y sont pratiquement les seules sources d'enrichissement, jusqu'à la presqu'île du Cap-Vert, à l'exception du nord du Maroc et du Sénégal.
Au Maroc, les oueds, dus aux pluies d'hiver, procurent de faibles apports fluviatiles ; Furnestin (1976) note l'effet enrichissant de l'oued Sebou en automne. Rébert (1983) considère que les apports du fleuve Sénégal, très variables entre la crue (septembre) et l'étiage (mai), sont très faibles par rapport à ceux de l'upwelling.
En fait, le rôle de ces matériaux terrigènes sur la production n'a jamais été quantifié. Il pourrait localement ne pas être négligeable à cause des apports en silicates dont les eaux d'upwellings sont rapidement carencées. En effet les eaux douces en région aride sont très chargées en silicates (Binet, 1983a); or, ce sel est le premier à devenir limitant dans les remontées d'eau saharienne et mauritanienne (Herbland et Voituriez, 1974; Jacques et Tréguer, 1986) à cause de l'importante consommation qu'en font les poussées de diatomées et de la lenteur de sa reminéralisation. Cependant, dans certaines zones du plateau marocain, il n'y a pas de carence en silicium, mais en azote. La largeur du plateau permet la création de «poches à silicates» où se fait la reminéralisation; les résurgences peuvent remonter ce sel vers la zone éclairée qui n'en manque pas, même lors des plus fortes poussées (Grall *et al.* 1974; Minas *et al.* 1982).

Des Bissagos au cap des Palmes: système libéro-guinéen. Dans la zone qui correspond approximativement aux déplacements saisonniers de la convergence des alizés, il n'y a pas de remontée d'eau. Entre les îles Bissagos (ou le cap Verga) et le cap des Palmes, les eaux sont chaudes toute l'année, l'amplitude de la variation saisonnière ne dépasse pas 4°C devant la rivière Sierra Leone (Berrit, 1962).
Les eaux froides du courant des Canaries sont séparées des eaux chaudes du contre-courant équatorial par un front. Celui-ci occupe, sur le plateau continental, sa position la plus méridionale en février (îles Bissagos) et la plus septentrionale (cap Blanc) en août, comme s'il suivait la progression de la zone de convergence des alizés. La reprise ou l'arrêt des upwellings est liée à celle de l'alizé; cependant, le front n'a pas une existence très nette en période de transition (Rébert, 1983).
Dans cette zone de stabilité hydrologique les apports terrigènes représentent, a priori, les seules sources d'enrichissement. Les précipitations sont d'autant plus abondantes que la côte est orientée perpendiculairement aux vents de mousson et qu'elle est bordée de reliefs importants (du Fouta Djalon à la chaîne du Nimba). De nombreux fleuves en proviennent et dessalent les eaux côtières.
Dans l'embouchure même de la rivière de Sierra Leone, le phytoplancton est extrêmement rare pendant la période de crue (août à novembre), il ne se développe en abondance que lorsque l'effet de chasse s'atténue pendant la saison sèche (fig. 3), (Bainbridge, 1960). Les diatomées sont plus abondantes que les dinoflagellés et supportent mieux la période de crue. Dans ces eaux turbulentes, le facteur limitant la production primaire semble la stratification, elle serait favorisée par les vents d'Est.
Les rares données, issues de cette région, montrent une production fort élevée pour un plateau continental sans upwelling (Binet, 1983 a). Les apports terrigènes en sont vraisemblablement largement responsables. Mais, on peut aussi se demander si les eaux advectées sont réellement pauvres.
En effet, le plateau est baigné par la terminaison du contre-courant équatorial qui y apporte les eaux du dôme de Guinée. La remontée de la thermocline, au sein de cette structure océanique, correspond à un équilibre géostrophique. Il n'y a pas de refroidissement ni d'enrichissement en surface, mais la nutricline se rapproche de la surface et pénètre dans la couche euphotique. Les productions primaire et secondaire y sont très supérieures à celles des régions voisines (Voituriez et Herbland, 1982). Le dôme de Guinée apparaît entre juillet et septembre lorsque l'I.T.C.Z. occupe sa position la plus nord; il est alors situé juste au sud de la zone de convergence, à 300 milles dans le sud-est des îles Bissagos. Bien que l'hypothèse n'ait semble-t-il jamais été formulée, on peut se demander si les eaux advectées à partir de ce dôme ne contribuent pas à la production de la région guinéenne.
Ce contre-courant équatorial correspond à un flux de retour de la circulation due aux alizés (courants nord et sud équatoriaux). Il prend naissance dans la région de confluence des alizés (le pot au noir) et sa latitude varie avec celle de l'I.T.C.Z. En se rapprochant du continent, le contre-courant équatorial se scinde en une branche nord, remontant vers le Sénégal (pendant la saison chaude) et une branche sud, à l'origine du courant de Guinée, portant à l'Est, jusqu'à la Baie de Biafra. Dans une certaine mesure, la variation d'importance relative de ces deux branches dépend de la latitude à laquelle se situe l'I.T.C.Z. en été.

Du cap des Palmes au Bénin: système ivoiro-ghanéen. A la frontière ivoiro-libérienne, il existe en saison froide un front, très net, qui marque le début d'une région d'upwelling saisonnier. L'extrémité est de cette zone, est également marquée par un front, moins net que le précédent. Berrit (1973) le situe face au Togo ou au Dahomey, mais Longhurst (1964) signale un refroidissement saisonnier jusqu'à Lagos, certaines années. Toute cette partie de la côte nord du golfe de Guinée est ventilée par l'alizé de l'hémisphère sud, qui, après passage de l'équateur change de direction et souffle du secteur sud-ouest.

Fig. 3
Estuaire de Sierra Leone. De haut en bas:
- température et salinité de surface
- pigment phytoplanctonique, en unités Harvey par m^3
- effectifs de zooplancton par m^3.
D'après Bainbridge (1960), année 1954-55.



Il se produit le long de cette côte un upwelling, pendant l'été boréal (Grande Saison Froide), mais également, quoique de façon plus sporadique, entre janvier et mars (Petite Saison Froide) (fig. 4). Les remontées d'eaux sont les plus intenses à l'aval des caps (est du cap des Palmes et du cap des Trois Pointes), mais finissent par gagner l'ensemble de la région.

Il existe dans cette région d'autres facteurs d'enrichissement qui donnent lieu à plusieurs types de production (Dandonneau, 1973; Binet, 1979, 1983a et b). En juin, lors de la montée vers le nord de l'I.T.C.Z., de fortes précipitations de mousson se produisent au dessus de la basse Côte- d'Ivoire (fig. 4). Le ruissellement exerce un transport d'autant plus efficace que la végétation appauvrie par la saison sèche s'y oppose peu. Lagunes et fleuves côtiers connaissent la première crue de l'année et drainent quantité de matériaux telluriques vers la mer. La poussée végétale planctonique qui s'ensuit est principalement constituée de diatomées (fig. 5).

Les pluies sur la basse Côte-d'Ivoire s'atténuent en juillet, au fur et à mesure que l'I.T.C.Z. poursuit son mouvement vers le nord. La poussée planctonique ne se ralentit que brièvement car l'upwelling de grande saison froide s'établit. Des remontées d'eaux, dans l'ouest de la zone principalement, donnent lieu à un nouveau démarrage de la production primaire, plus ample, plus généralisé, plus durable que le précédent, caractérisé par d'autres espèces de diatomées. Eaux froides et riches envahissent l'ensemble du plateau et dérivent au large.

En fin de saison froide, avant que les upwellings ne s'interrompent (début octobre), les grands fleuves entrent en crue (fig. 4) et enrichissent le milieu côtier, notamment en silicates. Les teneurs en phytoplancton sont les plus élevées de l'année (fig. 5).

Fin août, début septembre, des eaux colorées peuvent se produire, à la faveur des fortes teneurs en sels nutritifs près de la surface et grâce à la stratification que le vent, généralement faible, ne perturbe pas. Ces eaux rouges sont dues à des teneurs de plusieurs millions de cellules par litre d'une seule espèce. Au large de la Côte d'Ivoire, c'est un péridinien, *Gymnodinium splendens* qui est signalé (Dandonneau, 1970), tandis qu'au large du Ghana c'est un cilié holotriche, *Mesodinium rubrum* (Anang *et al.* 1976). Bien qu'aucune mortalité de poisson n'ait été signalée au moment de ces marées rouges, on imaginerait difficilement qu'elles soient sans conséquences sur le comportement des animaux pélagiques (Potts et Edwards, 1987).

La production primaire va s'atténuer progressivement pendant la saison chaude. Quelques remontées d'eaux sporadiques, en janvier et février (Petite Saison Froide), à l'est du cap des Palmes et du cap des Trois Pointes, fertilisent, en dérivant avec le courant de Guinée, l'ensemble des eaux littorales. A cette exception, les seuls sels nutritifs disponibles sont ceux libérés par l'excrétion. La silice, dont la reminéralisation est plus lente, devient déficitaire et les péridiniens dominent. Mais l'écosystème s'appauvrit progressivement, jusqu'au retour des pluies et des upwellings.

Fig. 4

Hydroclimat de Côte-d'Ivoire. De haut en bas:
- température et salinité à 10 m, à la station côtière d'Abidjan
- pluviométrie à l'aéroport d'Abidjan, débit des fleuves Bandama et Comoé.
Moyennes 1969-75, d'après Binet (1983 a).

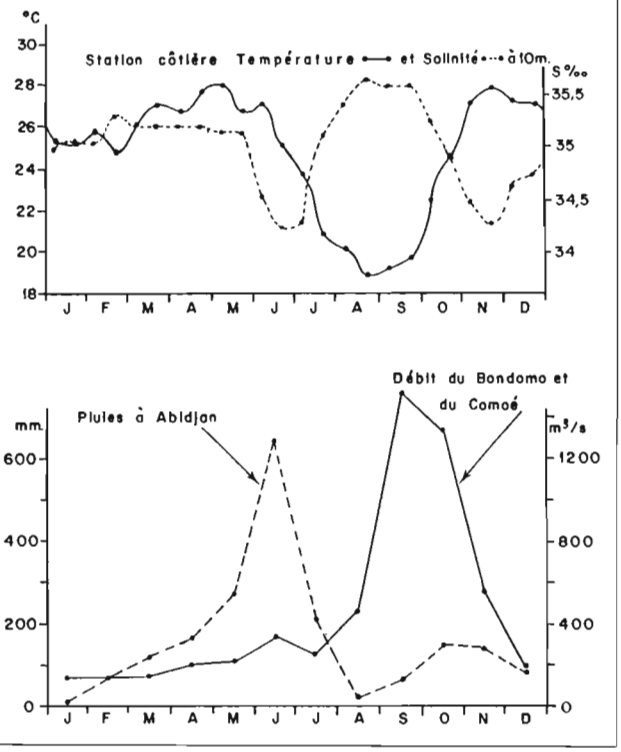
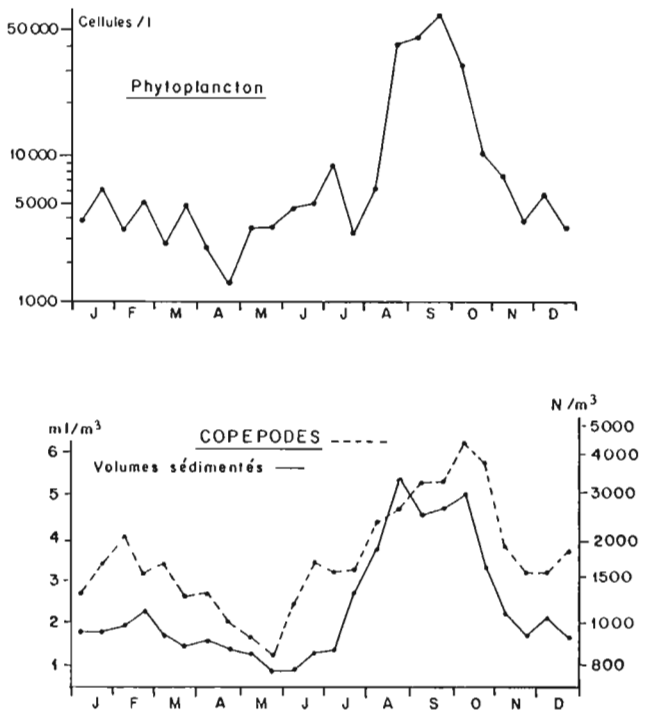


Fig. 5

Cycles moyens de l'abondance du phytoplancton et du zooplancton à la station côtière d'Abidjan. D'après Dandonneau et Djédjé, *in* Binet (1983 a) et Binet (1979).



Les biomasses planctoniques les plus fortes sont observées en fin de saison d'upwelling. En fait, elles coïncident avec la période de crue et, les années de forte sécheresse, la poussée planctonique de cette période est très réduite (Binet, 1976, 1983 b).

Circulation subsuperficielle et profonde.

Aux exceptions près signalées ci-dessus, la circulation de surface longe la côte et se dirige vers l'équateur: courant des Canaries, contre-courant nord équatorial, courant de Guinée. Mais il existe en subsurface ou en profondeur, au dessus du plateau ou aux accores, un ensemble de courants dirigés vers le nord, opposé à la dérive générale des alizés (fig. 6). Ce système atteint parfois la surface.

L'une des branches de ce sous-courant vient du fond du golfe de Guinée, elle est vraisemblablement issue d'une partie du sous-courant équatorial. Sur le plateau ivoiro-ghanéen, sous le courant de Guinée, superficiel et dirigé vers l'est, les eaux s'écoulent vers l'ouest. Ce sous-courant ivoirien est une veine de la circulation plus importante qui a lieu aux accores, vers 50 mètres de profondeur (Lemasson et Rébert, 1973). Au Sénégal, Rébert (1983) et Teisson (1983) observent sensiblement le même schéma, au nord et au sud du Cap-Vert (fig.7); le noyau du sous-courant est situé vers 100 mètres.

Plus au nord, le système s'enfonce et s'éloigne de la côte. Devant la Mauritanie, le contre-courant subsuperficiel est encore situé sur la partie externe du plateau, vers 60 m de profondeur tandis que le noyau du sous-courant profond est entre 100 et 200 mètres, à une centaine de kilomètres de la côte, au delà du plateau continental (Mittelstaedt, 1982). La probabilité de trouver un flux subsuperficiel nord, au large du plateau s'amenuise de 20 à 25°N. L'enfoncement du courant profond se poursuit au fur et à mesure qu'il se dirige vers le nord: 400 à 500 m vers 25°N (fig. 6), 500 à 1000 m vers 30 à 34°N.

Cet ensemble varie avec l'intensité des alizés. Le contre-courant nord disparaît du plateau sénégalais lorsque l'alizé est fort (Teisson, 1983),(fig. 7). Réciproquement il atteint la surface, au large de la Mauritanie, pendant une période de relaxation (Mittelstaedt, 1982) (fig. 8 b).

FLUCTUATIONS À COURTE PÉRIODE DES REMONTÉES D'EAU

Le long du courant des Canaries, les upwellings ne sont pas réguliers. Les remontées se produisent plus souvent en certains points du littoral, favorisées par la topographie et le régime des vents. Notamment au voisinage de certains caps: du cap Sim au cap Ghir (31°N), (Grall *et al.* 1974), du cap Corveiro (22°N) au cap Blanc, ou de certaines vallées sous-marines qui canalisent les remontées d'eaux: canyon de Nouakchott (Herbland *et al.* 1973).

D'autre part, la résurgence n'a pas lieu partout de la même façon. Jacques et Tréguer (1986) estiment que sur la côte nord-ouest africaine, bordée par un plateau relativement large et peu profond, il existe une double cellule de remontée: l'une à la côte, l'autre aux accores (fig. 8 a). Ce schéma évolue avec l'intensité du vent, la cellule du large prédomine par vent fort.

Un changement dans la direction du vent déplace la zone de remontée ou la supprime même complètement. Au sud du Cap-Vert, la résurgence se décale vers le nord et s'intensifie avec la rotation du vent du nord-est au nord-ouest (Touré, 1983; Roy, 1989). Au large de la Mauritanie, le passage de l'alizé (nord-est) à l'harmattan (est) entraîne un arrêt de l'upwelling avec une redistribution des masses d'eau et des faunes associées (Weikert, 1984).

Toutes les régions sont affectées par une variabilité à court terme, de quelques heures à quelques jours. D'une part, l'existence d'ondes internes, liées à la marée (Hughes et Barton, 1974), pourrait avoir des conséquences sur la production. Leur amplitude de plusieurs dizaines de mètres, à proximité des accores, entraîne une remontée périodique de la nutricline. Si la turbulence superficielle atteint cette couche, elle l'érode et remonte des nutriments dans la zone euphotique. D'autre part, les alizés ne sont pas d'une régularité absolue et l'upwelling ne se déclenche pas immédiatement après le renforcement du vent. Au large du Sahara, l'affleurement des eaux ne se produit qu'après un jour de vent favorable (Jones et Halpern, 1981). Au large du Sénégal, le refroidissement maximal n'est obtenu qu'au bout de 2 à 3 jours (Rébert, 1983). Cet auteur semble aussi observer une rétroaction négative de l'océan sur l'atmosphère qui entraînerait une régulation de l'upwelling avec des oscillations de 8 à 10 jours. Mittelstaedt (1983) signale des variations de vent côtier d'une périodicité de 5 à 10 jours.

Si cette périodicité existe réellement, son importance écologique est primordiale. Il y aurait sélection d'espèces adaptées au cycle de turbulence et de stratification propres à cette période. Grall *et al.* (1982) ont mis en évidence l'influence de la pulsation journalière des alizés sur la production primaire au large du Maroc. La remontée d'eau est intense trois heures après le renforcement du vent, mais il faut attendre six heures après l'accalmie pour que la stratification de la chlorophylle se rétablisse. Jones et Halpern (1981) observent des délais plus importants; la plus forte production primaire n'a lieu qu'une dizaine de jours après le début de l'événement, lorsque le vent s'est calmé. Oviatt (1981) observe, en expérimentant sur des microcosmes, qu'une agitation permanente entraîne une augmentation des concentrations en chlorophylle mais une baisse de biomasse zooplanctonique. Wroblewski et Richman (1987) montrent, dans un modèle, la destruction des agrégations zooplanctoniques après un épisode de vent et la diminution durable de la teneur en plancton des eaux de surface, à cause de la dispersion turbulente. L'importance halieutique de ces fluctuations rapides n'est pas moindre. Belvèze (1984) montre le rôle de la

Fig.6

Le sous-courant des accores de l'Afrique de l'Ouest, enfoncement progressif du noyau au nord du cap Blanc. En cartouche, courants parallèles à la côte (cm/s) le long d'une radiale située au nord du cap Blanc (21°40"N). En blanc, composante dirigée vers le sud; en grisé, vers le nord. D'après Mittelstaedt (1982), Lemasson et Rébert (1973) et Teisson (1983).

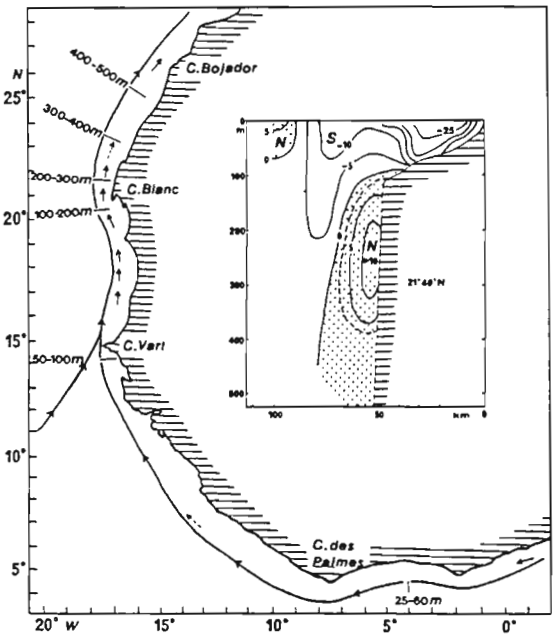


Fig.7

Petite côte du Sénégal: composantes du courant parallèle à la côte sur une radiale à 14° N. Composantes nord-sud (cm/s) par alizé fort (a), par alizé faible (b). Le courant opposé aux alizés atteint la surface, à la côte et aux accores, quand ces vents sont faibles. D'après Teisson (1983).

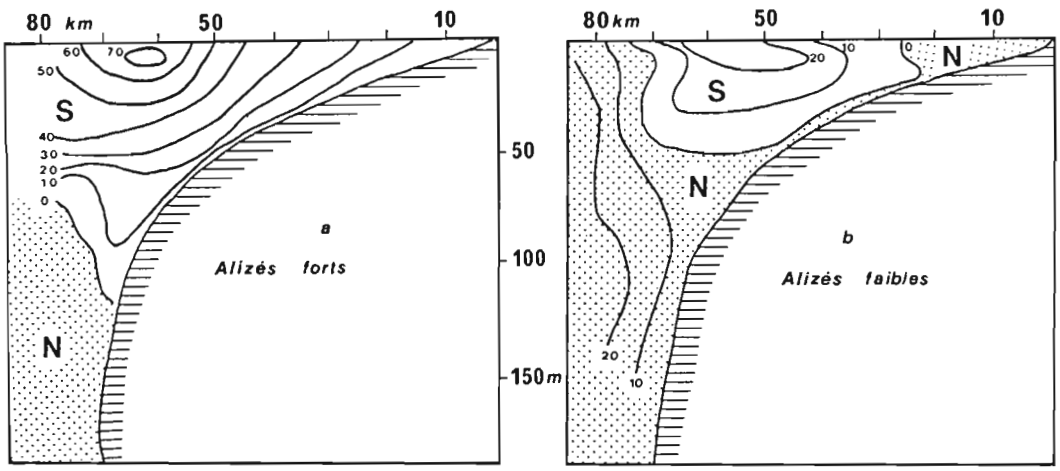
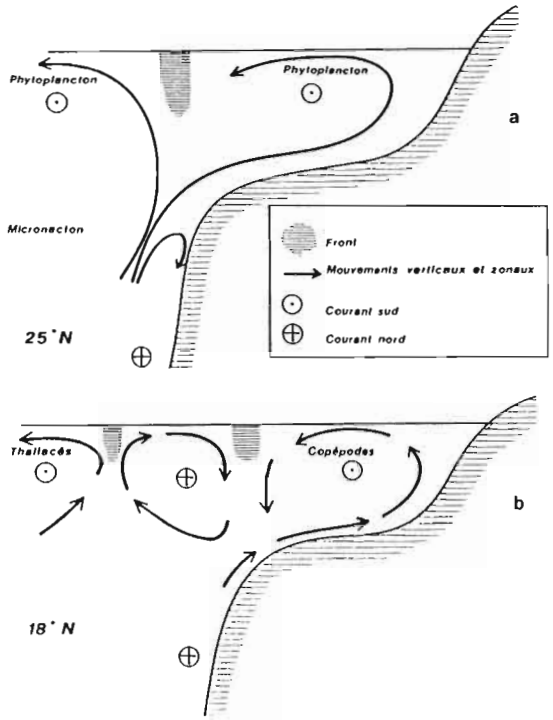


Fig. 8
Circulation côte-large et production dans une résurgence; a) au large du Sahara (25°N), modifié d'après Jacques et Tréguer (1986), complété selon Mittelstaedt (1982); b) au large de la Mauritanie (18°N), modifié d'après Weikert (1984) et Mittelstaedt (1982).

a) La circulation dans la cellule côtière est trop rapide (10 jours) pour que le phytoplancton atteigne une biomasse permettant le développement du zooplancton herbivore. Le contre-courant est trop profond pour être utile à la rétention des petits zooplanctontes. La production primaire est exploitée, au delà du plateau, par du micronecton dont les migrations verticales peuvent atteindre le contre-courant.

b) A l'intérieur de la cellule d'upwelling côtière, l'eau effectue un cycle en 2 ou 3 semaines. Entre cette cellule et le contre-courant, des échanges d'eau et de zooplancton sont possibles. Ils permettent un certain couplage des productions primaire et secondaire au dessus du plateau. Dans la cellule de résurgence du large, les thaliacés dominent parce que leur taux de multiplication leur permet d'accompagner l'explosion du phytoplancton.



variabilité du vent et non seulement de sa vitesse, sur la pêcherie du Maroc. Les prises par unité d'effort sont bien corrélées au nombre d'épisodes de renforcement de vent, puis d'accalmie, permettant le démarrage de la poussée végétale.

TRANSFERT DE LA PRODUCTION PRIMAIRE VERS LE ZOOPLANCTON

Selon les latitudes, les régions et les climats, les maxima de phyto et zooplancton sont plus ou moins simultanés ou décalés dans le temps et l'espace. On dira que les cycles de production sont, respectivement, équilibrés ou déséquilibrés. Dandonneau (1975), à partir de distributions spatiales de chlorophylle *a* et des copépodes capturés dans une bouteille de 30 l, concluait à l'existence de relations directes entre ces deux paramètres dans les zones océaniques oligo ou mésotrophes (Atlantique tropical, dôme de Guinée, front du cap Lopez) et à une relation indirecte dans une zone d'upwelling (cap Blanc) (fig. 9). Les observations suivantes sur la répartition spatiale et la succession temporelle du phyto et du zooplancton corroborent les affirmations de Dandonneau. On propose une explication basée sur une interférence entre le comportement migratoire et la circulation.

Cycles déséquilibrés.

Au large du Maroc, Furnestin (1957, 1976) note un décalage important entre, d'une part, le développement du phytoplancton qui accompagne la remise en circulation des sels nutritifs dans l'upwelling intense du printemps et de l'été et, d'autre part, le développement maximal des populations herbivores qui se produit en automne, lorsque l'intensité des résurgences diminue. Dans les régions où le vent fort se maintient longtemps, l'upwelling est intense et permanent. Les poussées phyto-planctoniques n'ont lieu que sur les franges du panache des eaux résurgentes (Grall *et al.*, 1974; Dupouy *et al.*, 1986). Le rapport des biomasses (auto et hétérotrophes)/(producteurs primaires) montre que la meilleure utilisation du phytoplancton par le zooplancton se fait à une grande distance de la source de l'upwelling. Entre le cap Ghir et Agadir, cette distance est de l'ordre de 60 milles (Grall *et al.*, 1974), (fig. 10).
Les plus fortes biomasses de zooplancton sont souvent rejetées au large (Hargreaves, 1978; Vives, 1974; Weikert, 1984; Olivar *et al.*, 1985) contrairement à ce qu'on observe généralement. C'est également au delà des accores que les zooplanctontes de grande taille sont les plus nombreux (Blackburn, 1979).
Le transfert de la production primaire en secondaire se fait mal, au dessus du plateau, à cause de la durée de développement des copépodes. Le schéma de deux cellules de résurgence au large du Sahara (fig. 8a) (Jacques et Tréguer, 1986) s'appuie sur la distinction des classes de taille du zooplancton établie par Blackburn (1979). Les espèces de petite taille sont au dessus du plateau; elles n'utilisent qu'une partie de la production primaire. Le reste sédimente ou dérive au large avant

Fig. 9

Relations entre la teneur en chlorophylle/m^2 et l'effectif de copépodes/dm^2 dans l'Atlantique tropical: (+) écosystèmes d'upwelling (Mauritanie), relation indirecte;
(•) écosystèmes équilibrés (Atlantique tropical: radiale Abidjan-Ste Hélène, radiale 10°W, dôme de Guinée), relation directe. D'après Dandonneau, (1975).

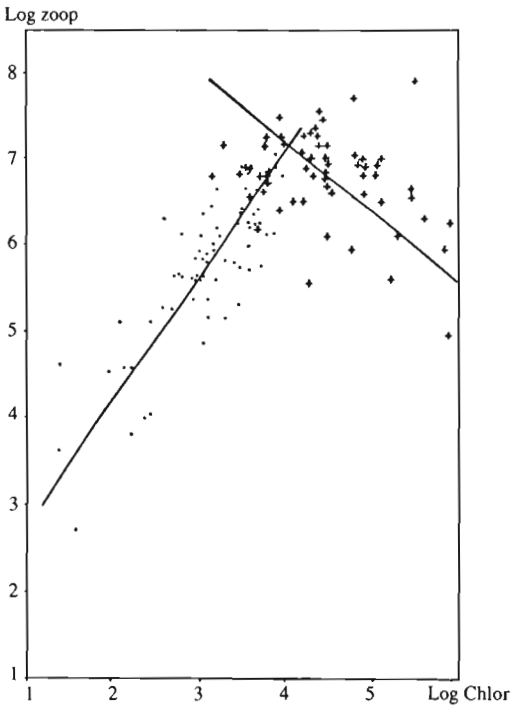
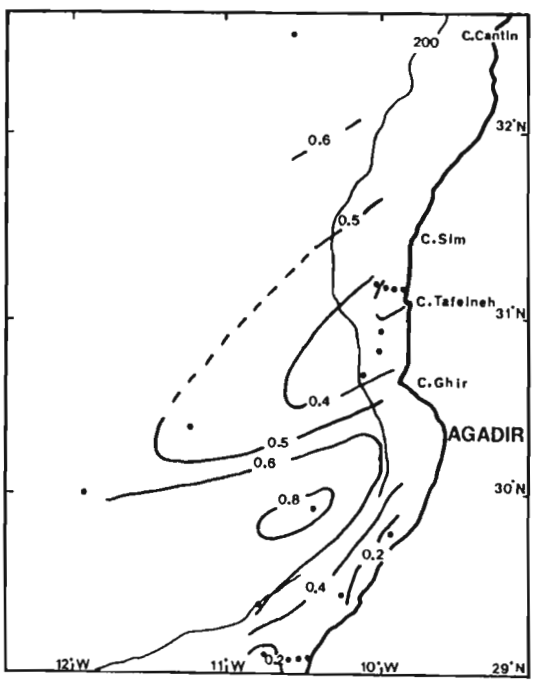


Fig. 10

Rapport ATP/Chl *a* (sensiblement équivalent à la somme des biomasses des auto et des hétérotrophes sur la Chl *a*) dans un upwelling marocain (d'après Grall *et al.*, 1974).
L'accroissement des valeurs du cap Tafelneh à la baie d'Agadir correspond à l'évolution du plancton de la zone de remontée d'eau vers la périphérie du panache.



d'être brouté par les espèces plus grandes (notamment des euphausiacés et des salpes). Entre les deux cellules, Schulz (1982) remarque, au nord du cap Blanc, de fortes concentrations d'*Acartia clausi*, entre 200 et 450 m. Il suppose qu'ils pourront revenir dans des régions productives, entraînés dans une remontée d'eau.
Certaines diatomées (*Thalassiosira partheneia*) forment des colonies nombreuses (Elbrächter, 1982) et de grandes dimensions (plusieurs cm). Une fragmentation préalable est nécessaire à leur utilisation par les copépodes (Schnack, 1983), ce qui retarde le transfert vers les niveaux de production supérieurs, à moins qu'elles ne soient consommées par des thaliacés (Weikert, 1984). En effet, seuls, certains groupes zooplanctoniques capables de multiplication très rapide par parthénogenèse (cladocères) ou par stolonisation (thaliacés) peuvent accompagner le développement de ces blooms phytoplanctoniques. Au Maroc, les salpes et dans une moindre mesure les cladocères peuvent former des concentrations quasi exclusives, particulièrement en été (Furnestin, 1957). C'est la saison où les remontées d'eaux sont les plus intenses et où la plupart des groupes zooplanctoniques passent par un minimum d'abondance. Les plus fortes densités de salpes semblent se situer dans les plus forts upwellings (cap Ghir notamment). On fait la même observation dans le golfe ivoirien pour les cladocères et les thaliacés (Binet, 1977 a). Ce qui montrerait que seules des espèces à développement très rapide (Heron, 1972 a et b) peuvent utiliser la production primaire des panaches d'upwellings violents (Le Borgne, 1983 b). En effet, le transfert d'énergie vers des zooplanctontes à reproduction sexuée et cycle biologique de deux à trois semaines ne peut se dérouler s'il n'existe pas une structure hydrologique permettant un couplage des productions primaire et secondaire. Il ne semble pas que ces organismes à multiplication rapide fassent l'objet de prédation particulière de la part des poissons pélagiques.

Cycles équilibrés

Au sud du cap Blanc, les remontées d'eaux ne sont ni aussi intenses, ni permanentes. Le phytoplancton semble moins abondant (Alcaraz, 1982) et le zooplancton davantage (Vives, 1974). Weikert (1984) observe, après interruption de l'upwelling, une inversion de la circulation de surface qui ramène à la côte des eaux plus riches en zooplancton. Ces eaux riches s'étendent plus au large au sud du cap Blanc qu'au nord (Postel, 1985).
Herbland *et al.* (1973) ont observé dans une masse d'eau résurgente le développement synchrone du pic de chlorophylle et du maximum de zooplancton. Entre le cap Timiris et Nouakchott (de 19 à 18°N), ils ont suivi l'évolution d'une masse d'eau parvenue en surface après quelques jours de vent fort. L'arrivée des eaux profondes en surface était marquée par une température basse, des teneurs en sels nutritifs élevées, mais une concentration en chlorophylle *a*, une production primaire et une biomasse de mésozooplancton faible (fig. 11). Les copépodes en constituaient l'essentiel avec une forte proportion de carnivores et un indice de diversité élevé (Binet, 1978). Au cours des cinq premiers jours, la masse d'eau dérivait de 50 milles vers le sud. En surface, la température s'élevait de 14 à 16°C et les sels nutritifs étaient totalement absorbés. En même temps, les plus fortes teneurs en chlorophylle et la production la plus élevée étaient atteintes. Le peuplement de copépodes se modifiait complètement. Les herbivores devenaient dominants et la biomasse maximale était mesurée en même temps que le pic de chlorophylle. Puis, au cours des 3 jours suivants, la masse d'eau résurgente était progressivement recouverte par les eaux chaudes. La chlorophylle disparaissait quasiment et la biomasse zooplanctonique diminuait à son tour.
L'augmentation de la teneur en phytoplancton du milieu entraîne un accroissement de la fécondité des copépodes. Mais l'hypothèse d'une multiplication de la population initiale suppose une vitesse de développement inusitée pour des zooplanctontes à reproduction sexuée. En effet, il y a eu multiplication de la biomasse par 6,8 en 5 jours, alors que la durée de développement, de l'oeuf à l'adulte, varie de une à trois semaines chez un copépode (Binet, 1977 b). D'autre part ,la composition spécifique devrait rester inchangée. Ce qui n'est pas le cas.
Devant le Sénégal (Touré, 1972, 1983; Rébert, 1978; Medina-Gaertner, 1985; Séret, 1985; Fréon, 1988), la Côte-d'Ivoire et le Ghana (Binet, 1979; Houghton et Mensah, 1978), il n'y a quasiment pas de décalage entre les cycles saisonniers phyto et zooplanctonique.
D'après Touré (1983), dans la baie de Gorée, le maximum de chlorophylle se produit entre février et mai à la suite des upwellings. Rébert (1978), en une station très proche de la côte, observe une période riche en chlorophylle, plus longue (février à septembre); la persistance du maximum de chlorophylle au delà de la période d'upwelling serait due aux apports terrigènes et urbains du début de la saison des pluies. En effet, les quantités de zooplancton passent par un maximum principal en saison froide et un pic de moindre importance au début de l'hivernage (Séret *in* Fréon, 1988) (fig. 12)
Devant la Côte-d'Ivoire, pendant la Petite Saison Froide, il se produit une poussée phytoplanctonique dans l'ouest; les plus fortes biomasses de zooplancton se trouvent dans la même région, près de la côte. Au coeur de la Grande Saison Froide, le maximum de phytoplancton est au centre du golfe ivoirien, de même que les plus grandes quantités de zooplancton (Dandonneau, 1973; Binet, 1979). En face d'Abidjan, les variations saisonnières du phyto et du zooplancton sont très semblables (fig. 5).
La concordance de phase des cycles phyto et zooplanctoniques pourrait tenir aux deux raisons suivantes:

• le transport d'Ekman superficiel dirigé vers le large est moins fort au large du Sénégal que devant les côtes du Sahara (Rébert, 1983; Parrish *et al.*, 1983). Il est vraisemblablement encore plus faible au large du Ghana et de la Côte-d'Ivoire, où la remontée des eaux n'est qu'en partie - ou pas du tout- due au vent. La dérive

Fig. 11
Développement de la chlorophylle *a* (tirets) et du zooplancton (trait plein) dans une remontée d'eau au large de Nouakchott, marquée par une drogue (d'après Herbland *et al.*, 1973). On notera la simultanéité des pics de phyto et zooplancton.

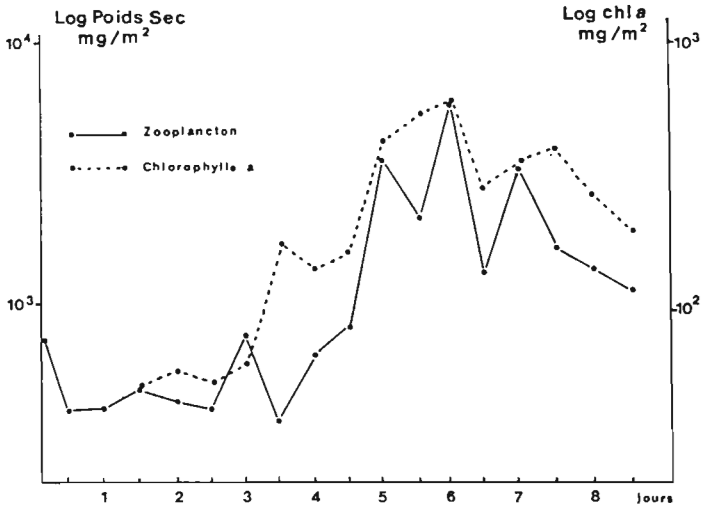
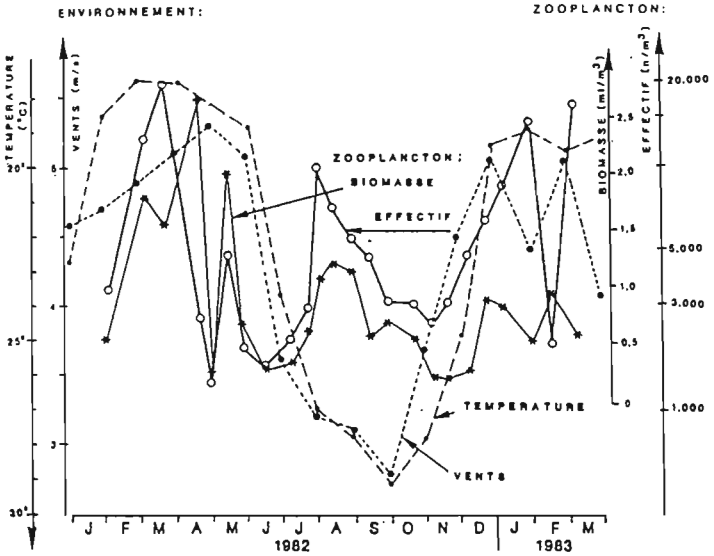


Fig. 12
Variations d'abondance du zooplancton sur la Petite Côte du Sénégal (effectifs et biomasse, d'après Séret, 1985) et fluctuations de deux indices d'upwelling: vent et température de surface 15 jours auparavant; d'après Fréon, 1988.



superficielle est donc moins rapide que dans l'upwelling saharien et le zooplancton dispose de plus de temps pour exploiter la poussée végétale;

• il existe au dessus des plateaux ivoiro-ghanéen, sénégalais, mauritanien, une circulation à deux couches qui disparaît un peu au nord du cap Blanc. Entre ces deux couches dirigées en sens inverses, certains copépodes peuvent effectuer une migration ontogénique (Binet et Suisse de Sainte-Claire, 1975; Binet ,1977 b) (fig. 13). Les premiers stades copépodites vivent souvent dans les couches superficielles, puis ils s'enfoncent au cours de leur développement. Le déplacement dû à la dérive dans la couche de surface est donc partiellement compensé par un retour en profondeur (fig. 14). Ce comportement réduit les pertes advectives et permet de maintenir une biomasse importante à proximité de la résurgence. Des schémas semblables ont été proposés pour la côte californienne (Peterson *et al.*, 1979; Wroblewski, 1982).

Cette hypothèse pourrait être étendue au Sénégal et à la Mauritanie. Schulz (1982) remarque des indices de migration ontogénique dans la région du cap Blanc. Il est donc possible que dans ces régions où existe une circulation stratifiée et où les upwellings ne sont pas très violents, les copépodes maintiennent leur plus forte biomasse dans la région du maximum de production primaire par le jeu de migrations verticales entre la couche superficielle et celle du fond.

On conçoit donc qu'une population zooplanctonique herbivore puisse exploiter au mieux la biomasse primaire produite par l'upwelling, en se maintenant sur ses franges grâce à un système de courant - contre-courant associé à un ensemble convergence - divergence. Ce schéma nécessite que les copépodes effectuent une migration d'autant plus importante que le contre-courant s'enfonce profondément. Vraisemblablement, le nombre d'espèces capables d'utiliser cette stratégie est de plus en plus limité au fur et à mesure que le contre-courant s'enfonce vers le nord. Les mesures de biomasse zooplanctonique, plus fortes au sud de 24°S (Olivar *et al.*, 1985) ou de 22°S (Vives, 1974; Weikert, 1984; Alcaraz, 1982) corroborent cette idée. Ce mécanisme régulateur de la biomasse secondaire existerait peu ou pas sur les côtes sahariennes et sud-marocaines.

En définitive, selon la force du vent, la position de la résurgence principale, à la côte ou aux accores, la vitesse de la dérive superficielle, la position respective des courant et sous-courant, le transfert de production primaire en secondaire se fait avec plus ou moins d'efficacité. On peut s'attendre à ce que des remontées d'eaux très fortes soient le siège d'une production primaire mal exploitée par le zooplancton côtier, à moins qu'elles ne se prêtent à l'explosion d'espèces à multiplication rapide (stratégies de type r), comme les cladocères et les thaliacés. Tandis que dans les zones où les vents moins violents permettent un rétablissement plus rapide de la stratification et où un contre-courant subsuperficiel est dirigé en sens inverse de la circulation de surface (Mauritanie, Sénégal, Côte d'Ivoire et Ghana), le transfert de production vers l'échelon secondaire se fait plus rapidement et à une moindre distance de la côte. Un couplage des deux niveaux de production peut s'effectuer grâce à des migrations verticales du zooplancton entre courants superposés (fig. 14) ou grâce à une injection de l'eau résurgente vers la cellule côtière à partir du contre-courant des accores (Mittelstaedt, 1982) (fig. 8b).

Le cap Blanc, frontière écologique

Le cap Blanc sépare la région d'alternance nord et la région subtropicale (Berrit, 1973). C'est une limite faunistique pour les peuplements benthiques (Intès et Le Loeuff, 1984), planctoniques (Vives, 1974; Weikert, 1982) et ichtyoplanctoniques (Haman *et al.*, 1981).

On a attribué ce changement à la nature des eaux de résurgence: eaux centrales nord-atlantiques au nord du cap Blanc, eaux centrales sud-atlantiques au sud. En fait, cette frontière faunistique est bien plus due à un changement dans le système de courant (Schulz, 1982). Il n'y a presque plus de transport vers le nord, dans les eaux subsuperficielles, au nord du cap Blanc et le contre-courant s'enfonce trop profondément pour pouvoir alimenter les eaux côtières en espèces tropicales au nord de 22°N. La région située au nord du cap Blanc (de 20 à 24°N) apparaît donc comme une importante zone charnière, ce dont le changement de régime courantologique (passage de une à deux couches de courants, d'une circulation toujours orientée dans le même sens à une circulation alternative) semble largement responsable.

Cependant, la situation hydrologique variable et tourmentée (Barton, 1987) ne permet pas d'affirmer que les poussées de phyto et de zooplancton sont toujours équilibrées. Dandonneau (1975), Le Borgne (1981, 1983 a) observent des situations très déséquilibrées dans l'upwelling mauritanien, au contraire de Herbland *et al* . (1973).

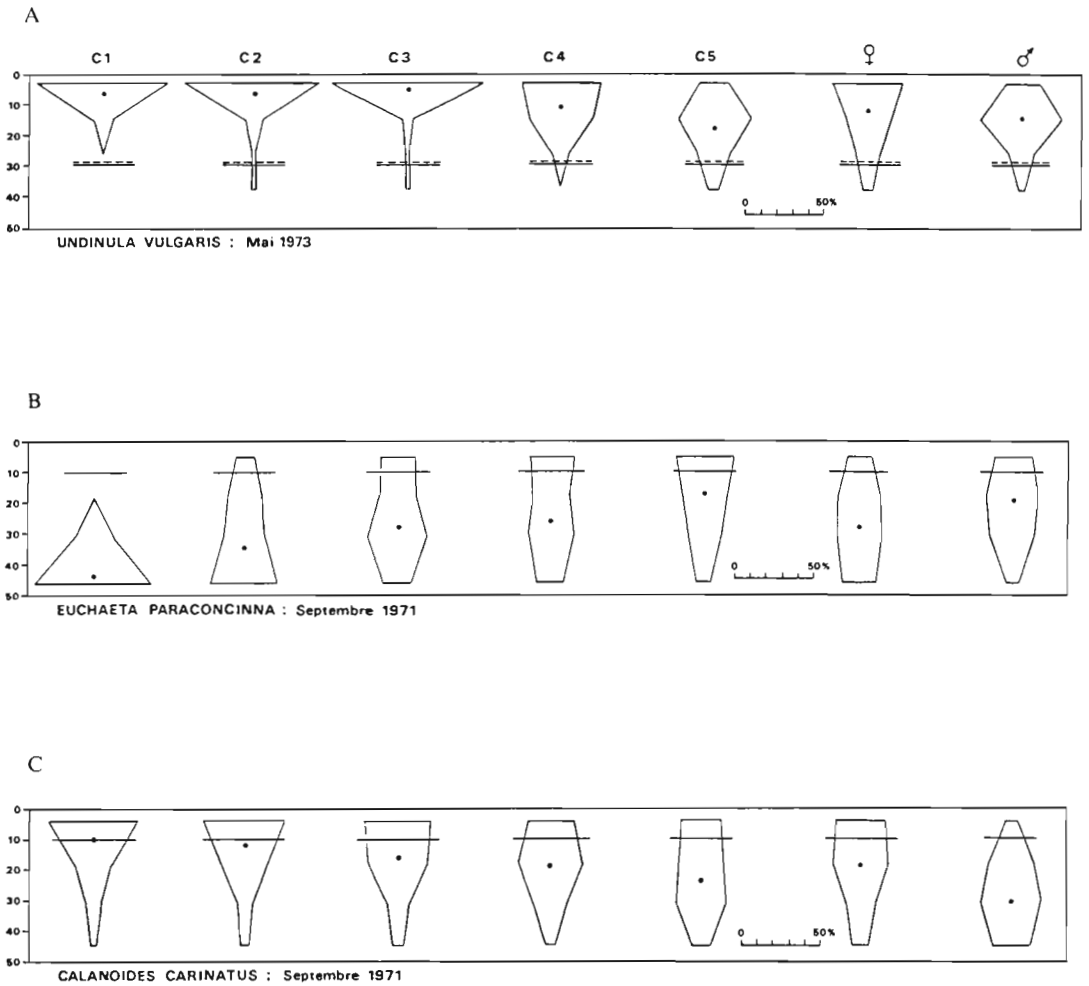
La région libéro-guinéenne

On y dispose de très peu d'indications sur les différents maillons de la chaîne alimentaire. Dans l'estuaire de la Sierra Leone, les peuplements zooplanctoniques sont, comme ceux de phytoplancton, soumis à la brutalité des crues et se développent aussi, surtout pendant la période d'étiage (Bainbridge, 1960).

Au prix de quelques approximations, Longhurst (1983) calcule des bilans de production de carbone sur le plateau devant cet estuaire; il conclut que la poussée phytoplanctonique n'est équilibrée par la consommation des filtreurs que pendant la saison humide pendant la saison sèche cette production dépasse de 70 à 90 % la demande de l'ensemble des herbivores (benthiques et pélagiques).

La région frontale des Bissagos est encore riche en zooplancton (Bainbridge, 1972; Arndt et Brenning, 1977), sans doute parce qu'elle bénéficie des apports de l'upwelling sénégalais et que l'advection y est faible. Dandonneau (1975) observe dans le front du cap Lopez

Fig. 13
Migration ontogénique de quelques copépodes dans les eaux ivoiriennes, (d'après Binet, 1983 a). La répartition verticale des stades copépodites est une moyenne calculée sur 24 h. *Undinula vulgaris* et *Calanoides carinatus* s'enfoncent au cours de leur développement, tandis que *Euchaeta paraconcinna* monte vers la surface. En moyenne, chaque individu de ces différentes espèces est soumis successivement au courant de Guinée et au sous-courant ivoirien.



(homologue austral de celui des Bissagos) des relations directes (quoiqu'assez lâches) entre chlorophylle et petits copépodes, qu'il attribue à un retour vers l'équilibre d'un écosystème d'upwelling. Par contre, la côte libérienne semble pauvre (Binet, 1983 a et b).

CONCLUSION

Les remontées d'eaux constituent le principal facteur d'enrichissement le long des côtes nord-ouest africaines. La couche superficielle, entraînée vers le large ou parallèlement à la côte, s'éloigne plus ou moins vite des régions d'affleurement. Si cette dérive est rapide et dirigée vers le large (côtes marocaine et saharienne), la production primaire ne peut alimenter qu'une faible quantité de zooplancton; tandis que si le mouvement est plus lent et s'il longe le littoral (Côte d'Ivoire, Ghana), une production zooplanctonique plus importante peut se développer au dessus du plateau. Cette biomasse secondaire est plus importante s'il existe, sous le courant de surface, un contre-courant dirigé en sens inverse. En effet, certains animaux planctoniques effectuent des migrations entre ces deux courants, ce qui les maintient dans la zone productive.

Dans les zones du premier type (dérive rapide vers le large de la couche superficielle), la production primaire se développe seule, à la périphérie des panaches d'eaux froides, à moins que certains zooplanctontes à développement rapide (cladocères, thaliacés) ne puissent en tirer parti. Tandis que dans les zones du second type (dérive moins rapide vers le large, système de courant et de sous-courant), une production secondaire importante se développe également. On dira des écosystèmes correspondant aux premières régions qu'ils sont déséquilibrés, ou que les relations entre phyto et zooplancton y sont indirectes. Par opposition, les écosystèmes des secondes régions seront considérés comme équilibrés parce que les relations entre productions primaire et secondaire y sont directes.

Au premier type, appartiennent les régions d'affleurements quasi permanents, situés au nord du cap Blanc. Au second type, on peut rattacher les zones d'alternance hydrologique, du sud de la Mauritanie à la baie de Biafra.

En définitive, le «forcing» exercé par le vent sur la surface de la mer doit se situer à l'intérieur de certaines limites d'intensité et de périodicité pour avoir un effet positif sur la production. La production primaire ne se développe que sur les franges d'un panache d'upwelling, ou lors d'accalmies de quelques jours, lorsque la stratification se rétablit. La production secondaire exige un délai supplémentaire de une à trois semaines, durée d'une génération, à moins qu'un régime de courant et contre-courant ne permette un couplage des productions primaire et secondaire.

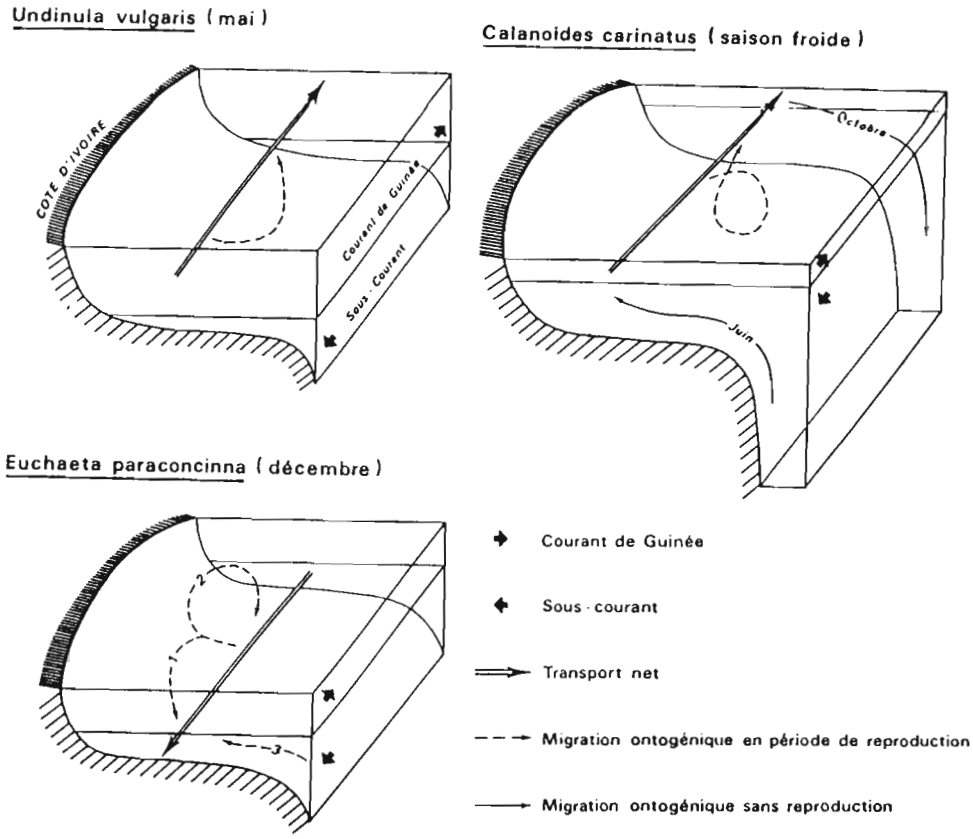
Il est possible que l'évolution du système se fasse de façon monotone pour certaines gammes du «forcing» externe: un accroissement modéré de la vitesse du vent augmente la production planctonique (systèmes équilibrés). Mais, au delà d'une certaine force du vent, le résultat est inversé: une impulsion très forte de sels nutritifs profonds s'accompagne d'une dérive trop rapide des eaux vers le large, d'une turbulence trop forte et la poussée végétale ne peut se produire qu'à une grande distance de la résurgence (systèmes déséquilibrés).

La dynamique des apports fluviatiles est comparable. L'apport de sels nutritifs telluriques n'est utilisable par la production primaire marine qu'après dilution du panache fluvial en mer: augmentation de la salinité, diminution de la turbidité et de la turbulence, retour à une certaine stratification. Ainsi, les effluents d'un fleuve d'importance moyenne auront des effets positifs sur la production, à faible distance de l'embouchure (les crues du Comoé entraînent un maximum de plancton à proximité d'Abidjan), tandis que les eaux du Zaïre exercent un effet négatif sur la production planctonique à plusieurs centaines de kilomètres de l'embouchure (Binet, 1983 a et b). A l'intérieur de l'estuaire de la Sierra Leone, l'effet de chasse est, en saison des crues, trop fort pour permettre une production notable, mais sur le plateau la production primaire est très élevée ; par contre, cette production végétale n'est bien utilisée par les divers filtreurs que pendant la saison sèche, alors qu'elle est beaucoup moins élevée (Longhurst, 1983).

Le fait qu'une part importante de la poussée phytoplanctonique soit utilisée par des bactéries (Herbland, 1978) et n'aboutisse aux animaux qu'au terme d'un cheminement complexe (Cushing, 1989) ne change rien à cette distinction très générale entre écosystèmes «équilibrés» et «déséquilibrés».

Dans chacun des ensembles géographiques délimités ci-dessus, on peut dire, en simplifiant, que deux écosystèmes se succèdent au cours de l'année. L'un, en saison froide, ou consécutif aux crues, est eutrophe. Les sels nutritifs sont abondants, la production primaire forte. La production secondaire est élevée aussi, mais le rendement énergétique généralement mauvais. L'écosystème de saison chaude (dans les régions d'alternance) ou de saison sèche (dans les zones hydrologiquement stables) est oligotrophe. La production primaire est plus faible, mais son transfert vers le niveau secondaire se fait mieux. Mais, on sait, depuis longtemps, que les plus grandes régions de pêches, notamment de petits pélagiques, ne sont pas celles où les transferts de production se font avec le meilleur rendement, mais au contraire celles où des afflux d'éléments nutritifs entraînent des productions déséquilibrées.

Fig. 14
Diagramme montrant l'influence de la migration ontogénique, entre deux courants, sur le déplacement de quelques populations de copépodes dans le golfe ivoirien (Cf. fig. 13), d'après Binet (1979). Le bilan est, chez *Calanoides carinatus*, une diminution des pertes advectives, grâce à un maintien de la population à proximité de la source de l'upwelling. Il s'ensuit un meilleur couplage entre les productions primaire et secondaire.



DISCUSSION

CURY: On constate une absence de larves de sardinelles près de la côte durant la principale période de développement de l'upwelling sénégalais. Aurait-on des chances de les trouver plus au large?

BINET: Les cycles des oeufs et des larves sont très différents. Il existe une répartition verticale liée à des seuils thermiques et à des stratégies développées pour limiter les pertes advectives. En sus de l'inventaire longitudinal, il est d'une grande importance de pratiquer une prospection verticale.

FREON: On a constaté l'absence de ponte des sardines lors d'upwellings forts. Je rapprocherai ceci du fait qu'au Maroc, par exemple, le maximum de zooplancton utilisable par les larves s'observe essentiellement avant et après l'upwelling.

GARCIA: Il me semble qu'il s'agit d'un problème spatial; en cas d'upwelling fort, les courants repoussent au large les zones enrichies et peut-être les larves.

BIBLIOGRAPHIE

• Arndt E.A., Brenning U. 1977 . The zooplankton biomass and its relation to biotic and abiotic factors in the upper 200 m of the upwelling region off North-West Africa. Wissensch. Zeit. des Wilhelm-Pieck Univ. Rostock; Mathematish-Naturwissensch. Reihe, 2: 137-146.

• Alcaraz M. 1982 . Zooplankton biomass and its relation to total particulate carbon and nitrogen off Northwest Africa. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 270-273.

• Anang E.R., Obeng-Asamoa E.K. and John D.M. 1976 . Observations on the red-water ciliate *Mesodinium rubrum* Lohmann in Ghanaian coastal water. Bull. I.F.A.N., 38-A (2): 235-240.

• Anonyme. 1975. Pilot chart of the North Atlantic Ocean n°16. March 1975. Published by the Defense Mapping Agency Hydrographic Center, Washington D.C.

• Bainbridge V. 1960 . The plankton of inshore waters off Freetown, Sierra Leone. Fishery publications, Colonial Office ,13, 43 p.

• Bainbridge V. 1972 . The zooplankton of the gulf of Guinea. Bull. mar. Ecol., 8: 61-97.

• Bakun A. 1978 . Guinea Current upwelling. Nature, 271: 147-150.

• Barber R.T., Dugdale R.C., McIsaac J.J. and Smith R.L. 1971 . Variations in phytoplancton growth associated with the source and conditioning of upwelling water. Invest. Pesqu., 35(1): 171-193.

• Barton E.D. 1987 . Meanders, eddies and intrusions in the thermohaline front off Northwest Africa. Oceano. Acta, 10: 267-283.

• Belvèze H. 1984 . Biologie et dynamique des populations de sardine (*Sardina pilchardu* Walbaum) peuplant les côtes atlantiques marocaines et propositions pour un aménagement des pêcheries. Thèse Univ. Bret. occident. 532 p. multigr.

• 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. II Etude régionale. Cah. Océanogr. COEC 14(9): 633-643.

• Berrit G.R. 1973 . Recherches hydroclimatiques dans les régions côtières de l'Atlantique oriental tropical. Etat des connaissances et perspectives. Bull. Mus. Hist. nat. Paris, 3ème sér., Ecol. géné., 4(148): 1-99.

• Binet D. 1976 . Biovolumes et poids secs zooplanctoniques en relation avec le milieu pélagique au dessus du plateau ivoirien. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr., 14(4): 301-326.

• Binet D. 1977 a . Grands traits de l'écologie des principaux taxons du zooplancton ivoirien. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr., 15(2): 89-109.

• Binet D. 1977 b . Cycles biologiques et migrations ontogéniques chez quelques copépodes pélagiques des eaux ivoiriennes. *Ibid.*, 15(2): 111-138.

• Binet D. 1978 . Analyse globale des populations de copépodes pélagiques du plateau continental ivoirien. *Ibid,* 16(1): 19-61.

• Binet D. 1979 . Le zooplancton du plateau continental ivoirien. Essai de synthèse écologique. Oceanologica acta 2(4): 397-410.

• Binet D. 1983 a . Phytoplancton et production primaire des régions côtières à upwellings saisonniers dans le golfe de Guinée. Océanogr. trop., 18(2): 331-355.

• Binet D. 1983 b . Zooplancton des régions côtières à upwellings saisonniers du golfe de Guinée. *Ibid.* 18(2): 357-380.

• Binet D. et Suisse de Sainte-Claire E. 1975 . Le copépode planctonique *Calanoides carinatus*. Répartition et cycle biologique au large de la côte d'Ivoire. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr., 13(1): 15-30.

• Blackburn M. 1979 . Zooplankton in an upwelling area off Northwest Africa: composition, distribution and ecology. Deep-Sea Res., 26 (1 A): 41-56.

• Colin C. 1988 . Coastal upwelling events in front of the Ivory Coast during the FOCAL program. Oceanol. Acta, 11: 125-138.

• Cushing D.H. 1989 . A difference in structure between ecosystems in strongly stratified waters and in those that are only weakly stratified. Journal of Plankton Research, 11: 1-13.

• Dandonneau Y. 1970 . Un phénomène d'eaux rouges au large de la Côte d'Ivoire causé par *Gymnodinium splendens* Lebour. Doc. scient. Centre Rech. Océanogr., Abidjan 1(1): 11-19.

• Dandonneau Y. 1973 . Etude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte d'Ivoire. III. Facteurs dynamiques et variations spatio-temporelles. Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Océanogr., 11 (4): 431-454.

• Dandonneau Y. 1975 . Relations phytoplancton-zooplancton dans l'Atlantique tropical oriental. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.,13 (3): 239-250.

• Diel S., Klein Breteler W.C.M. 1986 . Growth and development of *Calanus* spp. (Copepoda) during spring phytoplankton succession in the North Sea. Mar. Biol., 91: 85-92.

• Dupouy C., Rébert J.P. and Touré D. 1986 . Nimbus 7 coastal zone color scanner pictures of phytoplancton growth on an upwelling front in Senegal. *In*: Liège colloquium, May 1985, «Biological processes at marine physical interfaces», Nihoul (èd.), 26 p.

• Elbrächter M., 1982 - The distribution and ecological significance of the planktonic diatom *Thalassiosira partheneia* Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 244-245.

• Fréon P. 1988 . Réponses et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation: Analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. Etudes et Thèses, ORSTOM, 287 p.

• Furnestin M.L. 1957 . Chaetognathes et zooplancton du secteur atlantique marocain. Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 21 (1 et 2), 356 p.

• Furnestin M.L. 1976 . Les copépodes du plateau continental marocain et du détroit canarien. I. Répartition quantitative. Cons. int. Explor. Mer, C.M., 1976/L, 8, 5p. 8 fig.

• Gill C.W., Harris R.G. 1987 . Behavioral responses of the copepods *Calanus helgolandicus* and *Temora longicornis* to dinoflagellate diets. J. mar biol. Ass. U.K., 67: 785-801.

• Grall J.R., Laborde P., Le Corre P., Neveux J., Tréguer P. et Thiriot A. 1974 . Caractéristiques trophiques et production planctonique dans

la région sud de l'Atlantique marocain. Résultats des campagnes CINECA-CHARCOT I et III. Téthys, 6(1-2): 11-28.

• Grall J.R., Le Corre P., and Tréguer P. 1982 . Short-term variability of primary production in coastal upwelling off Morocco. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 221-227.

• Haman I., John H.C., Mittelstaedt E. 1981. Hydrography and its effects on fish larvae in the Mauritanian upwelling area. Deep- Sea Res., 28 A: 561-575.

• Hargreaves P.M. 1978 . Relative abundance of zooplankton groups in the Northwest African upwelling region during 1968 and 1972. *In*: Boje R. and Tomczak M. (eds.)Upwelling ecosystem, Springer-Verlag, pp. 62-72.

• Herbland A. 1978 . Heterotrophic activity in the Mauritanian upwelling in march 1973: Assimilation and Mineralisation of amino-acids. *In*: Boje R. and Tomczak M. (eds.)Upwelling ecosystems, springer-Verlag, p. 155-166.

• Herbland A., Le Borgne R. et Voituriez B. 1973 . Production primaire, secondaire et régénération des sels nutritifs dans l'upwelling de Mauritanie. Doc. scient. Centre Rech. Océanogr., Abidjan, 4(1): 1-75.

• Herbland A. et Voituriez B. 1974 . La production primaire dans l'upwelling mauritanien en mars 1973. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr., 12 (3): 187-201.

• Heron A.C. 1972 a . Population ecology of a colonizing species: the pelagic tunicate *Thalia democratica*, I. Individual growth rate and generation time. Oecologia, 10: 269-293.

• Heron A.C. 1972 b . Population ecology of a colonizing species: the pelagic tunicate *Thalia democratica*, II. Population growth rate. Oecologia, 10: 294-312.

• Houghton R.W. and Mensah M.A. 1978 . Physical aspects and biological consequences of Ghanaian coastal upwelling. *In*: Boje R. and Tomczak M. (eds.),Upwelling ecosystems. Springer - Verlag. p. 167-180.

• Hughes P. and Barton E.D. 1974 . Stratification and water mass structure in the upwelling area off N. W. Africa in April-May 1969. Deep-Sea Res., 21: 611-628.

• Huntley M., Sykes P., Rohan S., Marin V. 1986 . Chemically-mediated rejection of dinoflagellate prey by the copepods *Calanus pacificus* and *Paracalanus parvus* mechanisms, occurrence and significance. Mar. Ecol. Prog. Ser., 28: 105-120.

• Huntley M.E., Ciminiello P., Lopez M.D.G. 1987 . Importance of food quality in determining development and survival of *Calanus pacificus* (Copepoda: Calanoida). Mar. Biol., 95: 103-113.

• Ingham M.C. 1970 . Coastal upwelling in the Northwestern gulf of Guinea. Bull. Mar. Sci., 2O: 1-34.

• Intès A. et Le Loeuff P. 1984 . Les annélides polychètes de Côte d'Ivoire. III. Relation faune-conditions climatiques. Unités régionales faunistico-climatiques dans le golfe de Guinée. Océanogr. trop., 19(1): 3-24.

• Jacques G. et Tréguer P. 1986 . Ecosystèmes pélagiques marins. Masson éd., 243 p.

• Jones B.H., Halpern D. 1981. Biological and physical aspects of a coastal upwelling event observed during March-April 1974 off Northwest Africa. Deep-Sea Res., 28 (1A): 71-81.

• Le Borgne R. 1981 . Relationships between the hydrological structure, chlorophyll and zooplankton biomasses in the gulf of Guinea. Journal of Plankton Research, 3: 577-592.

• Le Borgne R. 1983 a . Les relations entre le zooplancton et le phytoplancton dans trois situations caractéristiques de l'Atlantique intertropical. Production primaire et secondaire, Colloq. franco-soviétique, Stn Mar. Endoume, 9-12 janvier 1979. Publ. C.N.E.X.O. (Actes Colloq.), 10: 107-124.

• Le Borgne R. 1983 b . Note sur les proliférations de Thaliacés dans le golfe de Guinée. Océanogr.trop., 18(1): 49-54.

• Lemasson L. et Rebert J.P. 1973 . Les courants marins dans le golfe ivoirien. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr., 11(1): 67-96.

• Longhurst A.R. 1964 The coastal oceanography of Western Nigeria. Bull. de l'I.F.A.N., 26 (A2): 337-402.

• Longhurst A.R. 1983 . Benthic-pelagic coupling and export of organic carbon from a tropical Atlantic continental shelf - Sierra Leone. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 17: 261-285.

• Medina-Gaertner M. 1985 . Etude du zooplancton côtier de la baie de Dakar et de son utilisation par les poissons comme source de nourriture. Thèse Univ. Bret. occident., 141 p.

• Minas H.J., Codispoti L.A. and Dugdale R.C. 1982 . Nutrients and primary production in the upwelling region off Northwest Africa. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180, 148-183.

• Mittelstaedt E. 1982 . Large-scale circulation along the coast of Northwest Africa. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 50-57.

• Mittelstaedt E. 1983. The upwelling area off Northwest Africa. A description of phenomena related to coastal upwelling. Prog. Oceanog., 12: 307-331.

• Olivar M.P., Rubiés P. and Salat J. 1985. Zooplankton biomass in Upwelling Regions off Northwest and Southwest Africa. Int. Symp. Upw. W Afr., Inst. Inv. Pesq. Barcelona, 1: 471-477.

• Oviatt C.A. 1981 . Effects of different mixing schedules on phytoplancton, zooplankton and nutrients in marine microcosms. Mar. Ecol. (Prog. Ser.), 4(1): 57-67.

• Parrish R.H., Bakun A., Husby D.M. and Nelson C.S. 1983 . Comparative climatology of selected environmental processes in relation to eastern boundary current pelagic fish reproduction. Proceed. of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San José, Costa Rica 18-19 April 1983. F.A.O. Fisheries Report, 291(3): 731-778.

• Peterson W.T., Miller C.B. and Hutchinson A. 1979 . Zonation and maintenance of copepod populations in the Oregon upwelling zone. Deep-Sea Res., 26 A: 467-494.

• Picaut J.,1984 . On the dynamics of thermal variations in the gulf of Guinea. Oceanogr. trop. ,19(2): 127-154.

• Picaut J. et Verstraete J.M. 1976 . Mise en évidence d'une onde de 40 - 50 jours de période sur les côtes du golfe de Guinée. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Oceanogr., 14 (1): 3-14.

• Postel L. 1985. The pelagic cross-shelf and alongshore boundaries of the North West African upwelling region and their annual variability in terms of zooplankton biomass. Int. Symp. Upw. W Afr., Inst. Inv. Pesq. Barcelona, 1:479-487.

• Potts G.W., Edwards J.M. 1987. The impact of a *Gyrodinium aureolum* bloom on inshore young fish populations. J. mar biol. Assoc. U.K., 67(2): 293-297.

• Rébert J.P. 1978 . 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, contribution n°102. Doc. scient. Cent. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 67, 13 p.

• Rébert J.P. 1983 . Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais. Doc. scient.Cent.Rech.Océanogr. Dakar-Thiaroye, 89, 99p.

• Roy, C. 1989. Fluctuations des vents et variabilité de l'upwelling devant les côtes du Sénégal. Oceanologica Acta., 12 (4): 361-369.

• Schulz K. 1982 . The vertical distribution of calanoid copepods north of Cape Blanc. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 297-302.

• Schnack S. 1983 . On the feeding of copepods on *Thalassiosira partheneia* from the Northwest African upwelling area. Mar. Ecol. Prog. Ser., 11: 49-55.

• Séret C. 1985 . Etude quantitative du zooplancton de la côte sud de la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). Doc. scient. centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye.

• Stoecker D.K., Sanders N.K. 1985 . Differential grazing by *Acartia tonsa* on a dinoflagellate and a tintinnid. Journal of Plankton Research, 7: 85-100.

• Sykes P.F., Huntley M.E. 1987 . Acute physiological reactions of *Calanus pacificus* to selected dinoflagellates: direct observations. Mar. Biol., 94: 19-24.

• Teisson C. 1983. Le phénomène d'upwelling le long des côtes du Sénégal: caractéristiques physiques et modélisation. Arch. Centre Rech. océanogr. Dakar-Thiaroye, 123, 74p.

• Touré D. 1972. Variations quantitatives et qualitatives du zooplancton dans la région du Cap Vert de septembre 1970 à août 1971. Doc. Scient. prov. Centre Rech. océanogr. Dakar-Thiaroye, 39, 25p.

• Touré 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. scient. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 93, 186 p.

• Vives F. 1974. Le zooplancton et les masses d'eau des environs du cap Blanc. Téthys, 6(1-2): 313-318.

• Voituriez B., 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.

• Weikert H. 1982 . Some features of zooplankton distribution in the upper 200 m in the upwelling region off Northwest Africa. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 280-288.

• Weikert H. 1984 . Zooplankton distribution and hydrography in the Mauritanian upwelling region off Northwestern Africa, with special reference to the calanoid copepods. Meeresforch, 30: 155-171.

• Wooster W.S., Bakun A. and McLain D.R. 1976 . The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic. J. mar. Res., 34: 131-141.

• Wroblewski J.S. 1982 . Interaction of currents and vertical migration in maintaining *Calanus marshallae* in the Oregon upwelling zone - a simulation. Deep-Sea Res., 29 A (6): 665-686.

• Wroblewski J.S. and Richman J.G. 1987 . The non-linear response of plankton to wind mixing events - implications for survy of larval northern anchovy. Jour. Plankt. Res., 9 (1): 103-123.

9 • Quelques réflexions sur l'étude de l'environnement en vue d'analyser ses relations avec les ressources

ALAIN HERBLAND
CREMA-L'Houmeau, BP 5, 17137 L'Houmeau, France

MIEUX INTÉGRER L'ENVIRONNEMENT ET SA VARIABILITÉ

Pendant des décennies, les halieutes ont négligé la composante environnementale : le poisson était perçu au travers des débarquements et il est vrai que les mesures systématiques et nombreuses de température lors des pêches programmées par les scientifiques n'apportaient pas grand chose. Certains pensent et écrivent encore aujourd'hui (Walters et Collie, 1988) que les phénomènes sont bien trop compliqués et qu'il est donc vain de mettre des crédits dans une recherche vouée d'avance à l'échec. Cependant si le prix à payer paraît élevé, parce que beaucoup de chercheurs empruntent des voies qui ne mènent nulle part, il est nécessaire parce que les découvertes majeures ne peuvent émerger des applications de «lois» déjà connues (et qui, en plus, se révèlent parfois approximatives ou même fausses).
Il est réjouissant que les halieutes soient sensibles aux influences de l'hydroclimat sur l'abondance et la distribution de la ressource, et la frustration évoquée plus haut est agréable en comparaison de l'absence totale de dialogue qui peut exister en d'autres lieux, entre halieutes et «environnementalistes...». Comment aller plus loin ?

L'UPWELLING, UN PHÉNOMÈNE À TROIS «DIMENSIONS» : INTENSITÉ, FRÉQUENCE, LOCALISATION

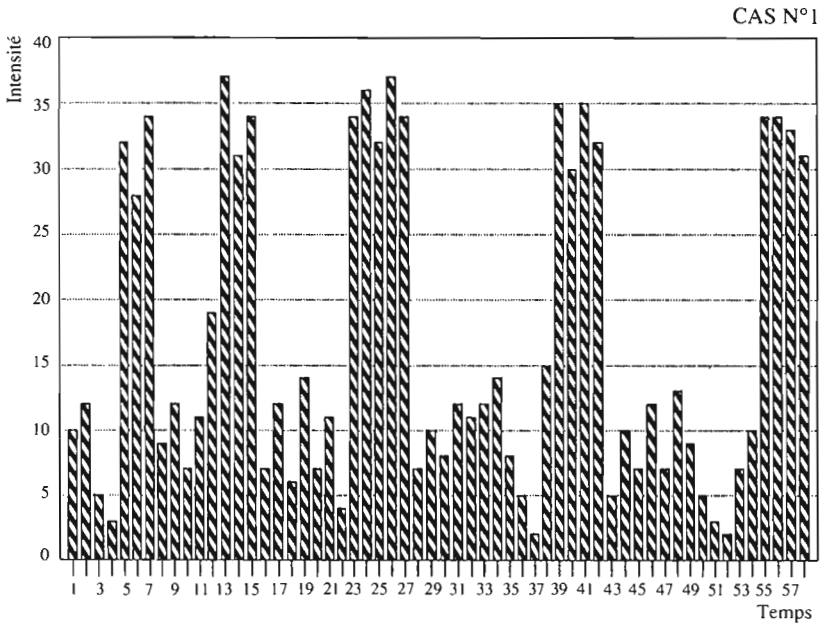
Les petits pélagiques côtiers tropicaux et subtropicaux sont le plus souvent associés à des zones d'upwelling dont, tout le monde le sait, la principale conséquence est d'enrichir le milieu oligotrophe qui les entoure. Le premier réflexe des biologistes des pêches est donc de caractériser l'upwelling par un indice global qui refléterait l'intensité de l'upwelling. Ainsi parle-t-on d'upwelling «fort» et d'upwelling»faible», sans que la validité de ces notions ait été réellement établie.
Qu'est-ce qu'un upwelling fort ? «C'est par exemple, un upwelling où la valeur moyenne de la composante du vent parallèle à la côte est au dessus d'une certaine valeur seuil» peut-on être tenté de répondre.

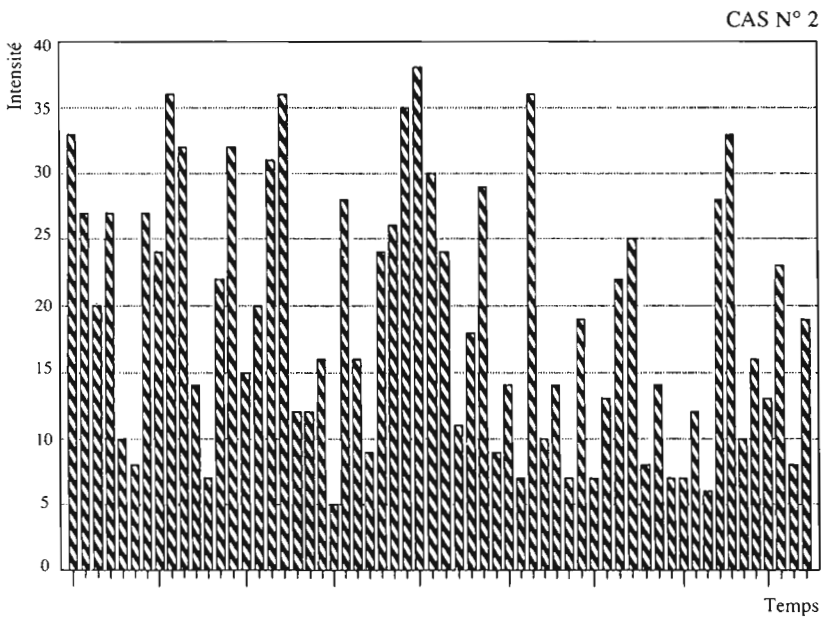
Importance de la dimension «fréquence»

Cette réponse n'est pas fausse, mais est-elle pertinente pour les questions posées ? Si une valeur moyenne est toujours quantitativement juste, elle peut se révéler qualitativement fausse, dans la mesure où elle gomme, dans le cas précis du vent, la fréquence des événements biologiquement significatifs .
A titre d'exemple (volontairement simplifié), on a représenté fig.1 deux séries chronologiques de vents. Il est probable que les effets sur la production primaire et secondaire ne seront pas les mêmes dans le cas n°1 et dans le cas n°2, alors que les valeurs moyennes de l'indice d'upwelling sont égales.
Le phytoplancton, le zooplancton, les bactéries ont des temps de réponse incompressibles aux différents stimuli. Par exemple, le taux de croissance des diatomées

Fig. 1

Exemple théorique de l'intensité des vents (ordonnée) en fonction du temps (abscisse). Cas n°1 : des périodes de calme (relatif) succèdent à des intensités de vents élevées. Cas n°2 : pas de périodicité dans la force du vent. Bien que les moyenness des vents soient égales dans les 2 cas, les effets sur la productivité phytoplanctonique seront probablement différents.





des grands upwelling tropicaux et subtropicaux est de l'ordre d'une division par jour (dans les conditions optimales de turbulence, de sels nutritifs, de lumière). Cela implique qu'il faut nécessairement un minimum de quatre jours pour passer de 1 µg Chl*a*.l^{-1} à 16 µg.l^{-1} (sans compter le broutage du zooplancton). Si une turbulence excessive ou une diminution de la disponibilité en sels nutritifs intervient, ce n'est pas 16 µg.l^{-1} de chlorophylle qui seront produits mais beaucoup moins. En conséquence, le cas n°1, avec des périodes de vent fort qui enrichissent la zone euphotique en sels nutritifs, suivies de périodes de relaxation suffisamment longues, qui permettent une croissance optimale du phytoplancton aboutira, avec nos hypothèses(1), à une biomasse phytoplanctonique bien supérieure au cas n°2. Sera-t-elle exploitée par le zooplancton ou directement par les petits pélagiques à un moment de leur existence, c'est une autre histoire, mais ce qu'on peut dire avec Munk et Farmer (1988), c'est que «there is some evidence that most of the significant physical biological interaction occurs in a very limited fraction of the total space time observation space». C'est en quelque sorte la notion de «résonance» qu'on retrouve ici, quand la durée et l'intensité des phénomènes qui interagissent avec la biologie coïncident avec les caractéristiques physiologiques des organismes planctoniques capables de les exploiter (temps de génération, constantes d'assimilation des sels nutritifs...). On parle aussi d'ergocline quand le maximum d'énergie se transmet d'un échelon à l'autre.

Importance de la «géographie» (2)

Une anecdote en guise d'illustration: chaque année, la plage de la baie de N'gaparou (70 km au sud de Dakar) subit des transformations morphologiques qui aboutissent à la formation d'une grande mare, isolée du rivage par un banc de sable. Selon les années, cette mare se forme plus ou moins tôt , elle est plus ou moins grande, et n'est pas rigoureusement au même endroit, mais l'important, c'est qu'elle coïncide avec l'établissement des alizés donc avec l'orientation et la force de la houle par rapport au rivage.

Cet exemple pourra sembler fort éloigné des réflexions faites sur les poissons pélagiques. Je pense au contraire qu'il illustre bien ce qui se passe dans l'océan ouvert et sur le plateau continental , à savoir que l'océan n'est pas un chaos totalement imprévisible : les lois de l'hydrodynamique s'appliquent aussi bien en pleine mer qu'au bord du rivage, les masses d'eau circulent en se contraignant ; elles sont guidées par la bathymétrie, la forme des côtes, la direction des vents... Bref, il existe de grandes chances pour que des structures océanographiques particulières (fronts, tourbillons) soient géographiquement localisées, évidemment associées à une certaine variabilité spatio-temporelle, mais avec néanmoins suffisamment de répétitivité pour que les organismes comme les poissons pélagiques les exploitent pour se nourrir et/ou pour se reproduire.

Comme pour la dimension temporelle, il doit exister des dimensions spatiales et des localisations privilégiées où l'interaction entre la physique et la biologie est déterminante. Compte tenu de la taille des populations de poissons pélagiques, il y a de fortes chances pour que la dimension clef soit de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres, c'est-à-dire à l'échelle des tourbillons et des courants et contre-courants côtiers.

Il est frappant de constater à quel point la géographie à méso-échelle des upwellings est mal connue. Là encore, ce n'est évidemment pas un hasard, car les phénomènes à cette échelle sont difficiles pour ne pas dire impossibles à échantillonner avec un bateau océanographique ou à l'aide des données recueillies par les navires marchands. Mais est-ce une raison pour ne pas les étudier s'ils constituent la clef de la compréhension de la variabilité des abondances ?

En résumé, un upwelling se définit par trois caractéristiques indissociables qui sont l'intensité , la fréquence et la localisation géographique. Pour comprendre comment les processus vivants intègrent et exploitent l'upwelling, il faut se placer dans ces trois dimensions à des échelles qui présentent un maximum d'impact sur la biologie. Vouloir les dissocier, comme on le fait jusqu'à présent, en privilégiant l'aspect intensité parce que c'est plus facile, ou vouloir plaquer des variations d'indices globaux de l'environnement à des échelles qui ne tiennent pas compte de la dimension et de la durée des structures qui contraignent le plus la biologie, équivaut à porter des oeillères. Il ne faudra pas s'étonner, ensuite, de ne voir qu'un horizon limité...

VERS UNE «BIOGÉOGRAPHIE DYNAMIQUE» (3)

Citons une nouvelle fois Munk et Farmer (1988): «On the basis of historical precedent one might expect that some of the interaction models may not survive the revolution of observing techniques...». Ce fut le cas lorsque la sonde CTD remplaça le thermomètre à renversement et aussi lorsque l'observation satellitaire révéla des structures inconnues auparavant. L'océan est mal connu parce que des événements marquants passent au travers de la maille spatiotemporelle de l'échantillonnage. On perçoit un bruit alors que, sous-jacente, invisible, se cache une succession de continuités/discontinuités qui structurent la biologie. Il faut donc résolument utiliser l'information satellitaire, qui, bien qu'elle donne une information beaucoup moins précise que celles des instruments embarqués, présente l'incomparable avantage de la vision globale et continue.

Comment utiliser cette information dans le cas de la relation ressource-environnement et plus précisément dans celui de la liaison upwelling-poissons pélagiques ?

1ère étape : la cartographie des événements océanographiques

En commençant par le plus simple, c'est-à-dire en dressant un inventaire des événements océanographiques les plus marquants de la zone à étudier. Bien que l'on ne dispose que d'une signature thermique de surface, cette seule information permettra de définir quels sont

statistiquement la nature , les lieux, les époques , les durées et l'intensité de ces événements. Une analyse statistique de ces informations devrait aboutir à une «cartographie», ou mieux à une typologie de l'upwelling. Si rien de cohérent n'émergeait de cette analyse, il serait inutile d'aller plus loin. Mais, si comme on peut le pressentir et comme la modélisation de la circulation résiduelle le montre (Salomon et Breton, 1990), il apparaît dans ce désordre apparent des structures relativement pérennes mais variables, ou éphémères mais reproductibles, on pourra passer à la seconde étape.

2ème étape : l'étude des relations de ces structures mésoéchelles avec les cycles de vie des espèces en question

A quelle période de sa vie, telle population est-elle localisée dans telle structure ou au voisinage de tel front ? Il est probable que l'information dont on dispose aujourd'hui ne soit pas suffisante pour répondre d'emblée à toutes les questions qui ne manqueront pas de se poser mais la confrontation des connaissances antérieures de la biologie des espèces et la révélation des structures devraient au moins permettre de guider l'échantillonnage. Comme l'emploi de la sonde a permis de localiser précisément les niveaux de prélèvement sur la verticale et de révéler la «structure tropicale typique», la mise en évidence des événements océanographiques à mésoéchelle devrait permettre de savoir où et quand échantillonner avec un bateau ; le progrès sera notable puisque l'océanographe, aveugle, bute toujours sur un problème de sous-échantillonnage.

3ème étape : étude du fonctionnement écologique des structures méso-échelles

Quelle est l'intensité de l'enrichissement en sels nutritifs au coeur d'un tourbillon ? Quels sont les temps de réponse du phytoplancton et du zooplancton ? Où se localisent-ils ? Existe-t-il des concentrations larvaires «anormales» à proximité de ces «patches» ?...

Toutes ces questions sont aujourd'hui sans réponse parce que le phénomène à étudier est mal localisé, il se déplace, se déforme. Bref, il est inaccessible au moyen d'études dont on dispose.

Encore une fois, le satellite, avec la vision globale et continue qu'il apporte permettra de guider le navire océanographique à l'intérieur d'un système et donc de l'étudier avec un minimum de bruit.

De plus, ces entités géographiques (événements océanographiques) peuvent être assimilées à des «phénomènes unitaires ». Or, l'intérêt d'étudier un phénomène unitaire est que, lorsqu'on en a compris le mécanisme, on a compris celui de tous les autres. Ainsi une étude de l'intensité et de la cinétique des échanges trophiques d'un certain type d'enrichissement dans l'upwelling de Mauritanie aura t-elle une application générale, puisque selon toute vraisemblance, c'est la somme de tous ces enrichissements plus ou moins transitoires et localisés qui constitue les grands upwellings tropicaux.

De la même façon qu'une zone euphotique stratifiée dans le Dôme d'Angola ressemble comme une soeur jumelle à celle du Dôme de Guinée et de la Divergence Equatoriale en saison chaude, il y a fort à parier que le fonctionnement des cellules unitaires de la mosaïque tourbillonnaire de l'upwelling de Mauritanie est voisin de celui de l'upwelling d'Angola ou de Californie.

Si l'on veut que les océanographies physique et biologique rejoignent la dynamique des populations marines, il faudra que les deux (ou trois) communautés acceptent de «descendre» au niveau de la méso-échelle (quelques jours à quelques semaines, quelques dizaines, à quelques centaines de kilomètres) pour y étudier la dynamique des phénomènes océanographiques présumés essentiels pour la ressource. C'était impossible avant l'arrivée des satellites, c'est encore aujourd'hui très difficile et cela ne résoudra pas tout. Mais au terme des trois étapes décrites plus haut, je suis convaincu que nous nous étonnerons de la naïveté (feinte ou réelle) des écrits d'aujourd'hui et du peu de pertinence des descripteurs de l'environnement utilisés à l'heure actuelle.

NOTES

(1) Il n'est pas exclu que les hypothèses soient fausses et que le cas n°2 conduise à des biomasses plus élevées. C'est l'étude du phénomène qui pourra le dire.

(2) On préfèrera le terme «géographie» à celui de «spatial» parce qu'il fait référence à une localisation ; le terme «spatial» reste trop conceptuel.

(3) Terme récemment introduit par Platt et Sathyendranath 1988.

RÉFÉRENCES

• Platt T. and Sathyendranath S. 1988. Oceanic primary production : Estimation by remote sensing at local and regional scale. Science, 241: 1613-1620.

• Munk W.H. and Farmer D.M. 1988. Bringing physical and biological observations into harmony. *In:* B.J. Rothschild toward a theory on biological, physicalinteractions in the world ocean. (èd.), 549-554.

• Salmon J.C. et Breton M. 1990. Courants de marée et courants résiduels dans la Manche. Environnement des mers épicontentales. Colloque International , Lille, 20-22 mars 1990

• Walters C.J., and Collie J.S. 1988. Is research on environmental factors useful to fisheries management ? Can. J. Fish. Aquat. Sci., 45: 1848-1854.

10 • Dynamique de la Zone Intertropicale de Convergence et climat des régions sahéliennes

JEAN CITEAU
Océanographe ORSTOM, CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal
GIL MAHÉ
Allocataire de Recherche de l'ORSTOM/Université Paris-Sud, CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal
HERVÉ DEMARCQ
Océanographe ORSTOM, CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal

RÉSUMÉ

Les satellites météorologiques fournissant un moyen original de suivre la position de la Zone Intertropicale de Convergence (ZITC), nous en avons dressé la chronique en analysant l'imagerie d'archive (NOAA/Meteosat) sur la période 1971-1987. Les anomalies climatiques ayant été, par le passé, attribuées à la position de la ZITC, une étude de celles-ci a été reprise en utilisant une information satellitaire (suivie le long de 28°W). Dans cette étude, il a été considéré que le débit du fleuve Sénégal représentait une référence significative du suivi de la sécheresse en région sahélienne. De même, ont été étudiés d'autres paramètres du climat tels que la température de surface océanique (TSM), le vent au niveau de la mer et, en altitude, le contenu en vapeur d'eau de la basse troposphère. Des études antérieures ayant suggéré qu'une position plus septentrionale de la ZITC devait se traduire par une saison des pluies au Sahel plus arrosée (la situation inverse devant aussi être vraie), nous avons observé que cette relation se trouvait mieux vérifiée durant les années 1970 que durant les années 1980. A côté de changements durables du climat, tels que l'indiquerait la persistance de débits déficitaires du fleuve Sénégal, ou la diminution de l'intensité de l'upwelling équatorial Atlantique, une analyse nouvelle de la position de la Zone de Convergence est proposée. Un schéma typique d'année sèche (ou humide) peut en effet être identifié, selon que la ZITC amorce sa migration vers le nord de façon précoce (ou tardive); ce nouveau paramètre qui peut aussi se traduire en termes de vitesse moyenne de migration de la ZITC vers le nord, permet de mieux différencier deux groupes d'années caractérisant des épisodes secs ou humides, sur l'ensemble de la série 1971-1987. La variabilité du contenu en humidité de la basse troposphère sur la période 1980-1987, indique la persistance d'anomalies durables à l'échelle inter-annuelle, et contredit l'acception selon laquelle ce paramètre ne serait pas un facteur limitant d'une bonne pluviométrie. Le transport de vapeur d'eau au dessus des régions sahéliennes semble être plus efficace quand le refroidissement équatorial est plus intense. En couplant les données de vapeur d'eau à celles de la position de la ZITC, il a été observé qu'une bonne pluviométrie sahélienne s'observait en présence d'une vitesse plus élevée de la remontée de la ZITC vers le nord, et d'une anomalie positive de la disponibilité en eau dans la basse troposphère.

ABSTRACT

Meteorological satellite imagery providing an original way to watch the ITCZ (Intertropical Convergence Zone), we followed its daily locations (along 28°W), using archive imagery (NOAA/Meteosat) which cover the 1971-1987 period. An attempt was made to study further some of the relationships between ITCZ locations, and climate anomalies in the Sahel, which was affected by periodic drought for the last seventeen

years. We assumed that runoff from the Senegal River was representative of the relative drought estimate for sahelian area, and we paid also a closer attention to some of the more frequently studied parameters, such as wind at sea level, sea surface temperature, and humidity content in the lower troposphere. As the rainfall amount in the Sahelian area was assumed to be related to the Northernmost position reached by ITCZ, we found a better fit of this assessment during the seventies than during the eighties. Beside a possible change of climate suggested either by the trend of the Senegal river runoff or, on the other hand, by the continuous tendency for less intense equatorial upwelling in the Atlantic, another analysis of the ITCZ migrations is proposed: a close look on the first half of the year, reveals typical wet (or dry) schemes of the ITCZ migration in reporting the date at which ITCZ begins its northward migration; a sooner (respectively later) date of northward ITCZ migration corresponds to dry (respectively wet) episodes during the rainy season in the Sahelian areas. This observation can also be reported in other words, by computing the « mean speed» of ITCZ during its northwards movement. The study of moisture content in the lower troposphere contradict the assessment according which, this parameter was not a limiting factor for rainy season. Taking into account the sea surface temperature (which primarily determines convective process), we observed that moisture transportation over Sahelian area seemed to be more effective when larger negative SST anomalies occur in the equatorial area. Coupling moisture analysis and ITCZ migration (1980-1987 period), wetter rainy seasons were observed each time that positive humidity anomalies coincided with a later northward ITCZ migration (or greater northward ITCZ speed).

INTRODUCTION

C'est l'ouverture de nouvelles routes aériennes qui a valu à la climatologie tropicale un réel développement; il est donc normal que ce soit à ce titre que nombre d'anciennes publications consacrées à ce sujet aient été éditées (parfois de façon anonyme) à l'usage des pilotes (Air France, 1965; rapports internes Asecna).

Plus proches de nous, les périodes de sécheresse prolongée qui ont affecté les régions sahéliennes ont justifié la poursuite de ces études vers une compréhension des anomalies du climat; on peut citer à ce titre les contributions de météorologistes de terrain (Dhonneur, 1985; Finaud, 1977), de géographes (Leroux, 1983), ou autres océanographes et climatologistes (Hastenrath, 1984; Lamb, 1978; Nicholson, 1980, 1981, 1983).

Selon les travaux, une importance plus particulière a été accordée à:

- la position de la Zone Intertropicale de Convergence (ZITC) durant la saison pluvieuse,
- l'importance des flux d'Est en altitude (African et Tropical Easterly Jets ou AEJ et TEJ).

Le premier de ces paramètres, qui fait référence à la position la plus septentrionale atteinte par la ZITC, a été le plus cité, car il se manifeste de façon très perceptible en surface de diverses manières: un minimum barométrique, une zone de convergence ou de confluence de vents, un maximum thermique de la Température de Surface de la Mer (TSM) ou en altitude un maximum de nébulosité (Hastenrath et Lamb, *ibid.*). A la diversité des définitions qui s'y rapportent, ajoutons enfin la trace au sol du FIT (Front InterTropical) déterminée par l'isohyète 25mm (Nicholson, 1981).

Le fait, d'une part, que l'imagerie satellitaire permette d'identifier clairement cette zone de convergence, et que, d'autre part, l'archive déjà constituée auprès de la NOAA remonte à 1971, justifiait donc qu'une analyse systématique en fût réalisée, et une comparaison des résultats entreprise, avec ceux déjà obtenus à partir des seuls paramètres de surface. Tel est l'objet de la présente étude.

De la variété des propositions présentées, nous avons tenté de faire une synthèse critique en essayant de les confronter (quand cela était possible) à nos propres séries de données, à savoir la ZITC à 28°W et la TSM dans le Golfe de Guinée.

SYNTHÈSE DES TRAVAUX ANTÉRIEURS

Les conclusions rapportées principalement par Hastenrath et Lamb (1977), Lamb (1978), Hastenrath (1984), se fondaient essentiellement sur des observations de température de surface océanique en océan Atlantique et de pression barométrique au niveau de la mer (celle-ci déterminant la position de la ZITC), ou encore sur la trace au sol du FIT (Nicholson, 1981, 1983). Nous en rappelons ci-après les principaux éléments concernant les zones sahéliennes.

Pour Hastenrath et Lamb (1977), une bonne pluviométrie dans ces régions s'observerait en présence d'anomalies négatives de la température de surface océanique dans le Golfe de Guinée et simultanément à une position plus septentrionale de la ZITC, les situations opposées (en TSM, position de la ZITC et pluviométrie) devant être également vraies. Nicholson (1980, 1981, 1983) qui ne fait référence qu'à la trace de l'isohyète 25mm sur le continent considère au contraire que seule une position plus méridionale de la Zone de Convergence peut être associée à une mauvaise pluviométrie, la situation opposée n'étant pas nécessairement vraie.

En ce qui concerne les paramètres d'altitude, les travaux de Dhonneur (1985), Lambergeon *et al.*(1981), s'accordent à attribuer un rôle déterminant aux flux d'Est en altitude (African et Tropical easterly Jets, respectivement AEJ et TEJ): de bonnes saisons des pluies en Afrique sahélienne s'observeraient avec un TEJ fort et un AEJ faible (les résultats opposés devant là-aussi être vrais). Par ailleurs, selon Dhonneur, la vapeur d'eau ne constituerait pas un facteur limitant, les épisodes humides ou secs n'ayant pas montré de différences significatives pour ce paramètre déduit de radiosondages au dessus de Niamey.

Enfin la répartition spatiale des pluies en Afrique de

l'Ouest est connue d'après une étude statistique due à Janicot (1985); elle permet de distinguer plusieurs zones de pluviométrie homogène: l'une d'elles située au nord de 7°N, peut être assimilée à la région sahélienne, l'autre se trouvant au sud de ce parallèle, correspond à la région de la Basse Côte; ces régions ont pour particularité de présenter des anomalies pluviométriques de signes opposés lors de conditions climatiques extrêmes (large excédent ou déficit en pluie).

DONNÉES ET MÉTHODE

Notre première démarche a été de tenter la réalisation d'une série temporelle de 1971 à 1988 des différents paramètres que sont la position de la ZITC, la TSM et les flux et humidité en altitude.

La positions de la ZITC a été suivie, le long de 28°W (à mi-chemin des continents sud-américain et africain), dans une région moins soumise au influences continentales. Suivant une définition de la ZITC donnée par Frank (1983), «the East-West line of maximum convection», la localisation des nuages convectifs a été systématiquement effectuée à partir d'une image par jour disponible sur support photographique de 1971 à 1984 (imagerie NOAA); de 1985 à 1987, c'est la donnée numérique fournie par la série METEOSAT qui a été traitée en réalisant une image de synthèse par «maximum thermique» à partir de 8 images par jour (Citeau *et al.*, 1984). Que ce soit sur le plan de la définition physique de la ZITC, ou celui de la région étudiée, ce canevas d'étude reste très proche de celui qui a été effectué par Hastenrath et Lamb *(ibid.)*.

La nécessité de choisir une base de temps pour représenter cette série de données (entre la pentade, la décade ou la semaine fréquemment utilisée par les océanographes) nous a conduit à définir des valeurs moyennes de la position de la ZITC par quart de mois. La série temporelle ainsi constituée couvre la période de 1971 à 1989.

La température de surface dans le Golfe de Guinée a été également calculée, mais sur un domaine limité à la région où se mesurent chaque année les températures les plus faibles de l'upwelling équatorial: celui-ci en effet d'après l'imagerie METEOSAT peut être circonscrit à la région 2N-2S, 8W-12W (Citeau *et al.*, 1984). Les données de TSM nécessaires ont été tirées des atlas de Picaut *et al.* (1985), et Servain *et al.* (1987) qui les fournissent sur une base mensuelle.

Enfin des données d'altitude, produites par les analyses quotidiennes du Centre Européen de Reading, pour la période 1980-1987, nous avons extrait le vent aux niveaux 1000 et 200 hpa, et calculé le contenu intégré en vapeur d'eau de 1000 à 300 hpa, aux noeuds d'un réseau de 2.5°x2.5°.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Si le schéma simplificateur, qui veut qu'une bonne (respectivement mauvaise) pluviométrie sahélienne soit observée lors d'anomalies négatives (positives) de TSM et de position plus septentrionale (méridionale) de la ZITC, s'avère généralement acceptable pour les années 70, il ne l'est pas toujours pour les années 80: pour ces dernières en effet, les observations indiqueraient soit une insuffisance (peu vraisemblable) du schéma proposé, soit une modification durable du régime climatique (Citeau *et al.*, 1986): En effet, l'analyse de la TSM dans le carré 2N-2S, 8W-12W, révèle que des upwellings équatoriaux voisins de la norme (1972, 1982, 1983) ou présentant même d'importantes anomalies négatives (1976) peuvent co-exister avec des périodes de sécheresse sahélienne.

De même, au titre des variations à long terme en TSM, en regroupant les valeurs moyennes mensuelles de température de surface océanique sur l'ensemble de la période de l'hivernage (juillet à septembre), on observe une tendance nette à un réchauffement (sur le long terme) de la région équatoriale dans le Golfe de Guinée (fig.1). Dans le même temps, la moyenne effectuée sur les mois de saison sèche (janvier à mars) ne fait apparaître aucune tendance.

En ce qui concerne la ZITC le long de 28°W, ont été tracées les enveloppes des positions observées lors d'épisodes typiquement secs ou typiquement humides (fig.2). D'après ces courbes, aucune différence significative n'apparaît entre années sèches et années humides, quant à la position la plus septentrionale atteinte par la ZITC en été boréal; le désaccord apparent entre notre analyse et celles des travaux précédemment cités doit être davantage recherché soit dans une modification récente du climat (celle-ci serait plus manifeste sur notre série temporelle plus récente), soit encore dans le fait que les séries de paramètres étudiés ne sont pas strictement identiques.

Par contre, on peut observer que de janvier à mai, au coeur de la saison sèche sahélienne, les positions de la ZITC en épisode sec ou en épisode humide se différencient nettement mieux (fig. 2); ceci revient encore à distinguer les deux types d'années par la vitesse de remontée de la ZITC vers le nord durant les mois précédant l'hivernage. Bien qu'un mécanisme physique soit nécessaire à la compréhension des phénomènes, l'indication qualitative ainsi fournie sur la tendance de l'hivernage à venir nous a semblé suffisamment intéressante (Citeau *et al.*, 1988), pour être validée sur une période plus longue, soit de 1971 à 1987.

Une étude comparative (non publiée) entre pluviométrie au «Nordeste» brésilien et pluviométrie sahélienne a montré qu'un certain parallélisme est manifeste entre pluviométrie au «Nordeste» (janvier à avril), et pluviométrie sahélienne (juillet à septembre): en cas d'année remarquablement excédentaire ou déficitaire, ces anomalies s'observent avec le même signe au «Nordeste» et au Sahel. Cette similitude disparaît quand les anomalies climatiques sont peu importantes.

Si l'on peut comprendre que la pluviométrie de la région du «Nordeste» répond directement à la sollicitation de la ZITC localisée à l'ouest des côtes brésiliennes, la relation qui semble exister entre pluviométrie

Fig. 1

Température de surface océanique de juillet à septembre dans le carré 2N-2S,8W-12W.

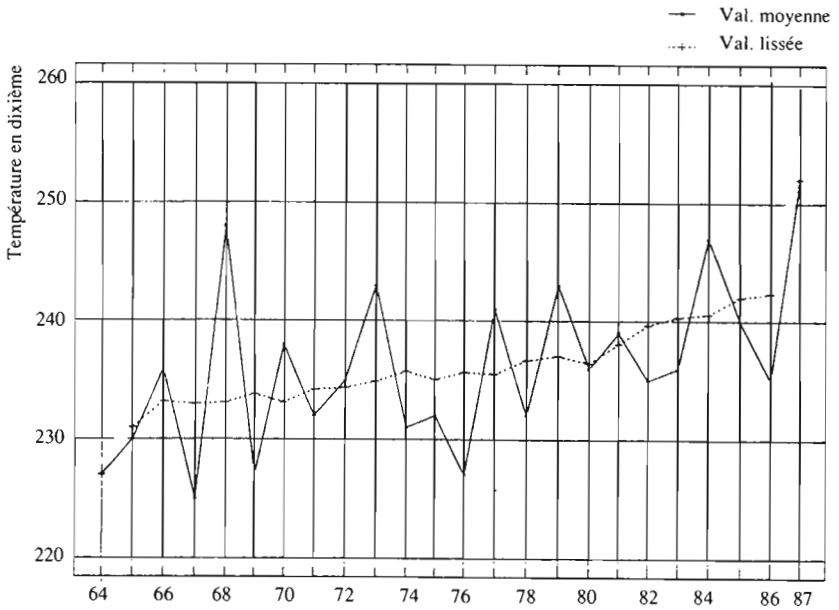


Fig. 2

Positions de la ZITC en épisodes sec et humide pour la région sahélienne.

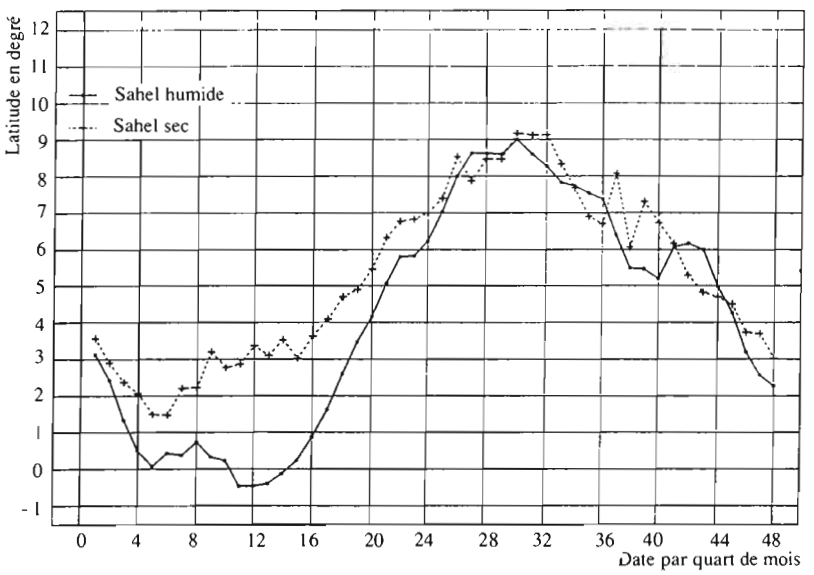
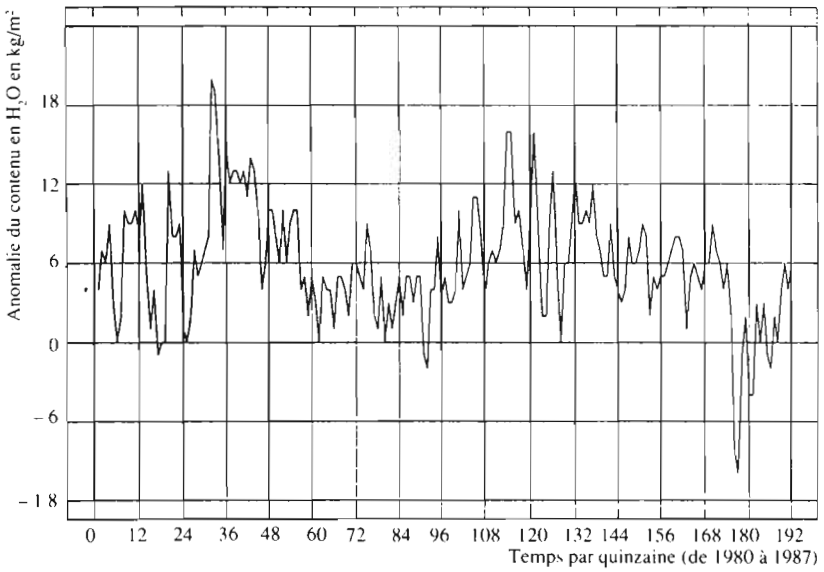


Fig. 3

Anomalie du contenu intégré en vapeur d'eau de 1000 à 300 hpa en kg/m^2 dans la zone «Sahel».



en région sahélienne et ZITC à 28°W est nettement moins évidente à établir, celle-ci ne pouvant se concevoir que si l'on admet que la ZITC traduit également à une plus grande échelle les anomalies du climat.

L'analyse du champ de vent en altitude ne permet pas de suivre toutes les conclusions de Dhonneur *(ibid.)* sur l'importance des flux AEJ et TEJ relatifs à la qualité de l'hivernage; toutefois, un AEJ fort semble géner le développement de la convection et est observé en différentes années sèches. La situation inverse n'est cependant pas aussi nette. De même, en ce qui concerne enfin la vapeur d'eau disponible, l'étude que nous avons faite sur la période 1980-1987 a montré que celle-ci n'était pas disponible de la même façon chaque année. En prenant pour climatologie la moyenne mensuelle des situations fournies par l'analyse du Centre Européen, l'anomalie du contenu intégré en vapeur d'eau de 1000 à 500hpa a été calculée de 1980 à 1987; La figure 3 montre que des anomalies positives ou négatives peuvent s'observer continuement sur plusieurs années.

Une première analyse de cette figure permet de reconnaître parmi les années à anomalies négatives, celles qui se signalèrent au cours de cette période, par de remarquables sécheresses (années 82, 83 et 87). La situation inverse (anomalie positive de contenu en vapeur d'eau) peut se traduire (années 85, 86), mais non nécessairement (années 80, 81) par de meilleures pluviométries.

CONCLUSIONS PRÉLIMINAIRES

Si l'on admet que la vapeur d'eau des régions sahéliennes provient essentiellement de l'Atlantique sud, on peut admettre que cette dernière soit toujours disponible en quantité suffisante au dessus de l'océan tropical, quel que soit le signe des anomalies de TSM.

Le transport de cette vapeur d'eau est lié à l'intensification des alizés de sud-est, ces derniers étant eux-même responsables (pour partie) du déclenchement de l'upwelling équatorial (Servain, 1984); la présence d'un upwelling fort, traduction d'un flux de mousson fort et épais, ne suffit cependant pas à assurer un bon hivernage en zone sahélienne.

L'étude de la migration de la ZITC, analysée d'après sa vitesse de remontée vers le nord, met en évidence des différences de quantité de mouvement entre épisodes secs et épisodes humides.

Des résultats précédents, on peut tirer l'analyse suivante qu'un bon hivernage en région sahélienne puisse résulter d'une présence de vapeur d'eau (facteur limitant à partir d'un certain seuil) et d'une condition dynamique demandant à être validée par un mécanisme physique: vitesse de remontée de la ZITC vers le nord plus importante, ou encore remontée tardive de la ZITC.

L'analyse des processus favorisant la convection et la pluviogenèse reste à faire ; elle est actuellement amorcée par l'étude des flux d'altitude.

BIBLIOGRAPHIE

• Air France, 1965. Climatologie Afrique, Doc. Nav. Infra., M3, Ed. Département des vols, Division Navigation Infrastructure, Air France Roissy, 145 p.

• Citeau, J., B. Guillot and Lae R. 1984. Opération Listao: Reconnaissance de l'environnement physique en Atlantique intertropical à l'aide des satellites Meteosat et Goes-E, Ed.ORSTOM IDT sér. Télédetection, 63, 10, 28p.

• Citeau J.,Finaud L.,Cammas J.P. and Gouriou Y.1986. Questions about the ITCZ migration over the tropical Atlantic, sea surface temperature in the Gulf of Guinea and the runoff of Senegal river.Proceedings of the 6e Meteosat Scientific User's Meeting, Amsterdam, 25-27 november 1986.EUM P01,vol 2,edited by Eumetsat, Darmstadt (RFA).

• Citeau J,Berges J.C.,Demarcq H. et Mahé G.1988. The watch of ITCZ migrations over the tropical Atlantic ocean as an indicator in drought forecast over the sahelian area, TOAN, 45, 1-3.

• Dhonneur, G. 1985. Traité de Météorologie tropicale. Ed. Direction de la Météorologie Nationale Paris, 151p.

• Finaud, L.1977. Mousson et perturbations mobiles sur l'Afrique de l'Ouest. Conférence Technique sur l'utilisation des données de l'ETGA. Le Caire, 3-8 dec 1977, Université du Caire éd.

• Frank, W.M.1983. The structure and energetics of the East Atlantic intertropical convergence zone. J. Atmos. Sci., 40, 1916-1929.

• Hastenrath, S. and P. Lamb. 1977. Some aspects of circulation and climate over the Eastern equatorial Atlantic. Mon.Wea. Rev., 106, 1280-1287.

• Hastenrath, S. 1984. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic sector. Mon. Wea. Rev., 112, 1097-1107.

• Janicot S.1985. Analyse spatiotemporelle du champ de précipitations annuelles sur l'Afrique de l'ouest et l'Afrique centrale. Veille Climatique Satellitaire, 10,32-44, Orstom Lannion éd.

• Lamb, P.J. 1978. Case studies of the tropical Atlantic surface circulation patterns during recent sub-saharan weather anomalies: 1967 and 1968. Mon. Wea. Rev., 106, 4, 482-491.

• Lambergeon, D., S. Dzietara and Janicot R. 1981. Comportement du champ de vent sur l'Afrique occidentale. La Météorologie, 25, 69-82.

• Leroux, M. 1983. Le climat de l'Afrique tropicale. Ed. Champion/ Slatkine Paris/Genève, t.1: 633pp, 350 fig., t.2: 24p, 250 fig.

• Nicholson, S.E. 1980. The nature of rainfall fluctuations in subtropical West Africa. Mon. Wea. Rev., 108, 473-487.

• Nicholson, S.E.1981. Rainfall and atmospheric circulation during drought and wetter period in West Africa. Mon. Wea.Rev., 109, 2191-2208.

• Nicholson, S.E. 1983. Sub-saharan rainfall in the years 1976-80: Evidence of continued drought. Mon. Wea. Rev., 111, 1646-1654.

• Picaut, J., J. Servain, P. Lecomte, M. Seva, S. Lukas and Rougier G. 1985. Climatic Atlas of the tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature 1964-1979. Université de Bretagne Occidentale-University of Hawaã, 467 pp.

• Servain, J. 1984. Réponse océanique à des actions éloignées du vent dans le golfe de Guinée en 1967-1968. Oceanol. Acta, 7, 297-307.

• Servain, J., M. Seva, S. Lukas and Rougier G. 1987. Climatic atlas of the tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature: 1980-1984, Ocean-Air Interactions. 1, 109-182.

11 • La variabilité des apports fluviaux au golfe de Guinée utilisée comme indice climatique

GIL MAHÉ
Allocataire de Recherche de l'ORSTOM/Université Paris-Sud,
CRODT/ISRA B.P. 2241 Dakar, Sénégal

RÉSUMÉ

L'analyse des débits de plusieurs fleuves qui se jettent dans le golfe de Guinée entre 5°N et 6°S indique que la pluviométrie des années cinquante a été moyenne dans les régions arrosées par la mousson atlantique, que durant les années soixante elle a été excédentaire et qu'à partir de 1970 elle présente des déficits plus ou moins importants dans l'ensemble des pays riverains du golfe. Des variations locales existent principalement entre les fleuves de la côte nord du golfe et ceux de l'Afrique équatoriale, ces derniers accusant en moyenne des baisses beaucoup plus faibles de débit. Les grandes variations climatiques sont donc inscrites dans les variations de débit des fleuves. A la baisse générale des débits depuis 1970, on peut mettre en parallèle la diminution quasi continue de l'intensité de l'upwelling équatorial atlantique, proche de 1°C depuis vingt ans. Ces observations ainsi que la sécheresse au Sahel sont le fruit d'une évolution climatique sensible et d'une durée jamais observée au cours de ce siècle.

ABSTRACT

The rivers' runoff variations depend directly on climatic fluctuations which regulate precipitations. In the regions of Africa around the Guinea gulf in which the monsoon flow penetrates largely, climatic studies which use precipitation data often lead to controversial conclusions from one author to another. The analysis of the runoff of several rivers from the Ivory-Coast to the Congo river, from 1951 to 1980, indicates that the total amount of precipitations during the fifties was near the global mean of 1951- 1980, that during the sixties the mean runoff for the whole rivers is above the global mean, and that since 1970 to the middle of the eighties, the down trend is continuous. Some local variations can be evidenced, mainly between the North coast of the Guinea gulf and the Equatorial rivers, for which the runoff down trend is very slight. The continuous runoff down trend since 1970 can be compared to the increasing, of about 1°C, of the mean July-September sea surface temperature from 1964 to 1987 in the region of the Equatorial Atlantic upwelling. Conditions that appeared twenty years ago during drought years over Sahel, i.e. runoff decrease and warming of the Equatorial Atlantic upwelling, are more frequently observed as the drought over Sahel persists.

INTRODUCTION

Depuis la grande sécheresse de 1972-1973 au Sahel, les variations du climat en Afrique et les mécanismes de la mousson ont été au centre de nombreuses études. L'analyse spatio-temporelle des pluies sur de longues séries permet la distinction d'années sèches et d'années humides sur le Sahel, à partir d'indices qui sont calculés en utilisant les données de stations réparties dans la bande sahélienne (15° à 20° nord) (Nicholson, 1981) ou sahélo-soudanienne (10° à 20° nord) (Lamb, 1983;

Bah, 1987). Lamb (1983) et Bah (1987) obtiennent des valeurs très différentes pour les années 1959, 1960, 1961, 1963, 1966, 1969 et 1970, principalement à cause de l'hétérogénéité de la répartition des pluies dans ces régions où l'essentiel des précipitations provient de phénomènes de type ligne de grain. Ces perturbations locales et violentes sont opposées dans la littérature aux précipitations régulières qui arrosent les monts de Guinée, toutes les côtes du golfe de Guinée depuis le cap des Palmes jusqu'au sud du Zaïre et l'Afrique centrale. Outre l'inégalité de répartition géographique des pluies, la représentativité des stations pluviométriques vis-à-vis de périmètres plus étendus se heurte aux problèmes liés à l'influence du relief (Guillot *et al.*, 1988).
Citeau *et al.* (1986, 1988) à partir des travaux d'Olivry (1983), ainsi que Mahé (1987), ont utilisé les débits des fleuves dans le même but d'obtenir un indice de qualité de la saison des pluies. Un fleuve intègre les précipitations d'une grande surface géographique et le calcul des variations de son débit fournit un indice directement corrélé à la qualité de la pluviométrie du bassin-versant. L'étude de la variabilité interannuelle des apports fluviaux au golfe de Guinée nous renseigne sur les grandes variations climatiques de ces trois dernières décennies: années cinquante moyennes, apports excédentaires dans les années soixante et déficitaires depuis 1970. La répartition spatiale et temporelle des apports fluviaux depuis le cap des Palmes jusqu'à l'embouchure du Congo de 1951 à 1980 est présentée et quantifiée. Les variations de débit, concomitantes à celles des précipitations, ont des répercussions sur la qualité des eaux océaniques de surface, en particulier sur la salinité - dessalure très prononcée du fond de la baie de Biafra (moins de 20 $g.l^{-1}$) et de l'embouchure du Congo - et par là sur le fonctionnement de l'écosystème marin (Binet 1983a et 1983b).
Enfin, l'examen de séries de températures de surface de la mer en Atlantique équatorial amène à discuter d'une éventuelle rupture climatique à partir de 1970, comme le suggèrent Carbonnel et Hubert (1985).

DONNÉES ET MÉTHODES

Les fleuves

Nous avons étudié 13 fleuves sur l'intervalle 1951-1980, période de référence définie par l'organisation météorologique mondiale. Ces fleuves sont de l'ouest à l'est et du nord au sud: le Sassandra, la Comöé (Côte-d'Ivoire), le Mono (Togo), l'Ouémé (Bénin), le Mungo, le Wouri, la Sanaga, le Nyong et le Ntem (Cameroun), l'Ogooué, la Nyanga (Gabon), le Kouilou (Congo) et le Congo (fig.1). Les données de débits mensuels proviennent de l'ORSTOM et sont complétées par différents annuaires hydrologiques nationaux. Les données des fleuves camerounais sont extraites d'Olivry (1986). Nous n'avons pas obtenu de renseignements du Ghana ni du Nigéria. Le Niger n'est connu à Onitsha (avant le delta) qu'au niveau moyen (Rodier, 1964; Balek, 1983) et le barrage d'Akosombo à l'aval de la Volta ne permet pas une étude des débits réels à l'embouchure, de même pour le Bandama en Côte-d'Ivoire.
Depuis 1970, un barrage module les débits de la Sanaga en amont d'Edea, les moyennes mensuelles sur la période 1951-1980 en sont donc affectées, surtout en période d'étiage. Pour calculer l'apport total d'eau continentale au golfe de Guinée nous avons dû estimer les débits de certains fleuves, côtiers pour la plupart, soit à partir d'études préexistantes, soit par extrapolation entre deux zones connues, compte tenu des variations de précipitations. Quand les moyennes dataient d'avant 1970 (cas du Niger et de la Volta en particulier), nous avons appliqué un facteur correcteur tenant compte de la baisse générale des débits au cours de cette décennie. Calculé à partir des données du Mono à Tététou, de l'Ouémé à Savé, du Wouri à Yabassi, de la Sanaga à Edéa, du Ntem à Ngoazik et du Kouilou à Sounda, il vaut 1,075.

Les pluies

Nous avons analysé les valeurs de précipitations mensuelles de 96 stations réparties dans l'ensemble du bassin versant global, sur la période 1951-1980. Les données proviennent du service hydrologique de l'ORSTOM et sont complétées par différents annuaires nationaux, les annuaires de la France d'Outre-Mer et des microfiches de l'ASECNA. Les données de pluie du Ghana et du Nigéria sont extraites de résumés mensuels publiés par les services de la météorologie américaine.

Les données océanographiques

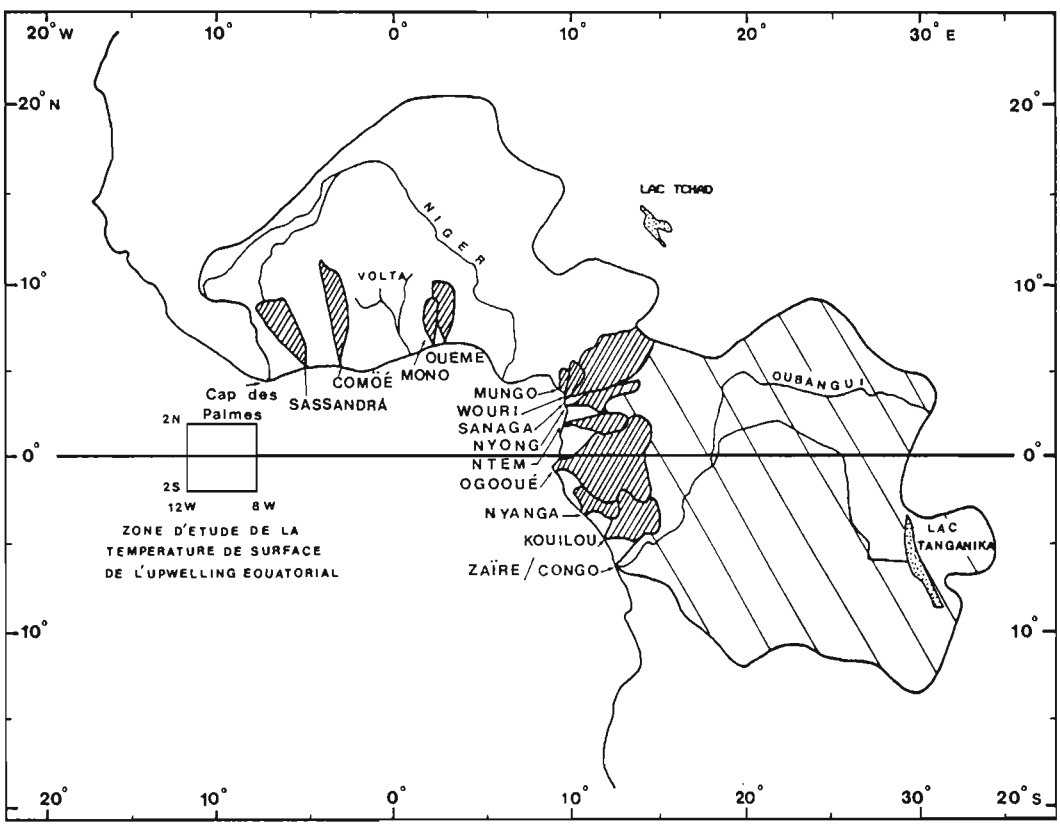
Les températures de surface de la mer proviennent du fichier élaboré à partir des données bateaux marchands sur la période 1964-1984 (Picaut *et al.*, 1985, actualisé par Servain jusqu'en 1984) et des données bateaux collectées par la météorologie nationale française pour les années 1985 à 1987.

LE CADRE PHYSIQUE

Le bassin-versant global des fleuves qui se jettent dans le golfe de Guinée entre le cap des Palmes (5°N) et l'embouchure du Congo (6°S) couvre une superficie de 7,5 millions de km^2 dont 3,5 pour le seul bassin versant du fleuve Congo.
«L'essentiel de l'humidité apportée sur l'Afrique occidentale et centrale provient de l'hémisphère sud et est transportée par le flux dirigé par l'anticyclone de Sainte-Hélène. Avant d'atteindre le continent, ce flux transite par le golfe de Guinée, où il peut subir des transformations importantes» (Leroux, 1980; Wauthy, 1983), dues en particulier aux variations de la température de surface de la mer (Lamb, 1978. Hisard, 1980).
En Afrique centrale et dans le sud de l'Afrique occidentale, les pluies sont principalement de type mousson. Les lignes de grain apportent l'essentiel de la pluie dans les régions sahéliennes, qui sont les plus sensibles aux variations de précipitations. Elles utilisent la vapeur d'eau advectée par le flux de mousson de sud-ouest,

Fig. 1

Localisation des bassins versants étudiés. En grisé, les bassins étudiés sur la période 1951-1980.



mais trouvent leur origine dans la circulation zonale (Leroux, 1980).

Au nord de 5°N, la répartition des pluies est principalement zonale ainsi que dans les régions côtières situées sous 3-4°S (nord Congo, Zaïre) (fig.2). C'est entre ces deux régions au coeur du golfe de Guinée que les précipitations sont les plus abondantes et principalement autour de Libreville au Gabon et du Mont Cameroun. Les isohyètes y sont orientées nord-sud et la charnière entre les deux types de répartition suit les massifs camerounais de l'Adamawa à partir du Mont Cameroun en direction du nord-est.

RÉSULTATS

Analyse globale des débits

La figure 3 représente les variations d'hydraulicité des 13 fleuves étudiés de 1944 à 1986 (13 données par an de 1951 à 1980). Ces variations reflètent celles de cinq grandes zones géographiques (fig. 4): la zone Afrique occidentale (Sassandra, Comöé, Mono, Ouémé), la zone Cameroun nord (Mungo, Wouri, Sanaga), la zone Cameroun sud (Nyong, Ntem), la zone Equateur (Ogooué, Nyanga, Kouilou) et le Congo.

L'hydraulicité moyenne des années cinquante est proche de 1, sauf pour les fleuves de la zone Afrique occidentale (1,2). Ces fleuves ont une extension nord-sud, le nord de leurs bassins versants s'approche des zones sahélo-soudaniennes qui ont connu durant les années cinquante des excédents de pluie (Nicholson, 1981).

En 1958, un déficit important est enregistré à la fois dans les pluies et dans les débits (fig.5), pour presque tous les fleuves, sauf le Wouri. Dans toute la zone Cameroun nord, l'année 1958 n'est pas ressentie comme très déficitaire (hydraulicité moyenne de 0,96). Les pluies y sont proches de la moyenne en général et même supérieures à Douala. De même, les pluies sont excédentaires dans les régions sahéliennes. Le débit moyen du Niger cette année là est de 1318 $m^3.s^{-1}$ à Niamey, par conséquent supérieur à la moyenne 52-79 (1017 $m^3.s^{-1}$) (Brunet-Moret *et al.*, 1986), alors que partout ailleurs la baisse de débit est considérable.

Durant les années soixante, dans toutes les zones, l'hydraulicité moyenne est supérieure à la normale 1951-1980. Durant cette décennie, on observe une augmentation générale des débits, sauf dans la région Cameroun nord (fig.4). La majorité des maximums est concentrée dans les années soixante (fig.5). Le Congo atteint en 1962 un module d'amplitude séculaire: 56000 $m^3.s^{-1}$(année civile). En 1963, le Mungo et le Wouri sont déficitaires (minimum pour le Mungo), alors que c'est l'année record pour l'écoulement entre 1944 et 1986 dans la zone d'étude globale autour du golfe de Guinée. En 1966, toutes les régions situées au sud du Mont Cameroun enregistrent une forte hausse des débits qui ne se ressent pas dans la zone Cameroun nord (fig. 4 et 6).

En 1967, les débits des fleuves de Côte-d'Ivoire sont déficitaires alors que ceux de l'Ouémé et du Mono, un peu plus à l'est, sont excédentaires. Dans le même temps, l'upwelling ivoirien est plus intense cette année là que son homologue béninois (Hisard, 1980). De même, l'année 1968 est marquée en Afrique occidentale par une hausse très forte des débits (fig.4 et 5) (maximums de la Comöé et du Mono) qui n'est pas observée ailleurs. L'hydraulicité moyenne de la zone Afrique occidentale en 1968 est de 2 pour 4 fleuves. Cette valeur déporte vers le haut l'hydraulicité moyenne de l'ensemble des fleuves du golfe (fig.3). Hisard (1980) relie là encore ces variations locales aux anomalies de température de surface au large des côtes ivoiro-béninoises et à l'anomalie de température de surface de l'upwelling équatorial atlantique (presque inexistant).

En 1961, la zone équatoriale sud enregistre une hausse générale des débits, alors qu'ailleurs la tendance est à la baisse (fig.4 et 6). Dans cette zone, comme dans la zone d'Afrique occidentale, se produisent des upwellings côtiers. Leur variabilité en intensité et en durée peut être là aussi mise en parallèle avec les variations de pluies et de débits sur le continent, ce qui n'implique pas a priori de relation de cause à effet (Leroux, 1982).

Enfin, en 1970, alors que la majorité des fleuves présente des débits supérieurs à la moyenne, les fleuves d'Afrique occidentale amorcent déjà une baisse (fig.4 et 6). La limite est nette, sur les figures 4 et 5, entre les années soixante, durant lesquelles les maximums sont concentrés et les hydraulicités supérieures à la moyenne, et la décennie suivante qui enregistre la majeure partie des minimums depuis 35 ans.

Au cours de la décennie soixante-dix, et plus encore pendant les années quatre-vingt, tous les fleuves ont enregistré des déficits de débit très importants, en particulier ceux de la zone Afrique occidentale. Les minimums se situent principalement sur deux périodes (fig. 5): 1983-84 et 1972-73. En 1972 et 1973, 75% des stations pluviométriques étudiées sont en déficit par rapport à la normale 1951-1980. Sur la figure 6, la transition est nette entre les années soixante à hydraulicité supérieure à la moyenne (rectangles noirs) et la période de déficits qui suit (rectangles blancs). Les 5 grandes zones définies précédemment se retrouvent sur cette figure. Le découpage est surtout visible à partir de 1970. La région du Mont Cameroun s'individualise par des variations parfois inverses de la tendance générale comme en 1984, 1982, 1973 et 1963. Les grandes quantités d'eau, qui s'écoulent depuis cette région vers le fond de la baie de Biafra (plus de 10 m par an à Débundsha au pied du Mont Cameroun), participent à la dessalure importante qui y est enregistrée (moins de 20 $g.l^{-1}$). De fortes variations de précipitation autour de la baie pourraient induire en surface des contrastes importants de salinité, que ce soit entre 3°N et la côte entre Fernando-Poo, le Mont Cameroun et Douala où les précipitations influencent très nettement la salinité (Donguy *et al*, 1964), ou plus au large «où le rôle des apports fluviaux semble dominer».

Fig. 2

Carte des isohyètes annuelles moyennes (1951-1980)
au dessus de l'Afrique occidentale
et centrale.

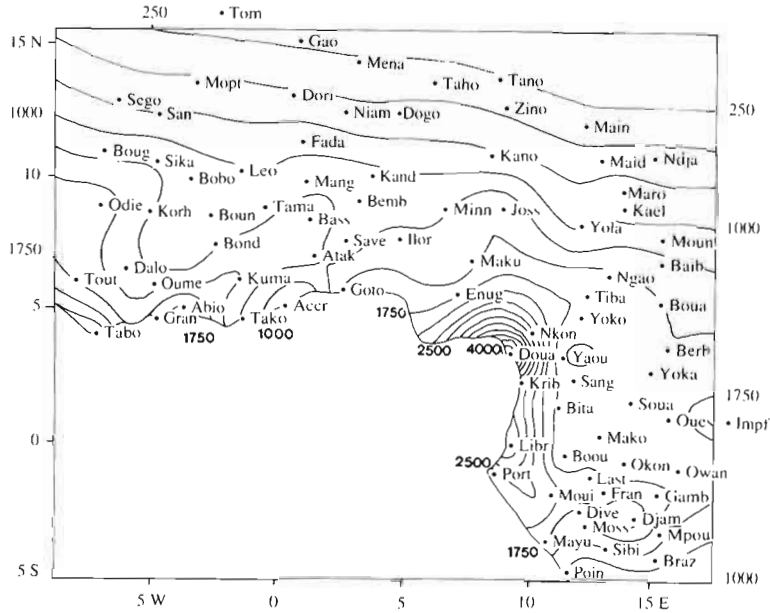


Fig. 3

Variations de l'hydraulicité moyenne des 13 fleuves
étudiés de 1944 à 1986.

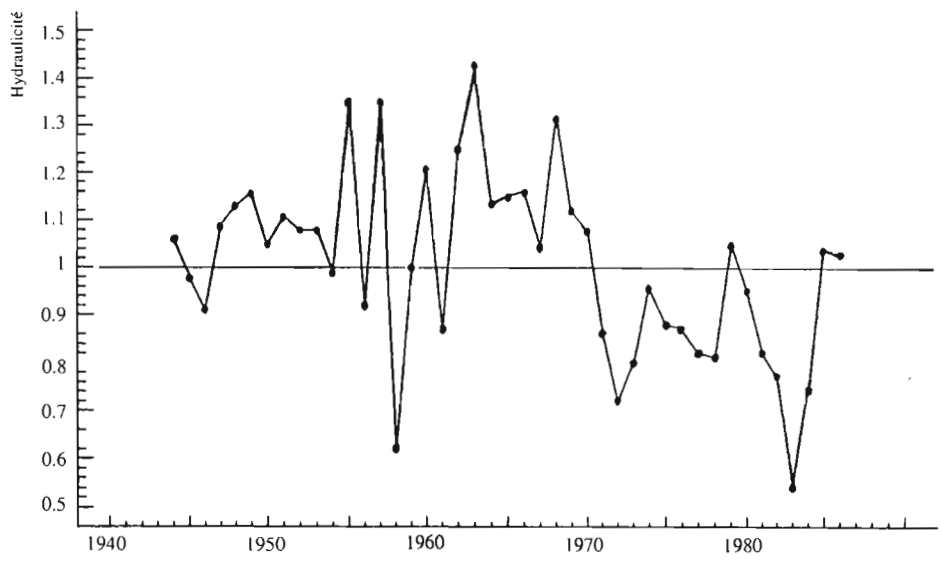
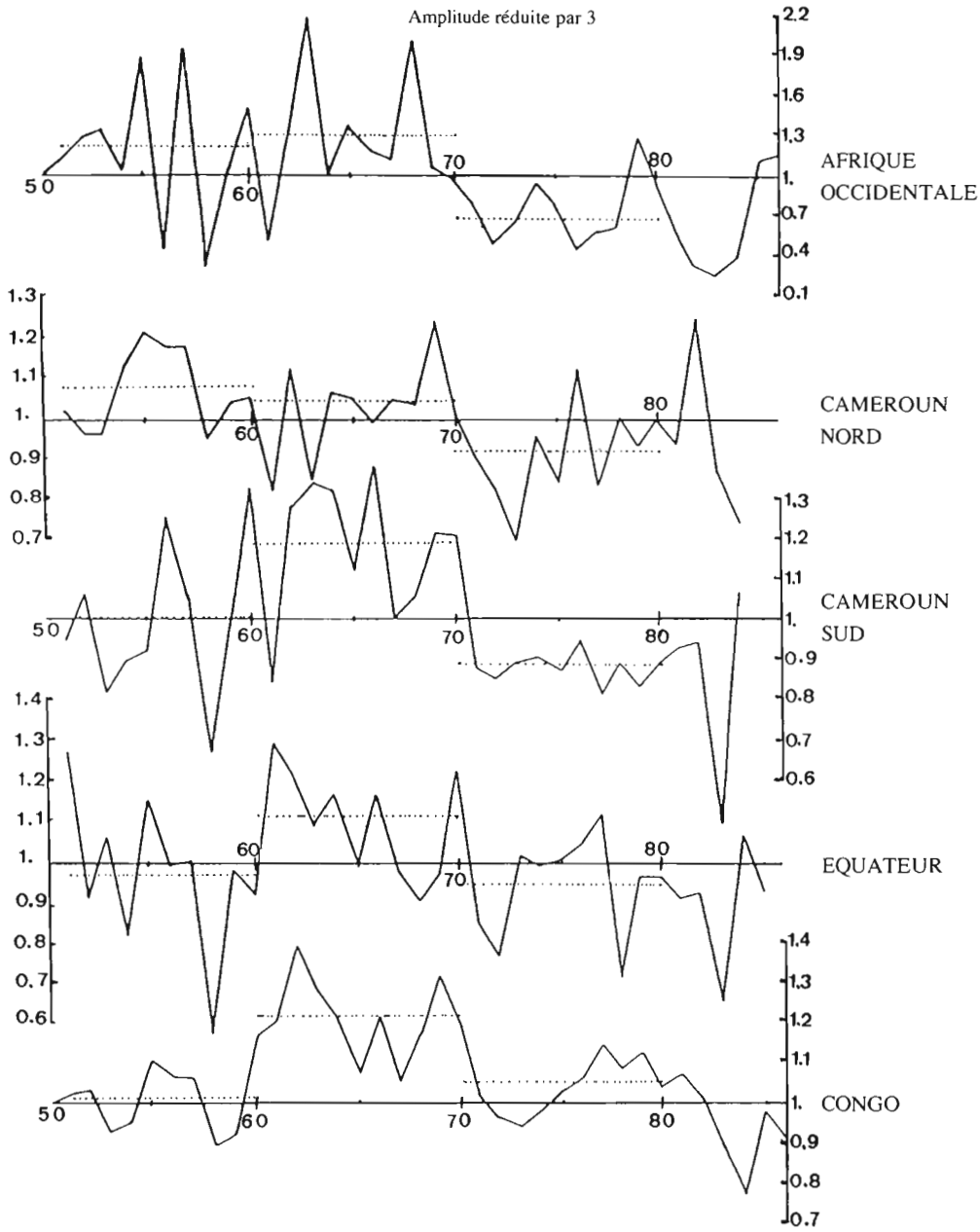


Fig. 4

Variations de l'hydraulicité moyenne des 5 zones. L'hydraulicité du Congo est définie à partir de son débit moyen calculé sur la période 1903-1986. Les pointillés représentent les hydraulicités moyennes par groupes de 10 années. Compte tenu de la très forte variabilité des débits des fleuves de la zone Afrique occidentale, l'échelle de la première courbe a été multipliée par trois.



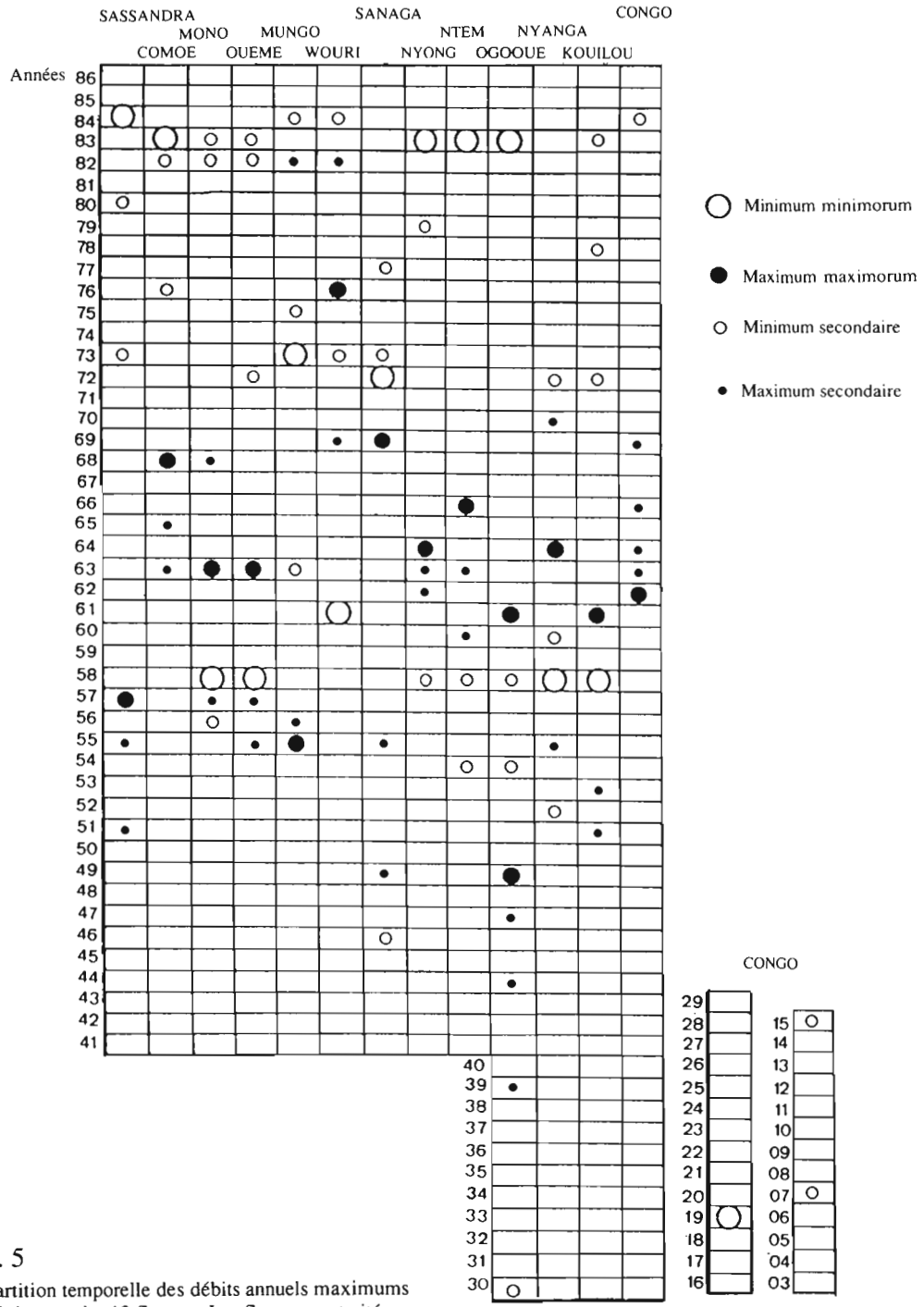


Fig. 5

Répartition temporelle des débits annuels maximums et minimums des 13 fleuves. Les fleuves sont cités suivant leur ordre d'apparition le long de la côte depuis le cap des Palmes (5°N) jusqu'à l'embouchure du Congo (6°S).

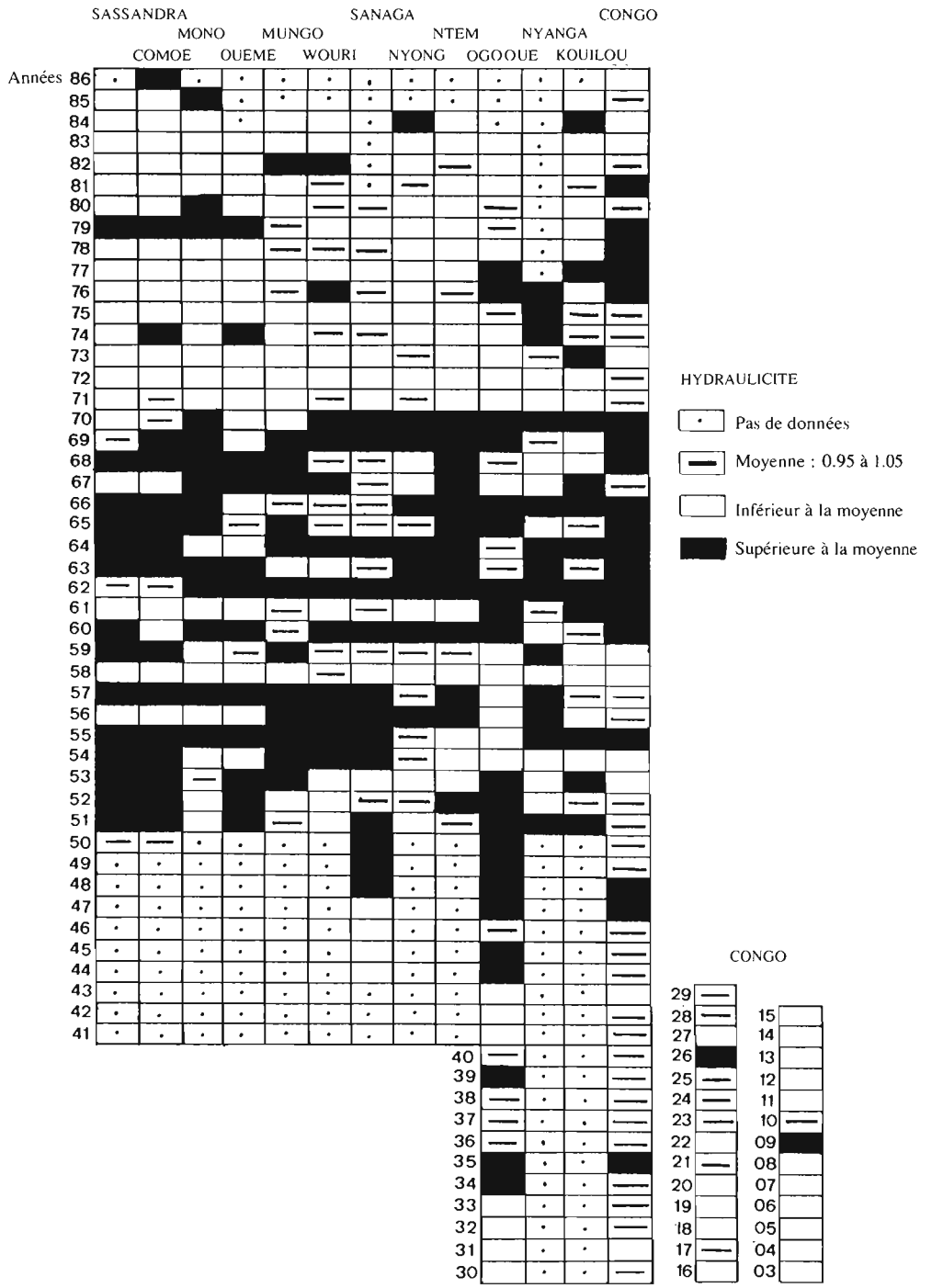


Fig. 6

Hydraulicités comparées des 13 fleuves étudiés.
Même ordre que la figure 5.

Binet a étudié l'influence des apports fluviaux sur la production primaire de phyto et zooplancton au large des côtes ivoiriennes et de l'embouchure du Congo. Il observe au large de la Côte-d'Ivoire que certains blooms phytoplanctoniques sont reliés aux régimes des crues qui précèdent et suivent la principale saison d'upwelling. De même, «au large d'Abidjan, des groupes d'espèces associées ont été reliés à diverses conditions du milieu» dont les crues et les eaux oligotrophes (Binet, 1983a). Enfin,«le suivi d'une station pendant plusieurs années devant Abidjan a montré que les déficits du régime pluviométrique et des débits fluviaux se répercutent plus fortement sur les biovolumes zooplanctoniques que les différences d'intensité des upwellings» (Binet, 1983b).
Bien que l'ensemble des fleuves ne manifeste que rarement une variabilité annuelle homogène, les variations à une échelle de temps plus importante suivent des tendances identiques.

Bilan des apports

Un bilan des apports en milliards de m^3, et en pourcentages a été réalisé sur différentes échelles de temps (tab.1). Les apports décadaires du Niger et de la zone Lagos (côte nigériane entre l'Ouémé et le Mont Cameroun, plus le bassin de la Cross-River) ont été obtenus par corrélation avec les variations observées dans les autres zones. La répartition des apports est schématisée sur la figure 7 par des cubes dont l'arrête est proportionnelle à la racine cubique du volume annuel déversé.
Les apports du Congo sont de loin les plus importants dans le golfe de Guinée (60% du total des apports au golfe), mais leur influence reste limitée car ses eaux sont entraînées vers le large par le courant sud-équatorial et n'atteignent que rarement la baie de Biafra.
Depuis la côte nord du golfe de Guinée, à partir du cap des Palmes jusqu'aux bassins du nord Cameroun (région NORD), où il n'y a qu'une seule saison des pluies en été boréal, il s'écoule 30% du total au golfe. Ces eaux sont reprises par le courant de Guinée qui les entraîne vers le fond de la baie de Biafra; elles participent sans doute à la dessalure du fond de la baie. 10% de l'écoulement total provient des bassins situés entre le Mont Cameroun et l'embouchure du Congo (région CENTRE), où on enregistre en moyenne deux saisons des pluies.
Si l'on ramène l'ensemble des apports moyens (1951-1980) à 100 et que l'on trace leur répartition mensuelle (fig. 8a), on met en évidence que, durant les mois d'août, septembre et octobre, 50% ou plus de l'écoulement total au golfe provient de la région NORD, ce qui coïncide avec la période où les coefficients d'écoulement mensuel de cette région sont les plus élevés (fig. 8b). La variabilité interannuelle des écoulements diminue depuis les côtes du Togo-Bénin, vers l'ouest (monts de Guinée), et vers l'est et le sud (Mont Cameroun et Equateur). Le Congo présente la plus faible amplitude de variation.
Entre le cap des Palmes et l'embouchure du Congo il arrive en moyenne 23.000 milliards de m^3 d'eaux fluviales en 10 ans. L'excédent est de 3000 milliards de m^3 (13%) durant la décennie soixante, alors que de 1971 à 1980 le déficit est de 1700 milliards de m^3. Mais la baisse modérée des apports du Congo (-5% par rapport à la moyenne 1951-1980) masque le déficit plus important des régions nord et centre du golfe (-29% dans la zone Afrique occidentale et -15% en moyenne du Niger au sud du Cameroun). Il faut cependant remarquer que dans la zone Equateur, comprise entre 2°N et 6°S et limitée à l'est par le bassin du Congo, comprenant les fleuves Ogooué, Nyanga et Kouilou, la diminution de débit de ces dernières années est moins sensible et ne représente que 3% en moyenne sur la période 1971-1980. De même, l'apport supérieur à la moyenne en Afrique occidentale pour les années cinquante est aussi masqué par les apports du Congo inférieurs à la moyenne.
La variabilité interannuelle des apports d'Afrique occidentale est très importante: 190% en 1963 contre 38% en 1983 (par rapport à la moyenne 1951-1980). Ces variations sont de moindre amplitude dans les autres régions où le régime des pluies est plus régulier.
En 1962 et 1963, les apports au golfe sont respectivement de 25% et 20% supérieurs à la normale, soit 460 et 370 milliards de m^3 supplémentaires à 1860 milliards de m^3, valeur normale pour un an, compte non tenu du Niger et de la zone Lagos dont nous ne connaissons pas la variabilité interannuelle. Les déficits les plus importants sont enregistrés en 1983 et 1958 avec –27% et –26% (tab.1), soit –460 et –430 milliards de m^3.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les pays riverains du golfe de Guinée et intéressés par le flux de mousson Atlantique sont soumis aux variations d'intensité de ce dernier, qui se traduisent concrètement par des modifications du régime des pluies et des quantités annuelles précipitées, les régions soudano-sahéliennes étant les plus sensibles aux diminutions de précipitations.
L'étude de la répartition des pluies se heurte toujours aux problèmes de représentativité des stations ce qui nécessite l'utilisation d'un outillage statistique élaboré. Cette étape statistique est très réduite dans le cas de l'utilisation des données de débit des fleuves, ce dernier étant représentatif des précipitations des bassins versants correspondants. Depuis 1970, on observe une tendance générale à la baisse des débits, alors que les années soixante avaient été excédentaires et les années cinquante moyennes. Cette baisse est moins marquée dans les débits des fleuves équatoriaux - Ogooué, Nyanga et Kouilou -, mais tous, y compris le Congo, ont enregistré de grands déficits en 1972-73 et 1983-84. La diminution des débits a été assez brutale au début de 1970 et depuis, en Afrique occidentale, aucun retour durable à la situation antérieure à 1970 n'a été enregistré. «La sécheresse actuelle du Sahel correspond à une phase climatique nouvelle d'après l'analyse statistique des séries pluviométriques de longue durée (depuis 1920) du Burkina-Faso (10 stations de 1940 à 1983). La date

Fig. 7

Apports interannuels comparés des différents tributaires du golfe de Guinée, moyenne pour la période 51-80. L'arête de chaque cube est proportionnelle à la racine cubique du volume annuel déversé. Le cube situé en bas à gauche représente les volumes annuels moyens comparés de chaque fleuve ou région par rapport au Congo (arête totale).

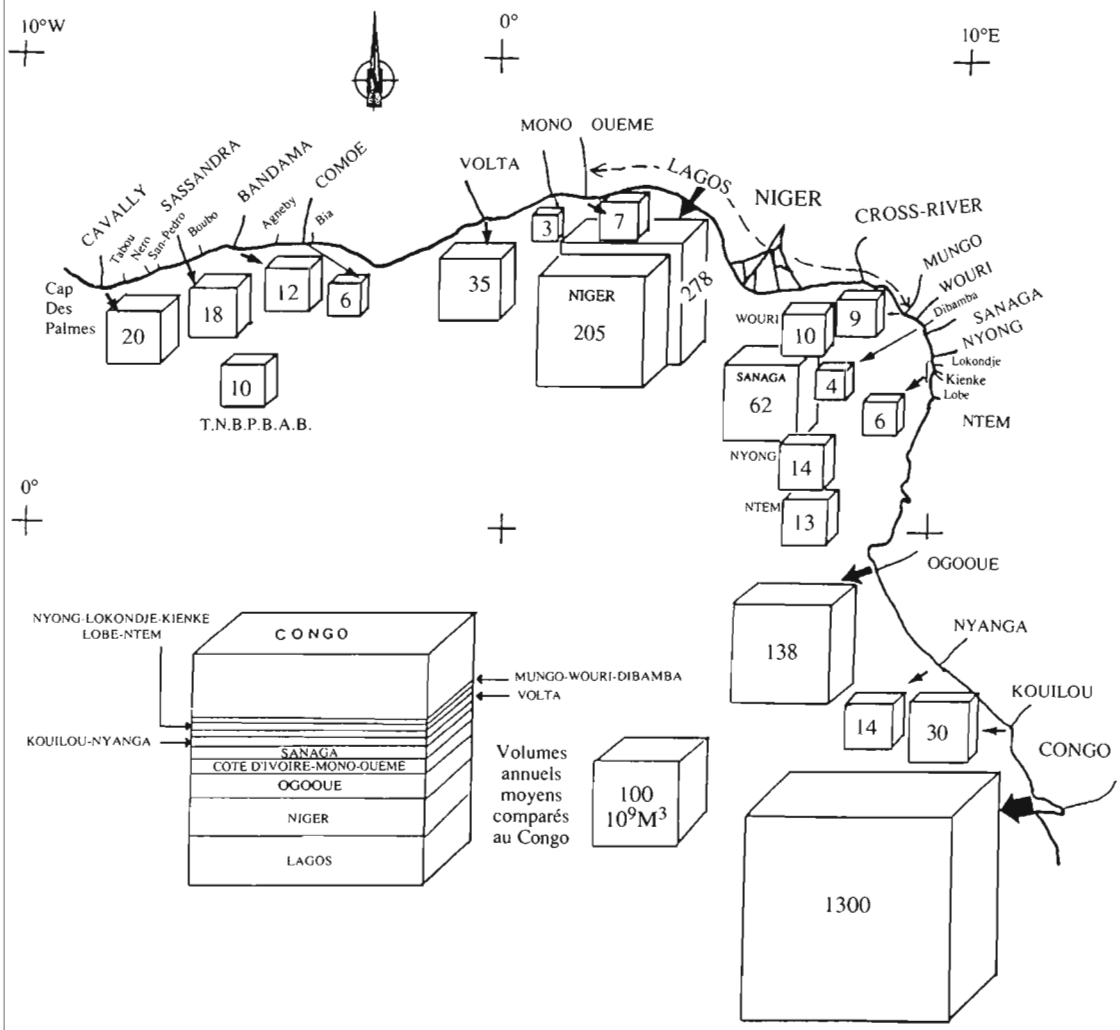


Fig. 8

(a) Répartition régionale mensuelle des apports fluviaux au golfe de Guinée en pourcentage de l'apport total (moyenne 1951-1980). Région Nord (Afrique occidentale, Niger, zone Lagos, Cameroun nord), région Centre (Cameroun nord, Equateur) et Congo.

(b) Coefficients régionaux mensuels moyens d'écoulement pour les mêmes régions, soulignant les particularités climatiques de chacune d'elles: une saison des pluies dans la région nord, deux dans la région centre. La variabilité intermensuelle des débits du fleuve Congo est faible.

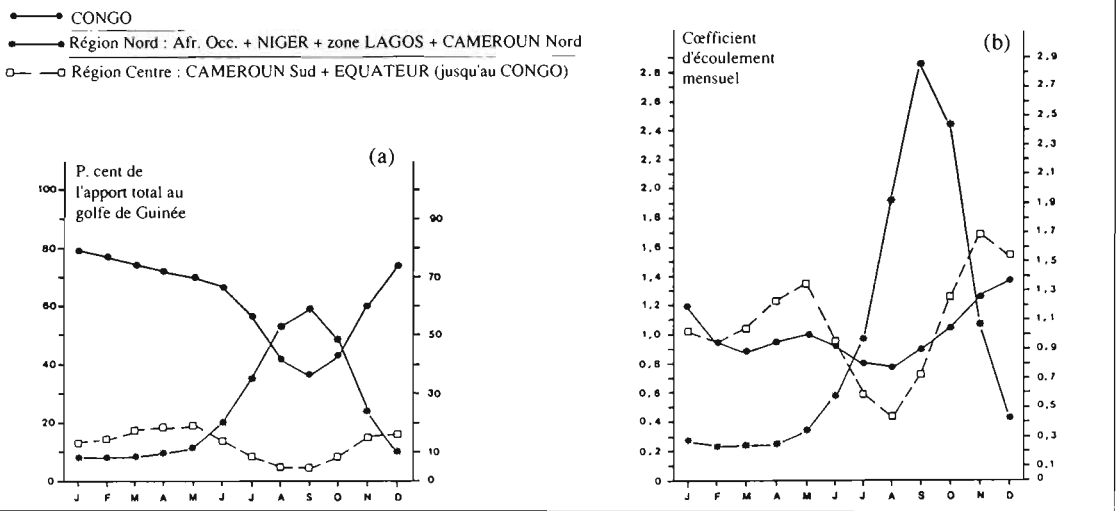


Fig. 9

Température de surface de la mer. Upwelling atlantique, carré 2°N, 2°S, 8°W, 12°W. Moyennes janvier-juin (haut), et juillet-septembre (bas), sur la période 1964-1987.

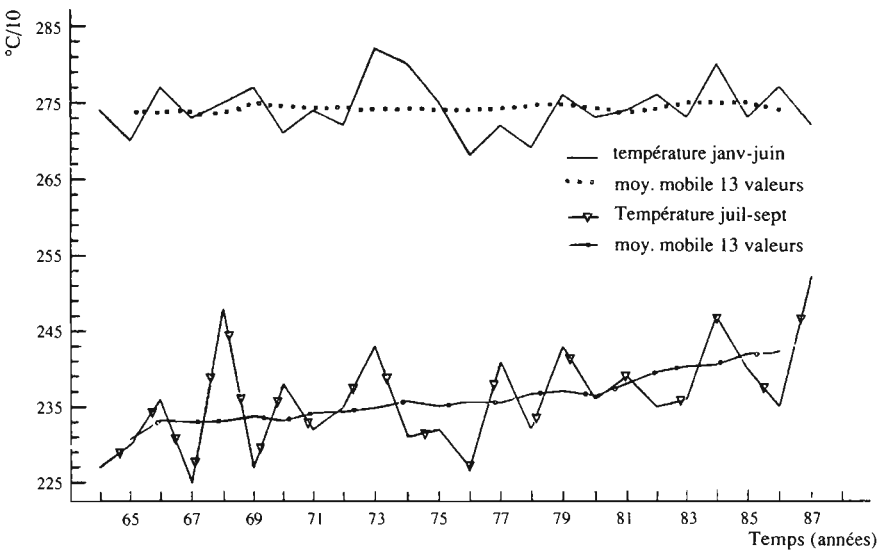


Fig. 10

Température de surface de la mer. Atlantique, carré 2°N, 2°S, 8°W, 12°W. Valeurs moyennes mensuelles sur les périodes 1964-1969 et 1980-1987, et sur des années humides types (1964, 1967, 1985, 1986) et sèches types (1968, 1972, 1973, 1977, 1982, 1983 1984) au Sahel.

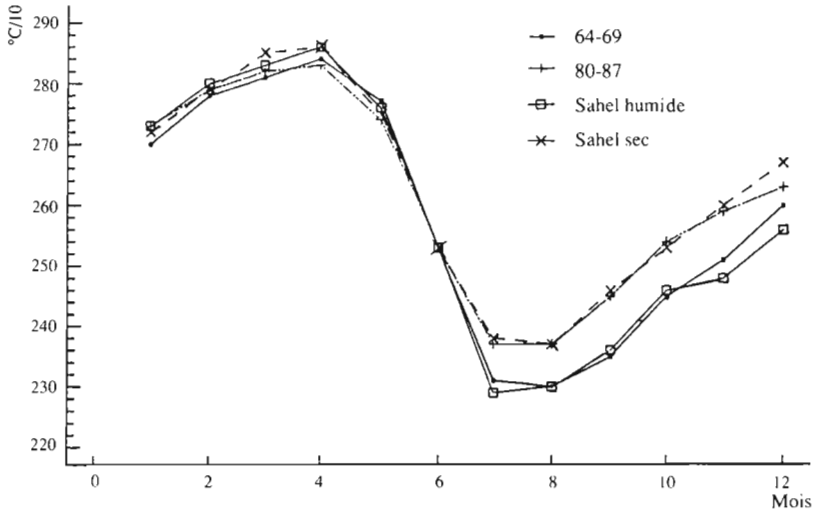


Fig. 11

Anomalies de température de surface dans la zone de l'upwelling équatorial atlantique, carré 2°N, 2°S, 8°W, 12°W, sur la période 1964-1987. Tracé de la tendance, par moyenne pondérée de 25 valeurs.

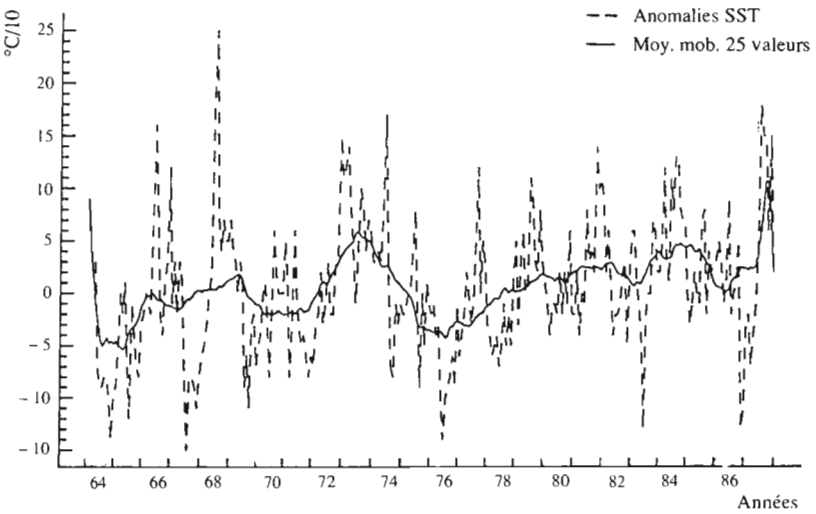


Tableau 1

Variabilité des apports fluviaux régionaux au golfe de Guinée au cours de la période 1951-1983 en milliards de mètres cubes et en pourcentages. Seules certaines années contrastées en elles ont été traitées.

	Afr. Occ		Niger		Lagos		Cam. Nord		Cam. Sud		Equateur		Congo		Total	
Moy. 51-80 pour	m^3 x10^9	%	m^3 x10^9	%	m^3 x10^9	%	m^3 x10^9	%	m^3 x10^9	%	m^3 x10^9	%	m^3 x10^9	%	m^3 x10^9	%
10 ans	1230		2050		2750		850		470		2210		13800		23000	
Moy 51-60	1530	125	2180	106	2880	105	916	108	450	96	2160	98	11480	83	21600	94
Moy. 61-70	1420	116	2270	111	3010	109	886	104	530	113	2440	110	15320	111	25900	113
Moy. 71-80	880	71	1770	86	2350	85	697	82	400	85	2140	97	13130	95	21300	93
Moy 51-80 pour 1 an	123						85		47		221		1380		1860	
1955	229	186					105	124	42	89	228	103	1400	101	2000	108
1957	229	186					100	118	48	102	215	97	1340	97	1930	104
1958	56	46					81	95	31	66	144	65	1120	81	1430	77
1963	234	190					79	93	61	130	237	107	1620	117	2230	120
1968	221	180					86	101	48	102	224	101	1480	107	2060	111
1972	67.5	55					65	76	38.5	82	190	86	1220	88	1580	85
1973	70	57					64	75	41	87	204	92	1190	86	1570	84
1976	67.5	55					91	107	43	91	225	102	1350	98	1780	96
1983	46.5	38					67	79	23	50	146	65	1120	81	1400	76

de 1971 peut être proposée comme début de cette phase nouvelle.» (Carbonnel et Hubert, 1985). Ce qui ne va pas sans supposer des modifications concomitantes d'autres paramètres de l'environnement tels le champ de vent en altitude et la température de surface de la mer.

Suivant une étude de Citeau *et al.* (1986), nous avons étudié la température de surface de la mer dans le carré 2°N, 2°S, 8°W, 12°W, situé en Atlantique équatorial, sur la période 1964-1987. Durant la période de l'upwelling équatorial (juillet-septembre), des températures très basses pour cette latitude peuvent être enregistrées dans cette zone (22 à 24°C). De plus, elle est située sur la ligne maritime Dakar-Le Cap fréquentée par les navires marchands. Servain et Seva (1987) ont déjà analysé la série de températures de surface dans le rectangle plus large 2°N, 2°S, 6°W, 14°W, sans insister sur un réchauffement.

La figure 9 montre un réchauffement continu des eaux de cette zone depuis 1964 jusqu'à nos jours pendant la période de l'upwelling (juillet à septembre). La différence atteint 0,8 à 1,0 degrés Celsius en moyenne. Sur la même période de temps, les moyennes des températures de janvier à juin ne montrent aucune évolution à long terme. Il a été remarqué (Bah, 1987) que les années de mauvaise pluviométrie au Sahel correspondaient à des anomalies positives de température de surface en Atlantique équatorial oriental, et inversement durant les bonnes années de pluies. Sur la figure 10, des moyennes mensuelles de températures ont été établies pour des groupes d'années qui ont été répertoriées comme significativement sèches ou humides au Sahel (selon Lamb (1983), Nicholson (1981), Bah (1987), Citeau *et al.* (1988)). Durant les trois dernières décennies, il existe des années humides telles 1964, 1967, 1974, 1985, 1986 et des années sèches 1968, 1972, 1973, 1977, 1982, 1983, 1984. Les courbes moyennes des années humides et des années sèches sont très proches de janvier à juin, mais dès juillet et jusqu'à décembre durant les années humides au Sahel l'upwelling équatorial est plus intense d'environ 0,8 degrés que durant les années sèches. Les valeurs mensuelles de températures de surface des années humides et sèches sont très proches respectivement de la courbe moyenne sur la période 1964-69 et de celle sur la période 1980-87, pour ce qui est des températures des mois de juillet à novembre. Ceci indique que les températures de surface, que l'on observait durant les mois de juillet à novembre uniquement pendant les années sèches précédant 1970 (1968 par exemple), deviennent beaucoup plus fréquentes depuis 20 ans. Il est possible que cette baisse d'intensité de l'upwelling soit reliée soit à un déplacement du centre d'action de l'anticyclone de Sainte-Hélène, soit à une diminution d'activité de ce dernier.

Une tendance globale au réchauffement peut être tracée

à partir du diagramme des anomalies de température de surface dans le carré d'étude. Entre 1964 et 1987, elle est de +0,6 à +0,8°C (fig. 11).
Le fait que les débits des fleuves tributaires du Golfe de Guinée évoluent à la baisse depuis 1970, et que l'on détecte une diminution simultanée de l'intensité moyenne de l'upwelling équatorial Atlantique va dans le sens des conclusions de Carbonnel et Hubert (1985), à savoir que des conditions moins favorables pour les pluies du Sahel apparaissent d'une manière anormalement fréquente depuis 1970 (comparativement à leur probabilité d'apparition antérieurement). L'étude des variations du champ de vent en altitude devrait, à la lumière des précédents résultats, apporter de nouveaux éléments dans la connaissance des mécanismes du climat dans cette région d'Afrique.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier MM Jean Claude Olivry et Philippe Hisard, hydrologue et océanographe de l'ORSTOM Montpellier, qui sont à l'origine de cette étude et qui m'ont constamment prodigué leurs conseils. Je remercie aussi MM Jean Citeau et Hervé Demarcq, océanographes de l'ORSTOM à Dakar, de leur aide pour le traitement des données océanographiques.

DISCUSSION

BELVEZE: Assiste-t-on à un balancement de la situation climatique? En France, les glaciers ont commencé à avancer depuis les années soixante. Au Maroc, on observe une diminution des températures moyennes depuis 20 ans qui a une répercussion très nette sur l'agriculture: les floraisons et les vendanges sont retardées. Certains (Lamb, par exemple) parlent d'un retour vers une nouvelle glaciation.

BINET: Ce refroidissement risque d'être annulé par l'effet de serre lié à l'augmentation du gaz carbonique atmosphérique.

MAHE: Les répercussions possibles du réchauffement du à l'effet de serre font actuellement l'objet de nombreux débats. Une des conséquences possibles sur la circulation atmosphérique serait une limitation des échanges méridiens et la diminution des flux de mousson à l'équateur.

BINET: Quel est l'effet des barrages sur les débits des fleuves présentés dans cette étude ?

MAHE: Les fleuves avec barrage n'ont pas en général été inclus dans cette étude.

FAGGIANELLI: Il y a pourtant des données sur le fleuve Volta qui couvre une longue période.

MAHE: Je n'ai pas utilisé les données de ce fleuve. Après la construction du barrage, un débit presque nul à l'étiage a été observé.

BELVEZE: Est ce que la déforestation a eu un effet sur les débits des fleuves ?

MAHE: Peut-être pas directement. Des travaux sur les effets de la déforestation sur les précipitations ont été réalisés, en particulier sur le recyclage de l'évapotranspiration au niveau des côtes nord du golfe de Guinée.

BIBLIOGRAPHIE

• Bah A. 1987. Towards the prediction of sahelian rainfall from sea surface temperatures in the Gulf of Guinea. Tellus, 39A, p. 38-49.

• Balek J.1983. Hydrology and water resources in tropical region. Elsevier. Developements in water science. N°18, 271 p., 3 cartes.

• Binet D. 1983a. Phytoplancton et production primaire des régions côtières à upwellings saisonniers dans le Golfe de Guinée. Océanographie tropicale, vol.18, n°2, pp. 331-355, Ed. ORSTOM, Paris.

• Binet D. 1983b. Zooplancton des régions côtières à upwellings saisonniers du Golfe de Guinée. Océanographie tropicale, vol.18, n°2, pp. 357-380, Ed. ORSTOM, Paris.

• Brunet-Moret Y., Chaperon P., Lamagat J.P. et Molinier M. 1986. Monographie hydrologique du fleuve Niger. Tome 2: cuvette lacustre et Niger moyen. ORSTOM, Paris. 506 p. 6 cartes.

• Carbonnel J.P. et Hubert P. 1985. Sur la sécheresse au Sahel d'Afrique de l'Ouest. Une rupture climatique dans les séries pluviométriques du Burkina Faso (ex Haute-Volta) C.R. Acad. Sci. Paris, t.301, série II, 13: 941-944.

• Citeau J., Finaud L., Cammas J.P. et Gouriou Y. 1986. Questions about the ITCZ migration over the tropical atlantic, sea surface temperature in the Gulf of Guinea and the runoff of Senegal river. Proc. 6th Meteosat Sci. User's Meet., Amsterdam, 25-27 Nov. 1986. EUM P 01, Vol. 2, edited by Eumetsat, Darmstadt (RFA).

• Citeau J., Berges J.C., Demarcq H. et Mahe G. 1988. The watch of ITCZ migrations over the tropical atlantic ocean as an indicator in drought forecast over sahelian areas. Tropical Ocean Atmospheric Newsletter, 45: 1-3.

• Donguy J.R., Hardiville J. et Leguen J.C., 1964. Essai de représentation du bilan d'eau douce dans une région marine. Application à la Baie de Biafra. Centre d'Océanographie et des Pèches. Pointe-Noire, Congo, ORSTOM, 13 p.

• Guillot B., Carn M. et Dagorne D. 1988. Remarques à propos de l'effet des facteurs locaux sur l'activité convective en Afrique de l'ouest et dans l'Atlantique intertropical. Veille Climatique Satellitaire, n°21, février, Ed. ORSTOM-CMS, pp. 33-48.

• Hisard P.1980. Observations de réponses de type El-Nino dans l'Atlantique tropical oriental. Golfe de Guinée. Oceanol. Acta.,3, 1: 69 à 78.

• Lamb P. 1978. Large-scale Tropical Atlantic surface circulation patterns associated with subsaharan weather anomalies. Tellus,30: 240-251.

• Lamb P. 1983. West African water vapor variations between recent contrasting rainy seasons. Tellus, 35A:198-212.

• Leroux M. 1980. Le climat de l'Afrique tropicale. Dakar. Thèse d'Etat. Université de Dijon. 3 tomes, 1427 p.

• Leroux M, 1982. Températures marines et précipitations sur les littoraux de l'Afrique tropicale. Norois, n°116, Poitiers, octobre-décembre, pp.479-497.

• Mahe G. 1987. Etude de la variabilité des apports hydriques continentaux dans le Golfe de Guinée, en liaison avec son hydrologie océanique de surface. Mémoire de DEA national d'hydrologie. Université d'Orsay/Centre ORSTOM de Montpellier. 103 p., plus annexes.

• Nicholson S. 1981. Rainfall and atmospheric circulation during drought periods and wetter years in West Africa. Monthly Weather Review, 109: 2191-2208.

• Olivry J.C. 1983. Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégambie et aux âles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, XX, 1: 47-69.

• Olivry J.C. 1986. Fleuves et rivières du Cameroun. Thèse d'Etat. MESRES-ORSTOM. Collection «Monographies hydrologiques ORSTOM.» n°9. Paris. 733 p., 360 tableaux.

• Picaut J., Servain J., Lecomte P., Seva M., Lukas S. et Rougier G. 1985. Climatic atlas of the Tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature. 1964-1979. Programme FOCAL, Université de Bretagne Occidentale, University of Hawaï. 467 p.

• Rodier J. 1964. Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'ouest du Congo. Mémoires ORSTOM. ORSTOM, Paris, 137 p.

• Servain J. and Seva M. 1987. On relationships between Tropical Atlantic sea surface temperature, wind stress and regional precipitation indices: 1964-1984. Ocean air interactions, vol. n°1, pp. 183-190.

• Wauthy B. 1983. Introduction à la climatologie du Golfe de Guinée. Océanographie tropicale. Vol. 18. N°2. ORSTOM, Paris, pp. 103-138.

12 • Variations spatiale et temporelle de la résurgence ivoiro-ghanéenne

ROBERT ARFI
OLIVIER PEZENNEC
SOULEYMANE CISSOKO
Centre de Recherches Océanographiques, B.P. V 18 Abidjan, Côte d'Ivoire
MARTIN A. MENSAH
Fisheries Department Research & Utilization Branch, Tema, Ghana

RÉSUMÉ

Un upwelling côtier ou résurgence côtière se manifeste saisonnièrement le long du littoral ivoiro-ghanéen, de juin à septembre (Grande Saison Froide, GSF) et secondairement en janvier et février (Petite Saison Froide, PSF). Cette résurgence n'étant pas un upwelling au sens d'Ekman, son intensité ne peut être évaluée à partir des seules données de vent. Un indice par quinzaine basé sur l'écart par rapport à 26°C des valeurs quotidiennes de température est proposé. Les calculs portent sur la période 1970-1987 pour 6 stations de la côte ghanéenne et sur la période 1978-1987 pour 6 stations du littoral ivoirien. Ils fournissent des indices annuels, de GSF et de PSF. La résurgence de GSF apparaît sur tout le littoral étudié, celle de PSF est sensible à toutes les stations ivoiriennes mais, au Ghana, elle ne l'est qu'à Takoradi. Les valeurs les plus élevées de ces indices, en rapport avec des effets de cap, sont observées à Tabou et San Pedro dans l'ouest ivoirien et à Takoradi à l'ouest du Ghana. L'importante disparité spatiale et temporelle des refroidissements observés devant ces deux pays souligne la complexité de la dynamique des eaux côtières de la zone.

ABSTRACT

The upwelling of the Ivoirian and Ghanaian coasts is a seasonal phenomenon. It mainly occurs during the main cold season (GSF) between June and September, secondly from January to February, during the minor cold season (PSF). Resulting of a combination of several mechanisms, the intensity of this coastal upwelling cannot be estimated using wind data. Therefore, a fortnightly index is calculated using the deviation from daily temperature to 26° C. This work was undertaken from 1970 to 1987 for 6 coastal stations of the Ghanaian coastline and between 1978 to 1987 for 6 coastal stations of the Ivoirian shoreline. These indices provide estimates of GSF and PSF upwelling intensity. Coastal upwelling is clearly observed in the entire area during the GSF, but for the PSF this feature is only observed at Takoradi in Ghana and on the whole Ivoirian coast. High values of these indices, related to cape effects, are observed at Tabou and San Pedro (Western Ivory Coast) and Takoradi (Ghana). The spatial and temporal disparity of sea surface cooling is the illustration of the complexity of the Ivoirian and Ghanaian coastal dynamic.

INTRODUCTION

L'hydroclimat du plateau continental ivoiro-ghanéen a d'importantes conséquences sur l'écologie du milieu (potentiel nutritif et production pélagique) et sur les fluctuations d'abondance et de disponibilité de la ressource halieutique. Se développant dans un contexte écologique plutôt oligotrophe lorsque les apports terrigènes sont peu importants (Binet, 1983 a et b) et bien que saisonnière, la résurgence côtière ivoiro-

ghanéenne est suffisamment intense pour enrichir le milieu (Herbland *et al.*, 1983).

Mises en évidence par Varlet (1958) et décrites par Morlière (1970), les saisons «marines» devant Abidjan et le long du littoral ivoirien sont maintenant bien connues. Le cycle annuel est caractérisé par l'alternance d'une Grande Saison «Froide» (juin-octobre) et d'une Grande Saison «Chaude» (novembre-mai), au sein de laquelle se déroule un «épisode froid» (ou Petite Saison Froide) plus ou moins marqué selon le site et l'année. Les remontées d'eaux froides qui intéressent le plateau continental ivoirien ont été décrites par Verstraete (1970) et Morlière et Rébert (1972). Plusieurs mécanismes ont été proposés pour expliquer le déclenchement et le maintien pendant plusieurs semaines de cette résurgence côtière (Picaut, 1983; Colin, 1988; Colin *et al.*, à paraître). Ces travaux reposent sur l'exploitation de données historiques (campagnes océanographiques dans le golfe de Guinée, température de surface de l'eau de mer relevée par les navires marchands, séries chronologiques de température à la côte). Les températures recueillies quotidiennement au niveau des stations côtières mises en place depuis 1970 au Ghana et 1978 en Côte-d'Ivoire n'ont pas encore fait l'objet d'une étude approfondie, contrairement à ce qui s'est fait en Mauritanie (Arfi, 1987) ou au Sénégal (Portolano, 1987; Roy, 1989). En outre, aucun des travaux portant sur l'hydrologie du golfe de Guinée ne prend réellement en compte la variabilité spatio-temporelle de cette résurgence. La présente étude s'intéresse à cet aspect de l'upwelling, entre Tabou à l'ouest de la Côte-d'Ivoire et Keta à l'est du Ghana (fig.1).

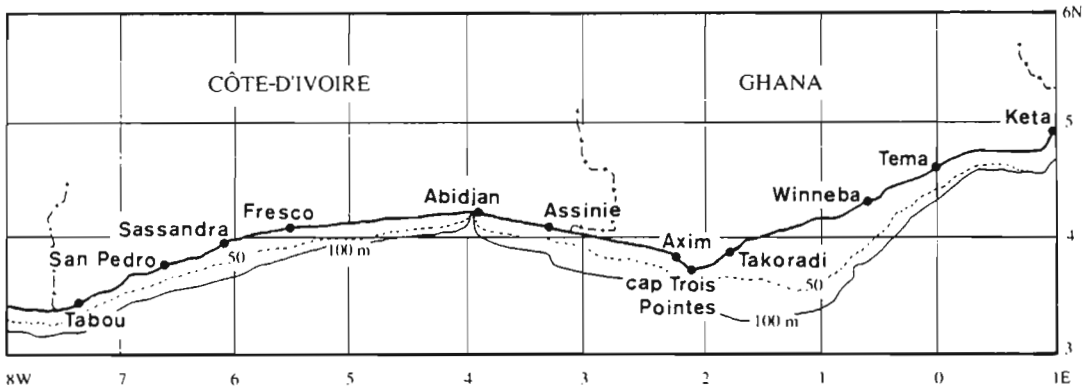
L'intensité des remontées d'eaux profondes induites par le vent est couramment décrite au moyen de la composante normale à la côte du transport d'Ekman (Bakun, 1973; Roy, 1989). Mais un tel descripteur s'est avéré insuffisant dans le secteur d'étude (Bakun, 1978). D'autres types d'indice ont alors été proposés:

- un indice annuel, obtenu en multipliant le nombre de quinzaines où la température est inférieure à 26°C par la différence entre 26°C et la température moyenne de chacune de ces quinzaines (ORSTOM/FRU, 1976).
- Binet (1982) utilise ce type d'indice mais le limite à la grande saison froide et fixe le seuil thermique à 24°C.
- à partir des températures relevées par les navires marchands, Cury et Roy (1987) calculent pendant les périodes froides (juillet à septembre et janvier-février) les anomalies thermiques mensuelles par rapport au cycle moyen de la température. La somme de ces anomalies produit un indice annuel.

Afin de mieux connaître la variabilité de la résurgence ivoiro-ghanéenne, une série d'indices par quinzaine a été calculée pour les douze stations dont les données quotidiennes de température sont disponibles. Ce découpage améliore en outre la connaissance des périodes de refroidissement de l'eau. Le seuil de 26°C a été préféré à une température plus basse afin de mieux prendre en compte la chute des températures observée en janvier-février, nettement moins intense que celle qui s'étend de juillet à septembre.

Fig. 1

Carte du plateau continental ivoiro-ghanéen et stations de mesure des températures.



MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les températures sont mesurées quotidiennement entre 7h et 9h TU, en surface et en douze points du littoral de la Côte-d'Ivoire et du Ghana (fig. 1). Les stations sont Tabou, San Pedro, Sassandra, Fresco, Abidjan (Port-Bouet) et Assinie en Côte-d'Ivoire; Axim, cap des Trois Pointes, Takoradi, Winneba, Tema et Keta au Ghana. Les données ont été vérifiées puis validées, une donnée manquante ou aberrante (supérieure à + 3 fois l'écart-type de la quinzaine considérée) étant remplacée par la valeur moyenne de la quinzaine de même rang et même station.

A partir de ces données quotidiennes disponibles de 1970 à 1987 pour le Ghana et de 1978 à 1987 pour la Côte-d'Ivoire (1982-1987 pour San Pedro, à partir de mi-1978 à Abidjan et Assinie), un indice de l'intensité de la résurgence a été calculé pour chaque quinzaine (deux quinzaines par mois) et chaque station, selon la formule:

$$Iqz = (26 - Mqz) * Nqz \ (°C.j)$$

avec:

Nqz = nombre de jours de la quinzaine pour lesquels la température est inférieure à 26 °C.

Mqz = moyenne des températures quotidiennes inférieures à 26 °C pour la quinzaine.

On peut ensuite calculer pour chaque station:

- une valeur annuelle Ian, moyenne des Iqz de l'année (tab.1);
- une moyenne par quinzaine, de janvier à décembre, pour toute l'étendue des données disponibles;
- un indice de Petite Saison Froide, Ipsf, moyenne des quatre quinzaines de janvier et février;
- un indice de Grande Saison Froide, Igsf, moyenne des six quinzaines de juillet à septembre.

Ces indices prennent donc en compte la durée des refroidissements (nombre de quinzaines) et leur intensité (écart à 26 °C).

Les données ghanéennes ont été fournies par le Fisheries Department Research and Utilization Branch, Tema; les données ivoiriennes par le Centre de Recherches Océanographiques d'Abidjan.

RÉSULTATS

Description du cycle annuel moyen des températures

A partir de la moyenne des indices des quinzaines de même rang, on peut définir le déroulement d'une année type pour chaque station. Les schémas annuels obtenus sont comparables (fig. 2) et on peut parler d'unicité régionale.

Deux grandes saisons s'opposent nettement:

- un ensemble «froid», qui s'étend de juin à octobre, avec une intensité maximale entre juillet et septembre: l'indice augmente rapidement à partir de la seconde quinzaine de juin, et diminue tout aussi rapidement dès la seconde quinzaine de septembre. Cette séquence peut être assimilée à la Grande Saison Froide (GSF). Elle est assez peu marquée devant Axim, mais très nette à Takoradi, Tabou et San Pedro;
- un ensemble «chaud» qui s'étend d'octobre à juin, surtout marqué en novembre et en avril. Cette période comprend un épisode froid, la Petite Saison Froide (PSF) qui s'observe en janvier et février. Ce refroidissement est surtout important dans l'ouest ivoirien, entre Tabou et Sassandra. Il est plutôt secondaire à Fresco, Abidjan et Takoradi, et faible pour les autres stations. Ce schéma recoupe, sur l'ensemble du littoral ivoirien, le découpage saisonnier proposé par Morlière (1970). Au Ghana, seul Takoradi présente une PSF marquée. On peut enfin remarquer lors de la première quinzaine d'août, une diminution du refroidissement aux stations comprises entre Tabou et le Cap des Trois-Pointes.

Découpage spatial

Les indices annuels moyens Ian calculés pour chaque station (fig.3a et tab. 1) permettent un découpage du littoral en secteurs où la remontée côtière est plus ou moins active:

- les plus fortes intensités annuelles de la remontée sont notées à Tabou et San Pedro en Côte-d'Ivoire et Takoradi au Ghana;
- la valeur la plus faible correspond à la station d'Axim;
- entre le cap des Palmes et le cap des Trois-Pointes, on remarque une diminution progressive de l'activité de la résurgence. Celle-ci présente une intensité minimale face à la côte ouest du cap des Trois-Pointes.

Les indices de GSF Igsf sont élevés sur l'ensemble du littoral, à l'exception d'Axim (fig. 3b et tab. 2). Les stations où la résurgence est la plus intense sont Tabou, San Pedro et Sassandra en Côte-d'Ivoire, et Takoradi au Ghana. Ces stations sont situées sur des portions du littoral orientées respectivement à 246° et 243° (soit une direction générale ENE - WSW). Au niveau d'Axim, la côte est orientée au 138° (NW - SE).

La PSF (janvier-février) est surtout marquée à Tabou et San Pedro. Les autres stations montrent des indices Ipsf plus faibles, en particulier au Ghana. Les points d'Axim (indice proche de 0°C.j) et de Takoradi se distinguent à nouveau (fig. 3c et tab.3).

Le littoral face à Takoradi présente une résurgence de GSF très active et c'est face à Tabou et San Pedro que la remontée est la plus intense pendant la PSF. Les schémas annuels correspondant à ces stations, caractérisées par des indices annuels moyens comparables, sont donc en définitive assez différents. Au sein d'un ensemble régional ivoiro-ghanéen, une partition géographique peut ainsi être proposée:

- le littoral ivoirien et la côte est du cap des Trois-Pointes sont le siège de deux épisodes «froids», avec une remontée intense de juillet à septembre et une autre moins active en janvier et février;
- le reste du littoral ghanéen, de Winneba à Keta est également concerné par deux épisodes froids, mais la résurgence de PSF est beaucoup moins marquée qu'à l'ouest;
- la côte d'Axim ne présente une résurgence qu'au cours de l'été boréal, avec en outre, une activité nettement plus faible que celle observée aux autres stations.

Fig. 2

Indices moyens par quinzaine; schémas annuels types de Tabou à Keta.

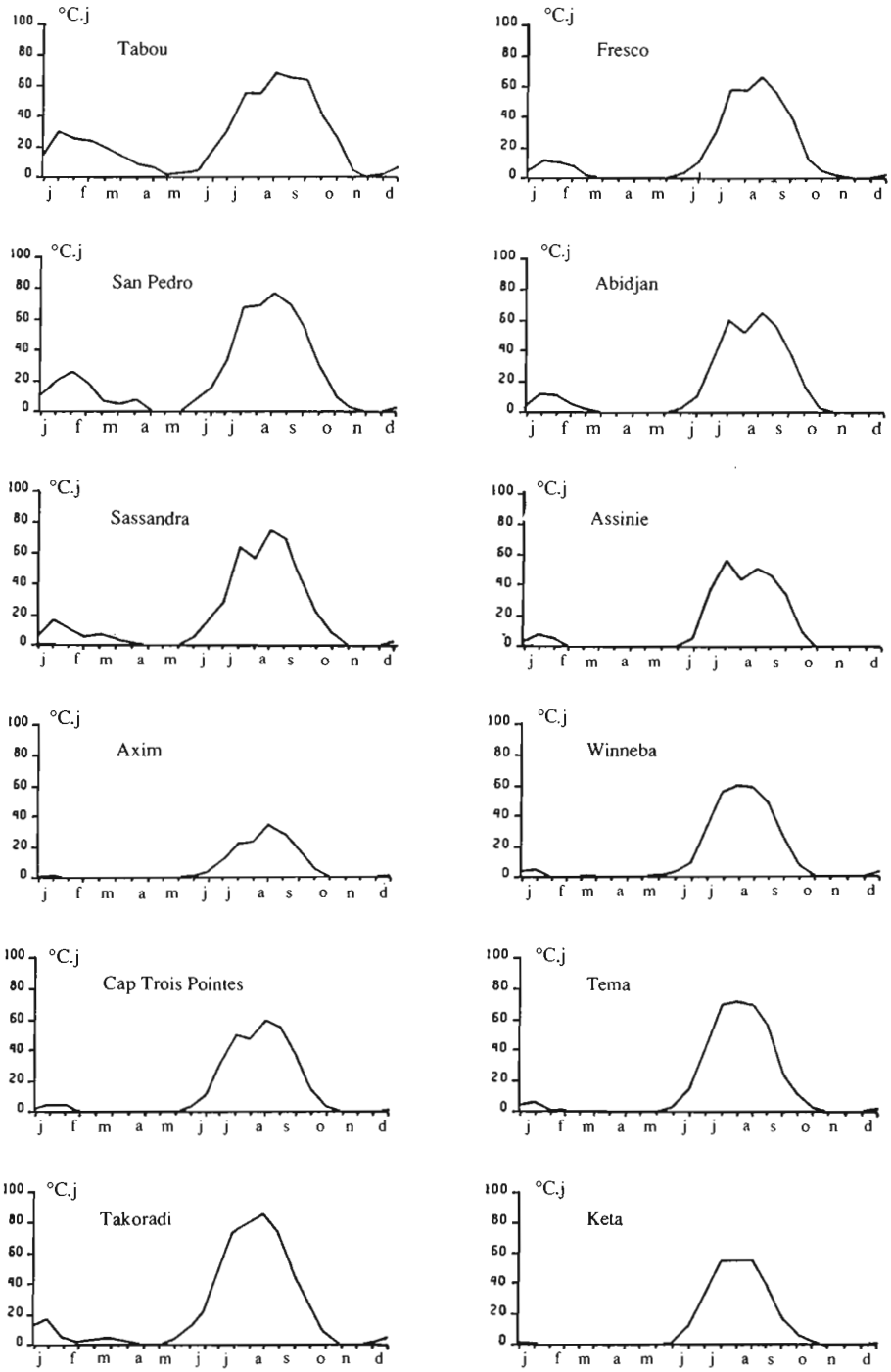


Fig. 3a

Moyenne des indices annuels de Tabou à Keta.
Liste des points de mesure: Tabou (A), San Pedro (B), Sassandra (C), Fresco (D), Abidjan (E), Assinie (F), Axim (G), cap des Trois-Pointes (H), Takoradi (I), Winneba (J), Tema (K) et Keta (L).

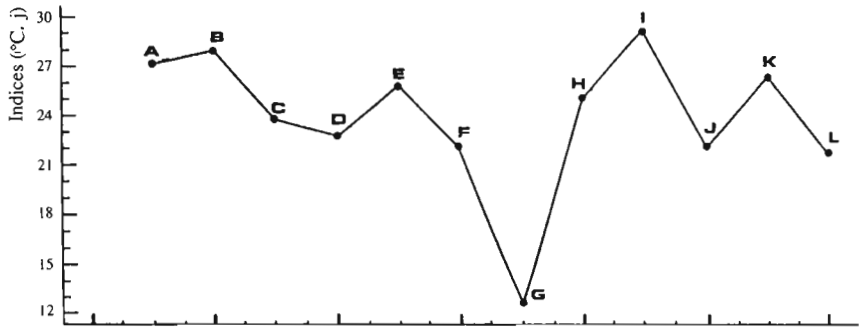


Fig. 3b

Moyenne des indices de Grande Saison Froide de Tabou à Keta (1978-1987).

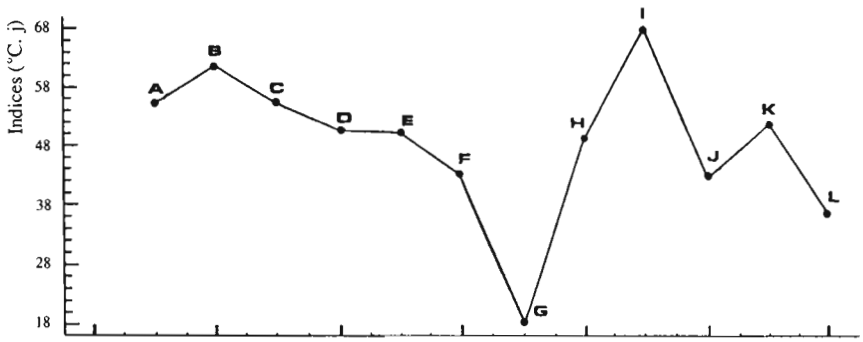


Fig. 3c

Moyenne des indices de Petite Saison Froide de Tabou à Keta (1978-1987).

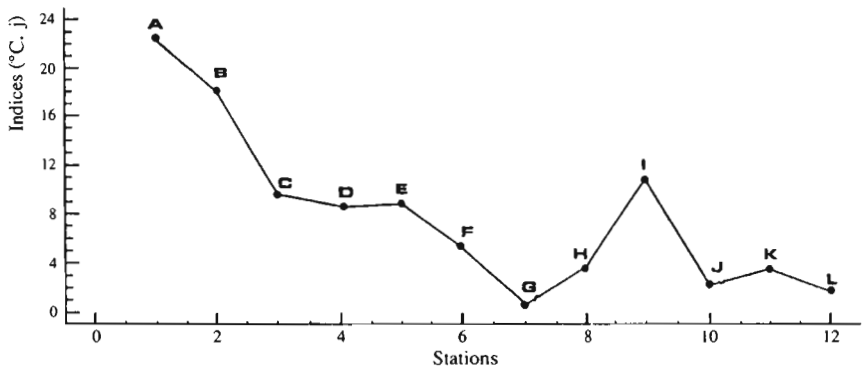


Tableau 1

Indices annuels moyens de Tabou à Keta.

Année	Tabou	S.Pedro	Sassand.	Fresco	Abidjan	Assinie	Axim	Cap 3 P	Takoradi	Winneba	Tema	Keta	M.GH	ETGH	M.CI	ETCI
70							16.6	22.0	32.8	24.0	25.5	26.7	24.6	5.4		
71							23.2	35.7	30.7	32.2	33.2	24.3	29.9	5.0		
72							21.8	19.8	28.0	30.2	32.0	24.1	26.0	4.8		
73							14.8	28.8	19.6	24.0	22.1	16.1	20.9	5.2		
74							14.3	15.5	26.8	21.7	26.4	26.9	21.9	5.8		
75							23.5	34.5	32.5	29.0	41.9	28.8	31.7	6.3		
76							27.4	37.4	45.0	24.9	35.5	30.1	33.4	7.4		
77							12.9	22.9	32.5	23.2	23.8	21.2	22.8	6.3		
78	33.5		32.2	23.9			12.5	37.1	35.5	23.9	32.8	31.6	28.9	9.2	29.9	5.2
79	29.7		26.9	21.9	18.6	16.2	10.8	16.0	22.5	22.1	12.3	12.0	16.0	5.2	22.7	5.6
80	34.4		30.5	31.7	21.6	15.0	11.4	20.0	27.7	19.8	21.0	16.1	19.3	5.4	26.6	8.1
81	31.6		23.2	22.9	26.2	24.1	10.0	26.9	24.6	19.5	20.1	18.0	19.9	5.9	25.6	3.6
82	26.4	31.2	27.4	20.9	27.9	25.1	12.5	30.2	28.8	30.4	40.1	29.2	28.5	8.9	26.5	3.4
83	16.9	22.5	23.4	23.8	22.8	20.1	10.9	20.7	26.7	21.1	21.1	25.0	20.9	5.5	21.6	2.6
84	22.4	29.0	22.7	23.0	36.0	33.6	11.0	37.5	35.8	23.2	33.6	27.7	28.1	9.9	27.8	6.0
85	29.0	29.5	22.8	24.9	28.3	26.7	13.7	25.3	35.3	19.3	32.5	23.1	24.9	8.1	26.9	2.6
86	22.9	29.1	12.8	18.0	30.9	28.4	21.7	26.3	34.1	32.0	36.3	27.0	29.6	5.5	23.7	7.1
87	24.8	26.7	16.2	17.4	19.8	10.0	10.1	11.3	20.8	9.4	14.2	8.2	12.3	4.6	19.2	6.1
MOY.	27.2	28.0	23.8	22.8	25.8	22.1	12.5	25.1	29.2	22.1	26.4	21.8				
ECT.	5.5	3.1	6.0	4.0	5.6	7.4	3.5	8.5	5.7	6.3	9.8	7.8				

Chaque valeur représente la moyenne des indices des 24 quinzaines, par année et par station.
MOY. : moyenne sur la période 78-87.
ECT. : écart-type sur la période 78-87.
M.CI et ETCI: moyenne et écart-type des stations ivoiriennes.
M.GH et ETGH : moyenne et écart-type des stations ghanéennes

Tableau 2

Indices moyens de Grande Saison Froide de Tabou à Keta.

Année	Tabou	S.Pedro	Sassand.	Fresco	Abidjan	Assinie	Axim	Cap 3 P	Takoradi	Winneba	Tema	Keta	M.GH	ETGH	M.CI	ETCI
70							21.6	28.7	69.5	55.2	49.2	38.8	43.8	17.7		
71							35.7	60.0	71.3	65.6	64.7	53.4	58.4	12.7		
72							28.9	35.7	75.2	57.1	62.9	52.4	52.0	17.2		
73							23.5	49.0	53.0	34.4	44.6	34.1	39.8	11.0		
74							22.8	24.5	57.8	33.7	56.1	46.5	40.2	15.5		
75							32.1	63.2	72.6	57.6	73.5	59.8	59.8	15.1		
76							40.1	74.4	95.8	61.9	78.8	66.3	69.5	18.6		
77							20.8	56.9	77.9	47.8	62.0	47.9	52.2	19.0		
78	65.5		84.4	63.2			19.7	61.5	83.6	49.8	65.9	48.3	54.8	21.4	71.0	11.6
79	59.5		59.4	46.9	37.1	27.5	14.1	30.9	42.9	45.9	21.9	21.0	29.5	12.8	46.1	14.0
80	74.8		65.9	63.4	46.9	38.4	18.9	41.7	62.6	34.1	40.7	29.4	37.9	14.7	57.9	14.8
81	68.5		55.4	50.9	49.7	40.4	15.8	50.4	64.3	34.2	41.9	30.7	39.6	16.8	53.0	10.2
82	59.3	77.8	66.5	56.3	64.1	54.1	23.2	67.6	82.3	57.5	70.5	46.6	58.0	20.9	63.0	8.6
83	39.6	55.0	55.2	43.2	48.4	41.8	17.4	46.8	73.8	52.0	59.2	47.3	49.4	18.6	47.2	6.8
84	45.9	67.3	53.2	51.0	56.4	52.9	16.9	57.7	74.1	38.1	58.7	40.0	47.6	20.1	54.4	7.2
85	64.1	72.5	59.2	55.0	61.7	63.1	21.6	59.4	77.6	41.8	63.9	36.7	50.2	20.5	62.6	5.8
86	35.1	54.4	27.5	48.4	64.4	54.7	25.5	56.7	86.1	57.6	78.1	57.9	60.3	21.1	47.9	14.1
87	39.5	43.2	26.6	28.2	23.4	13.9	11.0	19.7	32.7	13.0	15.2	7.2	16.5	9.0	29.1	10.7
MOY.	55.2	61.7	55.3	50.6	50.2	43.0	18.4	49.2	68.0	42.4	51.6	36.5				
ECT.	14.0	13.0	17.4	10.3	13.6	15.3	4.3	14.9	17.8	13.5	20.9	14.9				

Chaque valeur représente la moyenne des indices des 6 quinzaines de la Grande Saison Froide, par année et par station.

Tableau 3

Indices moyens de Petite Saison Froide de Tabou à Keta.

Année	Tabou	S.Pedro	Sassand.	Fresco	Abidjan	Assinie	Axim	Cap 3 P	Takoradi	Winneba	Tema	Keta	M.GH	ETGH	M.CI	ETCI
70							0.0	0.0	3.5	9.6	0.8	0.2	2.4	3.8		
71							0.2	0.3	1.4	3.2	2.1	0.5	1.3	1.2		
72							0.0	0.4	11.2	5.0	7.9	2.0	4.4	4.5		
73							0.5	0.4	7.3	0.0	3.1	2.3	2.3	2.7		
74							2.3	0.5	5.6	1.3	2.6	1.2	2.3	1.8		
75							2.2	0.3	1.0	0.1	0.2	0.6	0.7	0.8		
76							0.4	7.7	18.6	5.4	6.3	3.5	7.0	6.2		
77							0.0	1.9	14.1	2.4	3.4	1.1	4.6	4.8		
78	19.6		8.3	2.6			0.0	0.5	6.4	0.0	0.6	0.0	1.3	2.5	10.2	8.7
79	31.2		17.4	17.4	8.2	4.5	0.0	3.6	23.7	1.4	7.5	1.6	6.3	8.9	15.7	10.3
80	24.6		14.2	12.1	8.6	4.0	0.5	2.2	10.4	0.9	2.2	0.8	2.8	3.8	12.7	7.7
81	26.5		14.3	8.7	8.1	5.2	0.7	2.9	9.5	2.1	3.5	1.6	3.4	3.2	12.6	8.5
82	25.2	13.0	10.3	6.9	3.0	1.5	0.7	3.2	5.7	3.0	0.6	0.5	2.3	2.1	10.0	8.6
83	10.8	6.4	1.7	9.3	3.8	2.2	3.6	1.9	2.8	5.1	5.3	7.4	4.4	2.0	5.7	3.8
84	8.4	4.9	4.0	1.1	1.8	0.5	0.1	0.4	5.5	0.0	0.0	0.0	1.0	2.2	3.5	3.0
85	19.1	17.6	10.1	7.5	11.4	10.8	0.0	3.9	9.2	4.8	6.5	2.5	4.5	3.2	12.8	4.6
86	31.3	35.1	13.6	3.1	19.6	14.2	0.0	11.6	18.3	4.7	6.8	2.4	7.3	6.7	19.5	12.0
87	26.4	31.4	2.3	17.3	15.0	4.4	0.0	5.5	16.1	0.7	2.4	0.0	4.1	6.2	16.0	11.2
MOY.	22.3	18.1	9.6	8.6	8.8	5.3	0.6	3.6	10.8	2.2	3.5	1.7				
ECT.	7.8	12.7	5.5	5.7	5.8	4.5	1.1	3.2	6.6	2.0	2.8	2.2				

Chaque valeur représente la moyenne des indices des 4 quinzaines de la Petite Saison Froide, par année et par station.

Variabilité interannuelle

L'étude des variations interannuelles permet également de distinguer trois zones géographiques:

- le littoral ouest ivoirien, de Tabou à Fresco;
- le littoral est ivoirien, d'Abidjan à Assinie;
- le littoral du Ghana.

Les anomalies (résidus par rapport à la moyenne) des indices annuels pour l'ensemble des stations de chacune des trois zones montrent la succession d'années aux caractéristiques très différentes (fig. 4a):

- pour la période 1970-1977 (données du Ghana uniquement), on distingue des années à résurgence assez peu active (1973 et 1974) et des années à résurgence intense (1975 et 1976);
- l'indice annuel était particulièrement élevé en 1985-1986 à Abidjan et Assinie, comme le long du littoral ghanéen, et particulièrement faible en 1979 et 198;
- l'ouest ivoirien présente deux périodes nettement distinctes: 1978 à 1982 étaient des années à résurgence plutôt intense, 1983 à 1987 des années à résurgence plutôt peu active.

Ces caractéristiques se retrouvent lors de l'étude des indices saisonniers (fig.4b et c): les résurgences de GSF ont été particulièrement intenses en 1971-1972, 1975-1976, 1978, 1982-1983 et 1985-1986 au Ghana (et pour la période où les données sont disponibles, dans l'est ivoirien), peu actives en 1973, 1974, 1979, 1981 et 1987. Dans l'ouest ivoirien, la situation est différente et on peut distinguer des séquences de remontée active (1978 à 1982 et 1985) et des séquences de remontée peu intense (1983-1984 et 1986), voire exceptionnellement faible (1987).

Le long du littoral ghanéen, la PSF n'est marquée qu'à Takoradi et plus particulièrement en 1976, 1979 et 1986. En Côte-d'Ivoire, les années 1978 et 1980 à 1984 sont caractérisées par des PSF peu importantes, sauf exception locale (comme par exemple, face à Fresco en 1984). Au sein de la séquence 1978-1987, l'année 1979 s'individualise avec des anomalies fortement positives de Tabou à Fresco et à Takoradi. L'année 1987, si particulière du point de vue de la GSF, est caractérisée par une PSF plutôt importante, y compris aux stations du cap des Trois-Pointes et de Takoradi, mais très peu marquée à Sassandra.

DISCUSSION

Les températures étant mesurées à la côte, la résurgence n'est détectée que lorsque les eaux froides atteignent la couche la plus superficielle de l'océan. Les indices utilisés peuvent donc sous-estimer l'intensité des événements froids.

Choix de l'indice

En raison de la nature de la résurgence ivoiro-ghanéenne, on ne pouvait utiliser l'indice lié au transport d'Ekman. Nous avons donc employé un paramètre dont le choix peut être discuté:

Fig. 4a

Variabilité spatio-temporelle de l'indice annuel de Tabou à Keta.
Liste des points de mesure: Tabou (A), San Pedro (B), Sassandra (C), Fresco (D), Abidjan (E), Assinie (F), Axim (G), cap des Trois-Pointes (H), Takoradi (I), Winneba (J), Tema (K) et Keta (L).

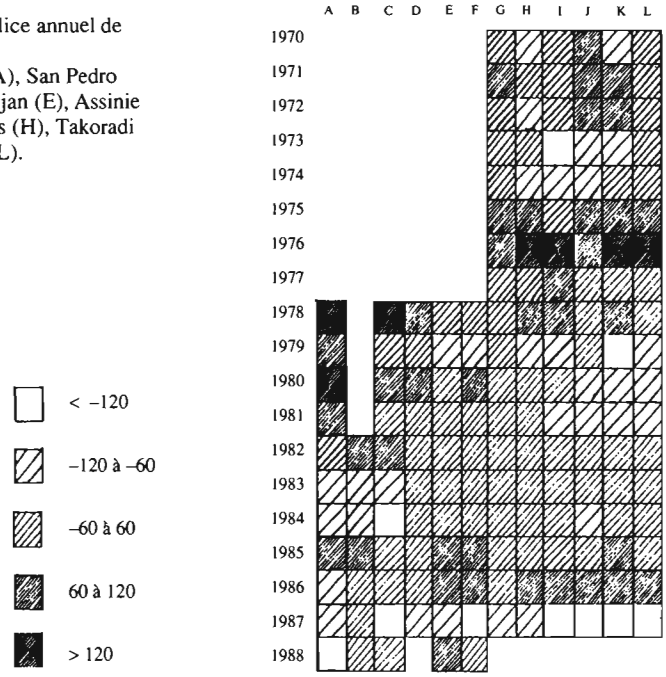


Fig. 4b

Variabilité spatio-temporelle de l'indice de Grande Saison Froide.

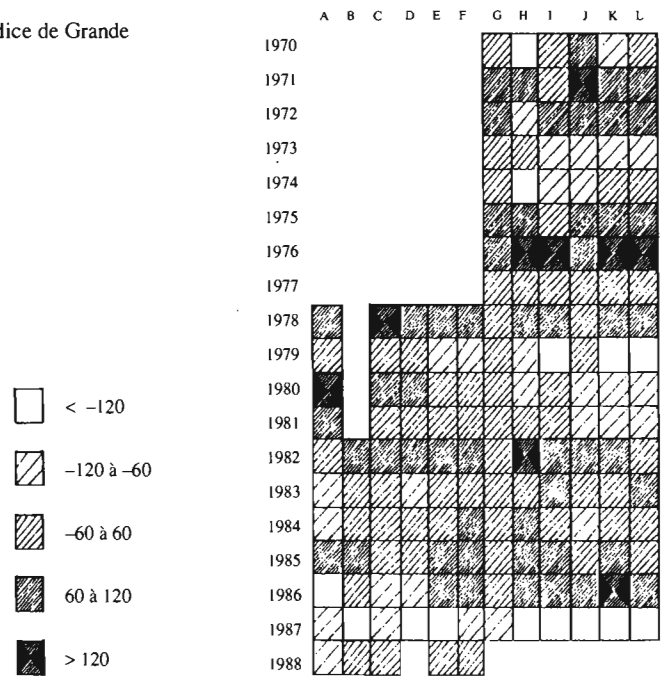
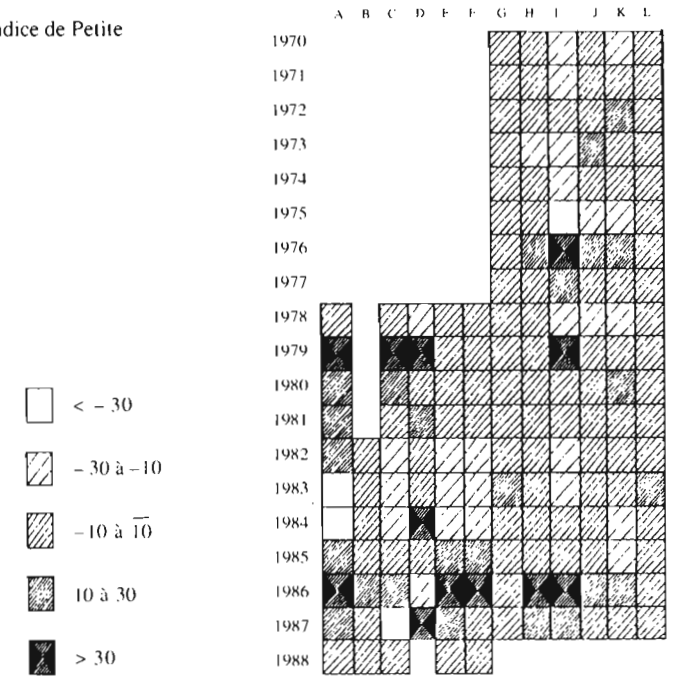


Fig. 4c

Variabilité spatio-temporelle de l'indice de Petite Saison Froide



• tout d'abord, cet indice n'est pas comparable à ceux utilisés pour d'autres sites de remontées côtières; tout au plus, pourra-t-on décrire l'intensité des phénomènes;

• les températures utilisées sont mesurées à la côte. Cette technique, aisée et adaptée aux contraintes du terrain, peut cependant introduire un biais dans l'estimation des températures plus au large (décalage temporel, influence des particularités locales...). Néanmoins, une étude non présentée ici a montré que les températures à la côte relevées à Abidjan-Port-Bouet sont généralement plus froides (de l'ordre de 1°C) que celles mesurées au large d'Abidjan. Les deux séries présentent une corrélation significative ($r = 0{,}93^{***}$, $n = 157$). En outre, lors du programme FOCAL, les températures mesurées à la côte et le long d'une radiale nord-sud vers le large ne montraient pas de différences notables, si ce n'est une tendance à être plus froides près du littoral (Colin, 1988). Les résultats acquis à la côte diffèrent donc peu de ceux obtenus au large et l'évolution thermique ainsi définie reflète assez bien les conditions thermiques régnant au dessus du plateau continental, en particulier pour ce qui se rapporte aux situations de transition;

• le choix du seuil de température (26°C) n'est pas arbitraire: cette valeur est en effet très proche de la moyenne annuelle pour chacune des stations étudiées. Utiliser une valeur plus basse (Binet, 1982) aurait eu pour effet d'occulter partiellement ou totalement la «Petite Saison Froide»;

• afin de respecter le pas de temps des données de débarquement des pêcheries locales, la quinzaine a été prise comme base de calcul de l'intensité de la remontée. Ce choix peut être contesté dans un milieu où la variabilité à haute fréquence des températures en surface est élevée et un pas d'une semaine serait peut-être plus approprié. Toutefois cette unité coïncide avec l'onde de 14,7 jours mise en évidence par Picaut et Verstraete (1979) dans la progression d'est en ouest de l'upwelling;

• la délimitation temporelle de la PSF et de la GSF se fait sur des critères arbitraires. Dans la plupart des situations, ce découpage se révèle adéquat. Pour les stations qui présentent de forts indices, le découpage saisonnier est parfois imparfait car la résurgence peut être observée sur de plus longues périodes. Dans ce cas, l'indice saisonnier est sous-évalué. On pourrait alors utiliser un indice global, intégrant les différences positives ou négatives à 26°C, ce qui permettrait de mieux prendre en compte les situations de transition.

Variabilité spatio-temporelle

Les fluctuations interannuelles de l'indice d'activité de la résurgence ivoiro-ghanéenne sont importantes. On observe une succession d'années aux caractéristiques différentes (1987 étant, en l'occurrence, une année très particulière). Cette variabilité semble être liée aux variations d'intensité de la Petite Saison Froide. Cette

dernière n'est marquée qu'à Tabou et San Pedro qui présentent de forts indices annuels. De Sassandra à Abidjan et face à Takoradi, la résurgence est présente en janvier et février, mais beaucoup moins active qu'à l'ouest de Sassandra. A Assinie et le long du littoral ghanéen (à l'exception de Takoradi), on est en présence de brefs et peu intenses épisodes froids. L'ensemble géographique du cap des Trois-Pointes (d'Axim à Takoradi, au sens large) montre donc, sur une courte distance, une très forte diversité hydrologique.
Pour la seule GSF, on peut distinguer certaines années où la résurgence était particulièrement active (1971-1972 et 1975-1976 au Ghana, 1978 et 1982 sur l'ensemble de la région) ou particulièrement faible (1973-1974 au Ghana, 1979 et 1987 sur tout le littoral). Mais la variabilité spatio-temporelle est très importante et il est difficile d'établir des regroupements de séquences ou de portions de côte.

Influence de la morphologie côtière

Le déclenchement et le maintien durant plusieurs semaines de la remontée côtière ivoiro-ghanéenne ne sont pas liés qu'aux vents. Les mécanismes sont différents de ceux qui engendrent les upwellings au sens d'Ekman (Picaut, 1983 ; Colin, 1988 ; Colin *et al.*, à paraître) et des particularités locales peuvent renforcer la résurgence. La présence des caps des Palmes et des Trois-Pointes favorise la remontée, d'autant plus que la côte prend à ces endroits une orientation ouest-sud-ouest. Or, Colin *et al.* (à paraître) signalent qu'en début de GSF et pour la durée de cette période, les vents à la côte passent du secteur sud-ouest à l'ouest-sud-ouest, ce qui renforce l'action du vent sur ces portions de littoral. L'accélération du courant de Guinée, nette à partir du mois de mai (Colin, 1988), le voisinage des caps et la direction du vent qui devient parallèle à la côte concourent donc à augmenter localement l'intensité de la remontée côtière. A l'inverse, la côte d'Axim, orientée au nord-ouest/sud-est, est située en amont du point de vue du transit du courant de Guinée. Il y aurait une accumulation d'eau à la côte qui limite considérablement l'activité de la résurgence (Marchal et Picaut, 1977). D'autres facteurs (hauteur de la thermocline, largeur du plateau continental, présence d'un canyon sous-marin, courants et sous-courants saisonniers sur le plateau continental, débouché temporaire d'un fleuve important...) peuvent également influer sur l'intensité locale de la remontée.

CONCLUSION

Si la résurgence côtière ivoiro-ghanéenne n'est pas comparable en intensité à celles du Maroc-Mauritanie et de l'Angola, ce phénomène est néanmoins d'une grande importance pour le milieu néritique de la partie centrale du golfe de Guinée. La résurgence participe en effet à l'enrichissement de la masse d'eau dans un secteur tropical oligotrophe.
L'activité de la résurgence paraît s'accroître là où des facteurs favorisent le mouvement ascendant de la masse d'eau. La présence ou l'absence de ces facteurs permet de différencier un littoral où la remontée est intense et un littoral où l'activité est plus limitée, voire très faible.
Les remontées d'eaux profondes qui affectent la côte ivoiro-ghanéenne présentent une forte variabilité à différentes échelles de temps et d'espace. Ces processus environnementaux complexes, irréguliers et difficiles à appréhender ont une grande influence sur un écosystème pélagique instable et par nature changeant.

DISCUSSION

FONTENEAU: Quelle est la position actuelle des spécialistes sur la nature de l'upwelling ivoiro-ghanéen: onde internes, vents, divergences, etc... ?

PEZENNEC: Cet upwelling serait le résultat d'interactions complexes entre les ondes internes, le vent et la divergence due au courant de Guinée.

ROY: Aucune des différentes théories émises à ce jour n'a en réalité permis de rendre compte du phénomène dans son ensemble. Cet upwelling est, je crois, le résultat des différents processus rappelés par Pezennec. De plus, les contributions respectives de chacun d'entre eux peuvent varier d'une année à l'autre.

HERBLAND: Dans son article sur l'upwelling de Côte-d'Ivoire, Colin (1988) montre que les vents locaux sont assez forts pour générer l'upwelling. Les études antérieures utilisaient les vents mesurés à la côte qui ne seraient pas représentatifs des vents sur le plateau continental.

ROY: Son étude ne porte cependant que sur deux cycles annuels. Les données de vents des bateaux marchands n'ont pas, non plus, permis de trouver de corrélations significatives entre le vent et l'upwelling.

MARCHAL: L'influence du vent ne peut cependant être niée.

OUDOT: Au cours de la grande saison froide, la situation au cap des Trois-Pointes et au cap des Palmes est sensiblement identique, mais pourquoi la Petite Saison Froide au Ghana est-elle moins intense ?

PEZENNEC: Peut-être en raison de la largeur du plateau continental au niveau de Takoradi.

BINET: Avez-vous des données permettant de voir si la Petite Saison Froide était aussi intense au Ghana qu'à Abidjan au début des années 1970 ?

PEZENNEC: Nous n'avions pas les données pour faire cette comparaison mais elles existent certainement.

DIAW: Quelles sont les implications des différences observées dans la dynamique des upwellings pour les stocks ivoiro-ghanéens ?

PEZENNEC: Les zones les plus favorables sont à l'est du cap des Palmes et du cap des Trois Pointes. L'est du cap des Trois Pointes a toujours été une zone d'abondance des sardinelles alors que l'est du cap des Palmes semble le devenir depuis le début des années quatre-vingt.

MARCHAL: Il y a eu des modifications importantes dans la pêcherie, notamment en ce qui concerne l'abondance de *S. aurita* depuis le début des années 1980. Le problème est de savoir si ces modifications relèvent de changements au niveau de la population ou uniquement de causes physiques.

BIBLIOGRAPHIE

• Arfi, R. 1987. Variabilité interannuelle de l'hydrologie d'une région d'upwelling (bouée Bayadère, Cap-blanc, Mauritanie). Oceanologica Acta, 10(2): 151-159.

• Bakun, A. 1973. Daily and weekly upwelling indices, West Coast of north America 1946-71. U.S. Dep. Comm., NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-671, 103p.

• Bakun, A. 1978. Guinea Current upwelling. Nature, 271: 147-150.

• Binet, D. 1982. Influence des variations climatiques sur la pêcherie des *Sardinella aurita* ivoiro-ghanéennes: relation sécheresse-surpêche. Oceanologica Acta, 5(4): 443-452.

• Binet, D. 1983a. Phytoplancton et production primaire des régions côtières à upwelling saisonniers dans le Golfe de Guinée. Océanogr. trop., 18 (2): 331-335.

• Binet, D. 1983b. Zooplancton des régions côtières à upwellings saisonniers du Golfe de Guinée. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr., 18(2): 357-380.

• Colin, C. 1988. Coastal upwelling events in front of the Ivory Coast during the FOCAL program. Oceanologica Acta, 10(2): 125-138.

• Colin C., Y. Gallardo, R. Chuchla et S. Cissoko. A paraître. Synthèse du plateau continental de Côte d'Ivoire (environnements climatique et océanographique). In: Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. 1. Le milieu marin. Leloeuff, Marchal, Amon Kotias (éds.), ORSTOM.

• Cury, P. et C. Roy. 1987. Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de Côte d'Ivoire: une approche globale. Oceanologica Acta, 10 (3): 347-358.

• Herbland, A., R. Le Borgne, A. Le Bouteiller, et B. Voituriez. 1983. Structure hydrologique et production primaire dans l'Atlantique tropical oriental. Océanogr. Trop, 18(2): 249-293

• Marchal, E.G. et J. Picaut. 1977. Répartition et abondance évaluées par échointégration des poissons du plateau ivoiro-ghanéen en relation avec les upwellings locaux. J. Rech. Océanogr, 2(4): 39-57.

• Morlière, A. 1970. Les saisons marines devant Abidjan. Doc. Scient. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan, 1: 1-15.

• Morlière, A. et J.P. Rébert. 1972. Etude hydrologique du plateau continental ivoirien. Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan, 3: 1-30.

• ORSTOM/FRU, 1976. Rapport du groupe de travail sur la sardinelle (S.aurita) des côtes ivoiro-ghanéennes. FRU (Tema) et CRO (Abidjan). Document ORSTOM, 62 p.

• Picaut, J. 1983. Propagation of the seasonal upwelling in the Eastern Equatorial Atlantic. J. Phys. Oceanogr., 13: 18-37.

• Picaut, J. et J.M. Verstraete. 1979. Propagation of a 14.7 day wave along the Northern coast of the Guinea Gulf. J. Phys. Oceanogr., 9: 136-149.

• Portolano, P. 1987. Analyse des séries vents-température de la mer en surface le long des côtes sénégalaises. Océanogr. Trop., 21(2): 205-227.

• Roy, C. 1989. Fluctuations des vents et variabilité de l'upwelling devant les côtes du Sénégal. Oceanologica Acta., 12 (4): 361-369.

• Varlet, F. 1958. Le régime de l'Atlantique près d'Abidjan. Etudes Eburnéennes, 7: 97-222.

• Verstraete, J.M. 1970. Etude quantitative de l'upwelling sur le plateau continental ivoirien. Doc. Scient. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan, 1(3): 1- 17.

13 • La variabilité des relations nitrate-température et nitrate-phosphate dans l'upwelling sénégalais

CLAUDE ROY
Océanographe ORSTOM, CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal
CLAUDE OUDOT
Océanographe ORSTOM, ORSTOM, BP 1386, Dakar, Sénégal

RÉSUMÉ

La variabilité interannuelle des relations NO_3/T et NO_3/PO_4 dans l'upwelling sénégalais est étudiée à partir de deux jeux de données: des prélèvements hebdomadaires à une station côtière et des données synoptiques de surface prélevées lors de campagnes océanographiques. Des différences significatives apparaissent d'une année à l'autre entre les pentes des droites de régression NO_3/T et NO_3/PO_4. Ces différences sont interprétées comme des modifications des mécanismes de production. Quelques processus physiques ou biologiques pouvant contribuer à ces modifications des pentes des droites de régression sont proposés. La comparaison entre les données de la station côtière et celles des campagnes océanographiques suggère qu'il existe des différences significatives entre les processus se développant dans l'espace sur l'ensemble du plateau et ceux se déroulant dans le temps en un point fixe à la côte.

ABSTRACT

The interannual variability of the NO_3/T and NO_3/PO_4 relationship in the Senegalese upwelling is investigated from two different data sets: weekly samples at a coastal station and surface synoptic data from oceanographic cruises. From one year to another, significative differences exist between the slope of the NO_3/T and NO_3/PO_4 regressions. These differences are interpreted as an alteration of the production processes. Different physical or biological processes are proposed to explain these differences. The comparison between the results at the coastal station data and those given by the oceanographic cruises data shows significant differences between the spatial processes acting on the continental shelf and the temporal processes occurring at a coastal station.

INTRODUCTION

La caractéristique majeure d'un upwelling est la résurgence en surface d'eaux froides possédant de fortes teneurs en éléments minéraux. Ces éléments nutritifs sont consommés par les premiers maillons de la chaîne trophique et sont à l'origine de la forte productivité biologique des zones d'upwelling. Des interactions existent entre les processus physiques, chimiques et biologiques mis en jeux dans les mécanismes de production. Elles sont illustrées par des relations, parfois linéaires, entre des paramètres de nature différente (température, sels nutritifs,...) mesurés simultanément. L'étude des relations nitrate-température et nitrate-phosphate à l'intérieur d'une masse d'eau présente de nombreux intérêts (Herbland *et al.*, 1983; Voituriez et Herbland, 1984). Un changement, d'une région à l'autre ou d'une année à l'autre, de la pente de ces régressions est interprété comme une modification des interactions entre les composantes

physiques, chimiques ou biologiques de l'écosystème. Cette approche, bien qu'insuffisante pour appréhender dans le détail les mécanismes mis en jeu, est utilisée pour explorer la reproductibilité d'une année à l'autre des mécanismes d'enrichissement de l'upwelling sénégalais.

Les relations nitrate/phosphate (NO_3/PO_4) et nitrate/température (NO_3/T) peuvent aider à caractériser, sous un angle physique, la nature et l'origine d'une masse d'eau, ainsi que les processus de mélange de masses d'eau d'origine différente (Gardner, 1977; Fraga *et al.*, 1985). Redfield (1934) montre que la pente de la droite de régression entre nitrate et phosphate est statistiquement proche du rapport entre la composition en azote et en phosphore du plancton. Les sels nutritifs sont prélevés par le plancton dans des proportions exigées par la croissance de ces organismes (Redfield *et al.*, 1963). Une modification de cette pente peut, dans une optique biologique, être un indicateur d'un changement de la dynamique des communautés planctoniques et des processus de régénération à l'intérieur des masses d'eaux (Coste et Slawyk, 1974; Tréguer et Le Corre, 1979; Voituriez et Herbland, 1984; Oudot et Morin, 1987). L'étude de la relation nitrate-température a connu un regain d'intérêt avec le développement des mesures de température de surface par satellite et la perspective de pouvoir dresser des cartes de nitrate à partir de celles de température (Traganza, 1985).

ORIGINE DES DONNÉES

Une série de prélèvements hebdomadaires à la station côtière de Yoff de 1985 à 1989 (Oudot et Roy, présent volume) et des données de surface provenant de trois campagnes océanographiques réalisées en saison d'upwelling (1986, 1987 et 1988) par le CRODT/ISRA sont utilisées. Ces données permettent de comparer d'une année à l'autre les relations NO_3/T et NO_3/PO_4 obtenues, soit à partir de la série temporelle de Yoff, soit à partir des structures spatiales échantillonnées lors des campagnes océanographiques. Des hypothèses basées sur différents processus physiques, chimiques ou biologiques sont avancées pour tenter de rendre compte de la variabilité observée.

LA RELATION NITRATE-TEMPÉRATURE DANS L'UPWELLING SÉNÉGALAIS

Le diagramme NO_3/T à la station côtière de Yoff de février 1985 à mai 1989 montre que la décroissance de la teneur en nitrate en fonction de la température est linéaire pour les valeurs de température inférieures à 21°C; au delà de cette valeur, il y a une rupture de pente de la droite de régression et une forte dispersion des points (fig. 1). Pour les températures inférieures à 21°C, les estimateurs des paramètres de la régression sont significatifs au seuil de 99% (fig. 1). Cette linéarité entre 15°C et 21°C traduit un équilibre entre le taux de réchauffement de l'eau de surface et celui de la consommation des sels nutritifs (Minas *et al.*, 1986). Cette relation NO_3/T est similaire à celle obtenue à partir d'un profil vertical dans la zone tropicale. Elle illustre l'apport d'eaux froides profondes dans la zone côtière par l'upwelling. Pour les températures supérieures à 21°C, le pourcentage de la variance expliquée par la régression est faible (9%). Ce seuil marque la fin des apports d'eaux froides par l'upwelling et correspond à la valeur de la température à partir de laquelle les eaux de surface au large du Sénégal ont des teneurs en nitrate voisines de zéro (fig. 2). Cette valeur est intermédiaire entre celle rencontrée dans l'upwelling équatorial du golfe de Guinée (Oudot et Morin, 1987) et celle observée dans l'upwelling de Mauritanie au coeur de la saison froide (Voituriez et Herbland, 1984). Les concentrations élevées enregistrées en zone littorale dans les eaux chaudes (T>21°C) semblent être le reflet d'un échange par diffusion entre les sédiments et la colonne d'eau (Oudot et Roy, présent volume). Cette étude sera limitée aux températures inférieures à 21°C.

Les relations NO_3/T à Yoff et sur le plateau continental sont identiques (fig. 2). Les estimateurs des paramètres des deux régressions sont significatifs au seuil de 99% (fig. 1 et 2). Cette homogénéité des estimateurs suggère qu'il existe une certaine similitude entre les processus se développant dans l'espace sur l'ensemble du plateau et ceux se déroulant dans le temps en un point fixe à la côte.

Variabilité interannuelle de la relation NO_3/T à la côte

La variabilité interannuelle de la relation NO_3/T à la côte est analysée à l'aide des données hebdomadaires de Yoff entre 1985 et 1989. Seules les températures inférieures à 21°C ont été prises en compte; chaque diagramme de dispersion correspond à une saison d'upwelling, notée i, qui s'étend du mois de décembre de l'année i-1 au mois de mai de l'année i. Les pentes des droites de régression changent d'une année à l'autre (fig. 3, tab. 1); un test statistique montre que l'hypothèse d'égalité de ces pentes peut être rejetée ($F_{4,88} = 4,75$, significatif à $p = 0,01$). La pente la plus faible (en valeur absolue) est observée en 1985; les plus fortes pentes sont rencontrées en 1987 et 1989. La saison d'upwelling 1985 est celle où l'activité de la résurgence est la plus intense de la série, celle de 1987 la plus faible (Oudot et Roy, présent volume). La pente de la droite de régression NO_3/T semble inversement proportionnelle à l'intensité de l'upwelling, estimée soit à partir des températures moyennes en saison froide, soit à l'aide de l'indice d'upwelling (fig. 4). Dans un upwelling intense, la décroissance des nitrates en fonction de la température de surface serait moins rapide que dans un upwelling faible ou modéré. La validité de cette relation établie avec cinq années d'observation reste cependant à confirmer; la forte dispersion des points (fig. 4) suggère que l'intensité de l'upwelling n'est pas le seul facteur à prendre en compte.

Les différences entre les pentes des droites de régression NO_3/T sont essentiellement dues à des concentrations de nitrate, pour les températures comprises entre 18°C et 21°C, relativement plus faible en 1987 et 1989

Fig. 1

Relation entre les concentrations en nitrate ($\mu mol.l^{-1}$) et la température (°C) (pour T<21°C et T>21°C) à la station côtière de Yoff (1985-1989).

Température < 21°C				
Paramètre	Estimation	Erreur standard	T	
Ordonnée	77,07	3,91	19,67	0,00
Pente	− 3,50	0,21	−16,34	0,00
Coefficient de corrélation = − 0,86 R-carré = 73,58 % Nombre de points = 97				

Température > 21°C				
Paramètre	Estimation	Erreur standard	T	
Ordonnée	9,26	3,91	5,13	0,00
Pente	− 0,22	0,06	3,27	0,00
Coefficient de corrélation = − 0,86 R-carré = 8,69 % Nombre de points = 114				

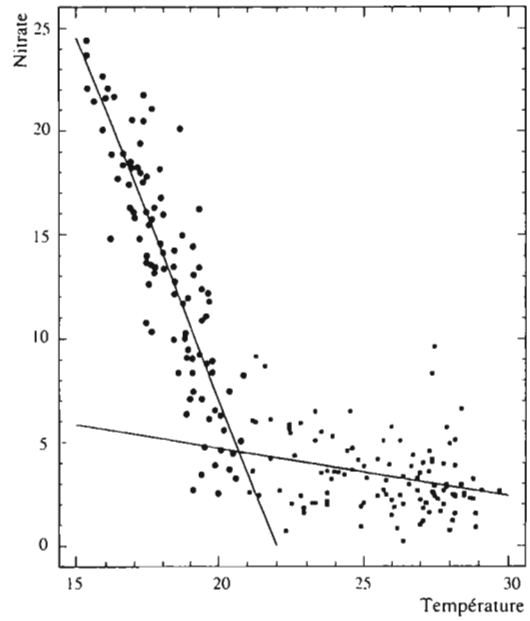


Fig. 2

Relation entre les concentrations en nitrate ($\mu mol.l^{-1}$) et la température (°C) (pour T<21°C) sur le plateau continental en surface (campagnes CIRSEN du CRODT, 1986-1987-1988).

Paramètre	Estimation	Erreur standard	T	
Ordonnée	74,30	3,08	24,13	0,00
Pente	− 3,57	0,16	− 21,39	0,00
Coefficient de corrélation = − 0,87 R-carré = 76,31 % Nombre de points = 114				

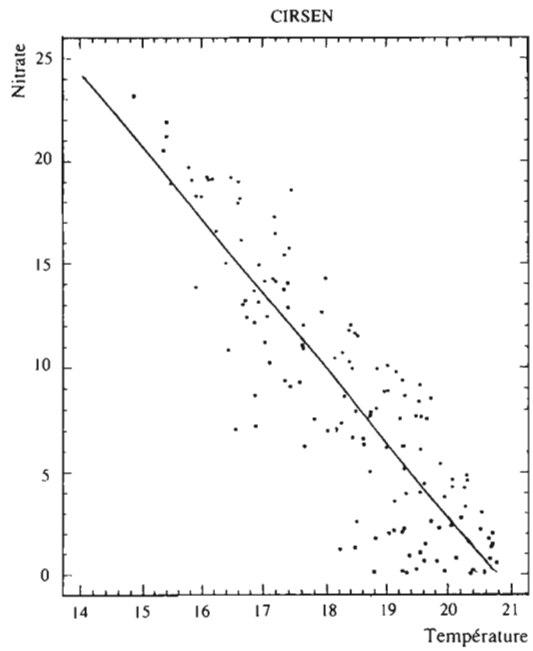


Fig. 3

Relation entre les concentrations en nitrate (µmol.l^{-1}) et la température (°C) (pour T<21°C) à la station côtière de Yoff pour les saisons d'upwelling entre 1985 et 1989.

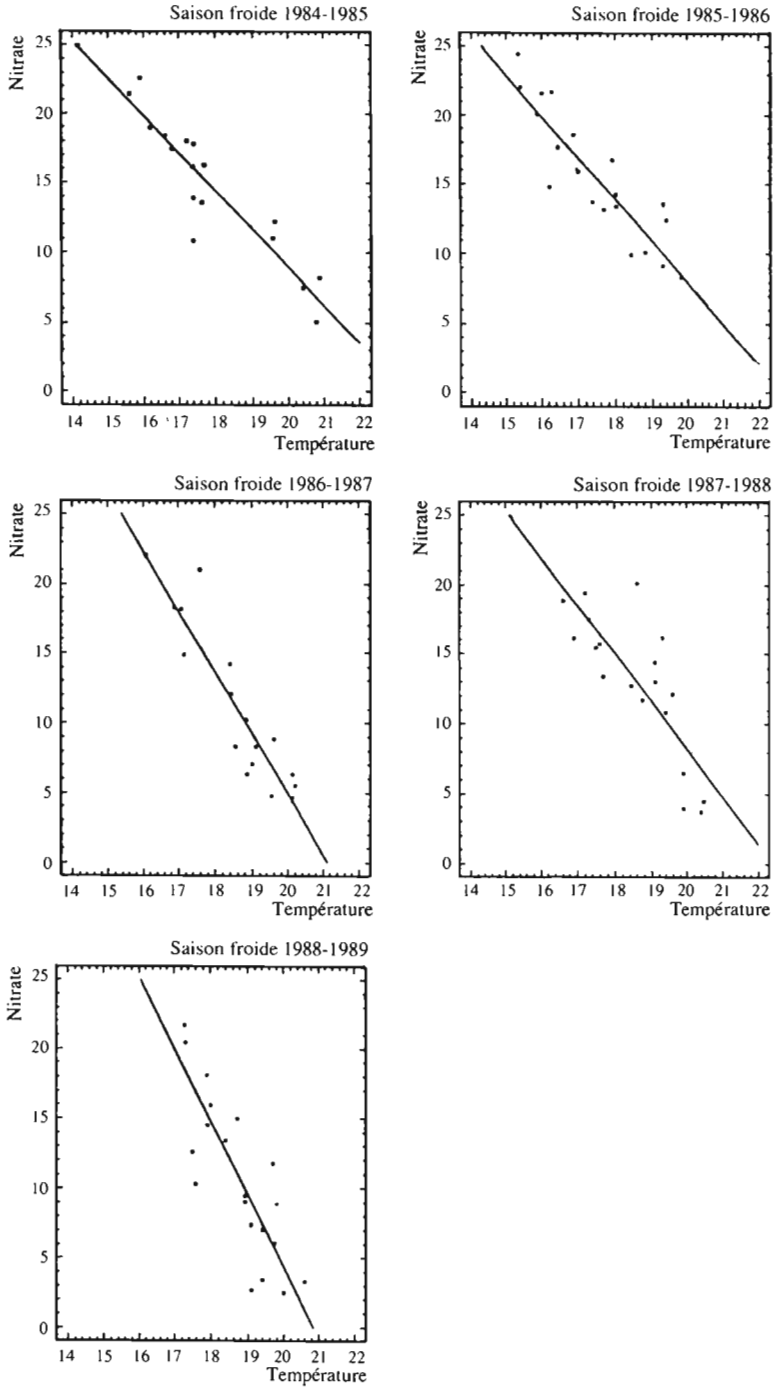
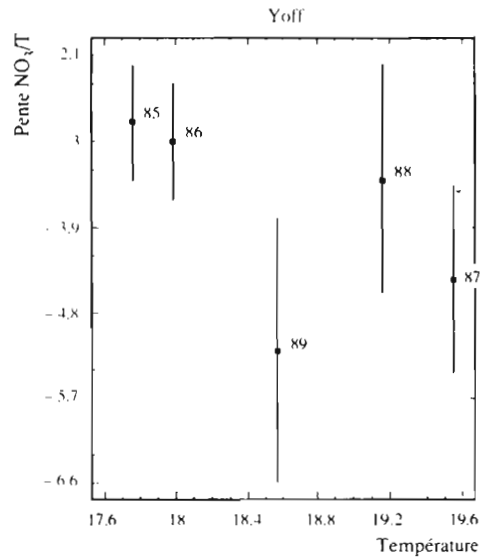


Fig. 4

Relation, de 1985 à 1989, entre la pente de la régression nitrate/température à la station côtière de Yoff et l'intensité de l'upwelling estimée à l'aide de la température moyenne en saison froide et de l'indice d'upwelling. L'intervalle de confiance (p = 0.05) est tracé pour chacun des estimateurs des pentes.



qu'en 1985, 1986 et 1988 (fig. 3). Ces températures sont observées au cours des périodes d'intensification et de relaxation de la résurgence. Plusieurs processus sont susceptibles de rendre compte de ce phénomène:

• en premier lieu, le phytoplancton pourrait être à l'origine de cette variabilité. En effet, la biomasse végétale dispose de conditions plus favorables pour se développer dans un upwelling modéré (stabilité accrue et brassage par le vent atténué) que dans un upwelling fort (Barber et Smith, 1981). Les faibles teneurs en nitrate observées en 1987 et 1989 à la côte pourraient être le résultat d'une assimilation plus importante des sels nutritifs par le phytoplancton en début et en fin de saison d'upwelling; si cette hypothèse semble vraisemblable en 1989 où les teneurs en chlorophylle restent constamment au dessus de la valeur moyenne (fig. 5, *in* Oudot et Roy, présent volume), elle ne semble pas s'appliquer à la saison d'upwelling 1987 pendant laquelle la chlorophylle reste à des concentrations proches de la moyenne;

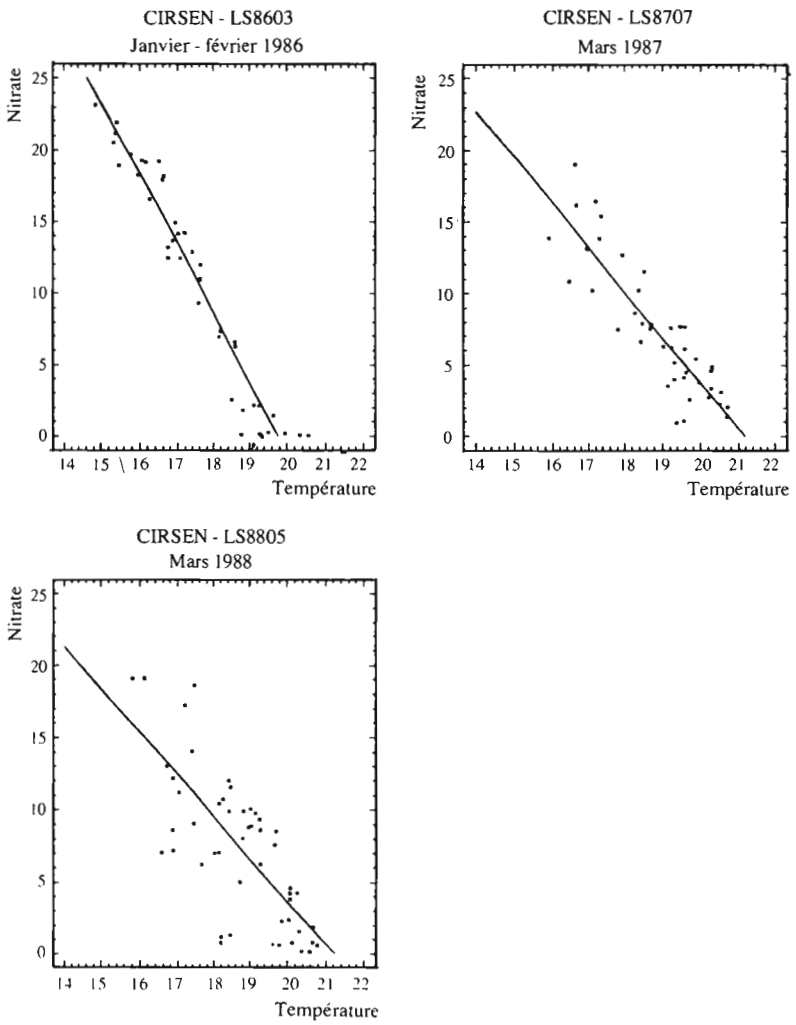
• une seconde hypothèse serait un broutage excessif du phytoplancton par le zooplancton pendant les périodes d'intensification et de relaxation de l'upwelling en 1985, 1986 et 1988. Ce déséquilibre en faveur du zooplancton aurait limité la consommation des sels nutritifs et entraîné un accroissement relatif des teneurs en nitrate. De telles situations appelés "High Nutrients-Low Chlorophyll" (HNLC) ont été décrites par Walsh (1976) et Minas *et al.* (1986): elles sont fréquemment rencontrées dans des zones d'upwelling. Dans un écosystème dominé par le zooplancton, on constate une anomalie positive de la teneur en sels minéraux par rapport aux concentrations rencontrées dans un écosystème ou la production est équilibrée. En retenant cette hypothèse, les saisons d'upwelling 1985, 1986 et à un degré moindre 1988, seraient des situations HNLC. L'absence de données concernant le zooplancton ne permet pas d'étayer cette hypothèse. D'autres mécanismes, comme la vitesse de dérive des eaux côtières, l'ensoleillement, sont également susceptibles d'entraîner une modification de la pente de la régression NO_3 T. Ne disposant pas d'informations suffisantes, il est difficile de sélectionner l'une ou l'autre de ces hypothèses. Une étude plus détaillée aurait sans doute montré des interactions complexes entre ces différents mécanismes qui peuvent rencontrer ponctuellement au cours de la période 1985-1989 des conditions propices pour s'exprimer.

Variabilité interannuelle de la relation NO_3/T sur le plateau continental

Dans le paragraphe précédent, l'analyse est basée sur des séries chronologiques relevées en un point du littoral. Des données quasi synoptiques couvrant le plateau continental et ses abords sont maintenant analysées. Ces données proviennent de trois campagnes océa-

Fig. 5

Relation entre les concentrations en nitrate ($\mu mol.l^{-1}$) et la température (°C) (pour T<21°C) en surface sur le plateau continental (campagnes CIRSEN du CRODT, 1986-1987-1988).



nographiques en période d'upwelling; les conditions rencontrées en 1986 sont celles d'un upwelling intense, les suivantes sont celles d'un upwelling faible (1987) ou modéré (1988).

Il existe une forte variabilité interannuelle de la pente de la droite de régression NO_3/T sur le plateau continental (fig. 5, tab. 2). Un test statistique montre que l'hypothèse d'égalité de ces pentes peut être rejetée ($F_{2,168} = 51,43$, significatif à $p = 0,01$). L'examen de la figure 5 appelle les remarques suivantes:

- la pente la plus forte est observée en 1986 au cours de l'upwelling le plus intense de la série 1986-1988. Les valeurs de nitrate observées pour des températures supérieures à 19°C semblent être plus faibles dans un upwelling fort (1986) que dans des upwellings faibles ou modérés (1987 et 1988);
- la dispersion des points autour de la droite de régression dans un upwelling fort (1986) est inférieure à celle rencontrée dans des upwellings faibles ou modérés (1987, 1988).

Une modification des échanges d'énergie entre l'atmosphère et la surface de l'océan dans des upwellings d'intensité différente peut être la cause de la variabilité des estimateurs des pentes. Le réchauffement des couches superficielles en direction du large dans un upwelling modéré est facilité par la présence d'une thermocline. Dans un upwelling fort, le brassage par le vent des couches superficielles accroît la profondeur de la couche de mélange et atténue le réchauffement superficiel. Dans des conditions de vents forts, la contribution de l'évaporation peut également devenir un facteur non négligeable dans le calcul du bilan thermique des échanges océan-atmosphère. Comparativement, la vitesse de réchauffement des eaux superficielles est vraisemblablement plus faible dans un upwelling intense que dans des conditions de vent modéré. Si l'on suppose que la vitesse d'assimilation des sels nutritifs varie peu par rapport à cet effet thermique, la température à partir de laquelle l'eau de mer de surface sera épuisée en nitrate dans un upwelling intense sera inférieure à celle rencontrée dans un upwelling d'intensité modérée. Cet écart entre les vitesses d'assimilation des sels nutritifs et de réchauffement de l'eau de surface semble rendre compte de la variabilité des pentes des régressions NO_3/T sur le plateau continental.

La dispersion des points autour de la droite de régression NO_3/T en 1987 et 1988 indique que la contribution de facteurs perturbateurs devient importante. Une modification de la consommation des sels minéraux par le phytoplancton pourrait rendre compte de cette forte dispersion. La prise en compte de la variable chlorophylle dans les régressions NO_3/T augmente sensiblement le pourcentage de variance expliquée en 1987 et 1988 (tab. 2). Le coefficient négatif associé au terme chlorophylle dans la régression signifie qu'un accroissement de la chlorophylle entraîne une baisse de la teneur en nitrate. La dispersion des points autour de la droite de régression semble être le reflet de la consommation des sels minéraux par le phytoplancton.

Ces résultats révèlent les limites de l'utilisation de la relation NO_3/T pour prédire la distribution du nitrate de surface à partir de données thermiques (imagerie satellitaire) telle que l'a suggéré Traganza (1985). Des concentrations excessives de phytoplancton peuvent localement entraîner une diminution des teneurs en sels nutritifs et biaiser la prédiction du potentiel nutritif à partir de mesures de température. Le degré de précision attaché à une telle prédiction sera également affecté si les modifications de la pente de la régression NO_3/T suivant l'intensité de l'upwelling ne sont pas prises en compte.

VARIABILITÉ INTERANNUELLE DE LA RELATION NITRATE-PHOSPHATE DANS L'UPWELLING SÉNÉGALAIS.

Variabilité interannuelle de la relation NO_3/PO_4 à la station côtière de Yoff

Les paramètres de la régression NO_3/PO_4 ont été calculés pour les cinq saisons d'upwellings à la station côtière de Yoff (fig. 6, tab. 3). Seule la pente calculée pendant la saison d'upwelling 1985 s'écarte de façon notable de celles calculées les autres années, ces dernières restent voisines du rapport de Redfield N/P = 16. Herbland et Voituriez (1974) obtiennent une valeur semblable, proche de 11, en suivant une drogue dans des eaux nouvellement upwellées de l'upwelling mauritanien. En Côte-d'Ivoire, les observations sur le plateau continental en période d'upwelling donnent une valeur voisine de 12 (Herbland et Le Loeuff, sous presse). Ces faibles valeurs de pente de la relation NO_3/PO_4 seraient le reflet d'un écosystème dominé par un certain type de phytoplancton, les diatomées, dont le rapport de constitution N/P serait plus proche de 8 que de 16 (Herbland *et al.*, 1983; Herbland et Le Loeuff, sous presse). Ce type de plancton semble dominant dans des conditions de stabilité faible et de forte turbulence (Grahame, 1987). Ces conditions sont rencontrées lors de la saison d'upwelling de 1985 (fig. 3 *in* Oudot et Roy, présent volume).

Variabilité interannuelle de la relation NO_3/PO_4 sur le plateau continental

La relation $N0_3/PO_4$ obtenue à partir des campagnes océanographiques sur le plateau continental est linéaire, la pente est voisine de 15 (fig. 7, tab. 4). Seules quelques observations, pour la plupart réalisées en 1987, s'écartent du nuage de points (fig. 7). Ces observations ont comme caractéristique commune d'être situées dans la bordure côtière, sur des fonds ne dépassant pas une vingtaine de mètres. De plus, les observations de 1987 sont caractérisées par des fortes teneurs en nitrite ($>1,10 \mu mol.l^{-1}$) et un taux de saturation en oxygène anormalement faible (fig. 7). Elles sont localisées au sud de la presqu'île du cap Vert où la largeur du plateau continental peut entraîner l'absence de mélange entre les eaux strictement côtières et celle du large. Ces taux de nitrite élevés et ces faibles concentrations relatives en oxygène semblent être des indices d'une activité de régénération des sels nutritifs particulièrement intense

Fig. 6

Relation entre les concentrations en nitrate ($\mu mol.l^{-1}$) et en phosphate ($\mu mol.l^{-1}$) en saison d'upwelling à la station côtière de Yoff de 1985 à 1989.

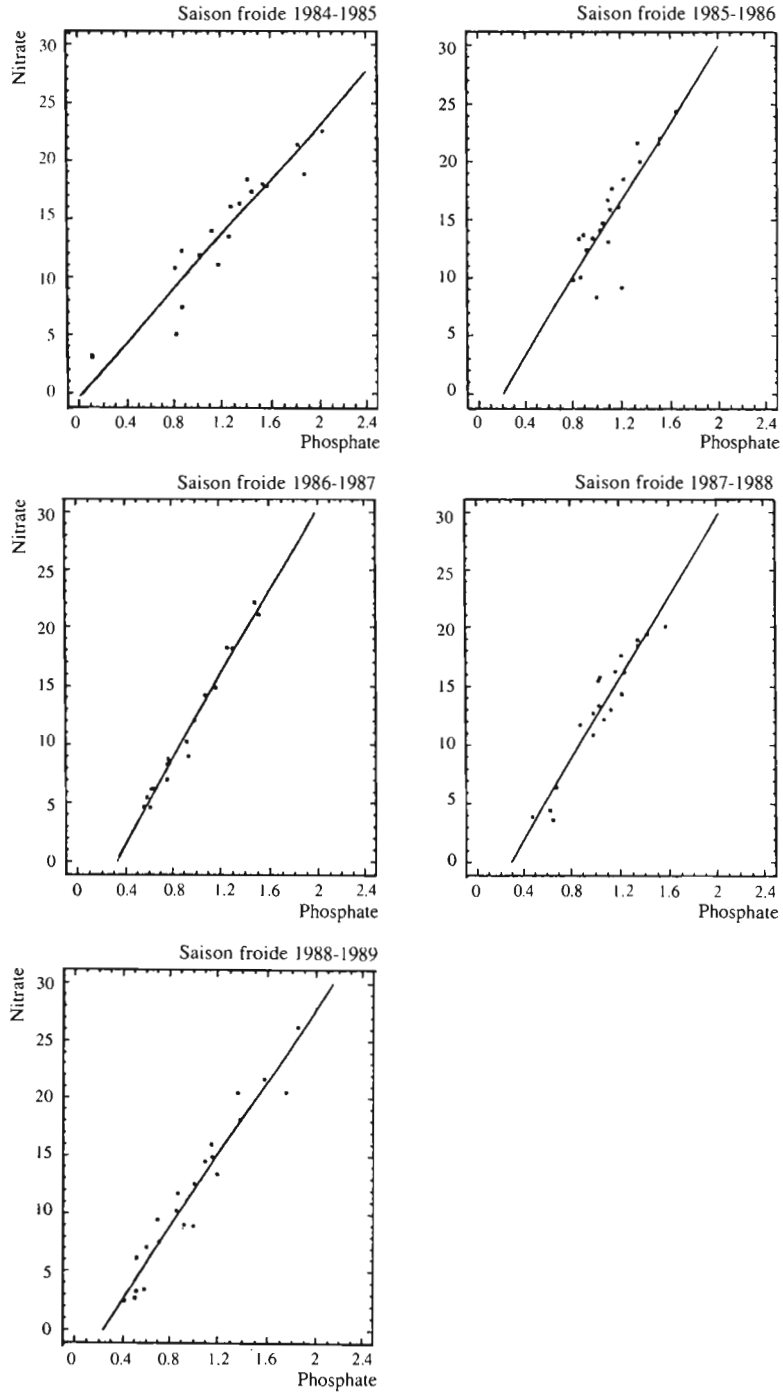


Fig. 7

Relation entre les concentrations en nitrate ($\mu mol.l^{-1}$) et en phosphate ($\mu mol.l^{-1}$) sur le plateau continental en saison d'upwelling (campagnes CIRSEN 1986-1987-1988). Les taux de saturation en oxygène (%) et les teneurs en nitrite ($\mu mol.l^{-1}$) sont indiqués pour les stations réalisées en 1987 sur les petits fonds au sud de la presqu'île du cap Vert.

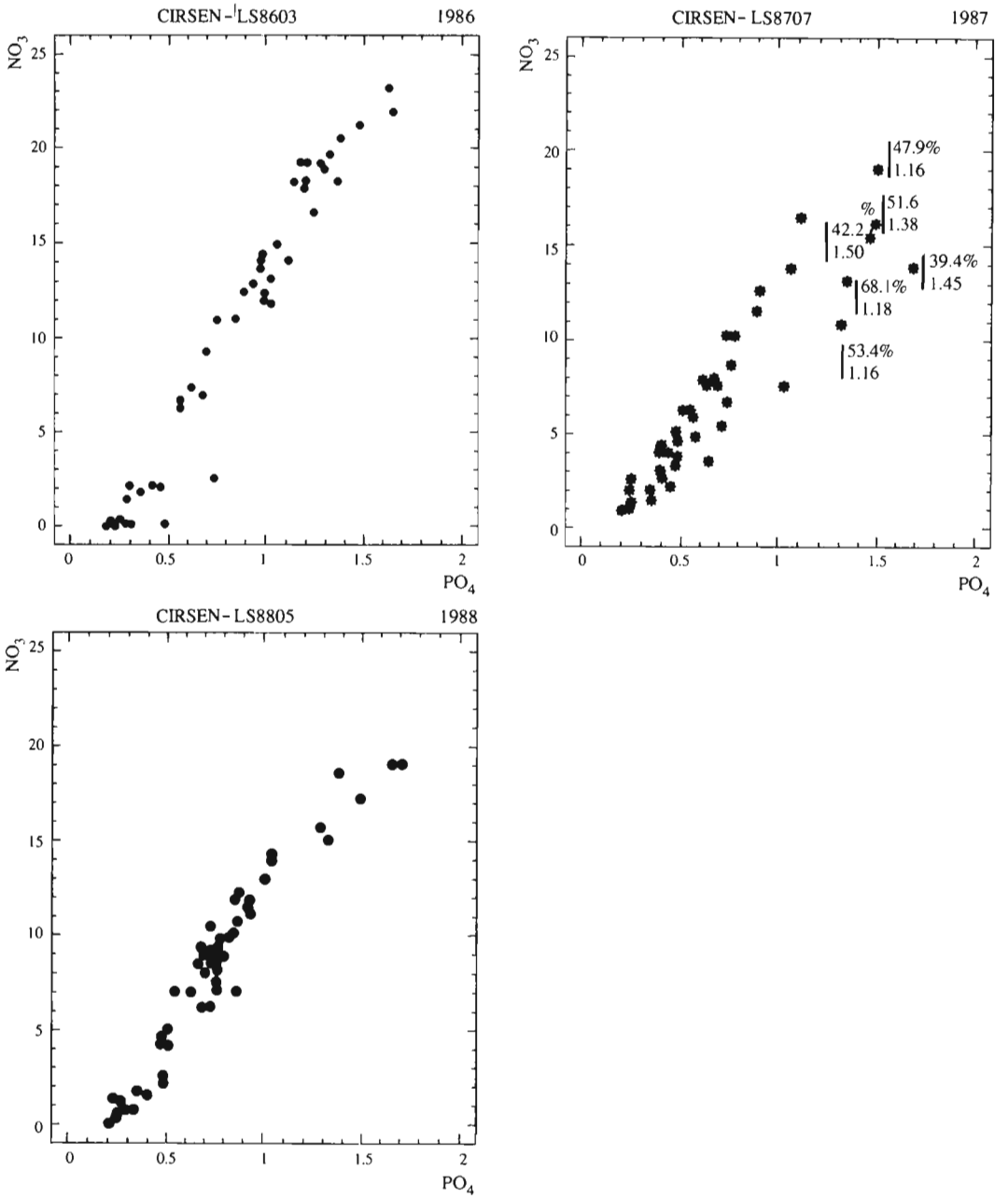


Tableau 1

Paramètres des régressions nitrate-température, à la station côtière de Yoff pour les saisons d'upwelling de 1985 à 1989.

SAISON	Régression NO_3/T
1984-1985	NO_3 = 65.5(± 11.4) - 2.8(± 0.6)T ddl = 16 R^2= 84%
1985-1986	NO_3 = 67.3(±12.0) - 3.0(±.6)T ddl = 20 R^2= 80%
1986-1987	NO_3 = 92.2(± 17.6) - 4.4(± 1.0)T ddl = 17 R^2= 84%
1987-1988	NO_3 = 76.9(± 22.4) - 3.4(± 1.2)T ddl = 18 R^2= 66%
1988-1989	NO_3 = 108.9(± 25.0) - 5.2(± 1.4)T ddl = 21 R^2= 75%

Tableau 2

Paramètres des régressions nitrate-température et nitrate-température-chlorophylle en surface sur le plateau continental (Campagnes CIRSEN 1986-1987-1988).

CAMPAGNE	Régression NO_3/T ou Régression NO_3, T et CHL.
1986	NO_3 = 96.3(± 6.4) - 4.9(± 0.4)T R^2=94% ddl = 44
	NO_3 = 98.8(± 6.3) - 5.0(± 0.4)T - 0.4(± 0.2)CHL R^2=95% ddl = 42
1987	NO_3 = 67.1(± 10.2) -3.2(± 0.6)T R^2=78% ddl = 44
	NO_3 = 68.6(± 8.6) - 3.2(± 0.4)T - 0.8(± 0.4)CHL R^2=83% ddl = 43
1988	NO_3 = 63.0(± 13.2) - 3.0(± 0.7)T R^2=57% ddl = 54
	NO_3 = 76.3(± 13.0) - 3.6(± 0.7)T - 0.8(± 0.3)CHL R^2=70% ddl = 46

Tableau 3

Paramètres des régressions nitrate-phosphate à la station côtière de Yoff, pour les saisons d'upwelling de 1985 à 1989.

SAISON	Régression NO_3/PO_4
1984-1985	NO_3 = -0.45(± 1.75) + 11.72(± 1.29)PO_4 ddl = 16 R^2= 85%
1985-1986	NO_3 = -3.45(± 2.75) + 16.79(± 2.39)PO_4 ddl = 20 R^2= 72%
1986-1987	NO_3 = -5.91(± 0.65) + 18.21(± 0.66)PO_4 ddl = 17 R^2= 98%
1987-1988	NO_3 = -5.07(± 1.43) + 17.36(± 1.32)PO_4 ddl = 18 R^2= 91%
1988-1989	NO_3 = -3.61(± 0.97) + 15.67(± 0.91)PO_4 ddl = 21 R^2= 94%

Tableau 4

Paramètres de la régression nitrate/phosphate en surface sur le plateau continental d'après l'ensemble des données des campagnes CIRSEN 1986, 1987 et 1988.

Régression NO_3/PO_4
NO_3 = - 2.6(± 0.7) + 14.8(± 0.8)PO_4 ddl = 143 R^2 = 90%

qui serait favorisée par l'absence d'échange entre les eaux côtières et celles du large. D'après Tréguer et Le Corre (1979) et Minster et Boulahdid (1987), la régénération du phosphore serait plus rapide que celle de l'azote dans les zones côtières. Ces faibles valeurs de pente de la relation NO_3/PO_4 seraient le reflet d'un déséquilibre entre les processus de consommation et de régénération des sels nutritifs (Banze, 1974); un tel processus permet de rendre compte des anomalies positives de phosphate observées en 1987 par rapport à la situation moyenne.

DISCUSSION

L'apparente similitude entre la relation temporelle NO_3/T à Yoff et celle obtenue à partir d'observations spatiales effectuées lors des campagnes océanographiques nous avait amené, dans un premier temps, à envisager une identité entre les processus se développant dans le temps à la côte et ceux observés dans l'espace sur le plateau continental. L'étude de la variabilité interannuelle suggère que les fluctuations des pentes de la relation NO_3/T en fonction de l'intensité de l'upwelling sont opposées suivant le type d'échantillonnage: des données côtières couvrant l'ensemble d'une saison d'upwelling donnent une relation négative entre pente et intensité de la résurgence; des données synoptiques s'étendant de la côte vers le large suggèrent une corrélation positive entre intensité de l'upwelling et pente de la relation NO_3/T. Il semble exister des différences significatives entre la représentation des processus se développant en un point au cours d'une saison d'upwelling et celle de ceux se développant dans l'espace, à un instant donné, sur le plateau continental. Un upwelling a une dimension temporelle et une dimension spatiale que des mesures ponctuelles, dans l'espace ou dans le temps, ne permettent pas d'appréhender de façon exhaustive. La télédétection satellitaire couplée avec des mesures traditionnelles offre des perspectives intéressantes pour explorer cette variabilité. En effet, malgré les limites actuelles concernant la nature et la précision des informations distribuées, c'est un outil adapté à l'exploration de la dimension spatiale et temporelle d'une structure d'upwelling.

Les fluctuations interannuelles des relations $NO_3/P0_4$ sont une image de la non-reproductibilité des composantes biologiques et de leur dynamique. Certaines années, les mécanismes de production seraient dominés par l'activité du phytoplancton, d'autres années par celle du zooplancton; une forte activité de régénération des sels nutritifs peut également se développer ponctuellement. Ces modifications, difficilement décelables à l'aide de paramètres physiques, ont pu être identifiées de manière empirique à l'aide de paramètres chimiques; cependant, les causes de ces changements et leurs conséquences sur les maillons supérieurs restent inconnues.

Ces résultats illustrent la complexité des situations rencontrées dans un upwelling et la difficulté qu'il y a à modéliser la dynamique des premiers maillons de la chaîne trophique. Ces difficultés semblent s'atténuer lorsqu'on étudie les maillons supérieurs de l'écosystème; les modèles développés par Belvèze (1984), Fréon (1984) et Cury et Roy (1987) sur la dynamique des pélagiques côtiers dans les zones d'upwelling en sont une illustration. Une durée de vie courte (quelques heures à quelques jours) et de faibles possibilités de déplacement dans le milieu (quelques mètres à quelques milles) rendent les premiers maillons de la chaîne trophique extrêmement sensibles à des conditions locales et souvent éphémères. Les maillons supérieurs de la chaîne trophique ont une durée de vie beaucoup plus importante, leur capacité à se déplacer dans le milieu leur offre la possibilité de lisser les effets locaux et momentanés apparaissant dans le milieu.

REMERCIEMENTS

Ce travail a pu être réalisé grâce à l'appui du CRODT/ISRA et de l'ORSTOM. Nous tenons à remercier J. Ferraris, I. Gning, P. Cury, P. Cecchi et C. Chaboud pour leurs commentaires qui nous ont été très utiles. Pour leur aide précieuse, tant au niveau des prélèvements que des mesures, nous tenons également à remercier E. Fukaï, R. Gérard, P. Lamour, Y Montel, P. Morin et J. Pages.

DISCUSSION

HERBLAND: J'attirerai l'attention sur le fait que la variance observée dans les relations nitrate-température est le reflet de phénomènes biologiques interprétables et non liée à un problème d'échantillonnage.

FREON: La cinétique du milieu et notamment la vitesse de dérive des eaux superficielles n'est-elle pas le facteur permettant d'expliquer les différences de pente des relations entre la température et les nitrates ?

ROY: La cinétique du milieu joue dans ce cas un rôle important. Dans un upwelling fort, la dérive des eaux de surface est rapide; sur le plateau continental, le réchauffement des couches superficielles sera alors moins important que dans un upwelling faible. Cette dynamique permet de rendre compte de pentes différentes mais n'explique pas la dispersion des points autour des droites de régression.

FREON: La température est-elle le meilleur indicateur de l'intensité d'un l'upwelling ? La télédétection n'apporte-t-elle pas de bonnes indications en intégrant l'extension spatiale des phénomènes ?

ROY: La notion d'upwelling fort ou faible dépend des phénomènes que l'on veut mesurer: intensité des mouvements verticaux, productions primaire et secondaire, etc... Or ceux-ci ne sont pas forcément reliés entre eux de façon simple et linéaire. On doit donc choisir des indices en fonction du phénomène que l'on veut quantifier. Pour estimer les apports en sels minéraux, la température est un bon indicateur mais cette même variable ne semble pas décrire de façon satisfaisante l'évolution trophique du milieu. La télédétection apporte des informations importantes sur les structures spatiales qu'il est nécessaire de prendre en compte pour quantifier l'intensité des upwellings.

HERBLAND: Ne pourrait-on pas faire des mesures d'eaux interstitielles pour mieux quantifier les apports par les sédiments ?

OUDOT: Bien sûr, cela serait réalisable et permettrait de valider nos hypothèses.

BIBLIOGRAPHIE

• Banse K. 1974. The nitrogen-to-phosphorus ratio in the photic zone of the sea and the elemental composition of the plankton. Deep-Sea Res., 21: 767-771.

• Barber, R.T. and R.L. Smith. 1981. Coastal upwelling ecosystems. *In:* Analysis of marine ecosystems, A. Longhurst, (ed.), Academic Press, p31-68.

• Belvèze, H. 1984. Biologie et dynamique des populations de sardine *(Sardina pilchardus)* peuplant les côtes Atlantiques marocaines et propositions pour un aménagement des pêcheries. Thèse de Doctorat d'Etat. Université de Bretagne Occidentale, 532p.

• Coste B. et G. Slawyk. 1974. Structures de répartitions superficielles des sels nutritifs dans une zone d'upwelling (Cap Corveiro, Sahara espagnol). Thethis, 6 (1-2): 123-132.

• Cury, P. et C. Roy. 1987. Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de Côte-d'Ivoire: une approche globale. Oceanol. Acta., 10(3): 347-357.

• Fraga, F., E.D. Barton and O. Llinas. 1985. The concentration of nutrients salts in «pure» North and South Atlantic Central Waters. *In*: Simposio Internacional sobre las areas de afloramiento mas importantes del Oeste Africanao, C. Bas, R. Margalef et P. Rubies, eds. Institudo de investigaciones pesqueras, Barcelona, Vol. 1, p. 25-36.

• Fréon, P. 1984. Des modèles de production appliqués à des fractions de stock dépendants des vents d'upwelling (pêche sardinière au Sénégal). Océanogr. Trop., 19 (1), 67-94.

• Gardner, D. 1977. Nutrients as tracers of water mass structure in the coastal upwelling off Northwest Africa. *In* M. Angel (ed.), A Voyage of discovery. Pergamon Press. Oxford and New York, 712p.

• Grahame J. 1987. Plankton and fisheries. Edward Arnold, Londres, 140p.

• Herbland, A. et B. Voituriez. 1974. La production primaire dans l'upwelling mauritanien en mars 1973. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr. 12 (3), 187-201.

• Herbland, A., R. Le Borgne, A. Le Bouteiller et B. Voituriez. 1983. Structure hydrologique et production primaire dans l'Atlantique tropical oriental. Océanogr. Trop. 18 (2): 249- 293.

• Herbland A. et P. Le Loeuff, sous presse. Les sels nutritifs au large de la Côte-d'Ivoire. In: Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. 1. Le milieu marin. Leloeuff, Marchal, Amon Kotias (eds.), ORSTOM.

• Minas H.J., M. Minas et T.T. Packard. 1986. Productivity in upwelling areas deduced from hydrographic and chemical fields. Limnol. Oceanogr., 31(6): 1182-1206.

• Minster J.F. et M. Boulahdid. 1981. Redfield ratios along isopycnal surfaces - a complementary study. Deep-Sea Res., 34(12): 1981-2003.

• Oudot C. et P. Morin, 1987. The distribution of nutrients in the equatorial Atlantic: relation to physical processes and phytoplancton biomass. Oceanol. Acta, Vol. sp., 6: 121-130.

• Oudot C. et C. Roy, Présent Volume. Les sels nutritifs au voisinage de Dakar: cycle annuel moyen et variabilité interannuelle.

• Redfield A. C. 1934. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. *In*: James Johnstone memorial volume, University Press of Liverpool, pp. 176-192.

• Redfield A.C., B.H. Ketchum and F.A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. *In*: The sea, ideas and observations on progress in the study of the seas. Vol. 2 M.N. Hill (ed.) Interscience, pp. 26-77.

• Traganza E.D. 1985. Application of satellites to chemical oceanography. In Mapping strategies in chemical oceanography. A. ZIRINO Ed. Amer. Chem. Soc. Washington, DC: 373-392.

• Tréguer P. et P. Le Corre. 1979. The ratio of nitrate, phosphate and silicate during uptake and régénération phases of the Moroccan upwelling regime. Deep-Sea Res.,26: 163-184.

• Voituriez B. et A. Herbland. 1984. Signification de la relation nitrate-température dans l'upwelling équatorial du Golfe de Guinée. Oceanol. Acta, 7 (2): 169-174.

• Walsh J.J. 1976. Herbivory as a factor in patterns of nutrient utilization in the sea. Limnol. Oceanogr., 21: 1-13.

III • LES PÊCHERIES PÉLAGIQUES OUEST-AFRICAINES

Partie 1

Environnement et exploitation des ressources instables.

14 • Location of the main West African pelagic stocks.
EMILE MARCHAL 187

15 • Un essai de caractérisation des populations de poissons pélagiques côtiers : cas de *Sardinella aurita* des côtes ouest-africaines.
EMILE MARCHAL 192

16 • Nanisme et sédentarité chez certaines espèces de poissons pélagiques : deux aspects d'une même réponse à des conditions défavorables.
EMILE MARCHAL 201

17 • Influence des facteurs hydroclimatiques sur la pêcherie marocaine de petits pélagiques côtiers.
HENRI BELVÈZE 209

18 • La pêche des petits pélagiques côtiers en Mauritanie.
ERWAN JOSSE 234

19 • Importance des saisons de transition hydrologique et impact des anomalies climatiques sur l'activité d'une flottille industrielle pélagique en ZEE mauritanienne.
PIERRE CHAVANCE,
YOURI LOKTIONOV
et MOHAMMED MAHFOUD 246

20 • Variations saisonnières et interannuelles de la prise moyenne par calée dans la pêcherie sardinière dakaroise et possibilité d'utilisation comme indice d'abondance.
PIERRE FRÉON 259

21 • Some aspects of the sardinella fishery in Ghana.
KWAME ABU KORANTENG 269

Partie 2

Variabilité et instabilité spatiales et temporelles.

22 • Influence possible de la température sur les disponibilités locales et les déplacements de sardines du stock central marocain.
SOUAD KIFANI
et FRANCIS GOHIN 278

23 • Influence des variations de l'upwelling sur la répartition des poissons pélagiques au Sénégal.
HERVÉ DEMARCQ
et BIRANE SAMB 290

24 • Upwelling sénégalo-mauritanien et pêche du tassergal (*Pomatomus saltator*) sur la côte nord du Sénégal.
ALASSANE SAMBA
et FRANÇIS LALOË 307

25 • Pélagiques côtiers, pélagiques hauturiers et fluctuations environ-nementales: quelques éléments de comparaison.
ALAIN FONTENEAU 311

26 • *Sardinella aurita* de Côte d'Ivoire et du Ghana: fluctuations halieutiques et changements climatiques.
DENIS BINET, EMILE MARCHAL et OLIVIER PEZENNEC 320

27 • Variations locales de l'upwelling, répartition et abondance des sardinelles en Côte d'Ivoire.
ALAIN HERBLAND et EMILE MARCHAL 343

28 • L'explosion démographique du baliste (*Balistes carolinensis*) en Afrique de l'Ouest et son évolution en relation avec les tendances climatiques.
ALAIN CAVERIVIÈRE 354

Partie 3
Modélisation, compréhension et prédiction.

29 • Une approche théorique de l'impact de l'environnement sur la pêche.
PHILIPPE CURY 368

30 • Fisheries: models of learning and uncertainty.
PETER M. ALLEN 377

31 • Relations entre sels nutritifs et chlorophylle : une approche exploratoire.
CLAUDE ROY 390

32 • L'introduction d'une variable climatique dans les modèles globaux de production.
PIERRE FRÉON 395

33 • Approche modélisatrice des fluctuations d'abondance des sardines sur la côte nord-atlantique marocaine.
ABDELLATIF ORBI, ALI AGOUMI, GHAZI BEN JANNET et SAIDA TAZI 425

34 • Abondance apparente des sardines marocaines de la zone A et variabilité du recrutement.
ABDELLATIF ORBI, CLAUDE ROY, PHILIPPE CURY et SALAH BENCHERIFI 439

35 • Relating fisheries to the environment in the Gulf of Guinea: information, causality and long-term memory.
ROY MENDELSSOHN 446

Partie 4
Réactions des flottilles de pêche face à la variabilité des ressources.

36 • Adaptabilité d'une flottille de pêche artisanale ivoirienne à la variabilité des ressources instables.
JEAN-MARC ECOUTIN 466

37 • Variabilité de l'activité de pêche aux filets maillants de surface des artisans béninois de Pointe-Noire (Congo).
BERTRAND GOBERT 477

38 • Ressources instables et pêche semi-industrielle: les exemples sénégalais et ivoirien.
CHRISTIAN CHABOUD et MOUSTAPHA DÈME 489

Partie 5
Ressources instables : objectifs et contraintes de la gestion.

39 • Politique actuelle des pêches en matière de gestion des ressources pélagiques côtières au Maroc.
ABDELOUAHED IDELHAJ 504

40 • Les contraintes biologiques liées à une gestion des ressources instables.
PHILIPPE CURY 506

14 • Location of the main West African pelagic stocks

ABSTRACT

Location, biomasses distribution, exploitation of the different populations and some biological considerations of the West African pelagic fish stocks are presented.

RÉSUMÉ

La localisation, la distribution des biomasses, l'exploitation des différentes populations, ainsi que des considérations biologiques sur les stocks pélagiques Ouest-africains sont présentées.

EMILE MARCHAL

Chercheur ORSTOM, Institut Océanographique, 195 rue St-Jacques, 75005 Paris, France

INTRODUCTION

Important species of coastal pelagic fishes are rather few in comparison with other tropical areas. We identify eight species from Morocco to Angola with two main families, *Clupeidae* and *Carangidae*, both of them with three species and two monospecific families, *Engraulidae* and *Scombridae*. In addition we mention a very special species, *Balistes capriscus*, partly pelagic (young stages) and partly demersal, the tremendous development of this species along the coast during the last two decades was a major ecological event.
General distribution, main biological features and tentative populations identification are briefly reviewed below.

SARDINA PILCHARDUS (SARDINE)

General distribution and biology

Sardina pilchardus is found from the English Channel to Cape Timiris (19°N) including the Mediterranean Sea. A southward extension has taken place since 1972 with a maximum in 1976-77 (Dakar). This movement was related to the coastal upwelling strength. *S. pilchardus* spawns in winter in deep waters (100-300 m) ; otherwise the fish schools in shallow waters, feeding on phyto- and zoo plankton.

Populations

The distribution of *S. pilchardus* is discontinuous along the coast of West Africa where there are at least three populations. However, the degree of independence of each population is not known.

Northern and central populations. Northern (from Cape Spartel to Ifni) and central (south of Ifni to Cape Juby) populations are exploited mainly by Moroccan purse-seiner fleets, with an average production of 300 000 t/year. The potential production could be estimated between 250 000 and 400 000 t/year, according to the recruitment level.

Southern population. The main concentration is from Cape Bojador (26°N) to Cape Barbas (22°N). This population has been exploited by different countries predominated by USSR using mid-water trawlers. The production has fluctuated from 100 000 to more than 600 000 t/year. The potential production, sometimes indicated as 500 000 t/year, cannot be seriously computed from catch data with such variations.

SARDINELLA AURITA (ROUND HERRING, SARDINE)

General distribution and biology.

Along the coast of West Africa, the species is found from Cape Spartel to southern Angola including the Canary Islands, but is only frequent south of 24°N.
This species is known to prefer non-turbid, rather cool (< 24°C) and salt (S > 35 ‰) waters. The most important factor is probably the availability of preferential food. *S. aurita* is an active filter feeder on phytoplankton and zoo plankton. It remains in the upper layer when productivity is high. There are two general patterns:
• Pattern 1: during the warm season, fish is concentrated near the bottom in relatively deep water (70-100 m depth) ; and during upwelling, fish enters the coastal waters in the surface layer;
• Pattern 2: during the warm season, fish migrates along the coast, following the displacement of cold waters. Generally, the younger individuals do not participate in the migration and follow Pattern 1.

Populations

Several populations are found along the coast.

The northern population is found from 24°N to Bissagos Archipelago (12°N) in winter, migrating to Cape Timiris (19°N) in summer. The adult population follows movement Pattern 2. The stock off Mauritania and Guinea Bissau is exploited by several countries including USSR, Romania, German Democratic Republic, etc. The catch is now around 100 000 t/year by mid-water trawlers, but much higher (about 350 000 t) in the seventies with a large international fleet of purse-seiners, mother ships and factory ships. Maximum yield would be about 350 000 t. However, the strong reduction into the biomass estimated acoustically during the two periods 1974 and 1981-84 necessitates a reconsideration of the former yield.

Southern Senegal sub-population. Young individuals (age class 1-2) of the above population, follow Pattern 1. Exploited by small scale canoes and Dakar-based purse-seiners, the total catch amounts to about 40 000 t/year, the potential production being 30 000-50 000 t according to environmental conditions.

The Guinea population covers from southern Senegal to Sierra Leone, but is possibly not homogeneous (Patterns 1 and 2?). The stocks are exploited by foreign fleet of purse-seiners and trawlers. Potential production and yield are unknown.

Ghana and Ivory Coast population. This population is found off the Ivory Coast, Ghana and Togo. It seems to belong to a «dwarf» race with much smaller size at first maturity and maximum length ; movement Pattern 1 is typical of this stock. There are some evidence of two sub-populations, eastern and western, with different breeding periods and perhaps growth characteristics. Production by purse-seiners and artisanal fishery had fluctuated between 10 and a maximum of 90 thousand tons reached in 1972. After this peak, the stock collapsed but recovered after 6 years. In the recent years, the exploitation has grown up and the production is more stable at a higher level (more than 100 thousand tons/year) supporting the hypothesis of the modification of the structure of the population.

Cape Lopez population. This population is restricted to the surrounds of Cape Lopez (0.30°S). It is composed of a «dwarf» race as in Ghana, following movement Pattern 1 ; it is not exploited and could provide a few thousand tons/year.

The Angola population spreads from southern Gabon to southern Angola. Young individuals follow movement Pattern 1 and adults Pattern 2 with seasonal migration. There is limited exploitation by Congo purse-seiners, very important production in Angola by a Soviet fleet of purse-seiners and trawlers with an average catch of 200-250 000 t. The potential production is unknown, but estimated to be near the sustained average catch.

SARDINELLA MADERENSIS (FLAT HERRING, HARENG)

General distribution and biology

The species is found from Cape Barbas (22°N) to southern Angola, including all the islands.
The species is well acclimatized to the low salinity and warm waters encountered along the West African coast. Fish school in the surface layer and are never found in deep waters. They feed mainly on zooplankton and the older individuals prey on fish larvae.
Migration occurs in the northern and southern areas of the distribution (Mauritania - Senegal and Angola - Congo) and is much more limited in the central area.

Populations

There are probably many populations or sub-populations.

The northern population extends from Cape Barbas to south of Dakar (adult stock). No catch records exist and are probably mixed with those of *Sardinella aurita.* However, the catch decreased from the seventies to the eighties with the departure of the large fleet of purse-seiners operating in shallow waters and its replacement by mid-water trawlers. The yield is unknown.

Southern Senegal sub-population. As for *S. aurita*, there is a sub-population of young classes staying south of Dakar for two years. Exploited by the Dakar purse-seiners and small scale fishery, the total catch is around 30 000 t/year and the potential production between 25 000 and 40 000 t/year depending on environmental conditions.

The Guinea population extends from southern Senegal (Casamance) to Sierra Leone. There may be several sub-populations. There are no catch data and no estimates of potential production.

Central group. Between Sierra Leone and Congo there are several sub-populations. Coastal exploitation is by artisanal craft and small purse-seiners. The total production amounts to a few thousands tons ; the yield is unknown except for the Ivory Coast sub-population ; the production is about 10 000 t/year.

The Angola population reaches from southern Gabon to south of Luanda (10°S). There are migrating stocks of adults from south to north (July-September) and reverse (October-November) with young populations staying in the coastal waters.
Surprisingly, the migrating adults were observed on the outer part of the shelf and even beyond, always on the surface (personal observation). This population is exploited by local purse-seiners in Congo and foreign purse-seiners in Angola. There are no catch data except for Congo. From an acoustic survey in the northern part, the biomass of the large adult population was estimated at about 100 000 t (1982).

ENGRAULIS ENCRASICHOLUS (ANCHOVY, ANCHOIS)

General distribution and biology

Distribution is from Norway to Angola. The anchovy of the Gulf of Guinea had been ascribed the name of *Anchoviella guineensis*. After examination of many specimens from different areas. Whitehead (British Museum) finally identified these populations as belonging to the European species. There remain a number of peculiarities (smaller size, lower number of rays, etc.) more racial than specific.
Feeding on zooplankton, the anchovy is found all along the coast, from shallow to deep water, even beyond the continental shelf. This observation is confirmed by the widespread distribution of eggs and larvae found from the coast to more than 100 nautical miles offshore. The hypothesis of the existence of two types (inshore and offshore) is not to be neglected.

Populations

There are probably several stock-units more or less independent. A few are considered below:

Mauritanian group. North of Cape Timiris, along the southwest border of Banc d'Arguin, schools of anchovy are commonly found by research vessels. Soviet catch records mention 25 000 t/year. There is no more information.

Southern Senegal group. Off Cape Roxo (12°N) big shoals of anchovy are commonly recorded above the slope of the shelf. There are no catch data.

Guinea group. Along the Guinea shelf, on the slope and on the shelf, schools of anchovy are common. There are no catch data.

Ghana population. After the collapse of the *Sardinella aurita* stock, anchovy has become a predominant pelagic species. Even after the recovery of the former species, it remains a major component of ghanaian fishery and it fluctuates between 14 and nearly 100 thousand tons/year.

No important concentration has been noticed from Nigeria to Angola.

TRACHURUS TRACHURUS (HORSE MACKEREL, CHINCHARD NOIR)

General distribution and biology

Distribution is from Norway to Senegal, including the Mediterranean Sea. The species feeds on large zooplankon and micronekton: mainly euphausids and cephalopods, demersal crustaceans and fish.
Breeding occurs mainly in winter in surface layer above 100 - 250 m depth.
In the region of interest, adults of the main stock migrate from north of Cape Blanc (summer) to north of Dakar (winter). Juveniles stay in the vicinity of nurseries. They are found in relatively deep waters, mainly caught in depths of 50 - 200 m, sometimes down to 400 m. During the cool season, they move closer to the coast.

Populations

Morphometrics and growth parameters imply at least two separate populations.

The northern population extends from 36°N to 29°N. Population increased from 2 000 t (in the early sixties) to 8 000 t (in the late seventies) but seems to be declining recently. The potential production is difficult to assess because of wide fluctuations in recruitment. The population is small in comparison with the following.

The southern population extends from 24°N to 20°N reaching 15°N during winter. Production is around 250 000t with a peak of nearly 400 000t in 1973. These values are tentative as the two species of *Trachurus* are not separated in the catch statistics. A potential production of 500 000t for the two species combined was assessed, assuming 65 %, or 325 000t for *T. trachurus* (from direct observations).

TRACHURUS TRECAE (HORSE MACKEREL, CHINCHARD NOIR)

General distribution and biology

This species is confined to the West African coast from the Western Sahara to Namibia.
The general biological features of this species are very similar to those of *Trachurus trachurus*, at least for the northern population. In winter, the adult population migrates southwards as far as south of Senegal and then comes back to Cape Blanc. Juveniles stay in the vicinity of nurseries. They remain much closer to the coast than the young of *T. Trachurus*.

Populations

There are probably several populations or sub-populations along the coast ; three «groups» are under consideration:

The Cape Verde group lies from 24°N to 11°N with the main concentration in Mauritania and Senegal. The adults are found in the deeper part of the shelf and on the slope. Production is about 150 000 t.

The Guinea population stretches from 12°N (Cape Roxo) to 1°S (Cape Lopez). This is a «dwarf» race with much smaller maximum length, smaller size at first maturity, different growth parameters. It is likely that there are many sub-populations. None of them appears important in terms of stock. There is no consistent catch.

The Angola population «Cunene Horse Mackerel» extends from Cape Lopez to northern Namibia and is very similar to the northern race. Migrations occur along Angola and Congo in relation with marine seasons. Exploitation off Angola is by foreign fleets (mainly the USSR). Average production in the period 1977-80 was 300 000 t, with a peak of 430 000 t in 1978. It is possibly fully exploited, even probably overexploited according to the last catch statistics (a substantial reduction was seen in catches for 1980, 1981 and 1982).

DECAPTERUS RHONCHUS (YELLOW-TAIL HORSE MACKEREL, CHINCHARD JAUNE)

General distribution and biology

The species is distributed from northern Morocco to Angola, with significant concentration south of Cape Barbas (22°N) only. It feeds on euphausids, shrimps, squids, fishes, while specimens bigger than 25 cm are mainly eating fish, especially anchovy.
Populations

There are probably several populations.

The northern population extends from 22°N to 12°N. Adults migrate following the displacement of the cool waters. This population is characterized by a greater maximum length (40 cm). Catch statistics are not precise due to confusion with other horse mackerel. This production is probably a few thousand tons/year. The potential production is not known.

Sierra Leone population. This population is found from 11°N to 8°N. According to Soviet investigations this sedentary population is characterized by morphometric differences, first maturity and maximum sizes are smaller. Production amounts to no more than 10 000 t.

Many groups of a «small race». These groups reach from Ivory Coast to Cape Lopez and are characterized by much smaller maximum and first maturity size. There are small local catches. No important stock has been identified.

SCOMBER JAPONICUS (CHUB MACKEREL, MAQUEREAU ESPAGNOL)

General distribution and biology

This species is distributed from southern Europe to Namibia. It feeds on euphausids, fish, squids, and to a lesser degree zooplankton. Breeding occurs from February to April in the north, above the deep part of the shelf.

Populations

There are several populations, with different growth parameters and size at first maturity and maximum length.

The northern population reaches from Cape Spartel to Cape Blanc. The maximum length is 53 cm (according to Soviet investigations) and production is about 150 000 t. The status of the stock is controversial.

Senegal - Mauritanian population. The maximum length is 44 cm. The total production of this population would not exceed 10 000 t at present. It is probably greatly underestimated if Guinea Bissau is included.

The Ghana population extends from Sierra Leone to Nigeria ; it is characterized by even smaller maximum length (29 cm) and size at first maturity. In Ghana and Ivory Coast the purse-seine fishery caught about 10 000 t/year until 1973. This stock disappeared in 1974 amazingly one year later the *Sardinella aurita* stock. Since this period, significant catches occurred only in 1986 (20 thousand tons) and 1988 (8 thousand tons).

Congo - Angola population. Very few data are available on this stock. It is assumed to extend from Cape Lopez to South Angola. It shows the same characteristics as the so-called «Senegal - Mauritania» population. There is no significant catch in Gabon - Congo and is unknown in Angola.

Southern population: Namibia and Republic of South Africa Characteristics of this population are probably

similar to those of the northern population. There have been important fluctuations in the catches: 200 000 t in 1977-78, followed by years with very small catches and a return to the former average of 50-60 000 t/year. It was pointed out that in the meantime the stock migrated from the southern region (1-6 ICSEAF) to areas 1.4 and 1.3. The production estimated at 200 000 t is very doubtful in the light of recent history.

BALISTES CAROLINENSIS (TRIGGERFISH, BALISTE)

General distribution and biology

Distribution of this species is from Cape Timiris (19°N) to Angola. Very scarce before 1970, it has become one of the most common within a few years. The reasons for this development have not yet been well understood (Caverivière, this Volume).

This fish is a predator living and feeding on the bottom in the adult stage and in mid-water during its pelagic young stage. Its pelagic diet consists of various preys such as fish larvae, euphausids and all the small nekton. The adult near-bottom population lives on sandy bottoms (according to Soviet investigations). In Guinea, this type of bottom is found from 25 to 75 m depth. The pelagic population is spread over all the deeper part of the shelf and sometimes beyond. The species is, at least partly, protogynous. The sudden «explosion» of the stock evidences the high reproductive capacity of the species.

Populations

Three major groups can be identified.

The Guinea population lies from Southern Senegal to Sierra Leone. The bulk of the stock is off Guinea and Guinea Bissau, but the main exploitation takes place off Sierra Leone (USSR fishing vessels). In 1980, 44 000 t were caught (up to this time, they had been discarded) with lesser catches during recent years. The biomass of the stock was assessed acoustically during several surveys. It appeared to increase from 440 000 t in 1978 to more than one million in 1984.

The Ghana population reaches from western Ivory Coast (Cape Palmas) to Benin. The catch in Ghana only was about 6 000 t/year (maximum catch 13 000 t in 1979). In 1981, the biomass of this population was estimated by acoustic surveys at 500 000 t (R/V Fridtjof Nansen) or 115 000 t (R/V Capricorne).

The Gabon population is distributed from Nigeria to southern Congo. In 1982, this species was found on the shelf between Fernando Po and Cameroon and in small quantities north of Cape Lopez (Gabon). In 1985, the R/V Fridtjof Nansen found a concentration of *Balistes* estimated at 50 000 t north of Cape Lopez and also on the Congo shelf.

SOURCE OF INFORMATIONS

This review is mainly based on:

- CECAF series
- FAO reports
- ICSEAF series
- reports of R/V Fridtjof Nansen acoustic cruises on West Africa
- reports of R/V Capricorne in the same area
- «grey literature»
- personal observations

15 • Un essai de caractérisation des populations de poissons pélagiques côtiers : cas de *Sardinella aurita* des côtes ouest-africaines

EMILE MARCHAL
Chercheur ORSTOM, Institut Océanographique, 195 rue St-Jacques, 75005 Paris

RÉSUMÉ

L'identification des populations de poissons pélagiques côtiers ouest-africains se heurte à un problème de définition. On propose d'utiliser deux critères : la réponse différentielle aux conditions environnementales et l'existence de zones et périodes de ponte et de premier développement individualisées. Chez *Sardinella aurita*, choisie comme exemple, on identifie, dans les trois secteurs géographiques où cette espèce est abondante, plusieurs groupes répondant à ces critères et pouvant donc être considérés comme des populations. La théorie de Sinclair sur les relations entre zones de rétention larvaire et le nombre de populations se trouve assez bien confirmée. Le rôle des courants et du vent sur la dimension de zones de rétention et sur le taux de survie des premiers stocks suggère une possibilité de prédiction du recrutement d'une cohorte à partir de la connaissance de ces facteurs physiques et du schéma de comportement de ces premiers stades.

ABSTRACT

There is a need to define what a population is among the coastal pelagic fish of West Africa. It is suggested to use two criteria : the specific response to environmental conditions and the presence of well definite spawning and early development areas and seasons. As an example, Sardinella aurita shows different groups having these criteria in each of the three sectors where this fish is abundant. Sinclair theory on the relations between larval retention areas and populations fits well with this situation. The link between marine currents and winds on one hand and the size of the retention areas and the survival rate on the young stages on the other hand suggests a possibility to predict the recruitment of a year class from the knowledge of these physical parameters and of the behavioural pattern on the early life history.

INTRODUCTION

Les stocks ouest-africains de poissons pélagiques côtiers sont composés d'un nombre restreint d'espèces appartenant principalement aux familles des *Clupeidae*, *Engraulidae*, *Carangidae* et *Scombridae*. Leur identification spécifique ne pose pas de problème particulier, leur rattachement à tel ou tel genre étant une affaire de systématicien sans grand intérêt pour l'écologiste ou le dynamicien. Il n'en est pas de même des populations, dont les critères de différenciation sont assez subjectifs car ils dépendent finalement de la définition du concept de population. On propose ici de définir la population comme une collection d'individus d'une même espèce qui se sont adaptés à des conditions d'environnement et qui ont à préserver cette adaptation tant que ces conditions perdurent.

Cette définition conduit à un certain nombre de postulats :

• s'il existe plusieurs schémas de comportement de l'espèce vis à vis de l'environnement, il doit nécessairement y avoir un nombre correspondant de populations;

• pour qu'une telle population se perpétue, il faut qu'elle conserve ses caractéristiques, ce qui implique un regroupement des adultes au moment de la reproduction dans des sites où ils retrouveront les conditions similaires à celles de leur propre naissance («homing»).

UN EXEMPLE : *SARDINELLA AURITA*

L'espèce *Sardinella aurita* fournit un assez bon exemple de diversité probable de populations le long de la côte ouest-africaine où elle se rencontre du nord du cap Blanc à l'Angola. Son habitat est relativement morcelé dans ce vaste ensemble géographique, en relation plus ou moins directe avec les upwellings (Roy *et al.*, 1989). On peut y distinguer trois ensembles (fig.1).

Ghana - Côte d'Ivoire

On considérera tout d'abord la zone centrale, constituée par le plateau continental de Côte- d'Ivoire et du Ghana. Cette zone est particulièrement intéressante car l'abondance de l'espèce, telle qu'elle est appréhendée par les résultats de l'exploitation, a considérablement varié au cours des vingt dernières années. Les observations suivantes peuvent être faites :

• les campagnes de prospection de l'ichtyoplancton menées de façon intensive tant dans le golfe ivoirien qu'au Ghana dans les années 1969-1972 ont montré qu'il existe deux zones de concentration de larves de *Sardinella aurita* situées au voisinage et plus particulièrement à l'est, des deux grands caps : cap des Palmes à l'ouest, cap des Trois Pointes à l'est. On y a signalé un mouvement cyclonique de courants, dû à un effet de cap (Marchal et Picaut, 1977);

• on observe deux périodes maximales d'abondance des larves, correspondant aux deux périodes d'upwelling : petit upwelling de début d'année, grand upwelling d'été boréal. On remarque que la répartition géographique de ces deux pontes est très nette : au cap des Palmes, seule existe la ponte de début d'année (tab. 1) alors qu'au Ghana (est du cap des Trois Pointes), c'est la ponte d'été qui est largement prépondérante (tab. 2). On doit cependant noter que la ponte du début d'année n'est pas totalement absente du Ghana où elle apparaît assez nettement à l'ouest du cap des Trois Pointes;

• les saisons de pêche sont très différentes dans les deux régions : alors qu'au Ghana la pêche est à peu près exclusivement concentrée pendant la période de l'upwelling principal, en Côte-d'Ivoire, elle s'étend sur la plus grande partie de l'année, principalement depuis 1981 (Pézennec *et al.*, 1990);

• les tailles modales présentent une différence de 2 à 3 cm entre le Ghana et la Côte d'Ivoire, aussi bien dans les pêches exploratoires accompagnant les campagnes

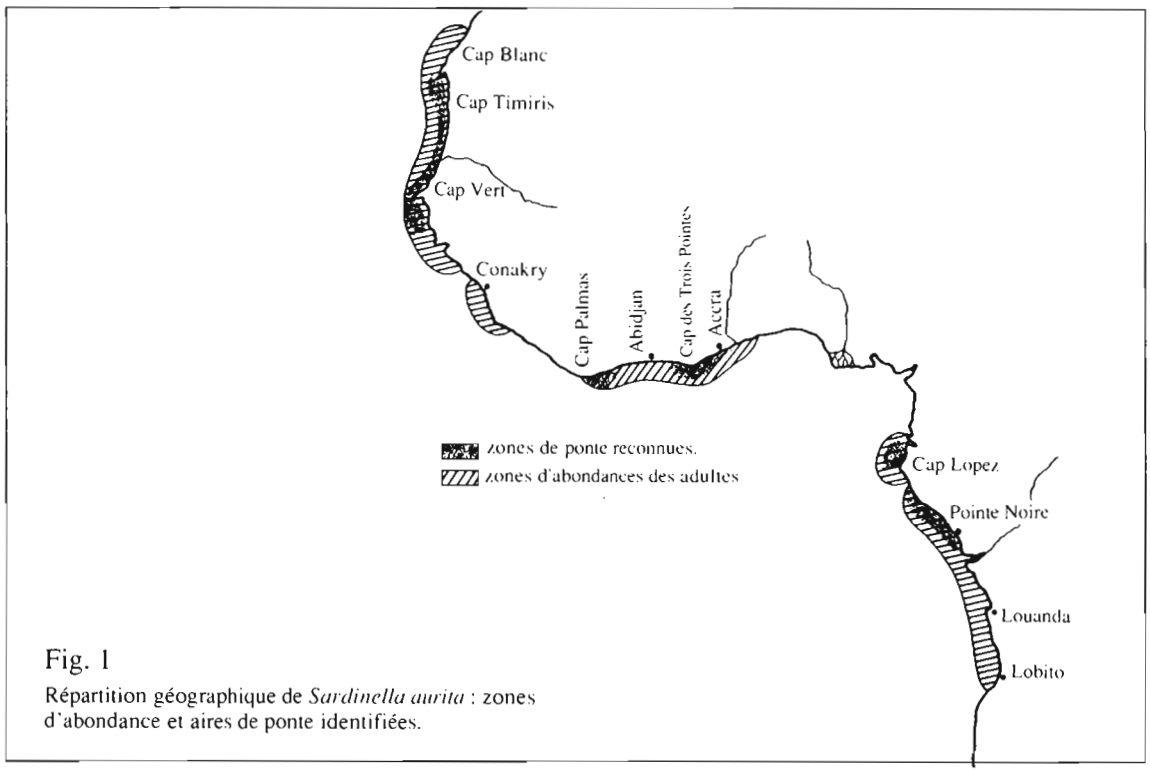


Fig. 1

Répartition géographique de *Sardinella aurita* : zones d'abondance et aires de ponte identifiées.

Tableau 1

Répartition saisonnière et spatiale des larves de *Sardinella aurita* dans le golfe ivoirien. Effectif par 100 m^2. Moyenne sur 3 ans (juillet 1969 - avril 1972).

	Cap des Palmes W			Cap des Trois Pointes E			
Secteurs	8	7	6	5	4	3	$\overline{M}$
Mois							
I	0	0	0	3	1	0	1
II	15	27	22	24	16	36	23
III	545	18	0	0	5	65	106
IV	177	3	1	13	2	0	33
V	0	0	0	0	0	0	0
VI	0	0	0	0	0	0	0
VII	2	0	0	0	3	30	6
VIII	3	0	10	0	22	9	7
IX	6	6	0	7	0	32	9
X	6	1	0	1	0	0	1
XI	0	0	0	0	13	0	2
XII	0	0	0	0	0	0	0
$\overline{M}$	63	5	3	4	5	14	

Tableau 2

Répartition saisonnière des larves de *Sardinella aurita* sur la radiale de Tema (Ghana), moyennes de 1970 à 1972 (d'après Mensah, Rapport du groupe de travail sur la sardinelle *S. aurita* des côtes ivoiro-ghanéenne, 1976).

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Nombre	0	7	21	35	56	59	267	122	124	85	21	

Tableau 3

Tailles modales observées de *Sardinella aurita* au cours de trois campagnes acoustiques.

Période	Togo Benin	Ghana Est	Ghana Ouest	Côte d'Ivoire	Liberia
Juin 81		15	10-17	20	11-14
Août 86	9	9	12	(12) 24	
Juin 87				13-20-23,5	13

d'écho-intégration que dans la pêcherie elle-même (tab.3 et fig.2);

• il y a eu une évolution très différente des captures de *Sardinella aurita* au Ghana et en Côte-d'Ivoire : avant 1973, année de l'effondrement du stock de cette espèce, les captures au Ghana représentaient en moyenne 90 % de l'ensemble des deux pays. Après une période de captures quasiment nulles, puis de reprise au Ghana seul (1978), celles-ci ont considérablement augmenté en Côte d'Ivoire à partir de 1981 pour rapidement atteindre un niveau comparable à celui du Ghana, soit 5 à 10 fois plus qu'auparavant;

• on est donc en présence de présomptions en faveur de l'existence de deux populations qui se distingueraient par :
- les zones et les périodes de ponte;
- la croissance;
- le comportement vis à vis des conditions hydrologiques.

L'importance relative de ces deux populations dépendrait des conditions environnementales rencontrées aux périodes de ponte dans leur zone respective. Parmi ces conditions, les courants pourraient jouer un rôle prépondérant, notamment au niveau du cap des Palmes où la relative étroitesse du plateau continental et l'effet de cap moins marqué sont des conditions moins favorables à la rétention des larves (fig.3).

Fig. 2

Classes modales de *Sardinella aurita* au Ghana et en Côte-d'Ivoire dans les débarquements des senneurs (d'après Pézennec *et al.*, 1990)

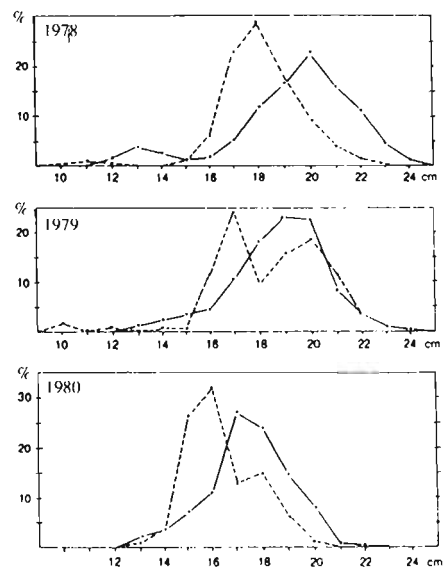
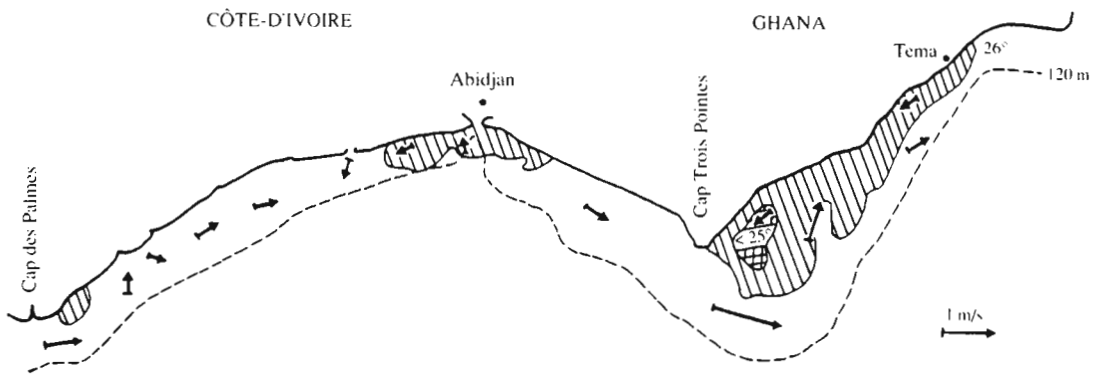


Fig. 3

Courants côtiers de surface et zones de refroidissement sur le plateau continental du Ghana et de Côte-d'Ivoire en janvier 1974.



Congo - Gabon

Les campagnes de prospection de larves de Sardinelles effectuées dans les années soixante dix sur les plateaux continentaux du Congo et du Gabon avaient permis d'identifier clairement une zone de ponte et de concentration des larves de *Sardinella aurita* au nord du cap Lopez (Dessier et Pianet, 1971, fig.4). Les campagnes d'évaluation acoustique réalisées quelques années après dans la même région (Anonyme, 1983) ont montré la présence autour du cap Lopez d'une population -déjà partiellement identifiée auparavant (Ghéno et Marcille, 1971)- aux caractéristiques biologiques très différentes de celles des Sardinelles pêchées plus au sud (fig.5). En particulier, la taille maximale atteinte et la taille à la première maturité sont de l'ordre d'un tiers plus faibles que celles du sud, semblables à celles de la région Ghana-Côte- d'Ivoire. On aurait donc dans cette région au moins deux populations. L'une, celle du cap Lopez, est géographiquement bien localisée et son aire d'extension est réduite. L'autre semble s'étendre sur une région beaucoup plus vaste le long du littoral du Congo et sur une partie des côtes de l'Angola; ses migrations sont de grande amplitude et la zone de ponte est probablement assez étendue.

Sénégal - Mauritanie

La troisième zone géographique importante pour cette espèce, probablement la première du point de vue de l'exploitation, est aussi la plus complexe.

Fig. 4

Cartographie des abondances de larves de *Sardinella aurita* au Congo et au Gabon (Modifié d'après Dessier et Pianet, 1971).

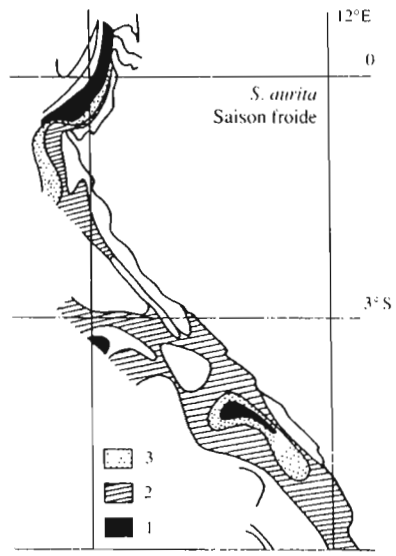
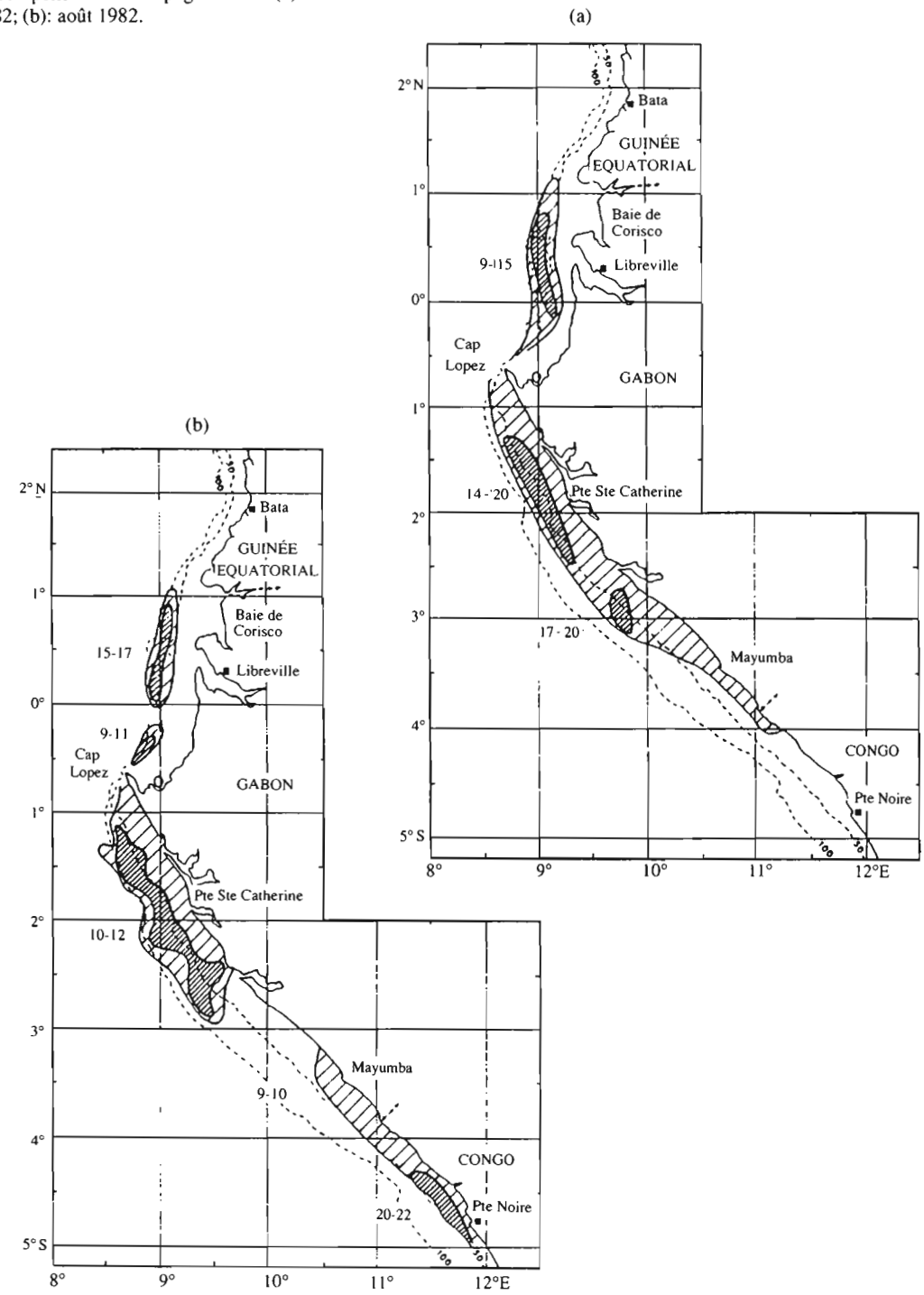


Fig. 5

Cartographie des concentrations et des tailles modales de *Sardinella aurita* au Congo et au Gabon pendant les campagnes CEE. (a): avril 1982; (b): août 1982.



De 1968 à 1976 une série de campagnes a permis de préciser distribution et abondance des larves. Les résultats de ces campagnes montrent (Conand et Fagetti, 1971 ; Conand, 1977) qu'il y a au Sénégal deux saisons de ponte, une de mai à juillet dans des eaux de température comprise entre 22° et 25°C et de salinité supérieure à 35,5 ‰, et l'autre en octobre-novembre alors que la température est élevée (28°-29°C) et la salinité relativement basse (34,5 à 35 ‰). La première ponte est quantitativement la plus importante. Plus au nord, la ponte s'étendrait à tout le plateau du cap Vert au cap Blanc puis se concentrerait au sud du cap Blanc en août-septembre, dans des eaux fraîches et salées, en bordure de l'upwelling du cap Blanc. Il faut noter que les prospections entre 17°N et le cap Blanc n'ont eu lieu que de juillet à novembre (fig.6).
En mai 1981, une campagne de prospection acoustique qui s'est déroulée sur toute cette zone (Marchal et Josse, 1982) a permis de préciser la distribution des juvéniles et des adultes (fig.7) :

• deux grands groupes de juvéniles (11 à 15 cm) se trouvaient l'un au sud du cap Vert et en Casamance (constituant peut-être en fait deux groupes distincts car l'un était au large sur les fonds de 90 m et l'autre sur des fonds de 20 m.), l'autre à l'extrême nord, au sud du cap Blanc. Les températures de l'eau de surface étaient respectivement de 23° - 24°C et de 16°C;

• chez les jeunes adultes, on observait de la même façon deux groupes présentant le même mode à 19 cm, l'un au sud (24° - 25°C), l'autre au nord (sud du cap Timiris, 16°C);

• enfin les grands adultes de 28 à 31 cm formaient un seul groupe situé dans la zone frontale autour et au nord du cap Vert (21° - 22°C) et paraissaient en migration vers le nord. Toutefois, le navire océanographique «Dr. Fridtjof Nansen» a pêché des grands adultes quasi simultanément en février et mars aux deux extrémités de leur distribution (Stromme, 1983): aux îles Bissagos (11°N) et au cap Blanc (22°N). L'interprétation de ces observations en terme de populations n'est pas simple. Les deux périodes de ponte au Sénégal pourraient s'interpréter comme relevant de deux populations, mais l'hypothèse généralement admise est qu'il s'agirait de la ponte des grands adultes et des jeunes adultes en mai-juillet et seulement des jeunes adultes en octobre-novembre. Quant à la ponte de Mauritanie, et particulièrement celle du cap Blanc, elle peut aussi s'interpréter comme indépendante, ou bien comme en continuité avec celle du Sénégal. La présence de concentrations de juvéniles dans des secteurs bien localisés, très séparés et aux conditions hydrologiques très différentes semble plaider pour l'existence de deux -ou trois- populations dont les grands adultes se mélangeraient partiellement.

DISCUSSION

Nous devons maintenant examiner si les caractères observés de ces populations correspondent aux critères de définition proposés. Dans la pratique, il n'est intéressant que de considérer les groupes géographiquement proches, donc par secteur :

• premier critère : réaction différente vis-à-vis de l'environnement. Dans les trois secteurs, on relève deux groupes présentant un ou plusieurs des caractères suivants : des pontes effectuées dans des conditions de milieu différentes, des juvéniles également présents dans des zones de regroupement éloignées et aux caractéristiques physiques (température) contrastées, des types de croissance pouvant être légèrement ou très différents, des schémas migratoires très différents;

• deuxième critère : individualisation des aires de ponte et des zones de concentration des larves. Dans chacun des secteurs, on a noté l'existence de zones de plus grande abondance de larves correspondant à des structures topographiques côtières favorables à la rétention des larves par action sur les courants marins (effet de cap) : le nombre de ces zones correspond à celui des groupes identifiés par le critère précédent - encore que la zone de ponte de la population «congolaise» n'ait pas pu être clairement définie.

La mise en évidence de zones de forte abondance de larves ne suffit cependant pas à affirmer qu'il s'agit de zones de ponte où les poissons matures se regrouperaient pour la reproduction en revenant sur le lieu de leur naissance. On peut imaginer une ponte un peu au hasard, ou plus vraisemblablement déclenchée par un stimulus, mais sans référence à un secteur géographique donné. L'existence de zones plus ou moins riches pourrait résulter de la simple action des courants (advection, convection). Bien que le résultat en terme de répartition des larves soit à peu près le même, à condition que les phénomènes physiques soient stables, sa signification en matière de population est très différente : dans ce cas, il n'y aurait bien entendu qu'une seule population. C'est du reste ce qui se produit probablement à l'intérieur d'un site géographique favorable. En l'absence de preuves formelles de «homing» que pourrait fournir le recours au marquage ou à la génétique, c'est bien la prise en compte des autres critères (réaction différentielle à l'environnement, croissance, etc...) qui nous permet d'étayer l'hypothèse de populations individualisées liées à l'existence de zones de ponte différenciées et stables.

CONCLUSION

L'hypothèse de Sinclair (1988) reliant le nombre de populations au nombre de sites favorables à la rétention des larves ou des juvéniles paraît effectivement correspondre au cas de *Sardinella aurita*. Elle s'appliquerait également au cas de la sardine (*Sardina pilchardus*) dans les eaux marocaines et mauritaniennes, où trois populations sont bien individualisées avec des aires de ponte séparées et définies géographiquement (Belvèze, 1984). Le long de la côte ouest-africaine, ces sites correspondent généralement à des zones en aval des caps par rapport au courant, où s'observe un mouvement tourbillonnaire favorable à la rétention des larves. Dans certains cas au moins, ce mouvement pourrait accentuer le phénomène de remontées d'eau (Marchal et Picaut, 1977) et être ainsi générateur d'enrichissement.

Fig. 6

Abondance des larves de *Sardinella aurita* entre 10°N et 24°N; regroupement de neuf années d'observation (d'après Conand, 1977).

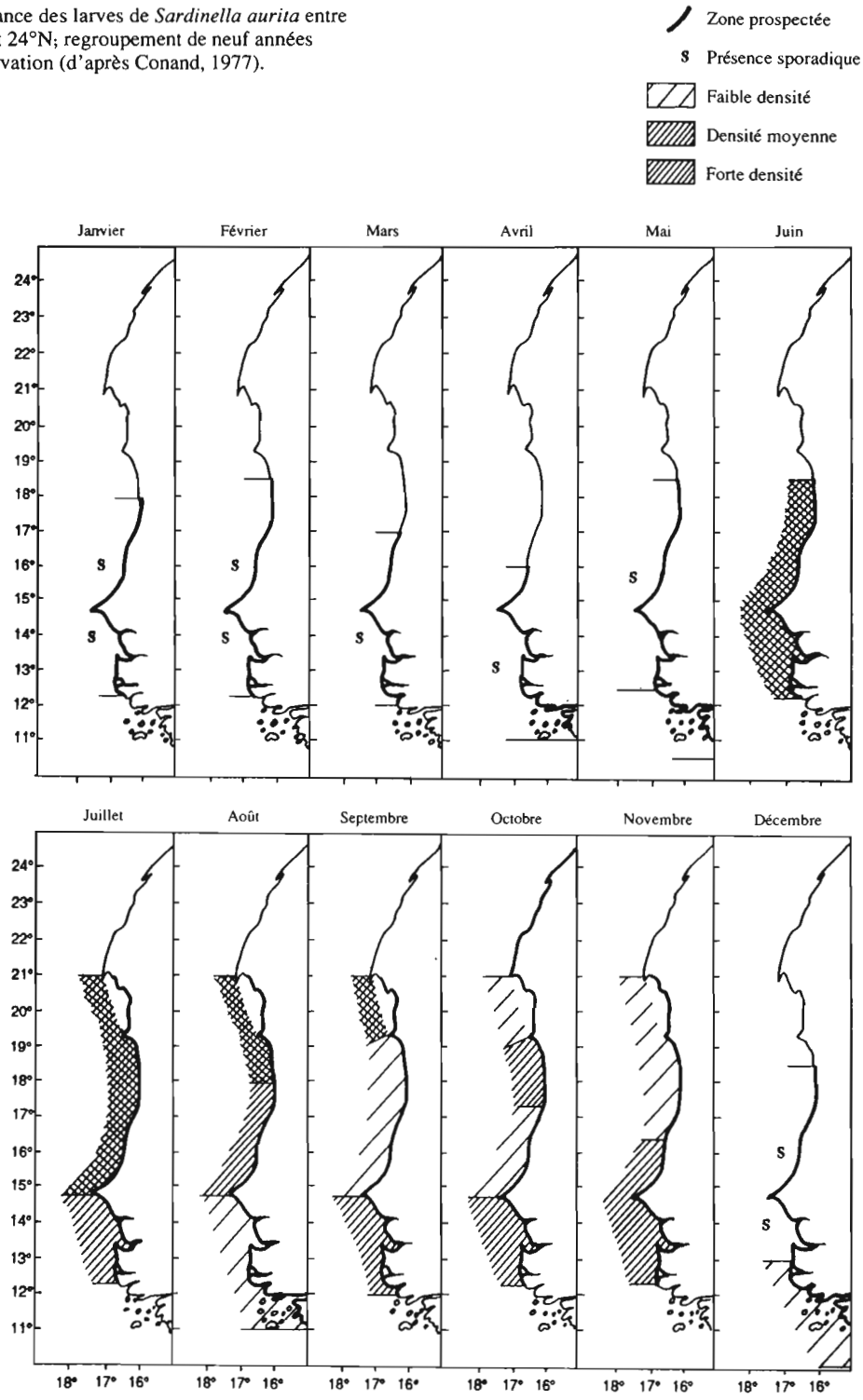
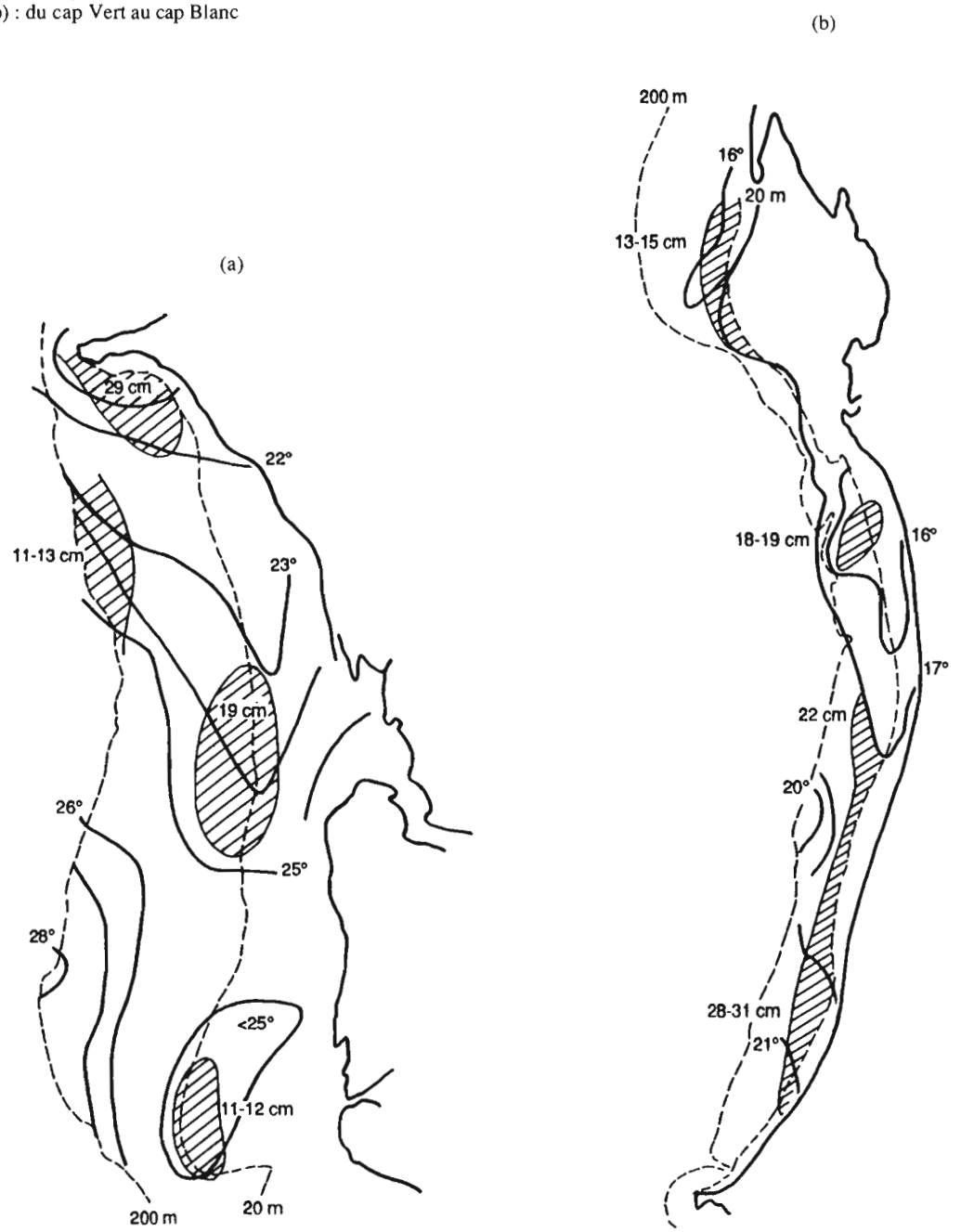


Fig. 7

Répartition des concentrations de *Sardinella aurita*, avec indications des modes de taille principaux et isothermes de surface (campagne ECHOSAR 3, mai 1981)
(a) : du cap Roxo au cap Vert
(b) : du cap Vert au cap Blanc



Cury et Roy (1989) ont montré que le succès d'une ponte dans ces zones de remontée d'eau dépend assez étroitement de conditions optimales de vent, celui-ci jouant un rôle positif en tant que moteur de la remontée et donc de l'enrichissement, source de nourriture, mais également un rôle négatif au-dessus d'un certain seuil en tant que générateur de turbulence.

Sinclair subordonne en outre la dimension de la population à celle de la zone de rétention. En adoptant cette hypothèse, on peut dire que si le site lui-même est pérenne car il est lié à la topographie littorale, son extension et sa variabilité sont sous la dépendance des courants.

Ainsi, l'importance d'une cohorte au recrutement serait largement tributaire de facteurs physiques qui prévalaient dans les premiers stades de son existence. Parmi ces facteurs, le vent et les courants joueraient un rôle tout à fait prépondérant. A condition de bien connaître le schéma de comportement des larves et juvéniles (résistance à l'advection, utilisation de courants opposés, etc...) leur détermination précise pourrait fournir des bases sérieuses à une meilleure prédiction du recrutement.

BIBLIOGRAPHIE

• Anonyme, 1983. Evaluation des ressources en poissons pélagiques côtiers dans le golfe de Guinée, rapport final, ORSTOM/SGTE, 218 p.

• Belvèze H. 1984. Biologie et dynamique des populations de sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum) peuplant les côtes atlantiques marocaines et propositions pour un aménagement des pêcheries. Thèse de Doct. Etat Univ. Bret. Occident., 532 p.

• Conand F. 1977. Oeufs et larves de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) au Sénégal : distribution, croissance, mortalité, variation d'abondance de 1971 à 1976. Cah. ORSTOM sér. océanogr., vol.XV, n°3 : 201-214.

• 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. Cahiers ORSTOM, sér. Océanogr., vol.IX, n°3, 293-318.

• Cury P. et Roy C. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 46 : 670-680.

• Dessier A. Pianet R. 1971. Répartition et abondance des oeufs et larves de clupeidae et engraulidae des côtes du Congo et du Gabon en 1968-1969. Doc. Scient. Centre ORSTOM Pointe Noire, N.S., 15, 59 p.

• Gheno Y., Marcille J. 1971. La pêche de *Sardinella aurita*, par les thoniers à l'appât vivant sur les côtes du Congo et du Gabon. Doc. Scient. Centre ORSTOM Pointe Noire, N.S., 12, 20 p.

• Marchal E., Josse E. 1982. Résultats de la campagne ECHOSAR 3 du N/O CAPRICORNE (mai 1981). Répartition et abondance des poissons pélagiques du cap Blanc au cap Roxo (Côte occidentale de l'Afrique). ORSTOM, Brest, doc. mimeo, 15 p., 7 tab, 34 fig.

• Marchal E. et Picaut J. 1977. Répartition et abondance évaluées par écho-intégration des poissons du plateau ivoiro-ghanéen en relation avec les upwelling locaux. J. Rech. Océanogr., vol.II, n°4:39-57.

• Pezennec O., Marchal E., Bard F.X. 1990. Les espèces pélagiques côtières : ressource et exploitation in : Le milieu marin de Côte d'Ivoire, Leloeuff, Marchal, Amon Kothias ed., ORSTOM (sous presse).

• Roy C., Cury P., Fontana A., Belvèze H. 1989. Stratégies spatio-temporelles de la reproduction des clupéidés des zones d'upwelling d'Afrique de l'ouest. Aquat. Living Resourc., 2 : 21-29.

• Sinclair M. 1988. Marine populations : an essay on population regulation and specification. Washington Press, Seattle, 232 p.

• Stromme T. 1983. Final report of the R/V Dr. Fridtjof Nansen. Fish resource surveys off West Africa from Agadir to Ghana, may 1981-march 1982. Institute of Marine Research, Bergen, 92 p., 6 annexes.

16 • Nanisme et sédentarité chez certaines espèces de poissons pélagiques : deux aspects d'une même réponse à des conditions défavorables

EMILE MARCHAL
Chercheur ORSTOM, Institut Océanographique, 195 rue St-Jacques, 75005 Paris, France

RÉSUMÉ

Le long de la côte ouest-africaine, un certain nombre d'espèces de poissons pélagiques présentent deux formes par rapport à la taille : une forme petite qui se rencontre essentiellement dans les limites du golfe de Guinée (11°N à 1°S) où les conditions hydrologiques sont assez stables, et une forme grande qui se situe au nord et au sud dans les zones soumises saisonnièrement aux alizés. Ces espèces appartiennent à plusieurs familles et contribuent massivement aux débarquements commerciaux : *Sardinella aurita*, *Ethmalosa fimbriata* (Clupéidés), *Engraulis encrasicolus* (Engraulidés), *Trachurus trecae*, *Decapterus rhonchus* (Carangidés), *Scomber japonicus* (Scombridés). Le caractère le plus évident concerne la réduction de taille de la longueur maximum, de la longueur moyenne dans les prises et de la taille à le première maturité. Pour *Sardinella aurita*, qui est l'espèce la mieux étudiée, on peut identifier au moins trois populations de la forme naine (Guinée au Liberia, Côte-d'Ivoire-Ghana, Gabon). Ces poissons se nourrissent activement près de la surface pendant la courte saison productive puis s'enfoncent dans les eaux plus profondes du plateau continental où ils réduisent leurs dépenses en énergie. Au contraire, les poissons de la forme grande demeurent toute l'année dans les eaux productives, en effectuant de grandes migrations pour suivre ces masses d'eau. Chez cette espèce au moins, la diminution du métabolisme et de la consommation d'oxygène qui en découle s'accompagne d'une réduction de la taille des arcs branchiaux et de l'indice céphalique. On remarque enfin que la forme migrante constitue de très grandes populations qui se mesurent en centaines de milliers de tonnes, alors que les populations sédentaires se comptent en milliers ou dizaines de milliers de tonnes.

ABSTRACT

Along the west-African coast two sized-types of a number of pelagic fish species occur. The smaller type inhabits essentially inside the limits of the Gulf of Guinea (11°N to 1°S) which is characterized by rather stable hydrological conditions, whereas the larger one occurs in the northern and southern areas under the seasonal influence of trade-winds. Relevant species belong to several families and give major contributions to the commercial landings : Sardinella aurita, Ethmalosa fimbriata (Clupeoids), Engraulis encrasicolus (Engrauloids), Trachurus trecae, Decapterus rhonchus (Carangoids), Scomber japonicus (Scombroids). The most apparent character is the strong reduction in the size, at different stages : maximum length, average in the catches and at first maturity. In the case of Sardinella aurita, which is the best documented species, there are at least three different sub-populations of the dwarf type (Guinea to Liberia, Ivory Coast-Ghana, Gabon). Fish are feeding intensively near the surface during the short productive season and then dive into deeper waters of the continental shelf, reducing their energetic

expanses. The larger type on the opposite remains all the year round into productive waters, following the displacement of the water masses and performing large migrations. In this species at least the reduction of the metabolism and then the oxygen consumption corresponds to a reduction in the length of branchial arch and of the cephalic index. Finally it is pointed out that the migratory type corresponds to very large populations (hundred of thousand tons) compared with the sedentary type populations (thousand or tens of thousand tons).

INTRODUCTION

Le long de la côte ouest-africaine, un certain nombre d'espèces de poissons pélagiques se présente sous deux formes : une grande, que nous qualifierons de normale, l'autre de plus petite taille. Ces espèces appartiennent aux familles les plus importantes en matière de ressources : Clupéidés, Carangidés, Scombridés, Engraulidés.

Les formes de petite taille se rencontrent dans les limites de ce que l'on appelle le golfe de Guinée *sensu lato*, c'est-à-dire dans la zone «stable» non soumise à l'alternance des alizés : géographiquement, de 11°N (cap Verga) à 1°S (cap Lopez) approximativement. Les formes de grande taille se situent globalement hors de cette zone. Le caractère le plus évident est la taille moyenne observée dans les captures (pêches commerciales, pêches scientifiques) ainsi que la taille maximum observée. Un autre caractère important -le seul en fait qui permette de parler de nanisme- est la réduction de taille à la maturité. Malheureusement, ce caractère n'a pas toujours été observé de façon rigoureuse et, de plus, souffre d'une assez grande variété de définitions qui ne sont pas toujours précisées. La question posée est de savoir quelle signification on peut donner à ce phénomène de nanisme qui ne touche du reste que certaines espèces.

LES ESPÈCES CONCERNÉES

Le tableau I rassemble les observations effectuées ou signalées sur six espèces qui présentent des phénomènes de réduction de taille. *Sardinella aurita* ainsi que *Trachurus trecae* présentent à la fois une réduction de la taille maximum, de la taille à la maturité et de la taille moyenne des captures. *Decapterus rhonchus* montre une considérable réduction de la taille maximum et de la taille moyenne des captures dans certaines zones, mais certaines observations sont contradictoires (grande taille en Sierra Leone ?) et on manque d'observations sur la taille à la maturité. *Scomber japonicus* présente bien une réduction apparente de taille maximum et de taille moyenne dans les captures, mais la taille à la maturité ne serait pas différente, du moins entre le Sénégal et la Côte-d'Ivoire. *Engraulis encrasicolus* présente aussi des réductions de taille, des zones tempérées (golfe de Gascogne, Méditerranée) jusqu'au golfe de Guinée. Enfin, l'espèce *Ethmalosa fimbriata* est à classer tout à fait à part : il s'agit en effet d'une espèce «saumâtre» pour laquelle les réductions très importantes de tailles (maximum, maturité) s'observent dans les milieux confinés ou fermés (lagunes plus ou moins isolées).

En dehors de ce cas, les deux espèces montrant le plus clairement un phénomène de nanisme sont *Sardinella aurita* et *Trachurus trecae*.

RÉPARTITION ET COMPORTEMENT

Sardinella aurita

Les populations des côtes de Mauritanie et du Sénégal d'une part, du sud Gabon, du Congo et de l'Angola de l'autre ont à peu près les mêmes caractéristiques de longueur maximum (30 à 32 cm) et de taille à la maturité (19-20cm). Les populations du golfe de Guinée ont une taille maximum de l'ordre de 20 à 25 cm et une taille à la maturité de 12 à 14 cm. La taille maximum paraît variable dans certaines limites. De plus, on a signalé la présence au Ghana en début de saison froide (généralement en juillet) d'individus de grande taille (28-30cm) dont nous examinerons le statut plus loin.

Les populations à individus de grande taille ont une large répartition : au nord, de 11°N à 23°N environ et au sud de 1°S à 17°S environ. Il n'y a pas de preuves formelles d'existence d'une population unique, mais c'est l'hypothèse la plus couramment admise (Boely, 1981; Gheno et Fontana, 1981). Les individus adultes de longueur supérieure à 22 cm environ se livreraient à des migrations de grande amplitude consistant à suivre le mouvement apparent de déplacement du front thermique, de façon à rester toujours dans les eaux productives. Les jeunes demeureraient pour leur part à proximité des nourriceries et n'effectueraient que des déplacements limités, notamment côte-large et fond-surface.

Les populations à individus nains paraissent constituer des entités séparées :

- un groupe Guinée - Sierra Leone - Nord Libéria aux caractéristiques clairement établies ($L_{max.}$ = 24cm, $L_{mat.}$ = 13-14cm, $L_{capture}$ = 18-19cm) et qui effectuerait des migrations limitées plutôt assimilables à des déplacements côte -large, secteurs favorables-défavorables;
- un groupe Ghana-Côte-d'Ivoire-Sud Libéria, très semblable dans ses caractéristiques générales au précédent et dont le comportement «classique» est : présence en surface et près de la côte pendant la saison d'upwelling et en plongée dans la partie profonde du plateau continental pendant la saison chaude. Cependant, il semble être apparu un nouveau comportement, notamment en Côte-d'Ivoire avec des individus restant en surface même en saison chaude et de taille moyenne supérieure;
- un groupe Gabon, avec une population très bien individualisée au nord du cap Lopez aux caractéristiques encore plus marquées de nanisme ($L_{max.}$ = 20 cm, $L_{mat.}$ = 13 cm) et n'effectuant que des déplacements très limités fond/surface et une population au sud du cap Lopez (Pointe Ste Catherine) aux caractéristiques et au comportement semblables mais moins bien définie dans sa distribution.

Trachurus trecae

De même que pour *Sardinella aurita*, on peut facilement distinguer chez cette espèce des populations situées au nord et au sud du golfe de Guinée et présentant les mêmes caractéristiques : taille maximum de 41 cm au nord (pour 36 cm au sud), taille à la maturité de 24 cm (nord Mauritanie) à 20 cm (Sénégal) et 18 cm en Angola : les différences dans la taille à la maturité sont toujours sujettes à caution quand leur définition n'est pas indiquée. L'extension géographique de ces populations est sensiblement la même que celles de *Sardinella aurita*, ainsi que le schéma de migration. Dans les limites du golfe de Guinée il existe plusieurs populations, pour la plupart mal définies en extension mais qui sont toutes caractérisées par une taille maximale observée très inférieure (17 cm à 21 cm pour la plupart, 25 cm en Sierra Leone). Les auteurs soviétiques (Barkova *et al.*, 1981; Mylnikov *et al.*, 1984) signalent en Guinée-Bissau la présence simultanée des deux formes dont la «naine» atteindrait 18 cm environ et une taille à la maturité de 13 cm environ (déduite des distributions de longueur). De leur côté, Chaytor *et al.* (1983) indiquent la présence d'une petite population de *Trachurus trecae* en Sierra Leone, dont la taille maximum atteindrait 25 cm et la maturité se situerait à 14 - 15 cm. La présence de *Trachurus trecae* de petite taille en Côte-d'Ivoire et au Ghana a été signalée depuis longtemps (Konan, 1972; Rijavec, 1980; Caverivière, 1982) et confirmé récemment par le navire océanographique «Fridtjof Nansen» (janvier 1990) qui a évalué une population importante dont les plus grands individus ne dépassent pas 21 cm. Plus ou moins absente du secteur nigérian, l'espèce est retrouvée au nord du cap Lopez dans sa forme naine ($L_{max.}$ = 17cm et $L_{mat.}$ = 12cm). Immédiatement au sud de ce cap, on retrouve la forme «grande». Le comportement général de *Trachurus trecae* est différent de celui de *Sardinella aurita* : bien que formant des bancs, l'espèce est moins grégaire et se rencontre plutôt en pleine eau (couche) qu'en surface ou proche du fond en petits bancs. Ses migrations ont surtout été déduites des résultats de la pêche commerciale, qui sont cohérents dans l'ensemble avec les observations des campagnes de recherche pour la zone nord, et donc probablement valides pour la zone sud. Par contre, on n'a pratiquement aucune information précise sur les déplacements éventuels des populations «naines». Les auteurs soviétiques parlent cependant de «population sédentaire» pour celle de Guinée- Bissau. Au nord du cap Lopez, nous n'avons identifié la population naine avec certitude que pendant la campagne de saison froide (août) : en avril, ces poissons pouvaient soit être mélangés aux jeunes de l'autre population soit être dispersés ou ailleurs. Quoi qu'il en soit, il y a de fortes présomptions pour que les populations rencontrées de façon clairsemée le long du golfe de Guinée soient relativement indépendantes et n'effectuent pas de grands déplacements.

DISCUSSION

On peut donc assimiler la forme grande à un schéma migratoire de grande amplitude conduisant les poissons -au moins dans leur phase adulte- à rechercher des zones riches en nourriture, ou ce qui revient à peu près au même à quitter les eaux qui s'appauvrissent. Les eaux dans lesquelles ils demeurent sont à la fois fraîches et productives, ce qui constitue effectivement un environnement favorable et leur permet, malgré une dépense en énergie importante nécessaire pour effectuer ces migrations de grande amplitude, de conserver un surplus d'énergie suffisant pour atteindre une grande taille et une taille à la première maturité importante (Pauly, *in* Longhurst et Pauly, 1987) : ainsi la population disposera d'une fécondité appréciable pour compenser d'éventuelles déperditions dues aux migrations. La forme naine au contraire adoptera un comportement opposé, qui lui est du reste la plupart de temps imposé : après une courte saison de forte productivité et d'enrichissement des eaux de surface où elle s'est abondamment nourrie et a constitué des réserves lipidiques (Marchal, 1966), elle va se «réfugier» en profondeur dans des eaux relativement froides où son métabolisme basal diminuera mais où le peu de nourriture disponible ne permettra pas de «dégager» de surplus d'énergie important. Elle sera donc amenée à avoir une maturité à une taille plus faible et sa taille maximum restera également faible ne lui permettant pas d'effectuer de grandes migrations. Sa fécondité totale sera bien entendu nettement inférieure à celle de la forme grande, mais la relative concentration de la population compensera cette faiblesse.

Pauly (ouvrage cité) rappelle qu'il a émis l'hypothèse que la taille asymptotique était déterminée par les interactions entre apport d'oxygène et besoins, sous le contrôle de la surface des branchies. Effectivement, la capacité d'échange gazeux est en relation avec la superficie des branchies et, pour une espèce donnée, on peut s'attendre à ce que la dimension des branchies soit plus grande (à taille égale) chez les individus à métabolisme élevé. Pour ce qui concerne *S. aurita*, le nombre de branchiospines est effectivement plus élevé en Angola et au Congo qu'en Côte- d'Ivoire (Marchal, 1965) ou en Sierra Leone et semblable au Sénégal (Boely, 1981). Toutefois, le nombre de branchiospines n'est pas un très bon critère. Nous disposons également de mensurations de la longueur de la tête et du corps de lots provenant du Congo, de Côte d'Ivoire et du Sénégal (tab. 2). A taille égale (classes 20-22 cm de longueur standard), la tête est environ 10 % plus grande au Sénégal et au Congo qu'en Côte-d'Ivoire : cette différence est très significative, et de plus se traduit probablement par une plus grande différence au niveau de l'arc branchial si, comme on peut le supposer c'est la partie postérieure de la tête qui est plus allongée.

Une question demeure : on observe certaines années l'apparition dans les captures de *Sardinella aurita* au Ghana d'une classe de taille exceptionnelle : générale

Tableau 1a: *Sardinella aurita*

Région	$\overline{L}$max	$\overline{L}$cap	$\overline{L}$m	Extension	Stock	Pêche	Référence
Mauritanie	32	28					Boely
Sénégal	31	22	19	1300	500	150	Boely
Sénégal			20				Conand C.
Guinée	22						Zupanovic
Guinée	20	16		300	50	15	Marchal
Sierra Leone	22	17	14				Overko
Sierra Leone	24	18	14				Hartsuijker
Liberia	21	18					Mingle
Côte-d'Ivoire	24	18	14	500	100	40	Villegas
Ghana	25	17	14				ORSTOM
Gabon (N. Lopez)	20	16	13	100	20		Marchal
Gabon (S. Lopez)							
Congo	30	18	19	1700	500		Gheno
Angola	30					200	Cadima

$\overline{L}$max : longueur maximum observée en cm, mesurée à la fourche.

$\overline{L}$cap : longueur moyenne dans les captures.

$\overline{L}$m : longueur moyenne à la première maturité.

Extension : distance approximative entre les limites de l'extension de la population, en km.

Stock : biomasse, évaluée par écho-intégration ou estimée, en 10^3 tonnes.

Pêche : estimation de la pêche, en 10^3 tonnes.

Tableau 1b: *Trachurus trecae*

Région	$\overline{L}$max	$\overline{L}$cap	$\overline{L}$m	Extension	Stock	Pêche	Référence
Sénégal	35	26			600	300	Stromme
Mauritanie				1300			
Sénégal	41	22	24				Mylnikov
Mauritanie		32					
Sénégal	39		20				Camarena
Guinée-Bissau	18		13			10	Barkova
Guinée		11					Zupanovic
Guinée-Liberia		15					G.T.S.
Sierra Leone	25	16	15				Ivanov
Liberia	20	17					Mingle
Côte d'Ivoire		14					Vendeville (com. pers.)
Côte-d'Ivoire							
Ghana	21	14		70			F. Nansen
Ghana	19	14					Rijavec
Bénin	20	15					Vendeville (com. pers.)
Gabon (N. Lopez)	17	14	12	10			Marchal (CEE)
Congo	32	23		1700			Marchal (CEE)
Angola	36	22	18			300	Marecos

Tableau 1c: *Decapterus rhonchus*

Région	$\bar{L}$max	$\bar{L}$cap	$\bar{L}$m	Extension	Stock	Pêche	Référence
Mauritanie	40	30	18				Mylnikov
Sénégal			20				Camarena
				1300			
Mauritanie	40	26			300		Stromme
Guinée-Bissau							
Guinée	26						Zupanovic
Guinée	36						Atlantniro
Sierra Leone	37	24	18		125(?)		Chaytor
Côte-d'Ivoire	32						F. Nansen
Ghana							
Nigeria	18						Stromme
Congo							
Gabon	16						Marchal/CEE
S. Gabon	40						Marchal/CEE
Congo							
S. Gabon	31						Stromme

Tableau 1d: *Scomber japonicus*

Région	$\bar{L}$max	$\bar{L}$cap	$\bar{L}$m	Extension	Stock	Pêche	Référence
Maroc	53	34	26				Krivospitchenko
Mauritanie							
Sénégal	44		22				Krivospitchenko
Sénégal	49		22				Camarena
Guinée		21					Zupanovic
Côte-d'Ivoire	30	19	21				Hartsuijker
Ghana							Marchal
Gabon (N. Lopez)	20	13					Marchal / CEE
Congo	30	23					Marchal / CEE

Tableau 1e: *Engraulis encrasicolus*

Région	$\bar{L}$max	$\bar{L}$cap	$\bar{L}$m	Référence
Golfe Gascogne	19		11,5	Furnestin (*in* Ba)
Mauritanie	13,5	11	10	Ba
Mauritanie	13	9		Marchal (ECHOSAR)
Mauritanie	13	9		Stromme (F. NANSEN)
Sénégal	11,5	11		Stromme (F. NANSEN)
Sénégal	12	11		Marchal (ECHOSAR)
Guinée	11	7		Marchal (CAPRICORNE)
Guinée	11			Stromme (F. NANSEN)
Sierra Leone Liberial	11,5			Stromme (F. NANSEN)
Côte d'Ivoire	11,5	9		Konan
Ghana	10,5	8		F. Nansen 89
Gabon (S. Lopez)	12	10		Marchal (CEE)

Tableau 1f: *Ethmalosa fimbriata*

Région	$\bar{L}$max	$\bar{L}$cap	$\bar{L}$m	Type milieu	Référence
Sénégal	34	27	17	estuaire, mer	(*in* Charles Dominique)
Sierra Leone	30	23	19	estuaire, mer	Bainbridge
Côte d'Ivoire	30	26		mer	Marchal (pers.)
Côte d'Ivoire	20	13	14	lagune	Albaret *et al.*
Côte d'Ivoire			8,4	lagune polluée	Albaret *et al.*
Bénin			<10	lagune fermée	Gras (*in* Longhurst)
Nigeria	30		19	estuaire, mer	Longhurst
Nigeria			14	lagune	(*in* Charles Dominique)
Nigeria	15		8,5	lagune fermée	Longhurst
Congo	27		19	mer	Barro (com. pers.)

Tableau 2:

Indice céphalique (100 lt/ls) de lots de *Sardinella aurita* provenant de trois régions.

Région	Classes de taille de longueur standard (ls)		
	20	21	22
Sénégal	26,4	26,6	26,4
Congo	26,9	26,6	26,1
Côte d'Ivoire	24,5	24,1	23,7

ment entre 27 et 30 cm. Ce mode ne se rattache à rien et n'entre pas dans le «schéma» de croissance de la population. Il pourrait s'agir d'immigrants venant par exemple du Congo. Une autre hypothèse pourrait être qu'il s'agit d'un groupe issu de pontes du Ghana (secteur central) mais qui a ensuite «choisi» le schéma migratoire à grand déplacement : ceci signifierait que ce «nanisme» est en fait conjoncturel et ne dépend que du schéma choisi. Ceci pourrait aussi expliquer la tendance observée depuis quelques années à l'augmentation de taille des *S. aurita* de Côte-d'Ivoire qui de fait demeurent beaucoup plus longtemps dans les eaux de surface probablement plus riches (Binet *et al.*, présent volume).

CONCLUSION

Ainsi, pour *Sardinella aurita* tout au moins, il apparaît probable que nanisme et sédentarité sont bien liés et constituent une réponse alternative quand les conditions ne permettent pas à l'espèce d'assumer son plein développement. Certains indices laissent à penser que ce choix n'entraîne pas de modifications génétiques et est donc réversible : on ne peut bien sûr dans ce cas parler de race naine. En est-il de même pour le *Trachurus trecae* et éventuellement pour les autres espèces ? La réponse est plus difficile à donner, d'abord par manque d'observations suffisantes et également à cause de la présence simultanée des deux formes dans un même habitat : se pose alors la question de ce qui déciderait du choix du schéma de comportement.

Enfin on pourra remarquer, avec Harden-Jones (1988) qu'il semble bien aussi exister une relation entre taille - ou abondance- d'une population et son comportement migratoire : les populations migrantes du nord et du sud se comptent en centaines de milliers de tonnes, les populations sédentaires du golfe de Guinée par milliers ou dizaines de milliers de tonnes.

BIBLIOGRAPHIE

• Anonyme, 1976. Rapport du groupe de travail sur la sardinelle (*S. aurita*) des côtes ivoiro-ghanéennes, Abidjan 28 juin-3juillet 1976. ORSTOM. 85 p.

• Anonyme, 1989. Surveys of the small pelagic resources of Côte d'Ivoire and Ghana, 12-20 octobre 1989. Rapport préliminaire de la campagne du Dr. Fridtjof Nansen, non publié (par courtoisie du C.R.O., Abidjan)

• Albaret J.J. Charles-Dominique E. 1982. Observations d'un phénomène de maturation sexuelle précoce chez l'Ethmalose, *Ethmalosa fimbriata* Bowdich, dans une baie polluée de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan, 13(2) : 23-31.

• Ba I. 1988. Biologie et dynamique des populations d'anchois (*Engraulis encrasicolus*) des côtes mauritaniennes. Thèse, Université de Bretagne Occidentale, Faculté des Sciences, Brest, 139 p.

• Bainbridge V. 1963. The food, feeding habits and distribution of the Bonga *Ethmalosa dorsalis* (C.V.). J. Cons. Int. Explor. Mer, 28(2) : 270-284.

• Barkova N. *et al.* 1981. Répartition des cycles vitaux de quelques espèces de poissons dans les secteurs côtiers (34.1.3 et 34.3.1.) de l'Atalntique Centre-Est. *In:* COPACE/TECH/81/31 : 31-84

• Binet D. Marchal E., Pezennec O. Présent volume. *Sardinella aurita* de Côte d'Ivoire et du Ghana. Fluctuations halieutiques et changements climatiques.

• Boely T. 1981. Biologie de deux espèces de Sardinelles *Sardinella aurita* Valenciennes, 1847, et *Sardinella maderensis*, Lowe, 1841 des côtes sénégalaises. Thèse, Travaux et documents de l'ORSTOM, TDM 7, 212 p., 32 annexes.

• Cadima E. 1982. Rapport sur la pêche en Angola. document FAO non publié.

• Camarena Luhrs T., 1986. Les principales espèces de poissons pélagiques côtiers au Sénégal : biologie et évaluation des ressources. Thèse présentée à l'Université de Bretagne occidentale, Faculté des Sciences, Brest, 188 p.

• Caverivière A. 1982. Les espèces démersales du plateau continental ivoirien. Biologie et exploitation. Thèse, Université Aix-Marseille II, 2 vol., 415 p. et 159 p.

• Charles-Dominique E., 1982. Exposé synoptique des données biologiques sur l'ethmalose (*Ethmalosa fimbriata* S. Bowdich 1825). Rev. Hydrobiol. Trop., 15 (4) : 373-397.

• Chaytor D.E.B., Domanevski L.N., Ivanov A., Kozenmyakiv A., Mokrousov V., Overko S., Sazonov YU. 1983. A premiliminary estimate of the biomass of coastal pelagic fishes in waters of the Republic of Sierra Leaone (25 february-2 march 1982). CECAF/TECH/83/48 : 40-99

• Conand C. 1977. Contributions 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.

• Gheno Y. et Fontana A. 1981. Les stocks de petits pélagiques côtiers : les sardinelles. *In:* A. Fontana (éd.) Milieu marin et ressources halieutiques de la République populaire du Congo, travaux et documents n°138, ORSTOM Paris : 213-257.

• Harden-Jones F.R. 1988. The nekton : production and migration patterns,Fundamentals of Aquatic Ecosystems, R.S.K. Barnes and K.H. Mann(éds.), Blackwell Scientific Publications, 229 p.

• Hartsuijker L. 1972. Preliminary results of the sampling of the purse-seiners landings at the fishing harbour of Abidjan. Supplement I. *Sardinella eba* and *Sardinella aurita* during 1971. Supplement II. The mackerel. *Scomber japonicus* Projet PNUD IVC6/288, RS10/72, Abidjan, 34 p. miméo.

• Konan J. 1972. Pêche au chalut à grande ouverture sur le plateau continental profond de Côte d'Ivoire (mars-août 1972). PNUD IVC6/288, RS 12/72, 4 tabl., 6 fig., 9 p.

• Krivospitchenko S.G., Domanevsky L.N. 1984. Le maquereau (*Scomber japonicus*). *in* Recherches soviétiques sur le maquereau et les chinchards de l'Atlantique Centre-Est, AtlantNIRO, COPACE/TECH/84/59, 92 p.

• Longhurst A.R. 1965. A survey of the fish resources of the Eastern gulf of Guinea. J. Cons. Int. Explor. Mer, 29 (3) : 302-334.

• Longhurst A.R., Pauly D. 1987. Ecology of Tropical Oceans. Academic Press, 407 p.

• Marchal E., 1965. Note sur deux caractères de *Sardinella aurita* de Cote d'Ivoire. Cahiers ORSTOM. Océanographie III, 1 : 95-99.

• Marchal E. 1966. Teneur en matières grasses et teneur en eau chez deux Clupéidés de Côte d'Ivoire (*Sardinella aurita* C.V., *Sardinella eba* C.V.). C.R.O. Abidjan, D.S.P. n°004. 14 p.

• Marchal E. Burczynski J., Gerlotto F., Stequert B. 1980. Evaluation acoustique des ressources en poissons pélagiques dans la sous-région guinéenne : deuxième campagne du N/O CAPRICORNE, mars 1979, FAO, Rome, 80 p.

• Marchal E., Josse E. 1982. Répartition et abondance des poissons pélagiques du cap Blanc au cap Roxo (Côte occidentale de l'Afrique). Résultats de la campagne ECHOSAR 3 du N/O CAPRICORNE (mai 1981). Doc miméo ORSTOM Brest, 16 p., 7 t, 34 fig.

• Marchal E. *et al.* 1983. Evaluation des ressources en poissons pélagiques côtiers dans le golfe de Guinée. Etude scientifique. Rapport final, ORSTOM et SGTE , Contrat d'études 4100.036.97.80-FED : 34-239.

• Marecos M.L. 1974. Idade e crescimento do Carapau do Cunene (*Trachurus trachurus trecae* Cadenat). Publ. Mimeo M.E. Biouanol. Pescas, Angola, 17, 57 p.

• Mingle C.A., Bukatin P.A., Overko S.M. 1983. Results of research on the biological ressources in the territorial waters of the Republic of Liberia with R/V «BELOGORSK» CECAF/TECH/83/48 : 120-110

• Mylnikov N.I., Overko S.M., Domanevski L.N. 1984. Le chinchard Cunene (*Trachurus trecae* Cadenat) / *Decapterus rhonchus. in* Recherches soviétiques sur le maquereau et les chinchards de l'Atlantique Centre-Est, AtlantNIRO, COPACE/TECH/84/59, 92 p.

• Rijavec L. 1980. A survey of the demersal fish resources of Ghana. CECAF/TECH/80/25, 28 p.

• Roy C., Cury P., Fontana A., Belvèze H. 1989. Stratégies spatio-temporelles de la reproduction des clupéidés des zones d'upwelling d'Afrique de l'ouest. Aquat. Living Resourc., 2 : 21-29.

• Stromme T. 1983. Final report of the R/V Dr. Fridtjof Nansen fish resource surveys off West Africa from Agadir to Ghana, may 1981-mar 1982. Institute of Marine Research, Bergen. 89 p. + annexes

• Stromme T., Froy L., Saetersdal G.S. 1983. Survey of the offshore sub-surface community from Togo to Cameroun and the shelf from Equatorial Guinea to the Congo. Institute of Marine research, Bergen. 19 p. + annexes.

• Villegas L. Hartsuijker L., 1972. Preliminary results of the sampling of the purse-seiners landings at the Abidjan Fishing Port. Projet PNUD IVC6/288, RS3/72, Abidjan, 67 p. miméo.

• Williams F. 1968. Report on the Guinean Trawling Survey, vol I OUA/STRC, Lagos, publication 99, 828 p.

• Zupanovic S., Cisse M. 1977. Quelques observations sur les Sardinelles (*S. aurita* et *S. eba*) et Balistes *(B. caprisus)* capturées au large de Guinée. PNUD GUI/74/024, Conakry, 8 tabl, 14 p.

17 • Influence des facteurs hydroclimatiques sur la pêcherie marocaine de petits pélagiques côtiers

HENRI BELVÈZE
Bureau des produits de la pêche, 175 rue de Chevaleret, 75646 Paris Cedex 13, France.

RÉSUMÉ

L'historique des pêcheries pélagiques marocaines ainsi que les différents stocks de sardine situés le long de ces côtes sont présentés. Des généralités sur l'instabilité des stocks mondiaux de sardine ainsi que les mécanismes explicatifs qui ont été proposés sont rappelés. Des facteurs environnementaux tels que la pluviométrie, la température de surface, la vitesse et la direction des vents sont analysés et les fluctuations quantifiées, pour les zones de pêche A et C. Des régressions sont ensuite établies entre l'abondance annuelle et certains de ces facteurs environnementaux. Les effets des changements climatiques à long terme et leur action sur la dynamique des espèces pélagiques côtières sont discutés.

ABSTRACT

The history of Moroccan pelagic fisheries and the different sardine stocks located along the coasts are presented. Generalities on instability of world sardine stocks and proposed mechanisms are discussed. Environmental factors like rainfall, sea surface temperatures, wind speed and direction are analysed and their fluctuations are quantified, for fishery zones A and C. Regressions are established between annual abundance and some of these environmental factors. The effects of long term climatic changes and their action on pelagic fish stocks are discussed.

INTRODUCTION

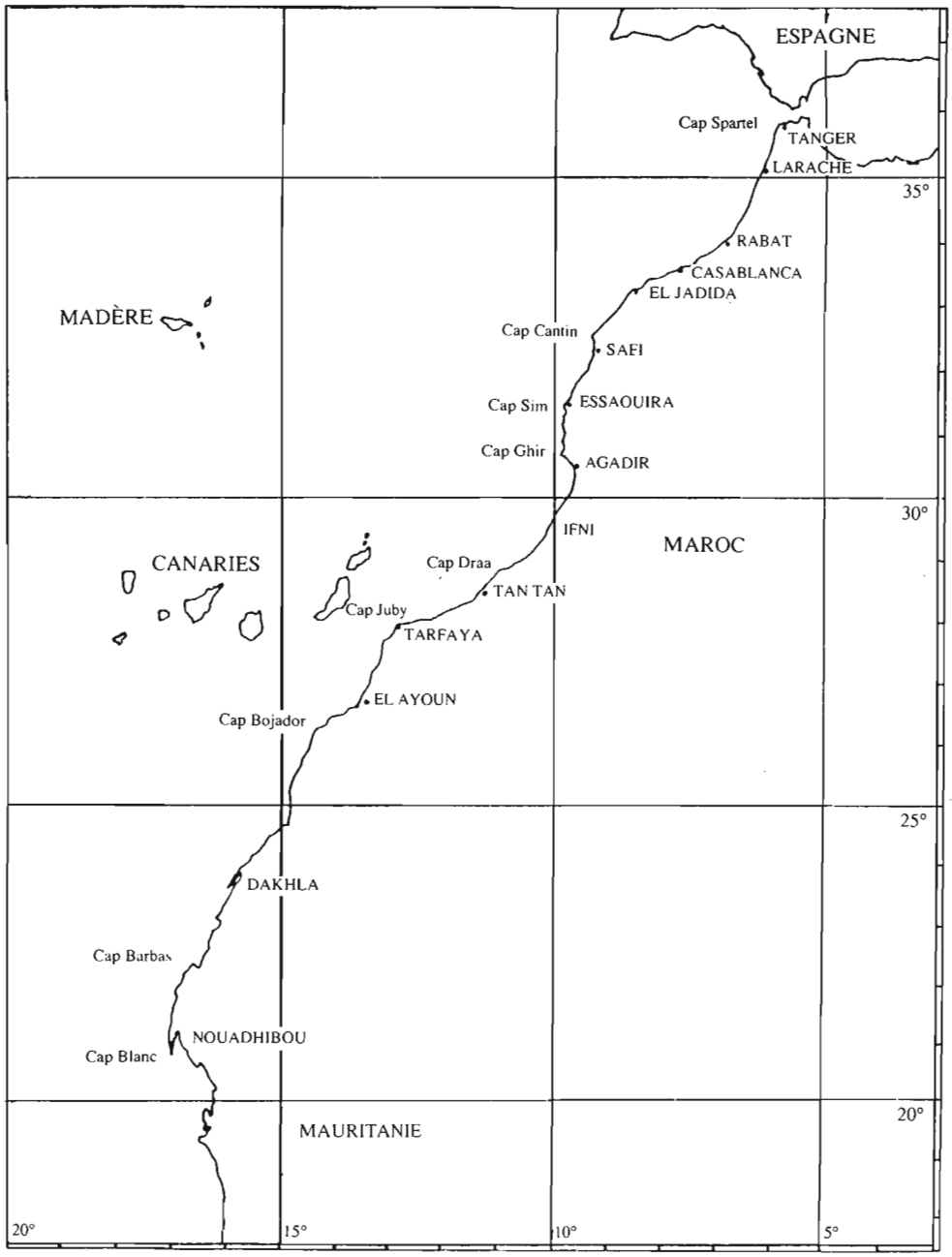
La côte atlantique marocaine a vu se développer une pêcherie de petits pélagiques à partir des années 1920 sous l'impulsion d'une immigration de patrons de pêche espagnols, portugais et français. Les débuts de l'exploitation concernaient la partie nord du Maroc, à partir des ports de Larache, Casablanca et El Jadida. Au cours des années 1930, la construction des ports artificiels de Safi et Agadir, et l'aménagement de l'ancien port chérifien d'Essaouira permettent le développement rapide d'une flotte de senneurs exploitant principalement la sardine et plus épisodiquement les maquereaux, chinchards et anchois. Ces bateaux à faible rayon d'action ne peuvent suivre ces poissons migrateurs dans leurs déplacements et restent donc fortement tributaires de la disponibilité des ressources dans leur zone d'activité.

D'autres pêcheries se sont développées ultérieurement plus au sud, par l'arrivée de flottes étrangères à grand rayon d'action. Conventionnellement, la zone de pêche des senneurs marocains basés dans les ports de Safi, Essaouira et Agadir est appelée «zone A» (fig.1). Une deuxième zone de pêche entre Tantan et El Ayoun est appelée «zone B», et la troisième, la plus récente, au sud du Cap Bojador, est appelée «Zone C».

Le programme de recherches intégrées CINECA ainsi

Fig. 1

Situation géographique de la côte nord-ouest africaine et des noms des localités ou des caps mentionnés dans le texte.



que les travaux d'un certain nombre de chercheurs parmi lesquels Furnestin (1950,1959), Furnestin (1955, 1970), Barkova (1978), Bravo de Laguna *et al.* (1976), Belvèze (1984), ainsi que les rapports du Groupe de Travail de l'Evaluation des Ressources du COPACE (Anonyme 1978, 1980, 1981) ont largement contribué à la connaissance de ces pêcheries.

Un upwelling côtier entre le détroit de Gibraltar et la Mauritanie est à l'origine de la forte productivité biologique de la région. Cet upwelling n'est pas stable mais oscille du nord au sud en fonction des saisons. Les anomalies de températures de surface en été et en hiver, mises en évidence par Parrish *et al.* (1983) montrent bien ce déplacement saisonnier du phénomène (fig. 2).

La population de sardine exploitée dans la zone A se déplace également au rythme des saisons. La zone de reproduction principale se situe au sud de Sidi Ifni, hors de portée des senneurs traditionnels marocains. La ponte a lieu de décembre à avril. L'activité de la pêcherie dans la zone A est essentiellement estivale, les apports étant quasiment nuls en hiver, ce qui soumet l'industrie de la conserve à de longs temps d'arrêt. La variabilité des captures annuelles est également un handicap pour l'industrie de la transformation: conserve, congélation et farine de poisson, qui faute de garantie d'approvisionnement, hésite à mettre en oeuvre un programme de modernisation à long terme.

Dans la zone C, l'exploitation sardinière a connu une croissance soutenue au début des années 1970 avec la concentration de grands chalutiers usines étrangers à la zone. Les captures passent de 80 000 tonnes en 1969 à 523 000 tonnes en 1977 suivies d'une diminution rapide les années suivantes. La composition spécifique des captures a également évolué pendant les vingt dernières années. Les chinchards, maquereaux et sardinelles dominaient dans les captures au cours des années 1960; la sardine est devenue progressivement prépondérante au cours des années 1970.

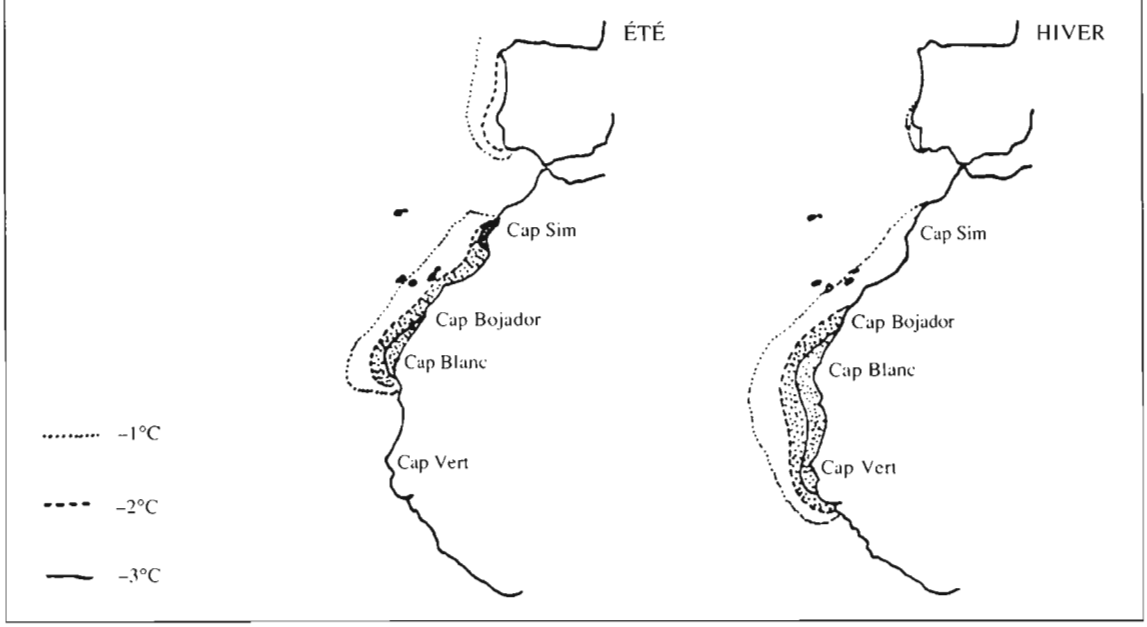
GÉNÉRALITÉS

L'influence de l'environnement sur les fluctuations de disponibilité et d'abondance des poissons n'est pas un sujet d'étude récent. Dès les premières analyses des pêcheries, l'intervention d'événements hydro-climatiques a été évoquée pour expliquer les variations observées dans les captures. Le Congrès Scientifique Mondial sur la biologie des sardines, qui s'est tenu à Rome en 1959, a fait une large part à l'influence des facteurs biotiques et abiotiques dans l'analyse des causes des grandes fluctuations d'abondance des sardines.

Un examen des fluctuations des captures japonaises de sardine *(Sardinops melanostica)* depuis 500 ans a permis à Uda (1960) de les mettre en relation avec l'alternance de périodes chaudes et de périodes froides, liées aux variations des méandres du «Koroshio», courant chaud s'éloignant ou se rapprochant des côtes pacifiques du Japon (Nakai, 1960; 1962). L'échec du recrutement au cours de plusieurs années successives, causé par les conditions anormales du milieu (éloigne-

Fig. 2

Anomalies des températures de surface en été et en hiver le long de la côte nord-ouest africaine (d'après Parrish *et al.*, 1983).



ment du «Koroshio» entraînant une mortalité massive des larves de sardine) semble avoir joué un rôle majeur dans la chute rapide de l'abondance de la sardine japonaise de 1941 à 1943 pour Kurita (1960) qui estime que la pêche et la prédation des adultes n'ont qu'un rôle mineur. Cette diminution drastique du recrutement est confirmée par Hayashi (1960).

De son côté, Yamanaka (1960) a mis en évidence plusieurs points communs entre les fluctuations de capture des sardines au Japon *(Sardinops melanostica)* et en Californie *(Sardinops caerulea)*. Dans les deux pêcheries, à un fort accroissement au cours des années 1930 succède une forte baisse au cours de la décennie 1940, suivie d'une reprise momentanée au début des années 1950. Le taux de mortalité total, qui a augmenté à partir de 1940 dans les deux pays et plus particulièrement au Japon, semble imputable à des causes naturelles plutôt qu'à une pêche intensive.

En Europe, les fluctuations des pêches de sardine *(Sardina pilchardus)*, analysées par Riedel (1960), auraient des causes d'ordre biologiques et abiotiques mais, pour cet auteur, le récent développement de la pêche sardinière marocaine ne serait pas lié à une augmentation de l'abondance sur les côtes du Maroc, mais à des facteurs économiques.

Pour Margalef (1960), les sardines appartiennent à un niveau trophique assez bas (espèces phyto et zooplanctonophages). Leur reproduction précoce et leur faible longévité permettent à leurs populations de s'adapter rapidement à des changements de conditions trophiques du milieu. Elles sont caractéristiques des milieux instables, les milieux stables leur étant défavorables car elles y sont mises en compétition avec des espèces mieux adaptées à cette stabilité (plus grande longévité, reproduction plus tardive, niveau trophique plus élevé). La pêche n'intervient dans ces fluctuations naturelles qu'en augmentant l'instabilité des populations par le biais du rajeunissement qu'elle provoque en ne capturant que les classes d'âge adultes, mais la production de plancton et donc la quantité de nourriture disponible constitue la principale cause de fluctuation.

En Californie, Radovich (1960) et Marr (1960) ont également souligné le rôle du milieu dans la réduction de la disponibilité et de l'abondance de la sardine ainsi que dans l'échec du recrutement. Pour Ahlstrom (1960), la relation entre le nombre de reproducteurs et l'abondance du recrutement est masquée par l'influence dominante du milieu sur la survie des oeufs et des larves.

Les échecs des modèles de gestion classiques appliqués à la plupart des stocks de petits pélagiques fortement exploités, liés à la grande difficulté d'établir une relation stock/recrues pour ces espèces, et d'autre part l'infirmation de nombreuses corrélations entre un facteur d'environnement et l'abondance, au cours des années succédant à la période pour laquelle elles avaient été établies (Gulland, 1978 ; Skud, 1983), ont tempéré les prises de position un tant soit peu manichéennes. L'interdépendance entre les actions de la pêche et de l'environnement a été soulignée par Dickie (1973).

La spectaculaire récupération du stock de sardine japonais qui était totalement effondré de 1964 à 1970 (Tanaka, 1983 ; Hayasi, 1983), l'apparent remplacement de la sardine par l'anchois du nord *(Engraulis mordax)* en Californie (MacCall, 1983), et en Afrique du Sud par *Engraulis capensis* (Crawford *et al.*, 1983), les effondrements successifs du stock d'anchois du Pérou *(Engraulis ringens)* et le développement de stocks de sardine et de chinchard (Valdivia *et al.*, 1983 ; Jordan, 1983) et l'apparent remplacement de l'anchois du Chili par la sardine et le chinchard (Serra, 1983), ont été largement analysés au cours de la consultation d'experts sur les changements d'abondance et de composition spécifique des stocks néritiques au Costa-Rica en avril 1983. Les causes de ces importantes perturbations des différents systèmes écologiques se répartissent plus ou moins également suivant les cas entre l'effet d'une pression de pêche excessive et l'action de l'environnement sur le succès ou l'échec de la reproduction mais aussi sur le taux de mortalité naturelle (MacCall, 1983). Les remplacements d'espèces observés dans de nombreuses pêcheries ont été étudiés par Daan (1980). Excepté pour le hareng et le maquereau de mer du Nord (Jones, 1983), il ne semble pas y avoir de compensation automatique d'une espèce par une autre. Le facteur essentiel de ces changements à grande échelle est un taux d'exploitation trop élevé d'une espèce cible dominante, mais le déclin à long terme de l'ensemble de la biomasse des différentes espèces constituant l'écosystème peut dans certains cas être dû à un affaiblissement progressif des capacités de production biologique du milieu. Jones (1983) suggère que le déclin de la biomasse totale des copépodes en mer du Nord pourrait être à l'origine de l'effondrement du stock de hareng soumis à une forte pression de pêche.

Une étude sur les dépôts d'écailles de sardine, d'anchois et de merlus dans les sédiments anaérobies des bassins de Basse et Haute Californie (Soutar et Isaacs, 1974) a permis de reconstituer l'abondance passée de ces espèces de 1810 à 1970. Elle met en évidence les larges fluctuations du stock de sardine antérieurement au développement d'une pêche intensive, et également la présence simultanée de stocks abondants de sardine anchois et merlu, dont la coexistence jette un doute sur la réalité de remplacement d'une espèce par une autre pour des raisons purement naturelles. L'abondance globale des trois espèces augmente de 1810 à 1895 mais, depuis cette date, un déclin progressif est manifeste.

Les populations de petits pélagiques vivant dans le courant des Canaries ne sont pas à l'abri de telles perturbations, le système d'upwelling côtier étant susceptible de variations équivalentes à celles observées dans les autres régions similaires, et les espèces présentes étant identiques. La preuve en est donnée par l'apparition au début des années 1970 de la «bécasse de mer» *(Macrorhamphosus scolopax)* dans les captures accessoires des sardiniers et des chalutiers marocains (Bréthes, 1975 et 1979). Cette population a envahi rapidement le plateau continental au point de gêner la pêche des autres espèces (sardine à la senne tournante,

merlus et sparidés au chalut de fond) (Villegas et Bréthes, 1976). Une campagne d'évaluation acoustique en 1976 a permis d'estimer sa biomasse à 1,3 million de tonnes entre le cap Juby et le cap Spartel (Lamboeuf *et al.*, 1976). Cette estimation plaçait alors la bécasse de mer au second rang derrière la sardine au point de vue abondance de petit pélagique entre le cap Juby et le cap Spartel. Cette espèce a ensuite progressivement disparu des captures accessoires des sardiniers et des chalutiers. Une nouvelle campagne de prospection et d'évaluation acoustique en 1982 n'a permis de trouver qu'un petit stock résiduel dans l'extrême nord du Maroc (Lamboeuf, com. pers.). Cette population, en une dizaine d'années, s'est donc considérablement développée et a périclité en l'absence de toute pêche intensive, ce qui est un indice sérieux de l'instabilité de l'écosystème de cette région.

Au sein des espèces exploitées, la sardine domine largement depuis le début de la pêcherie, mais si l'anchois reste marginal dans les captures, par contre les prises de maquereaux (*Scomber japonicus* et à un degré moindre *S. scombrus*) augmentent progressivement depuis quelques années, particulièrement dans la baie d'Agadir, pouvant laisser penser à un possible remplacement d'espèce dans l'avenir.

L'étude des relations entre l'environnement physique ou biologique et les indices d'abondance est délicate à entreprendre en raison de la multiplicité des facteurs à étudier: manque de connaissance sur les liens existant entre ces facteurs et les paramètres de croissance, de recrutement et de mortalité régissant la dynamique du stock, et absence de données chronologiques précises sur une période de temps suffisamment longue. Les tentatives faites par le passé pour établir des corrélations simples entre les rendements et divers indices du milieu ont échoué en raison de la variabilité des données statistiques. Cependant, d'après Dickie (1973), les recherches récentes pour démonter les mécanismes pouvant intervenir ont permis de surmonter une partie de ces difficultés, et les résultats confirment les hypothèses précédentes selon lesquelles les fluctuations de l'environnement jouent un grand rôle dans l'abondance des recrutements.

Pour ce type d'approche, Margalef (1960), soulignait déjà la possibilité de tirer certains indices d'années exceptionnelles se répétant dans le temps et faisait remarquer que les pics de capture de *Sardina pilchardus* (Vigo), *Sardinops caerulea* (Californie), *Sardinella aurita* (Israël) et *Sardinella longirostris* (Indes) sont généralement séparés par une période moyenne de sept ans, ces fluctuations à court terme étant interconnectées avec des tendances à long terme. Le fait que certaines corrélations établies entre l'abondance et un facteur d'environnement sur une période de temps donnée se soient révélées mauvaises au cours d'une période ultérieure (Gulland, 1978) ne doit pas faire rejeter a priori la méthode de recherche de corrélations empiriques directes, mais doit nous pousser à réexaminer les données sous un autre angle, en fonction des progrès de nos connaissances sur les mécanismes de productivité biologique et la réversibilité de la hiérarchie entre espèce dominée et espèce dominante sous la pression de la pêche et de l'environnement (Skud, 1983).

PLUVIOMÉTRIE ET CAPTURES DE PETITS PÉLAGIQUES AU MAROC

Introduction

Notre attention a été attirée par la concordance entre certaines années où les captures des senneurs dépassaient nettement celles des autres années et une sécheresse anormale retentissant sur l'agriculture. Ceci paraissait justifier un adage habituel des pêcheurs-agriculteurs de la côte atlantique du Maroc: «Ce que la terre nous refuse une année, la mer le donne».

Les données

La pluviométrie. La pluviométrie est un paramètre enregistré par les stations météorologiques côtières depuis 1936 à Agadir et depuis 1955 à Safi et Essaouira. Elle est exprimée en millimètres d'eau tombée par année civile et nous a été communiquée par la Division de Climatologie de la Météorologie Nationale.

La comparaison des hauteurs d'eau tombée au cours de la période 1955-1981 à Safi et Essaouira d'une part et à Agadir d'autre part montre une corrélation positive ($r=0,71$) hautement significative pour un risque inférieur à 1 %. Une régression fonctionnelle entre ces deux séries permet donc d'estimer raisonnablement les hauteurs d'eau tombée à Safi et Essaouira de 1936 à 1954 (données manquantes), à partir des données disponibles à Agadir, et de reconstituer ainsi la pluviométrie totale de la zone depuis 1936. Ces données sont présentées au tableau 1.

L'évolution de la pluviométrie côtière entre Safi et Agadir (fig. 3) montre une succession de minima (année exceptionnellement sèche) qui se reproduisent avec un certain rythme: 1937-1944 (sept ans); 1944-1950 (six ans); 1950-1958 (huit ans); 1958-1966 (huit ans); 1966-1973 (sept ans); 1973-1981 (huit ans).

Les captures. Les captures de petits pélagiques par les senneurs marocains se répartissent en quatre espèces d'importance inégale: la sardine *(Sardina pilchardus)* qui est de loin l'espèce dominante ; les maquereaux *(Scomber japonicus)* avec un faible pourcentage de l'espèce européenne *(S. scombrus)* apparaissent dans les captures lorsque la température des eaux côtières se réchauffe; les chinchards *(Trachurus trachurus* et *T. picturatus)* dont la première espèce, fondamentalement néritique, constitue la quasi-totalité des captures, et la seconde, plus océanique, n'apparaît qu'épisodiquement dans les débarquements ; l'anchois *(Engraulis encrasicholus)* est peu abondant dans les captures, excepté certaines années comme 1970 ou 1977.

Les captures annuelles de petits pélagiques de 1947 à 1981 sont données au tableau 2. La proportion de sardines dans les captures est restée supérieure à 90 % jusqu'en 1975 et se situe depuis à un niveau plus faible. L'évolution des captures se caractérise par une succes-

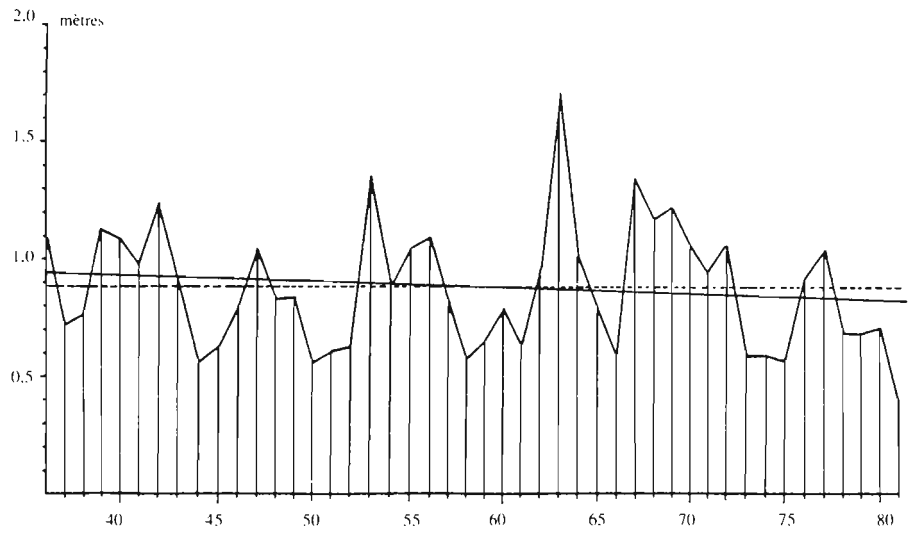
Tableau 1

Pluviométrie enregistrée à Agadir et dans la zone Safi et Essaouira (en millimètres).
Les valeurs entre parenthèses ont été estimées à partir des données d'Agadir.

Année	Agadir	Safi et Essaouira	TOTAL	Année	Agadir	Safi et Essaouira	TOTAL
1936	331	(773)	(1104)	1959	117	533	650
1937	179	(531)	(710)	1960	181	611	792
1938	201	(566)	(767)	1961	127	492	619
1939	344	(793)	(1137)	1962	248	721	969
1940	327	(766)	(1093)	1963	610	1039	1709
1941	281	(693)	(974)	1964	286	726	1012
1942	387	(862)	(1249)	1965	224	578	802
1943	253	(649)	(902)	1966	179	383	562
1944	123	(442)	(565)	1967	430	917	1347
1945	149	(483)	(632)	1968	365	799	1164
1946	213	(585)	(798)	1969	267	961	1228
1947	309	(738)	(1047)	1970	361	698	1059
1948	227	(607)	(834)	1971	195	748	943
1949	228	(609)	(837)	1972	243	815	1058
1950	120	(496)	(557)	1973	123	462	585
1951	141	(471)	(612)	1974	175	419	594
1952	147	(480)	(627)	1975	121	440	561
1953	430	(930)	(1360)	1976	195	724	919
1954	244	(634)	(878)	1977	294	748	1042
1955	226	829	1055	1978	233	458	691
1956	387	712	1099	1979	230	454	684
1957	160	644	804	1980	290	469	711
1958	110	459	569				

Fig. 3

Pluviométrie enregistrée dans la zone de Safi, Essaouira et Agadir de 1936 à 1981 (en mètres).



sion de paliers plus ou moins stables entrecoupés de maxima. Ces pics sont moins prononcés avant 1960, probablement parce que la capacité individuelle de chargement des bateaux était encore faible et qu'un phénomène de saturation limitait les fortes captures en cas d'abondance exceptionnelle de poissons.

Résultats

L'activité des senneurs ne s'étant bien développée dans la zone de pêche comprise entre Safi et Agadir qu'après la Seconde Guerre mondiale, nous avons comparé l'évolution des captures et la pluviométrie à partir de 1947. Exception faite des pics successifs, la tendance générale est un accroissement progressif des captures de petits pélagiques de 1947 à 1981, lié au développement de la flotte de pêche, puis en taille des bateaux et à une amélioration de leurs performances (sondeurs, sennes en nylon etc...) et des débouchés commerciaux (farine de poisson).

La comparaison entre l'évolution des captures et la pluviométrie (fig. 4) de 1947 à 1981 met en évidence la correspondance manifeste entre les années de sécheresse exceptionnelle à la côte et les pics de capture. Cette comparaison attire plusieurs remarques: l'hypothèse d'un cycle de sept à huit ans émise en 1975 (Belvèze, 1975) semble se confirmer par une année de grande sécheresse et de capture plus élevée en 1981. Lorsque plusieurs années sèches se succèdent, l'accroissement

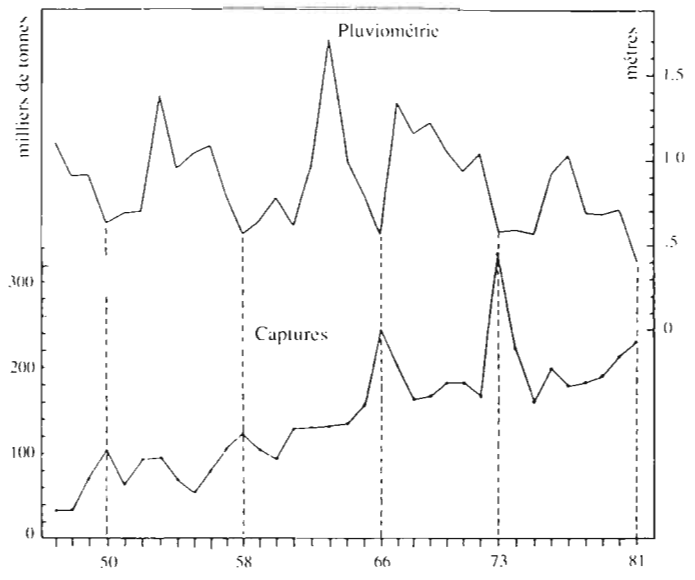
Tableau 2

Captures annuelles de petits pélagiques dans la zone A

Année	Capture en tonnes	Année	Capture en tonnes
1947	32 960	1965	157 813
1948	35 012	1966	243 325
1949	71 786	1967	204 689
1950	102 750	1968	161 698
1951	65 209	1969	166 514
1952	93 900	1970	182 328
1953	97 397	1971	182 322
1954	70 981	1972	166 102
1955	56 943	1973	336 697
1956	79 789	1974	223 416
1957	106 539	1975	160 845
1958	122 656	1976	198 285
1959	103 795	1977	178 822
1960	94 563	1978	183 400
1961	129 288	1979	190 393
1962	130 438	1980	213 837
1963	131 971	1981	229 574
1964	137 119		

Fig. 4

Pluviométrie côtière (mètres) et captures de petits pélagiques côtiers (milliers de tonnes) dans la zone A de 1947 à 1981.



important de capture a lieu la première année mais pas aux suivantes (cf. 1975). Les années de très forte pluviométrie comme en 1953, 1963 et 1967 ne se traduisent pas par une diminution sensible des captures; il semblerait donc que le phénomène pluviométrie n'ait d'incidence sur les captures qu'en cas de sécheresse importante succédant à une période pluvieuse.

Discussion

Bakun et Parrish (1980) ont souligné le danger de tester une hypothèse lorsque les mêmes données sont utilisées pour formuler cette hypothèse. Nous nous contenterons donc d'exprimer quelques remarques sur la relation possible entre la pluviométrie et les captures de petits pélagiques dans la zone de pêche marocaine, sans la tenir pour une preuve de la réalité d'une théorie.

La pluviométrie peut avoir une action enrichissante en sels minéraux nutritifs du milieu marin par les apports terrigènes des fleuves (Walford, 1946; Ben Tuvia, 1960). Ces apports sont d'autant plus importants que la couverture végétale est pauvre et l'érosion active comme c'est le cas au Maroc. Dans ce cas, une période de pluviométrie abondante entraînerait une augmentation de la productivité primaire et donc des stocks de poissons. Elle se traduirait avec un certain décalage par une augmentation des captures, mais non pas par une année isolée de très forte capture comme c'est le cas ici. Nous avions suggéré (Belvèze, 1975) que la pluviométrie côtière puisse ne pas avoir d'action par elle-même, mais être seulement le révélateur d'un certain type climatique de la zone. Les années sèches seraient alors des années où les vents alizés se seraient maintenus plus longtemps, limitant les précipitations à une brève période hivernale. Il y aurait donc une concordance entre les années sèches et une période d'upwelling plus prolongée dans la zone A, donc d'une meilleure disponibilité du poisson pendant la saison de pêche. On peut se demander pourquoi, lorsque trois années sèches se succèdent, seulement la première voit la disponibilité augmenter considérablement. Est-ce dû à une diminution de la productivité trophique par un affaiblissement des apports terrigènes au cours de la première année sèche ? Cela semble peu probable si l'on considère que les plus forts taux de productivité sont trouvés entre le cap Juby et le cap Blanc, là où précisément il n'y a pas de fleuves permanents. Nous savons que la situation d'alizé n'est pas la seule à engendrer la sécheresse au Maroc, mais que des situations de «sirocco» en circulation zonale ou de décharges d'air polaire en circulation méridienne entraînent également un temps sec (Calvet et Le Goff, 1977). Une analyse des vents devait donc mieux cerner ce phénomène que ne le fait la pluviométrie.

ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES VENTS AU CENTRE DE LA PÊCHERIE MAROCAINE (ZONE A) ET CONSÉQUENCES SUR L'EXPLOITATION

Généralités

Les études de Furnestin (1959), Grall *et al.* (1974), Le Floch (1974), Le Corre et Tréguer (1976) ont montré que la zone d'upwelling qui se développe du printemps à l'automne entre Safi et le cap Juby est divisée en deux zones distinctes séparées par la baie d'Agadir. La zone nord entre Safi et le cap Ghir où les vents dominants soufflent parallèlement à la côte est le siège d'un upwelling particulièrement intense en été entre le cap Sim (Essaouira) et le cap Tafelneh. La dynamique de cet upwelling est directement liée au régime des vents côtiers.

L'enrichissement en sels nutritifs de la couche euphotique lié aux remontées d'eaux profondes (Tréguer et Le Corre, 1979 ; Minas *et al.*, 1982) est presque aussi important que dans les zones sud où se produit une advection d'eau centrale sud atlantique, grâce à un phénomène actif de régénération des sels nutritifs. La photosynthèse et la production primaire utilisant ces sels minéraux sont donc influencées directement par leur taux de concentration dans la couche euphotique, mais Grall *et al.* (1982) ont montré que les plus fortes productions sont observées après qu'une période de vent fort ait fait monter les eaux profondes en surface; lorsque le vent s'affaiblit, le brassage et la turbidité s'atténuent et permettent une stratification horizontale. Une succession à court terme (de l'ordre du jour ou de la semaine) de vent fort et de vent faible serait le schéma dynamique qui produit la plus forte production primaire.

Nous nous sommes donc penchés sur les données disponibles pour en extraire, non seulement l'évolution à moyen ou à long terme des vents générateurs d'upwelling, mais également de leur variabilité à court terme susceptible d'augmenter la productivité.

Les données

Choix de la station. Les données de vent disponibles sur une longue période proviennent d'anémomètres placés à Safi, Essaouira et Agadir. Les enregistrements quotidiens nous ont été communiqués par la Division de Climatologie des Services de la Météorologie Nationale qui les a archivés depuis 1945. La compilation de trois observations journalières sur 35 ans (38.325 données) nous a obligé à nous limiter à un seul port. Nous avons retenu la station d'Essaouira pour l'étude des vents de la région pour les raisons suivantes:

- cette station est située au centre de la zone A, approximativement à équidistance de Safi et d'Agadir dans la région où la principale source d'upwelling a été mise en évidence (cap Sim);
- l'anémomètre se trouve situé sur une tour de douze mètres de hauteur placée en bordure de mer (fortifications du port) et n'a jamais été déplacé depuis son installation;

• Essaouira se trouve sur une côte plate, légèrement convexe vers le large alors que Safi et Agadir se trouvent dans le fond de baies protégées par des reliefs (falaises du cap Cantin, chaîne montagneuse du cap Ghir) et leurs anémomètres se trouvent placés en retrait de la côte (aéroports);

• un gradient de pression zonal particulièrement important en été s'établit entre Safi et Agadir lorsqu'une dépression thermique se forme dans la plaine du Sous, entraînant un renforcement de l'alizé dans la région d'Essaouira (Richebe, 1980) à l'origine de la source d'upwelling mise en évidence entre le cap Sim et le cap Tafelneh par Le Floch (1974), Grall *et al.* (1974).

Le vent à Essaouira. Il est enregistré en vitesse (m/s) et en direction (degré) trois fois par jour: à 6 heures, 12 heures et 18 heures, depuis 1945. La compilation des données brutes a été effectuée par Richebe. Un programme de traitement de ces données lui a permis de recomposer la vitesse et l'azimut moyen des vents sur une base hebdomadaire, mensuelle et annuelle de 1945 à 1980. La côte étant approximativement orientée N/NE-S/SO dans cette zone, les moyennes mensuelles des projections N/NE et E des vents ont été calculées; ce sont les composantes les plus susceptibles d'engendrer un upwelling.

Résultats

L'évolution du vent en vitesse et en direction sera envisagée successivement sur une base mensuelle (évolution à moyen terme) et sur une base annuelle (évolution à long terme).

Les variations mensuelles. Les moyennes mensuelles de la vitesse du vent et de ses composantes nord, nord-est et est pendant la période 1945-1980 sont données au tableau 3 et représentées sur la figure 5.

Le vent moyen augmente progressivement en vitesse du mois de janvier au mois de juillet et diminue rapidement jusqu'au mois de novembre où il est minimum. Sa composante nord est prédominante toute l'année, sauf en janvier et en décembre où la composante nord-est a une vitesse légèrement supérieure. Les composantes nord et nord-est atteignent leur vitesse maximum en août tandis que la composante est, dont les vitesses sont toujours plus faibles, atteint son maximum en juillet.

La vitesse des vents moyens et de ses composantes suit un cycle saisonnier avec un minimum en hiver et un maximum en été, ce qui est conforme au schéma hydroclimatique général de cette région. Bien que les vents de secteur nord et nord-est soient largement prédominants toute l'année, leur affaiblissement en hiver et leur renforcement en été contrôlent le développement de l'upwelling.

L'énergie transmise à la surface de l'eau par le déplacement de l'air est proportionnelle au carré de la vitesse du vent, valeur adoptée dans la relation d'Ekman (Knauss, 1978). Bien que la relation dépende en fait de la vitesse du vent et de l'état d'agitation de la mer (et également

Fig. 5

Vitesses moyennes mensuelles, composantes nord, nord-est et est des vents à Essaouira pendant la période 1945-1980 en mètres/seconde.

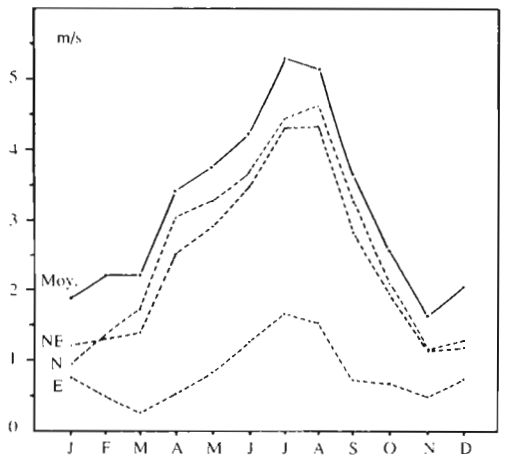


Tableau 3

Vitesses moyennes mensuelles et composantes nord, nord-est et est des vents à Essaouira pendant la période 1945-1980 en mètres/seconde.

Mois	Vitesses moyennes mensuelles	Composantes		
		Nord	Nord-Est	Est
Janvier	1.90	0.95	1.21	0.76
Février	2.21	1.35	1.30	0.49
Mars	2.21	1.73	1.40	0.26
Avril	3.42	3.03	2.52	0.53
Mai	3.76	3.27	2.90	0.82
Juin	4.23	3.66	3.48	1.26
Juillet	5.29	4.42	4.30	1.67
Août	5.14	4.61	4.34	1.53
Septembre	3.65	3.25	2.82	0.73
Octobre	2.56	2.08	1.95	0.68
Novembre	1.63	1.16	1.16	0.49
Décembre	2.05	1.28	1.43	0.74

de la hauteur au-dessus de la surface à laquelle est mesurée cette vitesse), nous avons estimé préférable d'utiliser le carré de la vitesse dans l'étude de l'impact du vent sur la pêcherie.

La figure 6, présente le carré des vitesses moyennes du vent et de ses composantes nord et nord-est à Essaouira en comparaison avec les captures moyennes mensuelles de sardine dans la région Safi et Essaouira, sur la période 1965-1982. Nous n'avons pas utilisé les captures mensuelles d'Essaouira seul, car en fonction du déplacement dans ce port d'une partie de la flotte de pêche de Safi, déplacements épisodiques et irréguliers d'une année à l'autre, les débarquements peuvent varier considérablement pour un mois donné. Le parallélisme entre les deux séries de données est évident. Pendant la période hivernale, les vents de secteur nord-est sont faibles et la pêche est quasiment arrêtée; cette période est d'ailleurs mise à profit par les armateurs et les usiniers pour les travaux d'entretien des senneurs et des conserveries. L'augmentation rapide du vent de type alizé entre mars et mai se traduit par une augmentation des captures qui se poursuit jusqu'au mois de juillet, point culminant de la vitesse moyenne du vent. A partir de septembre, la décroissance rapide de la vitesse du vent est suivie par une chute proportionnellement moins rapide des captures.

Il semble donc y avoir un certain temps de latence entre la croissance et la décroissance du vent, et l'augmentation et le déclin des captures. Cela peut s'expliquer par le mouvement de migration de la sardine qui, en hiver, est concentrée dans le sud d'Agadir. L'augmentation du vent dans la zone nord engendre un accroissement de productivité induisant l'extension géographique de la population vers le nord. L'apparition de sardines dans la zone Safi et Essaouira ne suit donc pas immédiatement l'augmentation du vent; si l'accroissement de productivité planctonique est presque immédiat, il faut au poisson le temps nécessaire pour parcourir les quelques deux cents milles nautiques qui les séparent de cette zone. Inversement, l'affaiblissement rapide du vent en septembre et octobre est suivi d'une diminution moins rapide des captures, ce qui reflète une certaine inertie dans la relation de cause à effet entre la vitesse du vent et la présence de sardines dans la zone Safi et Essaouira. La comparaison des CPUE (capture par unité d'effort) locales moyennes dans cette zone avec le carré des vitesses moyennes des vents du nord et nord-est (tab. 4) fait encore mieux ressortir ce décalage (fig. 7).

Il est probable que le premier pic, relativement modeste, de la CPUE moyenne en avril, consécutif à une forte augmentation de la vitesse de la composante nord du vent, traduise la concentration, dans la zone de pêche, des sardines qui sont restées hiverner dans la zone A. Le fort accroissement des CPUE en juin et juillet reflète par contre l'arrivée des sardines du sud dans la pêcherie Safi-Essaouira. Le maximum des CPUE correspond au maximum de vitesse des composantes nord et nord-est du vent en août. La diminution des CPUE à partir de septembre est moins rapide que la diminution de vitesse du vent. La migration de retour des sardines vers le sud

Fig. 6

Carré des vitesses moyennes du vent et de ses composantes nord et nord-est à Essaouira et captures mensuelles dans la zone Safi et Essaouira pour la période 1965 à 1982.

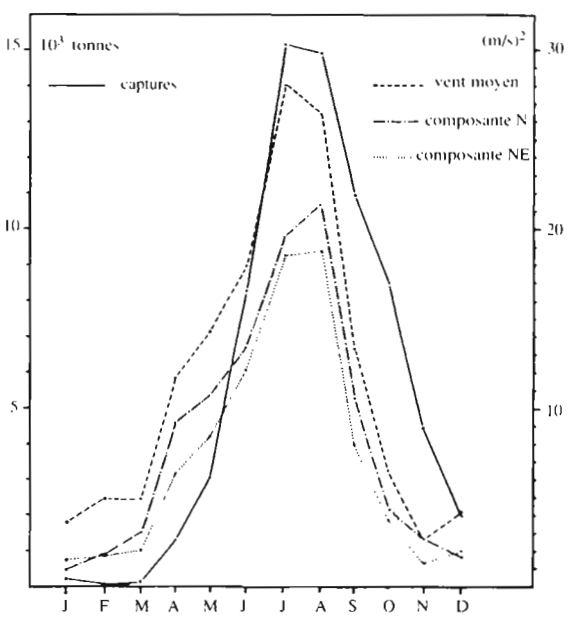


Fig. 7

Carré des vitesses moyennes mensuelles des vents de nord et de nord-est à Essaouira et CPUE locales moyennes dans la zone Safi+Essaouira de 1968 à 1982.

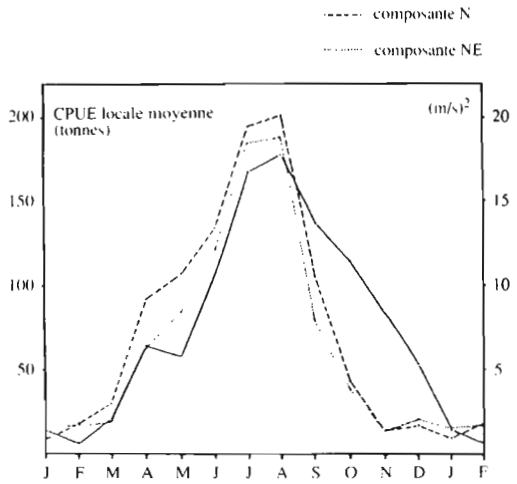


Tableau 4

Captures de sardine, effort nominal et CPUE locale (moyennes mensuelles de la zone Safi et Essaouira) et carré de la vitesse. Moyenne des vents (composantes nord et nord-est).

Mois	Captures (tonnes)	Effort nominal	CPUE (tonnes)	Composante Nord	Composante Nord-Est
Janvier	203	14.27	14.23	0.90	1.46
Février	60	10.13	5.92	1.82	1.69
Mars	142	6.69	21.22	2.99	1.96
Avril	1 297	20.13	64.44	9.18	6.35
Mai	3 053	52.43	58.23	10.69	8.41
Juin	8 268	76.23	108.46	13.40	12.11
Juillet	15 160	90.65	167.24	19.54	18.49
Août	14 910	84.00	177.50	21.25	18.84
Septembre	10 948	79.91	137.01	10.56	7.95
Octobre	8 505	74.49	114.18	4.33	3.80
Novembre	4 471	53.73	83.21	1.35	1.35
Décembre	2 001	37.69	53.1	1.64	2.04

ne s'effectue donc pas massivement dès que l'upwelling s'affaiblit, mais très progressivement. Il est évident que l'upwelling et l'enrichissement trophique qu'il procure à cette zone agit sur la disponibilité locale en sardine par le biais d'une concentration à la côte et surtout d'une migration trophique du poisson hivernant plus au sud. La zone de reproduction massive se situant entre le cap Juby et Sidi Ifni de décembre à avril, il est peu probable que les fluctuations de l'upwelling aient une influence déterminante sur l'abondance totale de la population par la voie du recrutement. Elles peuvent par contre avoir une influence indirecte et inverse sur l'abondance, en augmentant ou en diminuant la disponibilité locale du poisson, c'est-à-dire la fraction du stock total qui migre et devient accessible aux sardiniers marocains, leur permettant aussi des prélèvements plus ou moins importants sur le stock.

Variations à long terme. L'évolution du vent moyen à Essaouira de 1945 à 1980 doit être envisagée sous deux aspects: sa vitesse et son orientation. Les valeurs moyennes annuelles de ces deux paramètres, calculées par Richebe, sont reproduites au tableau 5, et présentées figure 8.

Cette figure appelle principalement deux commentaires:

• la vitesse moyenne des vents (en mètre/seconde) à Essaouira tend à diminuer d'une façon générale depuis 1945, tout en manifestant des fluctuations interannuelles d'une certaine amplitude. Ce phénomène est particulièrement marqué depuis 1975, les vitesses moyennes observées étant inférieures à la droite de régression calculée de 1945 à 1980. Le début de cette tendance se situe à la fin des années cinquante et on peut décomposer cette évolution en deux périodes: de 1945 à 1958, une relative stabilité avec des fluctuations importantes; de 1959 à 1980, une décroissance progressive avec des fluctuations moins importantes, sauf entre 1973-1974 et les années suivantes. Devant ces résultats, nous nous sommes inquiétés de la fiabilité des anémomètres, une telle diminution à long terme pouvant être causée par une usure du matériel. Après une enquête auprès des Services de la Météorologie Nationale, il s'avère que les anémomètres ne peuvent pas être mis en cause, leurs dates de révision ou remplacement ne correspondent pas à une augmentation de la vitesse du vent enregistrée.

• la direction moyenne des vents a également évolué au cours de cette période de 35 ans. Entre 1945 et 1960, l'azimut moyen des vents oscille entre 340° et 20° (moyenne 5°). Entre 1961 et 1980, l'azimut varie plus largement entre 350° et 60° (moyenne 26°). Il y a donc une légère orientation vers l'est de la moyenne des directions depuis 1960. Il est admis que le transport d'Ekman est globalement perpendiculaire à la direction du vent. A vitesse de vent égale, une orientation vers l'est des vents dominants, alors que le secteur de côte est pratiquement N/NE-S/SO, entraîne donc un affaiblissement de l'upwelling. Calculer un transport

Fig. 8

Vitesse et direction moyennes annuelles du vent à Essaouira de 1945 à 1980.

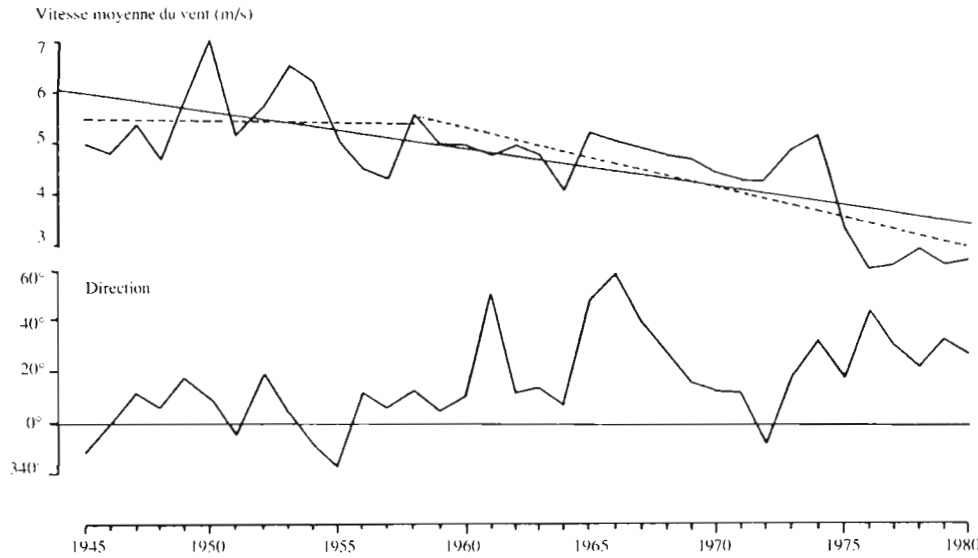


Tableau 5

Vitesse moyenne du vent, variance de la moyenne et azimut à Essaouira de 1945 à 1980 (données de Richebe).

Année	Vitesse moyenne (m/s)	Variance	Azimut (degrés)
1945	4.98	4.82	348
1946	4.78	5.67	360
1947	5.34	9.68	12
1948	4.67	9.24	6
1949	5.85	9.81	18
1950	7.01	8.16	10
1951	5.12	3.54	355
1952	5.69	3.57	20
1953	6.50	4.44	4
1954	6.17	3.89	352
1955	5.03	4.92	343
1956	4.49	2.36	12
1957	4.30	1.91	6
1958	5.56	2.65	13
1959	5.00	3.29	4
1960	4.96	2.26	11
1961	4.78	3.19	51
1962	4.95	3.45	12
1963	4.78	1.68	14
1964	4.09	1.40	7
1965	5.21	2.09	48
1966	5.03	3.22	59
1967	4.92	1.63	40
1968	4.77	1.57	28
1969	4.70	2.10	16
1970	4.44	2.28	13
1971	4.29	2.31	12
1972	4.30	1.65	351
1973	4.87	4.33	18
1974	5.18	2.38	33
1975	3.31	2.25	17
1976	2.55	1.26	44
1977	2.65	2.53	30
1978	2.94	1.96	21
1979	2.63	1.99	33
1980	2.77	2.25	27

d'Ekman pour l'ensemble de la zone sur une seule mesure de vent, à la côte et à 12 mètres au-dessus de la surface, ne serait pas représentatif. Nous conserverons donc la mesure de la vitesse du vent élevée au carré comme indice des fluctuations de l'upwelling, en ne perdant pas de vue que cet indice reste ponctuel et que les variations de direction peuvent également jouer un rôle non négligeable. L'indice «carré de la vitesse du vent à Essaouira» reste néanmoins une donnée intéressante à comparer aux indices d'abondance locale de sardine dans la zone A car il se situe au niveau de la source d'upwelling reconnue par les différentes campagnes CINECA. Nous envisagerons plus loin les raisons de cet affaiblissement à long terme de la force des vents.

Relations entre le vent à Essaouira et la disponibilité en sardine dans la zone A.

Belvèze et Erzini (1983) ont mis en relation successivement le carré de la vitesse moyenne annuelle du vent et la variance de cette moyenne avec les captures de sardines à Safi-Essaouira et avec les CPUE locales dans cette même zone. Les CPUE sont un meilleur indice de l'abondance locale en sardine que les captures mais ne sont disponibles que depuis 1968.

La vitesse moyenne du vent représente l'énergie permettant le «pompage» des sels minéraux en profondeur puisque l'orientation moyenne du vent reste, à 20° près, plus ou moins parallèle à la côte. Nous savons que l'action du vent sur la surface est proportionnelle au carré de sa vitesse. Nous savons d'autre part par les travaux de Grall *et al.* (1982) dans cette zone, que la turbulence limite la production primaire et que celle-ci est plus importante lorsque le vent s'affaiblit après une période de forte activité ayant fait monter les sels nutritifs dans la couche euphotique. La force du vent joue donc un rôle d'enrichissement du milieu et sa variabilité permet une meilleure utilisation par la photosynthèse de ces sels nutritifs. La variance de la moyenne annuelle de la vitesse du vent comme indice de sa variabilité n'est pas très satisfaisante d'un point de vue théorique puisque l'on peut obtenir une variance annuelle élevée avec six mois de vents constamment faibles suivis de six mois de vents constamment forts, ce qui ne correspond évidemment pas aux critères d'une bonne utilisation des sels nutritifs. Belvèze et Erzini, (1983) ont toutefois obtenu une corrélation satisfaisante entre les CPUE locales annuelles et d'une part le carré de la vitesse moyenne du vent ($r = +0{,}74^{***}$)[1] et d'autre part la variance de la moyenne ($r = +0{,}84^{***}$). Une régression multiple entre les CPUE locales et ces deux facteurs donne un coefficient de corrélation élevé ($r = +0{,}92^{***}$). La vitesse moyenne et la variabilité du vent exprimée par la variance, expliquent ensemble près de 84 % de la variance de l'abondance locale en sardine, c'est-à-dire de sa disponibilité dans la zone d'action des sardiniers de Safi et d'Essaouira. Ces deux facteurs météorologiques agissent ensemble dans le même sens, c'est-à-dire en synergie. Ils ne sont pas liés entre eux par une corrélation significative. La concordance entre les différents facteurs et l'abondance locale la même année montre bien qu'il s'agit de la disponibilité en sardines adultes dans la zone de pêche et non d'une augmentation réelle du stock par un recrutement plus important qui ne se ferait sentir que les années suivantes.

Nous avons repris ces données pour étendre l'étude à l'ensemble de la zone A, sur la base des indices effectifs d'abondance (Belvèze, 1984). Au lieu d'utiliser le carré de la vitesse moyenne du vent, nous avons recalculé la moyenne des carrés des vitesses hebdomadaires communiquées par Richebe, et la variance de cette moyenne. Nous avons combiné ces deux données en prenant la racine carrée de leur produit. Enfin, nous avons cherché à exprimer la variabilité de la vitesse du vent à court terme par un autre facteur que la variance au sujet de laquelle nous avons déjà fait des réserves. Sur la base des carrés des vents moyens hebdomadaires, nous avons calculé les différences en valeur absolue entre chaque semaine et la suivante et pris la moyenne de ces différence comme indice de la variabilité annuelle. Cet indice est d'autant plus élevé que le vent a varié fortement en intensité d'une semaine à l'autre au cours de l'année. Comme il n'est pas exprimé en valeur relative, il y a une redondance importante entre lui et la moyenne des carrés de la vitesse du vent. Les deux séries de facteurs sont significativement corrélées ($r = +0{,}88^{***}$). Les données ainsi calculées sont exposées au tableau 6. L'année 1973, où la CPUE était exceptionnellement élevée, correspond à une vitesse moyenne et à une variance très élevée. En 1974, la vitesse du vent est en moyenne plus forte mais la variance est nettement plus faible et la CPUE est moins élevée. Les années de faible CPUE correspondent à des années où vitesses moyennes et variances sont les plus basses.

Sur la figure 9, nous avons représenté les évolutions respectives des CPUE, de la moyenne des carrés de la vitesse du vent et de la moyenne de ses écarts d'une semaine à l'autre en valeur absolue. L'affaiblissement des CPUE de 1968 à 1973 semble être lié à une diminution de la vitesse moyenne du vent, son indice de variabilité à court terme restant stable. Le fort accroissement de la CPUE en 1973 est lié autant à une augmentation de vitesse que de variabilité à court terme, tandis que l'affaiblissement de 1974 suit la diminution de la variabilité et non de la vitesse moyenne du vent qui reste très élevée. Les deux années de très faibles CPUE (1977 et 1978) correspondent à des valeurs de vitesse et de variabilité équivalentes à celles observées en 1976 ou en 1979 et, dans ce cas, il paraît vraisemblable que les faibles niveaux de biomasse du stock ces années-là aient également joué un rôle.

Les relations entre les CPUE annuelles et les paramètres du vent ont été étudiées par régression linéaire, une droite paraissant mieux s'adapter qu'une courbe au nuage de points observés (fig. 10, 11 et 12). Des essais

(1) Coefficient significatif: *** à moins de 1 % de risque, **entre 1 % et 5 % de risque, * entre 5 % et 10 % de risque.

Fig. 9

(a) Moyenne des carrés de la vitesse du vent à Essaouira.

(b) CPUE dans la zone A.

(c) Moyenne des écarts des carrés de la vitesse du vent d'une semaine à l'autre en valeur absolue, de 1968 à 1980.

de régressions curvilignes ont donné des coefficients de corrélation inférieurs à ceux de la régression linéaire. Deux régressions linéaires multiples ont également été tentées, avec comme variables explicatives la moyenne des carrés des vitesses et sa variance pour l'une et la moyenne des carrés des vitesses et la moyenne des écarts inter-hebdomadaires pour l'autre. Les coefficients de corrélation obtenus et les paramètres de la régression sont exposés au tableau 7, reprenant le symbolisme utilisé au tableau 6.

Ces coefficients n'expliquent que 67 % à 79 % de la variabilité des CPUE par l'action du vent. Il est probable que les fluctuations intrinsèques de l'abondance réelle de la population puissent expliquer le résidu de variation.

Avec les quelques estimations de biomasse à notre disposition (Belvèze, 1984), nous avons essayé de déterminer un taux de disponibilité de la sardine dans la zone A, basé sur les rapports CPUE/Biomasse et Capture/Biomasse. Les données sont exposées au tableau 8 et comparées aux paramètres A, B, C et D évoqués précédemment.

L'indice de disponibilité basé sur le rapport abondance locale (CPUE) divisée par l'abondance générale du stock (biomasse moyenne) décroît de 1971 à 1980 avec un pic en 1973 et reflète donc une évolution comparable à celle des différents paramètres du vent envisagés (fig. 13). Les résultats des régressions linéaires entre ces deux séries d'indices et les paramètres du vent sont exposés au tableau 9.

Le rapport CPUE/B est plus étroitement correlé que le rapport Capture/B aux différents paramètres du vent, mais les différents types de mesure de la variabilité sont mieux correlés à cet indice de disponibilité de la sardine dans la zone A que la vitesse moyenne du vent. Les observations de Grall *et al.* (1982) concernant la productivité de cette zone paraissent donc être confirmées, la variation à court terme du vent a autant, sinon plus, d'importance que la vitesse propre du vent dans les processus d'enrichissement trophique. La tendance à l'affaiblissement simultané de la force et de la variabilité du vent implique donc une tendance à une diminution corrélative de la disponibilité de la sardine dans la zone de pêche traditionnelle marocaine.

Discussion et perspectives à long terme pour la zone A

Parrish *et al.* (1981) soulignent que le problème majeur dans la définition des relations entre l'environnement et la biologie des espèces, relations nécessaires pour construire des modèles prédictifs, provient de la trop courte série de données généralement disponibles. Les données sur les pêcheries fournissent le plus souvent un point par an et la période pendant laquelle la série de valeurs peut être considérée comme homogène n'excède normalement pas 10 à 20 ans. Apparier une multitude d'effets possibles du milieu avec une série de 10 à 20 points est statistiquement hasardeux. Par conséquent, il est nécessaire, ou bien de trouver les moyens

Tableau 6

Moyennes annuelles des carrés des vitesses hebdomadaires du vent à Essaouira (A), variance de cette moyenne (B), racine carrée du produit de A et B (C), et moyennes des écarts en valeur absolue entre les carrés des vitesses hebdomadaires successives (D) en fonction des CPUE dans la zone A.

ANNEE	A	B	C	D	PUE Zone A
1968	24.25	137.2	57.68	11.68	178.6
1969	24.17	182.5	66.42	13.91	193.6
1970	21.97	254.3	74.75	12.73	150.8
1971	20.71	186.4	62.13	13.60	143.5
1972	20.06	127.1	50.50	13.10	123.2
1973	28.00	528.3	121.63	21.68	241.7
1974	29.17	248.0	85.05	14.45	163.1
1975	13.16	120.7	39.86	8.62	122.2
1976	7.73	39.1	17.38	6.15	123.2
1977	9.51	80.7	27.71	6.48	78.0
1978	10.57	70.1	27.22	6.43	68.8
1979	8.87	88.7	28.05	7.99	112.2
1980	9.88	139.8	37.16	9.40	119.5

Tableau 7

Coefficient de corrélation et paramètres de la régression linéaire des CPUE en fonction de A (moyenne des carrés de vitesses hebdomadaires), B (variance de cette moyenne), C (racine carrée du produit A x B) et D (moyenne des écarts en valeur absolue des carrés des vitesses inter-hebdomadaires).

	Coef. Corrélation	Relation
CPUE = f (A)	+ 0.819***	CPUE = 53.7 + 4.92 A
CPUE = f (B)	+ 0.819***	CPUE = 88.2 + 0.305 B
CPUE = f (C)	+ 0.869***	CPUE = 64.9 + 1.402 C
CPUE = f (D)	+ 0.888***	CPUE = 33.1 + 9.49 D
CPUE = f (A et B)	+ 0.773***	CPUE = 60.4 + 2.83 A + 0.18 B
CPUE = f (A et D)	+ 0.794***	CPUE = 33.2 + 1.01 A + 7.90 D

Tableau 8

Estimation de biomasse moyenne du stock en milliers de tonnes (B), rapport CPUE/B et capture en milliers de tonnes/B dans la zone A.

ANNEE	B	CPUE/B	C/B
1971	1267	0.113	0.136
1972	1035	0.119	0.154
1973	1212	0.199	0.269
1974	1044	0.156	0.196
1975	pas de données		
1976	979	0.126	0.180
1977	705	0.111	0.145
1978	788	0.087	0.116
1979	1282	0.088	0.127
1980	1159	0.103	0.156

Fig. 10

Régression entre la moyenne des carrés de la vitesse du vent à Essaouira et la CPUE annuelle dans la zone A.

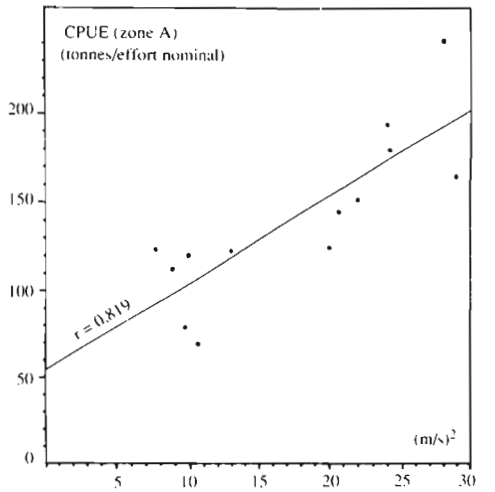


Tableau 9

Coefficient de corrélation et paramètres de la régression des indices de disponibilité CPUE/B et C/B en fonction de A (moyenne des carrés des vitesses hebdomadaires, B (variance de cette moyenne), C (racine carrée du produit A x B) et D (moyenne des écarts en valeur absolue entre les carrés des vitesses hebdomadaires des semaines successives).

	Coef. Corrélation	Relation
CPUE/B = f(A)	+ 0.786***	CPUE/B = 0.070 + 0.003 A
CPUE/B = f(B)	+ 0.884***	CPUE/B = 0.087 + 0.0002 B
CPUE/B = f(C)	+ 0.882***	CPUE/B = 0.076 + 0.0009 C
CPUE/B = f(D)	+ 0.841***	CPUE/B = 0.059 + 0.006 D
C/B = f(A)	+ 0.652*	C/B = 0.107 + 0.0035 A
C/B = f(B)	+ 0.858***	C/B = 0.120 + 0.0003 B
C/B = f(C)	+ 0.808***	C/B = 0.108 + 0.0011 C
C/B = f(D)	+ 0.775**	C/B = 0.087 + 0.007 D

Fig. 11

Régression entre la racine carrée du produit de la moyenne des carrés des vitesses hebdomadaires du vent et de la variance de cette moyenne à Essaouira et la CPUE annuelle (zone A).

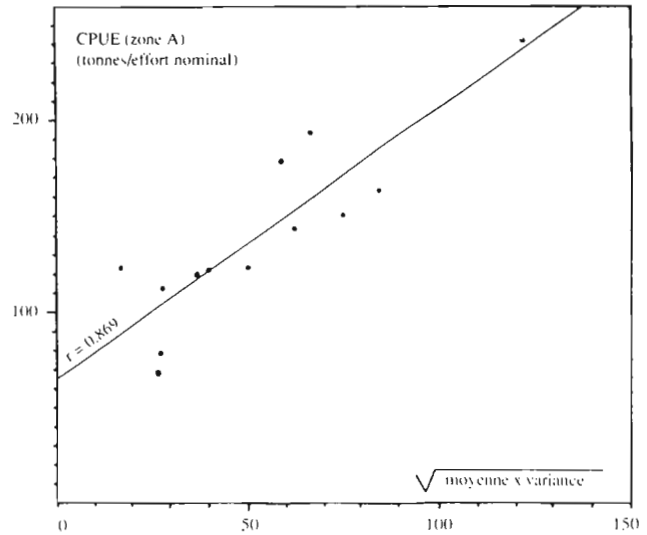
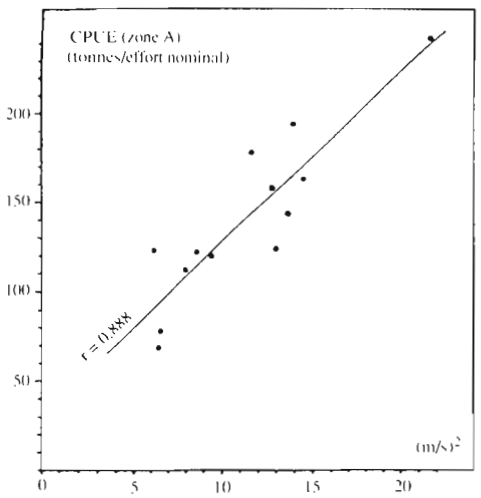


Fig. 12

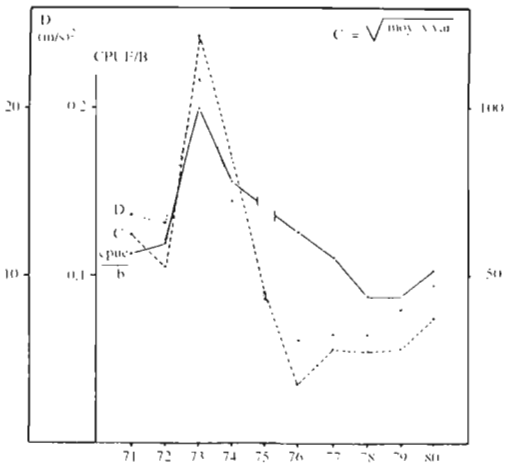
Régression entre la moyenne des écarts en valeur absolue des carrés des vitesses du vent d'une semaine à l'autre à Essaouira et la CPUE annuelle dans la zone A.



de réduire les facteurs d'environnement, soit à un, soit au plus à quelques indices intégrant l'état général du milieu, ou bien d'espérer qu'un ou peut être deux facteurs de l'environnement aient un effet suffisamment dominant pour être distingué à travers le «niveau de bruit» engendré par les autres effets du milieu. Il semblerait donc que dans le cas de la pêcherie A les facteurs vitesse et variabilité à court terme du vent, qui se trouvent bien correlés avec l'abondance locale en sardine et le taux de disponibilité du poisson dans cette zone, puissent être considérés comme des indices intégrant les autres facteurs (upwelling, productivités primaire et secondaire, etc...). Ces facteurs d'environnement interviennent sur la disponibilité en sardine dans la zone de pêche traditionnelle marocaine et non sur l'abondance du stock par le biais du recrutement puisque la reproduction principale se situe entre Ifni et le Cap Juby. L'extension, en été, de la population de sardine vers le nord est proportionnelle au développement des conditions trophiques engendrées par l'upwelling entre Safi et le cap Ghir. Le «quota» de sardines disponible à chaque saison de pêche dans la zone A est en grande partie conditionné par le niveau de productivité trophique engendré par l'action des vents sur le milieu. De cette observation basée sur une période de treize années pouvons-nous envisager l'avenir de la pêcherie traditionnelle de sardine dans la zone A ? Le fait que nous ayons à notre disposition une série beaucoup plus longue (35 ans) d'observations sur le vent, nous permet de

Fig. 13

Evolution du rapport CPUE/B dans la zone A en comparaison avec la moyenne des écarts des carrés des vitesses du vent d'une semaine à l'autre à Essaouira (D) et la racine carrée du produit de la moyenne des carrés des vitesses du vent et de la variance de cette moyenne (C), de 1971 à 1980.



constater que la tendance générale de l'affaiblissement progressif des alizés a débuté à la fin des années 50, début des années 60. Cette période de 20 ans est-elle conjoncturelle ou est-elle l'amorce d'une période de changement climatique à long terme ? Pour apporter une réponse à cette question il est nécessaire de se pencher sur l'évolution climatique, non seulement du Maroc, mais également de l'ensemble de l'Atlantique nord.

Au niveau régional, une étude approfondie de l'évolution contemporaine de la température au Maroc de 1936 à 1980 (Le Goff, 1982) montre que les températures moyennes dans l'ensemble du pays ont commencé à diminuer en été au début des années 1940. Cette baisse s'est étendue à l'automne vers 1945, au printemps et au début de l'hiver vers 1950. A partir de 1960, la diminution des températures s'étend aux douze mois de l'année et se maintient jusqu'à nos jours. L'auteur analyse en détail ce phénomène et ses conséquences. Le plus fort refroidissement a lieu de mars à juin (-2,6°C en 45 ans). «Cette forte baisse des températures printanières, bien que peu visible au jour le jour, semble avoir déjà apporté des modifications non négligeables sur le cycle végétatif de certaines espèces spontanées et même d'espèces cultivées: récoltes (blé, raisin) souvent un peu plus tardives que par le passé, espèces ornementales en nette régression florale par rapport à un passé encore récent (bougainvillées, certains géraniums, etc...). Il convient de signaler aussi que les difficultés rencontrées de plus en plus fréquemment dans la production des primeurs ont entraîné de nombreux maraîchers à se doter de serres. Ce phénomène rare il y a quelques décennies est maintenant un fait presque habituel dans certaines zones pour les cultures traditionnelles de légumes». Bien que l'influence océanique ait en partie masqué sur le littoral la baisse générale des températures, l'auteur montre que le phénomène affecte l'ensemble du pays, y compris les zones pré-sahariennes se situant de l'autre côté de la chaîne de l'Atlas. Il conclut qu'étant donné les climats très différents qui existent de part et d'autre de la barrière atlassique, il est probable que la baisse générale des températures soit un phénomène de grande envergure qui dépasse largement le cadre marocain, et envisage diverses hypothèses sur son origine. Une extension de l'air polaire au détriment de l'air tropical, nettement plus marquée à la fin de l'hiver et au printemps, expliquerait le refroidissement général et également la diminution de la pluviométrie au Maroc. Les causes sont probablement d'ordre géoclimatique et liées à un refroidissement général de l'hémisphère nord mis en évidence depuis le début des années 60. La baisse progressive des alizés s'intègre donc également dans ce cadre général.

Les connaissances actuelles en matière d'histoire climatique s'appuient sur une multitude d'observations chronologiques diverses telles que les dates des vendanges, l'étude des cercles d'accroissement sur les sections de tronc d'arbre à grande longévité, l'analyse des mouvements des glaciers qui avancent ou reculent suivant les époques, et la compilation d'événements naturels et humains consignés dans des archives dispersées et incomplètes. Elles font appel non seulement à la patience et à l'obstination des historiens mais également à des techniques modernes telles que la datation par le carbone 14 ou la stratigraphie des pollens fossiles dans les tourbières. Elles résultent donc d'un amoncellement d'études sectorielles diverses dont la synthèse représente un travail considérable. Deux synthèses de ce type retraçant l'évolution climatique des derniers millénaires ont été publiées par Leroy Ladurie (1971) et Lamb (1982), offrant une importante compilation bibliographique. Nous résumons ci-après les conclusions des deux auteurs, le lecteur pouvant trouver dans leurs ouvrages l'argumentation et les références supportant leurs conclusions. La notion de «fixisme» du climat depuis le sixième millénaire avant J.C évoquée il y a une vingtaine d'années est obsolète, ainsi que la notion de période «normale» représentant un climat moyen d'une région donnée. Pendant longtemps, les météorologistes ont choisi comme «normales» les époques trentenaires qui couvrent les années de 1901 à 1931 et de 1931 à 1960 et sur lesquelles ils disposaient d'observations quantitatives suffisamment nombreuses. Or ces groupes de trois décennies étaient précisément les plus chauds qu'on ait connu depuis longtemps et ne se situent donc pas dans une «norme». Avec la fusion des glaces consécutive à la fin du dernier grand âge glaciaire, l'élévation du niveau de la mer fixe

les littoraux à peu près dans leurs contours actuels vers 5 000 ans avant J.C. Après une phase de réchauffement post-glaciaire dite «atlantique» ou «optimale» entre 5 000 et 3 000 ans avant J.C., s'instaure un nouveau refroidissement limité qui introduit nos climats actuels: toutes les zones climatiques se décalent vers le sud (arctique, tempérée, subtropicale, etc...). Le Sahara, qui jusque vers 3 500 avant J.C. recevait encore l'humidité des cyclones méridionaux, se dessèche à nouveau après cette date et simultanément les glaciers avancent un peu dans les Alpes. A partir du Moyen-Age, grâce aux nombreux travaux regroupés par Lamb, nous possédons des certitudes sur une chronologie plus précise du climat. Une période de chaleur analogue à celle que nous avons vécue depuis le début du siècle et appelée «petit optimum médiéval» s'étend de 800 à 1200 de notre ère. Le recul des glaciers est général et favorise la colonisation du Groënland par les Vikings au Xème siècle. Cette période se termine au XIII^{éme} siècle. Elle est suivie par un léger rafraîchissement qui prépare l'apparition de ce que les météorologistes ont appelé le «petit âge glaciaire», très net au cours du XVII^{éme} siècle, il intéresse la période se situant entre 1560 et 1850. Ce n'est pas un bloc homogène; on y trouve des périodes de redoux donnant lieu ensuite à des paroxysmes frais. Les glaciers alpins avancent à nouveau jusqu'à écraser les chalets de Chamonix. Le réchauffement récent qui lui a succédé commence aux années 1850-1860 et culmine pendant la décennie 1940. Toutes les zones climatiques (arctique, tempérée, subtropicale) paraissent se déplacer vers le nord en se contractant autour du pôle Nord. En compensation, l'air antarctique au pôle Sud s'accroît en s'étendant vers le nord. Depuis les années 1950 et surtout 1960, le réchauffement de l'hémisphère nord fait place à nouveau à un certain rafraîchissement, en vertu d'un balancement plus ou moins irrégulier. Les observations de Le Goff (1982) concernant le Maroc sont donc en parfait accord avec l'apparition de ce refroidissement général.

De nombreuses causes sont évoquées pour expliquer les raisons de ces alternances de périodes séculaires de refroidissement et de réchauffement qui ne sont pas sans effet sur les écosystèmes: les taches solaires et leur rythme de onze ans, les variations, même légères de l'axe de rotation de la terre ou de son orbite, les éruptions volcaniques propulsant dans la haute atmosphère des poussières faisant écran au rayonnement solaire etc... Lamb (1982) met essentiellement en cause le «vortex circumpolaire», cet immense flux d'ouest qui balaie les latitudes tempérées, encerclant le globe comme un anneau. Si le flux est réellement annulaire et resserré vers le pôle, alors les anticyclones subtropicaux et chauds se décalant vers le nord induisent une période saisonnière, décennale, séculaire ou même millénaire de réchauffement de l'hémisphère nord. Tout dépend de la durée du phénomène de base qui reste fondamentalement le même, amplitude mise à part, à toutes les échelles du temps. Si, au lieu de se contracter vers le nord, le cortex circumpolaire s'épanouit vers le sud, il repousse vers des latitudes plus méridionales l'anticyclone des Açores et permet corrélativement la descente vers le sud de l'air arctique, engendrant une période de refroidissement. Ce déplacement vers le sud du vortex circumpolaire de l'hémisphère nord avec tendance au refroidissement des latitudes tempérées s'accompagne d'un décalage vers le sud de toutes les bandes concentriques qui encerclent le globe, elles aussi, comme des anneaux d'ouest en est. Dans ce cas, l'air froid de l'Antarctique est refoulé vers le pôle Sud et les marges du continent polaire s'attiédissent. C'est ainsi que, pendant notre «petit âge glaciaire» entre 1670 et 1840, le dégel partiel de la mer de Ross a permis sa colonisation par les manchots et les premières explorations de ses rives. Kelly (1983) signale qu'une compilation récente des températures enregistrées dans l'Antarctique montre un important réchauffement depuis la fin des années 50, ce qui correspond bien au refroidissement observé dans l'hémisphère nord. Les alternances de périodes froides et périodes chaudes correspondent donc à un balancement des zones climatiques à l'échelon mondial, le bilan thermique au niveau de la planète devant rester plus ou moins invariable. En ce qui concerne l'Atlantique, l'océan se comporte de façon corrélative, les phénomènes atmosphériques et maritimes réagissant les uns sur les autres: lorsque le vortex circumpolaire remonte vers le nord, le Gulf Stream en fait autant et vice-versa. Ce que Lamb ne précise pas, c'est la causalité profonde de ces pulsations et qui de l'océan ou de l'atmosphère en est le premier responsable.

Tout «cliométéorologiste» se fait volontiers prévisionniste et c'est là un sujet qui, bien qu'en grande partie spéculatif, intéresse l'avenir de la pêcherie sardinière marocaine puisque l'affaiblissement des alizés dans cette petite zone du littoral n'est qu'un épiphénomène d'un changement climatique à grande échelle. D'une façon générale, les opinions des climatologistes synthétisées par Leroy Ladurie (1971) dans une post-face à son ouvrage et par Lamb (1982) s'accordent à penser que le refroidissement actuel, amorcé entre 1950 et 1960 et faisant suite au réchauffement séculaire enregistré de 1860 à 1950, devrait se poursuivre selon toute probabilité jusque vers 2015 à raison de -0,15°C en moyenne par décennie. Le changement climatique que cela implique aura des retentissements sur les écosystèmes les plus sensibles, c'est-à-dire ceux qui se trouvent aux «frontières» de milieux différents. Un tel écosystème, où les compositions spécifiques de la faune et de la flore peuvent varier considérablement sous l'action de modifications légères du climat par un déplacement de quelques centaines de kilomètres de la «frontière», a été bien étudié en Manche (Southward *et al.*, 1975 ; Southward, 1980) où s'affrontent deux communautés: d'eau «froide» (morue, hareng, haddock, *Sagitta elegans* ou la balane *Balanus balanoãdes*) et d'eau «chaude» (sardine, merlu, *Sagitta setosa* et la balane *Chtamalus*), qui se trouvent à la limite méridionale ou septentrionale de leur distribution. Les auteurs relient les variations climatiques observées depuis le début du siècle, et spécialement

l'inversion de tendance entre 1950 et 1960, aux fluctuations de ces espèces et montrent qu'un changement de température moyenne de quelques dixièmes de degré suffit à inverser la domination d'une espèce par rapport à une autre. La pêcherie marocaine dans la zone A n'est pas située à une telle «frontière» entre deux écosystèmes; elle est néanmoins placée à la limite nord de la migration estivale du principal stock exploitable, et l'affaiblissement des alizés est un facteur suffisant pour entraîner une réduction drastique de cette migration s'il se prolonge comme tendraient à le laisser croire les prévisions à moyen terme des climatologistes. Dans ce cas, le déclin de la pêche à Safi et Essaouira se poursuivra par un déclin analogue à Agadir et l'exploitation devra pour survivre se déplacer plus au sud.
«Les études des effets du climat sur les pêcheries dans le passé peuvent nous aider à mieux comprendre non seulement les processus physiques et biologiques en jeu mais aussi les besoins et la nature des stratégies d'adaptation de la pêcherie pour le futur» (Kelly, 1983).

UPWELLING ET ABONDANCE DE LA SARDINE ENTRE LE CAP BOJADOR ET LE CAP BLANC (ZONE C)

Historique

Cette zone, située entre 26°N (cap Bojador) et 21°N (cap Blanc) héberge une population de sardine relativement indépendante de celle qui vit dans la zone A-B. Son exploitation a commencé en 1968 en tant que prise secondaire du maquereau, du chinchard et des sardinelles. Les captures ont augmenté considérablement grâce à la mobilité et à la puissance de pêche des flottes qui l'exploitent, mais également grâce à un accroissement rapide du stock signalé par Holzlohner (1975), Krzeptowski (1975, 1976), Domanevski et Barkova (1981), à la suite de plusieurs reproductions massives au début des années 1970. Cet accroissement s'est accompagné d'une colonisation vers le sud étendant les limites méridionales de la population de 23°N à 22°N en 1970 et à 20°N en 1974. Parallèlement, une augmentation de l'upwelling de cette région a été mise en évidence par Sedykh (1978a et b; Arfi, 1985). Les différentes campagnes de prospection acoustique effectuées par Lamboeuf *et al.* (1981, 1982) et Bazigos *et al.* (1980) montrent que la limite sud du peuplement de la sardine a régressé après son extension et qu'elle est revenue en 1981 au niveau où elle était en 1968 (23°N).

Données disponibles

Abondances. Les captures sont connues par les déclarations des pays adhérents au COPACE et publiées dans son Bulletin Statistique. L'abondance en nombre et la biomasse en poids obtenues par analyse de cohorte de 1972 à 1979 ont été présentées par Domanevski au groupe de travail sur la sardine du COPACE (Dakar 1980). Trois évaluations de biomasse ont été réalisées de 1979 à 1981 par campagnes de prospection acoustique (Bazigos *et al.*, 1980; Lamboeuf *et al.*, 1982). Ces différentes données sont présentées tableau 10.

Indices d'upwelling. Les variations de l'upwelling ont été analysées par Sedykh (1978a et b) qui a calculé les valeurs du transport d'Ekman par carré de 5 degrés de 1957 à 1977. Cet auteur met en évidence une augmentation importante de l'intensité de l'upwelling au cours des années 1971-1974, suivie d'une diminution en 1975-1976 et d'une nouvelle augmentation en 1977. Il estime que le cycle d'upwelling fort se termine en 1978.

Anomalies des températures de surface. Les températures superficielles de l'océan sont relevées par les navires marchands. Les routes maritimes habituelles longent les côtes africaines de l'ouest au sud des îles Canaries, et le nombre d'observations est élevé entre 27°N et 20N° (zone C). Par contre, les observations sont peu nombreuses ou absentes au nord du cap Bojador (zone A et B), les routes maritimes en direction de l'Europe s'écartant nettement de la côte à ce niveau. Les températures relevées sont regroupées par carré de 1 degré de longitude et de latitude. Le grand nombre d'observations (44.151 données de mars 1971 à décembre 1981) nécessitait un traitement par ordinateur qui a été réalisé par MacLain (Pacific Environmental Group, NOAA, NMFS, Monterey, Californie). Les anomalies mensuelles de température de surface représentent la différence entre la température moyenne observée au cours d'un mois donné dans un carré donné et la moyenne des températures observées dans ce carré et pour le même mois au cours des onze années de mesures. Comme le nombre d'observations a varié au cours du temps, la moyenne des moyennes annuelles a été utilisée à la place d'une moyenne générale des observations afin de ne pas donner plus d'importance aux années où les observations sont les plus nombreuses. MacLain a pu ainsi calculer les températures moyennes mensuelles dans six carrés entre 27°N et 20°N que nous avons représentées sur la figure 14.
Le nombre d'observations annuelles dans chaque carré est présenté au tableau 11. Leurs nombres augmentent du nord au sud (maximum entre le cap Barbas et le cap Blanc, minimum au cap Bojador). Le nombre de mesures recueillies a brutalement augmenté en 1977.

Résultats

Nous avons déterminé une moyenne annuelle des anomalies de température de surface sur la base des moyennes mensuelles, en pondérant par le nombre de jours de chaque mois. Ces moyennes annuelles sont présentées au tableau 12, ainsi qu'une moyenne générale regroupant les six carrés géographiques. Les valeurs négatives correspondent à une température inférieure à la moyenne, elles sont le signe d'un renforcement de l'upwelling. Les valeurs positives correspondent à une température supérieure à la moyenne et indiquent un affaiblissement de l'upwelling. En face de chaque carré géographique de la figure 14, nous avons représenté graphiquement la variation des anomalies de température de surface cor-

Fig. 14

Evolution des anomalies de température de surface moyennes annuelles dans chaque carré de un degré hachuré et pour l'ensemble de la zone C, calculées de 1971 à 1981, d'après les données mensuelles de MacLain (voir texte).

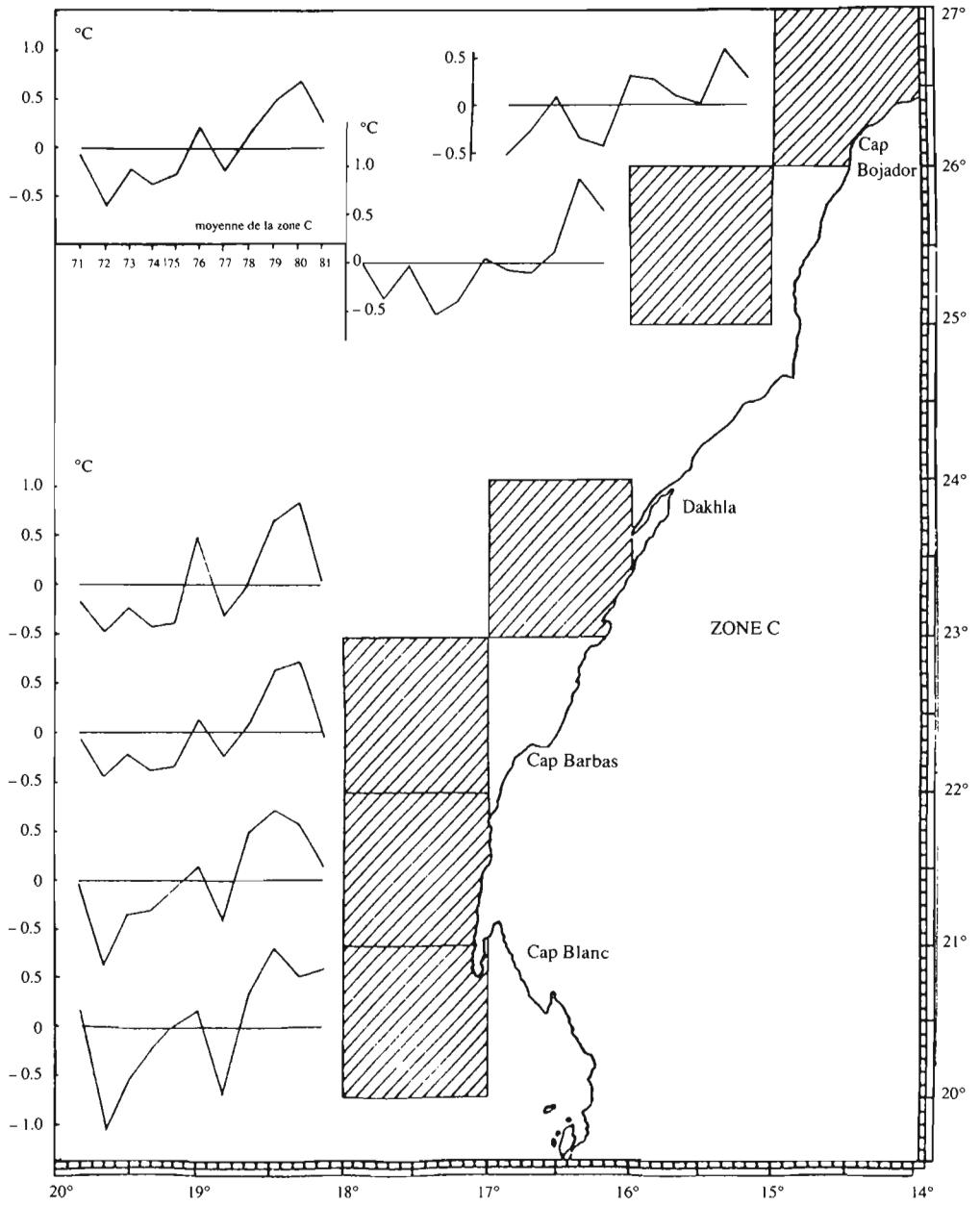
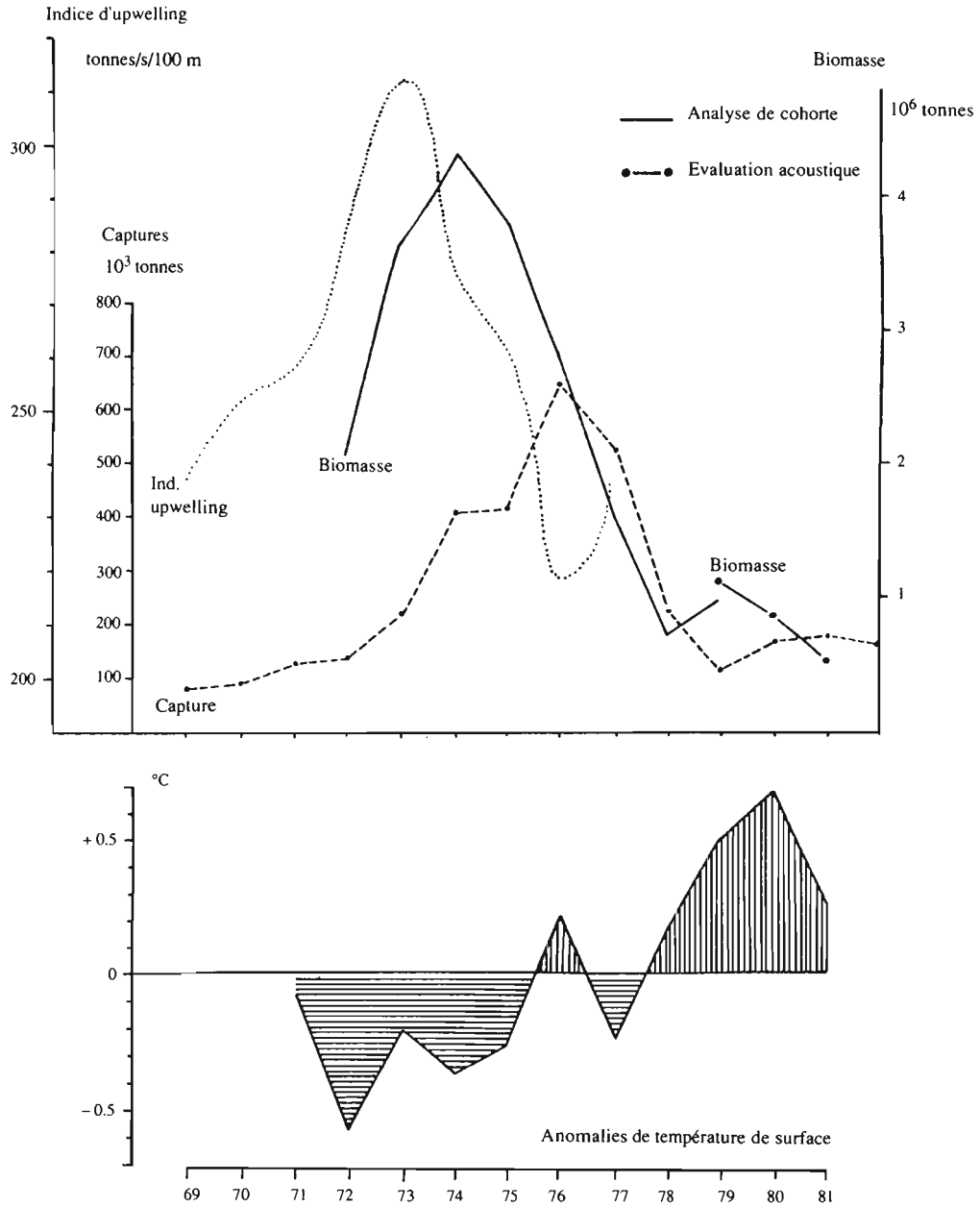


Fig. 15

Comparaison des captures, des biomasses calculées par analyse de cohorte ou évaluées par campagne acoustique, de l'index d'upwelling repris de Sedykh (1979) et des anomalies de température de surface moyennes annuelles calculées d'après les données de MacLain pour la zone C.



respondantes. Les anomalies négatives ont été plus importantes en 1972-1974 dans la partie sud que dans la partie nord de la zone. Elles sont en accord avec les estimations d'upwelling de Sedykh (1978b) et expliquent la colonisation de la zone située entre 23° et 20° nord par la sardine de 1971 à 1974. Le renforcement de l'upwelling en 1977, signalé par Sedykh se traduit également par une anomalie négative de la température de surface, importante dans le sud de la zone et très peu marquée dans le nord. A partir de 1978, les anomalies de températures deviennent fortement positives dans le sud de la zone, ce qui est en accord avec l'estimation de Sedykh concernant la fin d'un cycle d'upwelling anormalement fort. Ce réchauffement est moins prononcé dans la partie nord de la zone et, d'une façon générale, les amplitudes des variations sont plus fortes au sud qu'au nord.

La figure 15 présente les évolutions de l'indice d'upwelling (adapté de Sedykh), de la biomasse et des captures en regard des anomalies moyennes de température de surface sur l'ensemble de la zone. Il y a une bonne concordance entre les indices d'upwelling (transport d'Ekman en tonnes par seconde pour 100 mètres de côte) et les anomalies de température de surface pendant la période de recouvrement de ces deux séries d'observations (1971-1977).

La biomasse du stock évolue parallèlement à l'intensité de l'upwelling mais avec un décalage d'un an ce qui est normal si on fait l'hypothèse que l'upwelling a une action sur le recrutement. Les captures s'accroissent rapidement avec la biomasse. Lorsque celle-ci commence à diminuer en 1975, elles marquent un certain palier, mais augmentent à nouveau en 1976 alors que la biomasse chute rapidement. A partir de 1977, le déclin des captures suit celui de la biomasse. Le fort réchauffement qui se manifeste à partir de 1978, signe d'un affaiblissement de l'upwelling, correspond à de faibles valeurs de biomasse et de capture.

Discussion

L'augmentation des captures jusqu'en 1976, alors que la biomasse du stock est déjà en forte diminution, est probablement due à une concentration massive de l'effort de pêche de navires industriels attirés par les rendements élevés enregistrés les années précédentes et écartés d'autres zones de pêche par l'extension des Zones Economiques Exclusives des pays riverains. En 1977 et 1978, les captures représentent un peu plus de 30 % de la biomasse, ce qui est un taux d'exploitation comparable à celui exercé dans les zones A et B. A partir de 1979, le taux d'exploitation tombe en dessous de 20% à la suite de la fermeture par le Maroc de la pêche au nord du 24ème parallèle. La biomasse évaluée par les campagnes acoustiques continue néanmoins à décliner jusqu'en 1981 où le taux d'exploitation remonte au-dessus de 30%. Il semble donc que les conditions d'environnement soient la cause principale des grandes fluctuations d'abondance des sardines dans la zone C au cours de cette dernière décennie. L'exploitation a probablement accéléré le déclin naturel de la population mais ne peut être rendue entièrement responsable de cette évolution. L'affaiblissement de l'upwelling à partir de 1976 dans la partie sud de la zone peut également avoir contribué à un déplacement des sardines vers le nord où les fluctuations sont moins prononcées. Les campagnes acoustiques de 1979 à 1981 (Bazigos *et al.*, 1980; Lamboeuf *et al.*, 1982) mettent en évidence une disparition progressive des sardines entre 20°N et 23°N. L'exploitation n'étant plus autorisée au nord du 24ème parallèle depuis 1979, il est difficile de déterminer si cette disparition est liée à une concentration excessive de l'effort de pêche au sud de ce parallèle ou à un déplacement réel de la sardine vers le nord causé par l'affaiblissement de l'upwelling dans le sud. Ces deux facteurs ont pu agir simultanément mais le fait qu'entre Dakhla et le cap Blanc (fig. 14) les anomalies de température soient retombées en 1981 à une valeur proche de la moyenne mettrait plutôt en cause le rôle de l'effort de pêche.

CONCLUSION

La pêcherie traditionnelle marocaine est soumise aux influences des facteurs hydroclimatiques qui prévalent d'une façon générale entre Safi et El Ayoun.

Dans sa zone d'action (zone A), l'abondance locale en sardine est faible en hiver ; elle augmente au printemps avec le renforcement des alizés, culmine en été et suit avec un certain retard le déclin des alizés en automne.

Tableau 10

Abondance (milliards de sardines), biomasse (milliers de tonnes) et captures (milliers de tonnes) dans la zone C de 1969 à 1982.

Année	Abondance (a)	Biomasse (a)	Biomasse (b)	Captures	Captures/ Biomasse
1969	-	-	-	80	-
1970	-	-	-	89	-
1971	-	-	-	124	-
1972	58.5	2062	-	138	6.7 %
1973	97.9	3632	-	220	6.1 %
1974	105.5	4343	-	407	9.4 %
1975	80.9	3816	-	417	10.9 %
1976	52.2	2828	-	647	22.9 %
1977	27.4	1597	-	523	32.8 %
1978	12.7	709	-	222	31.4 %
1979	31.9	1188	1342	112	9.4 %
1980	-	-	878	168	19.2 %
1981	-	-	525	185	35.2 %
1982	-	-	-	164	-

(a) Analyse de cohorte
(b) Evaluation acoustique

L'upwelling qui se manifeste entre Safi et le cap Ghir est principalement causé par les vents alizés qui soufflent le long de la côte dans ce secteur. Leur vitesse et leur variabilité à court terme conditionnent la productivité planctonique qui attire dans une migration trophique une partie des sardines ayant hiverné au sud dans la zone B. Le balancement saisonnier des alizés provoque un balancement saisonnier identique de l'upwelling qui engendre une évolution analogue de l'abondance locale en sardine. Les alizés culminent en été et s'affaiblissent en hiver, c'est pourquoi la pêcherie traditionnelle est saisonnière et principalement estivale.

Malgré des variations d'abondance locale de grande amplitude, coïncidant avec les années de sécheresse et de vents alizés plus actifs, la tendance générale à l'affaiblissement des CPUE de sardines dans la zone A est corrélée avec une diminution des alizés en force et en variabilité à court terme à Essaouira, au centre de la pêcherie. Cette diminution des alizés a commencé à se manifester à la fin des années 1950, début des années 1960; elle correspond à un refroidissement synchrone non seulement du Maroc mais de l'ensemble de l'hémisphère nord. Ce vaste mouvement de décalage des zones climatiques vers le sud entraîne une position moyenne plus méridionale de l'anticyclone des Açores, responsable de la diminution des alizés dans la zone de pêche traditionnelle marocaine. Cette tendance affirmée depuis une vingtaine d'années est liée à une inversion des conditions climatiques à la fin d'une période centenaire de réchauffement.

La conséquence pour la pêcherie traditionnelle marocaine est un affaiblissement progressif de la disponibilité locale en sardine, qui, si les prévisions climatologiques se confirment, ne pourra que s'aggraver. Cette tendance à long terme impose une nouvelle stratégie à la pêcherie qui devra s'équiper en bateaux à long rayon d'action pour continuer à approvisionner les industries de transformation situées à Safi, Essaouira et Agadir. La seule alternative est la création de nouveaux ports plus au sud et l'implantation de nouvelles usines de transformation, comme c'est déjà le cas à Tantan.

Plus au sud, dans la zone C, les captures de sardine qui ont augmenté rapidement et ensuite ont décliné encore plus rapidement semblent liées à un accroissement très important de la population de sardine. Cette évolution paraît étroitement corrélée à une intensification de l'upwelling à la fin des année 1960. Son affaiblissement depuis 1968 laisse croire que cette période est actuellement terminée et que le stock est revenu à un niveau équivalent à celui où il était auparavant. Il est néanmoins probable que cette augmentation de l'upwelling de 1968 à 1973 soit liée à l'évolution climatique générale de l'hémisphère nord et se manifestera à nouveau dans les années qui viennent avec de grandes variations d'amplitude inter-annuelles. L'affaiblissement des anomalies positives des températures de surface en 1981 peut laisser penser qu'un nouveau cycle d'upwelling fort commence dans le sud; dans ce cas, il faut s'attendre à une nouvelle augmentation du stock de sardine dans la zone C.

Tableau 11

Nombres annuels d'observations de température de surface recueillies de mars 1971 à décembre 1981 dans les six carrés géographiques de la zone C, (les positions indiquées correspondent à l'angle sud-est de chaque carré)

Année	26°N 14°W	25°N 15°W	23°N 16°W	22°N 17°W	21°N 17°W	20°N 17°W	Total
1971	111	154	203	401	414	342	1625
1972	139	232	316	599	672	695	2653
1973	141	246	308	548	569	554	2366
1974	95	161	199	591	666	484	2196
1975	79	125	150	389	470	310	1523
1976	58	108	189	348	299	396	1398
1977	71	62	856	737	375	2851	4952
1978	54	90	1273	612	381	2782	5192
1979	72	85	699	1602	1650	260	4368
1980	54	97	2281	4427	2508	546	9913
1981	45	62	2289	3131	2061	377	7965
TOTAL	919	1422	8763	13385	10065	9597	44151

Tableau 12

Anomalies de température de surface en degré Celcius, par carré géographique, et moyenne générale pour la zone C, (les positions indiquées sont celles de l'angle sud-est du carré).

Année	26°N 14°W	25°N 15°W	23°N 16°W	22°N 17°W	21°N 17°W	20°N 17°W	Moyenne
1971	-0.52	0.04	-0.17	-0.02	-0.03	0.16	-0.09
1972	-0.29	-0.38	-0.47	-0.43	-0.87	-1.07	-0.59
1973	-0.08	-0.04	-0.24	-0.21	-0.36	-0.56	-0.22
1974	-0.33	-0.54	-0.42	-0.36	-0.31	-0.25	-0.37
1975	-0.42	-0.37	-0.38	-0.32	-0.08	0.02	-0.27
1976	0.30	0.02	0.47	0.14	0.14	0.16	0.21
1977	0.27	-0.08	-0.31	-0.24	-0.41	-0.69	-0.24
1978	0.10	-0.1	0.01	0.10	0.50	0.33	0.16
1979	0.01	0.11	0.65	0.63	0.71	0.80	0.49
1980	0.56	0.85	0.84	0.73	0.57	0.51	0.68
1981	0.26	0.52	0.04	-0.05	0.13	0.59	0.25

BIBLIOGRAPHIE

• Ahlstrom, E.H. 1960. Fluctuation and fishing. Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines. FAO III: 1353-1371

• Anonyme. 1978. Rapport du Groupe de Travail «ad-hoc» sur la sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) COPACE/PACE SERIES/78/7.

• Anonyme. 1980. Rapport de la deuxième réunion du Groupe de Travail sur la sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) COPACE/PACE SERIES/79/15.

• Anonyme. 1981. Rapports des Groupes de Travail sur les merlus, les céphalopodes, les sardines, les poissons pélagiques côtiers, les poissons démersaux côtiers et les balistes. *In:* Rapport de la cinquième session du Groupe de Travail de l'Evaluation des Ressources. FID/R 244:21-115 FAO, Rome.

• Arfi, R. 1985. Variabilité inter-annuelle d'un indice d'intensité des remontées d'eaux dans le secteur du cap Blanc (Mauritanie). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42:1969-1978.

• Bakun, A. and R.H.Parrish. 1980. Environmental inputs to fishery population models for eastern boundary currents regions, *in:* G.D. Sharp (ed.). Workshop on the effects of environmental variation on the survival of larval pelagic fishes, I.O.C Workshop Report N° 28: 67-104.

• Barkova, N.A. 1978. Particularités de la répartition et état des stocks de 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 de la Mauritanie au Libéria (26°N à 5°N) COPACE/PACE/Séries/78/10.

• Bazigos, G.P. Bencherifi, S. Burczynski, J. Coppola, R. Lamboeuf, et Rami M. 1980. La biomasse de la sardine marocaine en 1979 (résultats préliminaires de prospections acoustiques effectuées en Mai et Novembre 1979), Trav. Doc. Dev. Pêche Maroc (27): 28p.

• Belvèze H. 1974. L'état des stocks de la sardine marocaine à la fin de l'année 1973. Trav. Doc. Dev. Pêche Maroc (6): 17 p.

• Belvèze H. 1975. Pluviométrie et pêche de la sardine au Maroc depuis 1936; mise en évidence de cycles parallèles. Trav. Doc. Dev. Pêche Maroc (10): 8 p.

• Belvèze H. 1984. Biologie et dynamique des populations de sardine (*Sardina pilchardus,* Walbaum) peuplant les côtes atlantiques marocaines, et propositions pour un aménagement des pêcheries. Thèse Doc. Etat, Univ. Bretagne Occidentale, 532 p.

• Belvèze, H. and K. Erzini. 1983. The influence of hydroclimatic factors on the availability of the sardine (*Sardina pilchardus,* Walbaum) in the Moroccan atlantic fishery. *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, Fish. Rep. 291 (2): 285-327.

• Ben Tuvia A. 1960. Fluctuations in the stock of *Sardinella aurita* and its dependence on temperature and rain. Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines, FAO III: 1193-1203

• Bravo De Laguna, J. Fernandez, M.A.R. and Santana, J.C., 1976. The spanish fishery on sardine *(Sardina pilchardus Walb.)* off West Africa. ICES CM 1976/J: 13.

• Brêthes J.C. 1975. Premières observations sur la biologie et la biométrie de la «bécasse de mer» des eaux atlantiques marocaines. Trav. Doc. Dev. Pêche Maroc (15): 37 p.

• Brêthes J.C. 1979. Contribution à l'étude des populations de *Macrorhamphosus scolopax* (L. 1758) et *Macrorhamphosus gracilis* (Lowe 1839) des côtes atlantiques marocaines. Bull. Inst. Pêches Maroc (24): 4-62.

• Calvet C. et Y.Le Goff. 1977. Régimes pluviométriques au Maroc. Note d'information technique n° 6, Imp. Météo, Nle Casablanca.

• Crawford R.J.M., P.A.Shelton and L.Hutchings. 1983. Aspects of variability of some neritic stocks in the southern Benguela system. *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, Fish. Rep, 291 (2): 407-448.

• Daan N. 1980. A review of replacement of depleted stocks by other species and mechanisms underlying such replacement. Rapp. P-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 177: 405-421

• Dickie L.M. 1973. Interaction between fishery management and environmental protection. J. Fish. Res. Board Can., 30 (12): 2496-2506.

• Domanevsky L.N. et N.A.Barkova. 1981. Etat du stock de sardine *Sardina pilchardus* Walb. CLupeiforme, *clupeidae*, dans la région de l'Afrique du Nord-Ouest. *In:* contributions soviétiques à l'évaluation des ressources halieutiques dans la région du COPACE. COPACE/Tech/81/31: 19-30

• Furnestin J. 1950. Premières observations sur la biologie de la sardine marocaine, *Sardina pilchardus* Walb. Mémoire N° 14 de l'Office des Pêches Maritimes, série spéciale: Biologie des clupeidés

• Furnestin J. 1959. L'hydrologie du Maroc Atlantique de 1949 à 1953 Rev. Trav. Inst. Scient. Techn. Pêche Mar. 23 (1): 5-77

• Furnestin M.L. 1955. La ponte de la sardine et de l'anchois dans les eaux marocaines au cours des années 1951 et 1952. Rapp. P.V. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 137 (8): 26-8

• Furnestin M.L. 1970.- Rapport sur le plancton. Rapp. P.V. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 159: 90-110

• Grall J.R., P.Laborde, P.Le Corre, J.Neveux, P.Tréguer and A.Thiriot. 1974. Caractéristiques trophiques et production planctonique dans la région sud de l'Atlantique marocain. CINECA-CHARCOT I et III. Tethys, 6 (1-2): 11-28.

• Grall J.R., P.Le Corre et P.Tréguer. 1982. Short term variability of primary production in coastal upwelling off Morocco. Rapp. P-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 221-227.

• Gulland J.A. 1978. Problems and progress in oceanography relevant to fisheries. FAO Fish. Rep., 206 (supplement 1): 9-21.

• Gulland J.A. 1978. Fishery management: New Strategies for New Conditions. Trans. Amer. Fish. Soc., 107 (1): 1-11

• Hayashi S. 1960. Recent fluctuations in the sardine stock of the East coast of Honshu. Proc. World. Sci. Meeting Biol. Sardines, FAO, III: 989-1001.

• Hayasi S. 1983. Some explanation for changes in abundance of major neritic pelagic stocks in the Northwestern Pacific ocean. *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, Fish. Rep., 291 (2): 37-56.

• Holzlohner S. 1975. On the recent stock development of *Sardina pilchardus* Walb. off spanish sahara. ICES CM 1975/J:13

• Jones R. 1983. The decline in herring and mackerel and the associated increase in other species in the North Sea. *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, Fish. Rep., 291 (2): 507-520.

• Jordan R.S. 1983. Variabilidad de los recursos pelagicos en el Pacifico Sudeste. *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, Fish. Rep., 291 (2): 113-130.

• Kelly P.M. 1983. Climatic change: past lessons and future prospects. *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, Fish. Rep., 291 (3).

• Knauss J.A. 1978. Introduction to physical oceanography. Prentice-Hall inc. edit., Englewood Cliffs.

• Krzeptowski M. 1975. Sardine in polish catches in the spanish sahara region during the years 1971-1974. ICES CM 1975/J: 18 pelagic fish committ.

• Krzeptowski M. 1976. Estimations of some parameters of the sardine population in the Sahara Coastal Division. FAO Fish. Rep., 183: 77-81

• Kurita S. 1960. Causes of fluctuations in the sardine population off Japan. Proc. World Sci. Meeting Biol Sardines, FAO, III: 913-935.

• Lamb H.H. 1982. Climate History and the modern World. Methuen edit., London and New York, 386 p.

• Lamboeuf M., A.Stepnowski et J.C.Brethes. 1976. Estimation acoustique quantitative de l'abondance des bécasses de mer entre cap Juby et cap Spartel. Trav. Doc. Dev. Pêche Maroc, (19).

• Lamboeuf M., J.Burczynski, S.Bencherifi and M.Chbani. 1981. Campagne de prospection des stocks pélagiques du cap Cantin (Maroc) au cap Timiris (Mauritanie) en juillet 1980 (résultats préliminaires). Trav. Doc. Dev. Pêches Maroc, (28): 26p.

• Lamboeuf M., J.Burczynski, S.Bencherifi, M.Chbani and A.Elminowicz. 1982. Evaluation acoustique de la biomasse des stocks de sardine au Maroc de 1979 à 1981, Combinaison des estimations du sonar et du sondeur vertical. Contrib. 92 Symposium on Fisheries acoustics, Bergen.

• Le Corre P. et P. Tréguer. 1976. Contribution à l'étude des sels nutritifs et de la matière organique dissoute dans l'eau de mer. caractéristiques chimiques du Golfe de Gascogne et des upwellings côtiers de l'Afrique du Nord-Ouest. Thèse Doc. Etat, Univ. Brest, 490 p.

• Le Floch J. 1974. Quelques aspects de la dynamique et de l'hydrologie des couches superficielles dans l'ouest marocain, Campagne CINECA-CHARCOT I et III. Tethys, 6 (1-2): 53-68.

• Le Goff M.Y. 1982. Evolution contemporaine de la température au Maroc, 1936-1980. Notice d'information technique n° 8 Imp. Météo. Nle Casablanca.

• Leroy Ladurie E. 1971. Histoire du climat depuis l'an Mil. Flammarion edit. Paris, réédit. 1983, 2 volumes.

• MacCall A.D. 1983. Variability of pelagic fish stocks off California. 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, Fish. Rep., 291 (2): 101-112.

• Margalef R. 1960. Fluctuation in abundance and availability caused by biotic factors. Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines, FAO, III: 1265-1285.

• Marr J. 1960. The causes of major variations in the catch of the Pacific sardine. *(Sardinops caerulea)* Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines, FAO, III: 667-791

• Minas H.J., L.A.Codiposti and R.C.Dugdale. 1982. Nutricnts and primary production in the upwelling region off Northwest Africa. Rapp. P-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 148-183.

• Nakai Z. 1960. Fluctuations in abundance and availability of sardine populations caused by abiotic factors. Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines, FAO, III: 1327-1352

• Nakai Z. 1962. Studies relevant to mechanisms underlying the fluctuation in the catch of the Japanese sardine *(sardinops melanostica)*, Jap. J. Ichthy 9.

• Parrish R.H., C.S.Nelson and A.Bakun. 1981. Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California Current. Biological Oceanography, vol. 1 num 2 Crane, Russak et Cie inc.

• Parrish R.H., A.Bakun, D.M.Husby and C.S.Nelson. 1983. Comparative climatology of selected environmental process in relation to eastern boundary current. *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, Fish. Rep., 291 (3): 731-778.

• Radovich J. 1960. Some causes of fluctuations in catches of the Pacific sardine *(Sardinops caerulea)*. Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines, FAO, III: 1081-1104.

• Riedel D. 1960. Sardine production off the Atlantic coast of Europe and Morocco since 1920. Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines, FAO, III: 877-911.

• Richebe B. 1980. Influence des paramètres hydrologiques et météorologiques sur les phénomènes d'upwelling au Maroc. Rapport I.S.P.M. Casablanca, Avril 1980 (dactylographié).

• Sedykh K.A. 1978a. The coastal upwelling off the Northwest Africa. ICES CM/C 12, Hydrography committee.

• Sedykh K.A. 1978b. Etude de l'upwelling près de la côte de l'Afrique du Nord-Ouest par l'Institut Atlantique de Recherches Scientifiques de la pêche et de l'océanographie (Atlan N.I.R.O.). *In:* Rapport du Groupe de Travail «ad hoc» sur les poissons pélagiques côtiers ouest africains de la Mauritanie au Libéria (26°N - 5°N) COPACE/PACE/ Séries/78/10: 93-99.

• Serra J.R. 1983. Changes in Abundance of pelagic resources along Chilean coast. *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, Fish. Rep., 291 (2): 255-284.

• Skud B.E. 1983. Interaction of Pelagic Fishes and the Relation between Environmental Factors and Abundance. *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, Fish. Rep., 291 (3): 1133-1140.

• Soutar A and J.D.Isaacs. 1974. Abundance of pelagic fish during the 19th and 20th centuries as recorded in anaerobic sediment off the California. Fish. Bull., U.S., 72 (2): 257-273.

• Southward A.J. 1980. The western English Channel, an inconstant ecosystem ? Nature, 285 (5764): 361-366.

• Southward A.J., E.I.Butler and L.Pennycuick. 1975. Recent cyclic changes in climate and in abundance of marine life. Nature 253 (5494): 714-717.

• Tanaka S. 1983. Variation of pelagic fish stocks in waters around Japan. *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, Fish. Rep., 291 (2): 17-36.

• Tréguer P. and Le Corre P. 1979. The ratios of nitrate, phosphates and silicate during uptake and regeneration phases of the Moroccan upwelling regime. Deep-Sea Res., 26: 163-184.

• Uda M. 1960. The fluctuation of the sardine fishery in oriental waters. Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines, FAO, III: 937-947.

• Valdivia J., I.Tsukayama, S.Zuta and H.Santander. 1983. Changes in the pelagic ecosystem of the Peru Current in relation to the environmental milieu and the fisheries. *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, Fish. Rep., 291 (3).

• Villegas L. et J.C.Brêthes. 1976. Distribution et abondance relative de la bécasse de mer dans l'Atlantique marocain. Trav. Doc. Dev. Pêche Maroc (17).

• Walfors L. 1946. Correlation between fluctuation in abundance of the pacific sardine and salinity of sea water. J. Mar. Res., VI (1): 48-53.

• Yamanaka I. 1960. Comparative study of the population size of Japanese and California sardine. Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines, FAO, III: 1151-1191.

18 • La pêche des petits pélagiques côtiers en Mauritanie

ERWAN JOSSE
Chercheur ORSTOM, Centre ORSTOM-IFREMER, B.P. 70, 29280 PLOUZANE-Cedex, France

RÉSUMÉ

Avec 450 000 tonnes capturées en 1987, les espèces pélagiques côtières représentent en volume plus de 80 % des prises totales réalisées dans la ZEE mauritanienne. La pêche industrielle réalise environ 99 % des captures de pélagiques côtiers. Après l'arrêt d'activité de la flottille de senneurs «INTERPECHE» en 1981 (275 000 tonnes en 1980), l'exploitation actuelle se fait uniquement à partir de flottilles de chalutiers congélateurs le plus souvent originaires des pays de l'Est. Les chinchards, principales espèces cibles, ont représentés ces dernières années de 44 à 51 % des prises de ces flottilles. Viennent ensuite les clupéidés (sardines et sardinelles en proportion variable selon les années) avec 22 à 32 % du total. Après avoir varié fortement pendant la période 1979-1984, les captures et l'effort semblent s'être stabilisés depuis 1985. Le nombre de flottilles s'est également réduit et, en 1987, il ne subsiste plus que des bateaux de l'Allemagne de l'Est, de la Roumanie et de l'URSS. Alors que les carangidés constituent la famille la plus importante dans les captures, il semble bien que ce soit les clupéidés qui représentent la plus grande partie de la biomasse disponible en Mauritanie. Cette famille actuellement peu exploitée par la pêche industrielle pourrait constituer une ressource facilement exploitable par une pêcherie artisanale.

ABSTRACT

With 450 000 metric tons caught in 1987, coastal pelagic fish species represents more than 80 % of the total Mauritanian EEZ catch. The industrial fleet catches 99 % of the total coastal pelagic fish catch. After the interruption of the «INTERPECHE» purse seine fleet in 1981 (275 000 tons in 1980), the actual exploitation is only due to the fleet of freezing trawlers mostly originated from Eastern Europe. Mackerel, the main target species, represents from 41 to 51 % of the catch. The clupeoids (sardines and sardinellas, in variable proportions from one year to another) realised 22 to 32 % of the total catch. After large fluctuations during the period 1979-1984, catch and fishing effort are stabilized since 1985. The number of fleet decreased, and in 1987 there are only boats of RDA, Romania and USSR. Even if the carangidae is the most important family in the catch, it appears that the clupeoids represent the most important biomass available in Mauritania. This resource which is under-exploited by the industrial fleet should be an easy exploitable resource for a small scale fishery.

INTRODUCTION

Les espèces pélagiques côtières appartenant principalement aux familles des clupéidés (*Sardina pilchardus*, *Sardinella aurita*, *S. maderensis*), des carangidés (*Trachurus trachurus*, *T. trecae*, *Decapterus rhonchus*)

et des scombridés (*Scomber japonicus*) constituent au large des côtes mauritaniennes la biomasse disponible la plus importante. Ces espèces sont exploitées depuis de nombreuses années par des flottilles à long rayon d'action, étrangères à la région, constituées de chalutiers congélateurs ou de senneurs.

Après la mise en place en février 1978 d'une ZEE (Zone Economique Exclusive) à 200 milles, la Mauritanie va pouvoir contrôler l'ensemble des activités de pêche effectuées au large de ses côtes. Les différentes flottilles exploitant les ressources pélagiques ne pourront plus travailler que dans le cadre le plus souvent de sociétés mixtes, avec obligation pour tous les bateaux d'embarquer un contrôleur mauritanien. Ainsi, les différentes données résumant l'activité des bateaux vont peu à peu devenir disponibles en Mauritanie. Aussi, après avoir présenté rapidement la pêche artisanale, nous allons décrire dans la suite de cet article l'activité des différentes flottilles ayant exploité la ZEE mauritanienne depuis 1979.

LES PÊCHERIES ARTISANALES

La pêche artisanale des pélagiques côtiers est très peu développée en Mauritanie. Elle concerne essentiellement les villes de Nouakchott et Nouadhibou, ainsi que les villages Imraguen autour du cap Timiris.

Dans les villages Imraguen, la pêche se pratique soit au filet droit, généralement de janvier à mai-juin, avec pour espèce cible la courbine (*Argyrosomus regius*), soit au filet d'épaule, d'octobre à janvier, pour la pêche du mulet (*Mugil cephalus*).

Au large de Nouakchott et à Nouadhibou, les espèces cibles sont les sardinelles (*Sardinella aurita* et *S. maderensis*). La pêche à lieu, soit à partir de pirogues sénégalaises équipées de sennes tournantes (une à Nouadhibou, une dizaine à Nouakchott), soit à partir de «senneurs» mauritano-canariens à Nouadhibou (4 en 1985 et 1986, 3 en 1987). Ces bateaux, qui pêchaient essentiellement le mulet et le diagramme (*Plectorhynchus mediterraneus*) auraient actuellement interrompu leurs activités.

Les captures totales de la pêche pélagique artisanale en Mauritanie ont été estimées en 1987 à 4 800 tonnes, dont 400 tonnes à Nouadhibou, 500 tonnes pour les villages Imraguen et 3 900 tonnes à Nouakchott. Les principales espèces débarquées à Nouakchott sont, par ordre d'importance, la sardinelle plate (31,0 %), la sardinelle ronde (28,0 %) et le mulet (13,3 %).

LES PÊCHERIES INDUSTRIELLES

Les senneurs

De toutes les grandes flottilles de senneurs ayant opéré dans la région pendant les années 1970, il ne subsistait plus en Mauritanie en 1979 que le groupe «INTERPECHE». Cette flottille multinationale était constituée d'un navire-usine alimenté par une quinzaine de senneurs de 250 TJB en moyenne. Ces bateaux utilisaient une senne de 600 mètres de long et de 100 mètres de chute, avec un maillage de 20 mm. La flottille «INTERPECHE» a cessé ses activités dans les eaux mauritaniennes en septembre 1981.

Les captures de cette flottille ont été maximales en 1980 avec 275 000 tonnes. Elles étaient constituées principalement de sardines (20,4 %), de sardinelles (45,7 %) et de chinchards (33,9 %). En 1979 (8 mois d'exploitation) et en 1981 (jusqu'en fin septembre), les captures totales n'ont été respectivement que de 120 000 et 110 000 tonnes (tab. 1).

Tableau 1

Effort (en nombre de jours de pêche) et captures (en tonnes) de la flottille de senneurs «INTERPECHE» dans les eaux mauritaniennes de 1979 à1981.

Année	1979	1980	981
Effort		3142	2028
sardine	25438	56037	7933
sardinelles	63936	125340	91806
chinchards	24730	93131	10340
divers	3546	20	597
Total	117650	274528	110676

Les données d'effort de pêche (exprimé en nombre de jours de pêche d'un senneur de la flottille) ne sont disponibles qu'à partir de septembre 1979 (fig. 1). Les variations de l'effort sont importantes (de 100 à 400 jours de pêche selon les mois). Il est maximum de septembre à novembre, et minimum de décembre à février-mars. Au niveau des zones de pêche, on ne voit pas apparaître de phénomène saisonnier bien marqué, mais l'on observe une fréquentation de plus en plus importante de la région sud du cap Timiris.

Les prises par unité d'effort (fig. 2) ont varié entre 30 et 120 tonnes par jour de pêche. Les rendements les plus importants (supérieurs à 100 tonnes/jour) ont été observés en mars et en octobre-novembre 1980. Sur l'ensemble de l'année 1980, les rendements moyens ont été de 87 t/j. La variabilité des rendements par espèce est encore plus prononcée que celle des rendements totaux. Les valeurs élevées observées en mars 1980 sont dues essentiellement à la sardine, celles d'octobre-novembre et même décembre de 1980, aux chinchards. En janvier, ainsi que de juillet à septembre 1980, ce sont les sardinelles qui constituent la majorité des captures. Cette alternance d'espèce-cible, bien marquée en 1980, ne se retrouve pas en 1981, en particulier à cause de la faible proportion de sardine dans les captures du premier trimestre. De même en 1979, le pic de chinchards est présent au dernier trimestre, mais il est beaucoup moins prononcé qu'en 1980. Il est difficile de dire si ces variations reflètent des changements de l'abondance réelle ou de la capturabilité des espèces (ce qui pourrait être le cas pour la sardine, les senneurs faisant souvent

Fig. 1

Evolution de l'effort de pêche mensuel de la flottille «INTERPECHE» dans les eaux mauritaniennes de septembre 1979 à septembre 1981. Cette figure montre à la fois l'évolution de l'effort (exprimé en nombre de jours de pêche) et la répartition de cet effort (en %) entre les secteurs nord et sud du cap Timiris. (D'après Josse, 1987).

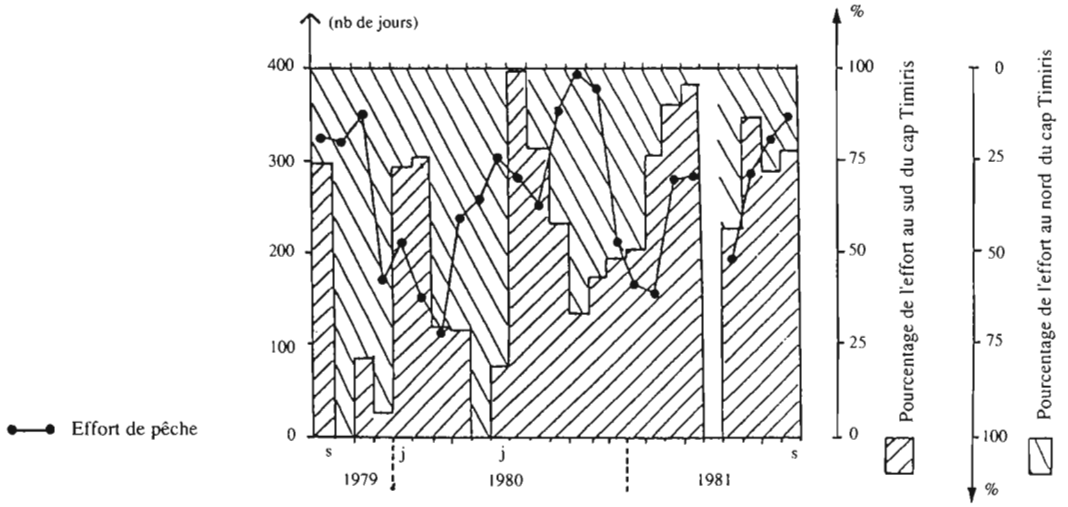
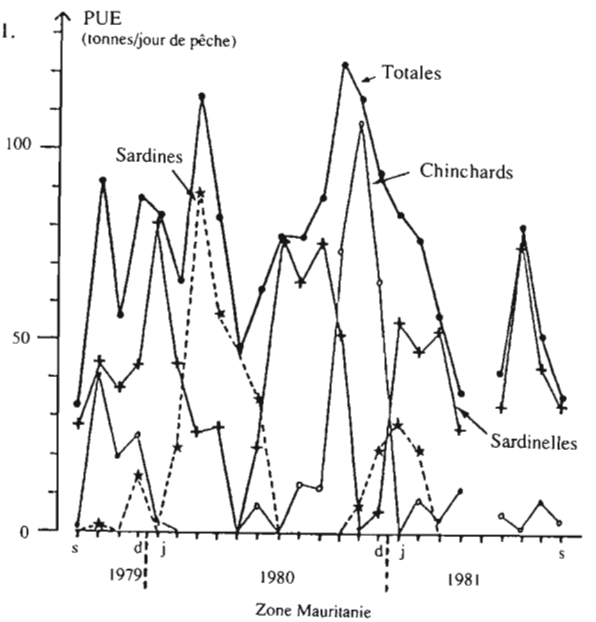


Fig. 2

Prises par unité d'effort (PUE) mensuelles, exprimées en tonnes par jour de pêche d'un senneur, de la flottille «INTERPECHE» dans les eaux mauritaniennes de septembre 1979 à septembre 1981. (D'après Josse, 1987).



état en 1981 de conditions météorologiques défavorables pour la pêche dans la région d'abondance de cette espèce), ou si elles sont dues à un déplacement, vers les régions plus septentrionales, de l'effort de pêche. La flottille «INTERPECHE» cessera toutes ses activités dans la région en septembre 1981, suite à une campagne internationale de presse dénonçant les liaisons de cette société multinationale avec des intérêts sud-africains. Le départ de cette flottille marquera la fin de l'exploitation industrielle à la senne des stocks de petits pélagiques côtiers, et plus particulièrement des stocks de clupéidés, dans les eaux mauritaniennes.

Les chalutiers pélagiques

Les flottilles (tab. 2). De 1979 à 1987, les flottilles de sept pays ont exploité plus ou moins régulièrement et intensément les pélagiques côtiers au chalut pélagique dans la ZEE mauritanienne. Ces flottilles sont constituées généralement de chalutiers congélateurs de gros tonnage équipés d'usine de traitement du poisson (congélation, farine, huile...).

Allemagne de l'Est. Deux types de bateaux ont opéré dans la ZEE mauritanienne depuis 1979:

- des «super-chalutiers» (3 165 TJB, 3880 cv). Ces bateaux sont présent depuis juillet 1979. Ils seront au maximum 5 jusqu'en 1983, deux à trois à partir de 1984;
- des «chalutiers fournisseurs» (995 TJB, 1 750 cv). Cette flottille constituée de 13 unités a travaillé d'avril 1980 à juin 1983. Ces bateaux n'embarquaient pas leurs captures. Ils les livraient à un navire-usine chargé d'effectuer la transformation.

Bulgarie. Des chalutiers pélagiques bulgares (4 à 5) ont été présents de juillet 1982 à août 1983. Il s'agissait d'unités de 2 500 TJB et 3600 cv en moyenne.

Cuba. Sept bateaux de ce pays ont été signalés en 1984, quatre seulement en 1985. Cette flottille, constituée de chalutiers de 2 635 TJB et 4 000 cv, a travaillé dans la ZEE de février 1984 à juillet 1985.

Irak. Quatre chalutiers type «BMRT» (2 326 TJB, 2 000cv) vont apparaître en décembre 1980. Ces bateaux vont exploiter la ZEE mauritanienne jusqu'en août 1986, avec cependant une interruption de mai à juillet 1982. Trois à cinq chalutiers de 2 406 TJB et 3 600 cv se joindront à cette première flottille en janvier 1980. Ils vont pêcher jusqu'en septembre 1986.

Nigéria. Un chalutier de 1 000 TJB et 3 600 cv a été signalé en 1981. L'activité de ce bateau, travaillant pour le compte d'une société de Nouadhibou, est inconnue.

De septembre 1985 à octobre 1986, des chalutiers nigérians, cinq au maximum en 1986, seront de nouveau signalés dans la ZEE mauritanienne. L'activité de ces bateaux (535 TJB, 2 000cv, absence d'usine à farine) est très peu connue.

Roumanie. Présent pendant toute la période étudiée ici, ce pays a exploité la ZEE mauritanienne avec deux types de bateaux:

- des «atlantiques» (2 156 TJB, 2 320 cv). Ces bateaux (3 à 5 selon les années) vont être présents jusqu'à la fin de 1983. Ils étaient caractérisés par un nombre de jours de pêche peu élevé, et un nombre de jours d'immobilisation important, à la suite le plus souvent de problèmes techniques;
- des «super atlantiques» (3 163 TJB, 3 880 cv). Cette flottille qui apparaît en 1979 avec deux unités, va très vite devenir importante (9 à 13 bateaux de 1980 à 1986, 17 en 1987). Elle a exploité régulièrement la ZEE mauritanienne, à l'exception de 1984 où, après un arrêt de la pêche en janvier, l'effort de pêche sera peu important jusqu'en mai.

URSS. Cinq types de chalutiers pélagiques ont travaillé dans la ZEE mauritanienne. les dénominations de ces bateaux, ainsi que leurs caractéristiques sont les suivantes:

Type	Longueur(m)	Capacité(TJB)	Puissance(cv)
STM	62	1 900	2 400
BMRT	85	2 400	2 000
RTMA	82	2 177	2 320
RTMS	102	3 019	3 880
BAT	94-104	2 930-3 385	5 600-7 530

Absentes en 1979 et 1981, les flottilles soviétiques ne seront présentes en 1980 que de fin avril à début juillet, avec 19 bateaux dont 7 BMRT, 2 RTMA et 10 RTMS. Les soviétiques vont ensuite reprendre l'exploitation des eaux mauritaniennes en 1982 avec, à partir du mois

Tableau 2

Evolution du nombre de chalutiers pélagique (par nationalité et par type) ayant opéré dans les eaux mauritaniennes de 1979 à 1987.

	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1985	1987
Allemagne de l'Est									
995 TJB- 1750 cv	0	13	13	13	12	0	0	0	0
3165 TJB- 3880 cv	5	5	5	5	5	2	3	2	3
Bulgarie									
2500 TJB- 3600 cv	0	0	0	4	5	0	0	0	0
Cuba									
2635 TJB- 4000 cv	0	0	0	0	0	7	4	0	0
Irak									
2326 TJB- 2000 cv	0	4	4	4	4	4	4	4	0
2406 TJB- 3600 cv	0	0	3	4	4	5	4	3	0
Nigéria									
535 TJB- 2000 cv	0	0	0	0	0	0	2	5	0
1000 TJB- 3600 cv	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Roumanie									
2156 TJB- 2320 cv	5	5	3	4	4	0	0	0	0
3163 TJB- 3880 cv	2	10	13	11	9	10	11	12	17
URSS									
1900 TJB- 2400 cv	0	0	0	0	0	2	10	4	2
2400 TJB- 2000 cv	0	7	0	5	8	17	18	13	12
2177 TJB- 2320 cv	0	2	0	3	20	17	24	15	14
3019 TJB- 3880 cv	0	10	0	16	38	23	20	19	11
2900-3400TJB-5600cv	0	0	0	3	1	0	0	0	0

de juin, l'arrivée d'une flottille de 6 RTMS, à laquelle se joindra en octobre une flottille composée à la fois de BMRT, RTMA, RTMS et BAT. En 1983, la flotte soviétique sera composée essentiellement de RTMA et de RTMS, et à un degré moindre de BMRT. Un seul BAT va continuer à pêcher plus ou moins régulièrement en 1983, cette catégorie de bateau disparaissant ensuite des eaux mauritaniennes.

Suite à un différend apparu lors de la signature des accords de pêche, la flottille soviétique ne reprendra ses activités dans les eaux mauritaniennes en 1984 qu'à partir du mois d'avril, avec des bateaux RTMS, RTMA et BMRT. A cette flottille se joindra d'octobre 1984 à juin 1987 des bateaux de type STM.

Si le nombre de bateaux soviétiques ayant opéré dans la ZEE mauritanienne (72 en 1985, 51 en 1986, 39 en 1987) est important, cela ne reflète pas la réalité de l'effort de pêche. En effet, les chalutiers soviétiques (comme ceux des autres nationalités) opèrent avec des licences de pêche, et une licence peut servir à la fois au bateau pour lequel elle a été délivrée, et à son remplaçant éventuel si le bateau titulaire quitte pour une raison ou une autre les eaux mauritaniennes. Les licences sont généralement attribuées en milieu d'année pour la flottille soviétique. Pour les exercices 1985-1986, 1986-1987 et 1987-1988, le nombre de licences ainsi accordées a été respectivement de 35, 36 (3 STM, 9 BMRT, 11 RTMA, 13 RTMS) et 27 (3 BMRT, 14 RTMA, 10 RTMS). Pour les autres pays, il a été accordé au titre de l'exercice 1987-1988, 2 licences pour les «super chalutiers» de l'Allemagne de l'Est et 13 pour les «super atlantiques» de la Roumanie.

Réglementation des zones de pêche (fig. 3). Au sud du cap Timiris, les chalutiers pélagiques sont autorisés à pêcher au-delà de 12 milles de la côte. Cette limite correspond en moyenne aux fonds de 50 mètres dans cette région.

Au nord du cap Timiris, la réglementation a été modifiée en 1987. Jusqu'au 30 juin 1987, les chalutiers pélagiques étaient autorisés à pêcher au-delà d'une ligne imaginaire joignant le cap Timiris et le cap Blanc. Cette réglementation autorisait les chalutiers pélagiques à exploiter les zones peu profondes (10 mètres et parfois moins) en bordure du Banc d'Arguin. A partir du premier juillet 1987, la nouvelle réglementation mise en place va éloigner ces bateaux au-delà d'une ligne brisée épousant grossièrement l'isobathe des 30 mètres.

Evolution de l'effort de pêche (tab. 3). Les données d'effort (exprimé en nombre de jours de pêche), compilées par nationalité et par type de bateau sur une base annuelle, sont présentées au tableau 3. Dans ce tableau, il n'a pas été effectué de correction pour tenir compte des différences de puissance de pêche entre les divers types de bateau.

L'augmentation de l'effort de pêche a été très rapide entre 1979 (1 500 jours de pêche) et 1983 (14 900 jours de pêche). Après une diminution importante de l'effort de pêche en 1984 (9 100 jours de pêche), il va de nouveau augmenter en 1985 (12 200 jours) pour se situer à un niveau intermédiaire. En 1986 et 1987, on observe une légère tendance à la réduction de l'effort de pêche, avec respectivement 11 400 et 10 200 jours de pêche.

Jusqu'en 1982, l'essentiel de l'effort est dû aux flottilles roumaines et est-allemandes (entre les deux tiers et la totalité de l'effort total selon les années). A partir de 1983, les flottilles soviétiques vont réaliser entre 55 et 68 % de l'effort total. Après le départ des bateaux de l'Irak et du Nigéria en septembre-octobre 1986, il ne restera plus dans les eaux mauritaniennes que des super chalutiers de l'Allemagne de l'Est et de la Roumanie, ainsi que la flottille soviétique composée de BMRT, RTMA, RTMS et, jusqu'en juin 1987, de STM. Les super chalutiers allemands, roumains et soviétiques auront réalisé en 1987, 53 % des jours de pêche totaux (toutes flottilles, toutes nationalités confondues).

La répartition spatio-temporelle de l'effort varie fortement au cours de l'année (fig. 4) et, aussi bien en 1986 qu'en 1987, on a pu observer le schéma général suivant. En saison chaude, les flottilles fréquentent essentiellement la région nord (nord de 19°N) de la ZEE. Elles commencent très progressivement leur descente vers la région sud en octobre, celle-ci étant complète au mois de mai. En juin, les flottilles remontent vers le nord de façon extrêmement massive. En milieu de saison froide (mars), on observe une remontée

Tableau 3

Evolution de l'effort de pêche (exprimé en nombre de jours de pêche) des chalutiers pélagiques dans les eaux mauritaniennes de 1979 à 1987

	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1986
Allemagne de l'Est									
995 TJB - 1750 cv	0	1599	2133	1973	964	0	0	0	0
3165 TJB - 3880 cv	553	795	1224	1296	996	631	432	341	472
Bulgarie									
2500 TJB - 3600 cv	0	0	0	314	392	0	0	0	0
Cuba									
2635 TJB - 3600 cv	0	0	0	0	0	563	318	0	0
Irak									
2326 TJB - 2000 cv	0	80	960	720	937	894	1079	655	0
2406 TJB - 3600 cv		0	660	660	660	628	682	282	0
Nigéria									
535 TJB - 2320 cv	0	0	0	0	0	0	149	1022	0
1000 TJB - 3600 cv	0	0	51	0	0	0	0	0	0
Roumanie									
2156 TJB - 2320 cv	914	519	410	468	518	0	0	0	0
3163 TJB - 3880 cv		1323	1965	2300	1469	1316	2002	1856	2772
URSS									
1900 TJB - 2400 cv	0	0	0	0	0	115	651	372	164
2400 TJB - 2000 cv	0	547	0	237	1271	12222	2064	2145	1782
2177 TJB - 2320 cv	0	162	0	100	2530	1215	2418	2142	2815
3019 TJB - 3880 cv	0	798	0	957	4976	2513	2434	2601	2170
2900-3400 TJB-5600 cv	0	0	0	49	216	0	0	0	0
Total	1527	5823	7403	9074	14929	9097	12229	11415	10175

Fig. 3

Réglementation des zones de pêche pélagique en Mauritanie. (a): jusqu'au 30 juin 1987; (b): à partir du premier juillet 1987. (D'après Chavance, 1988).

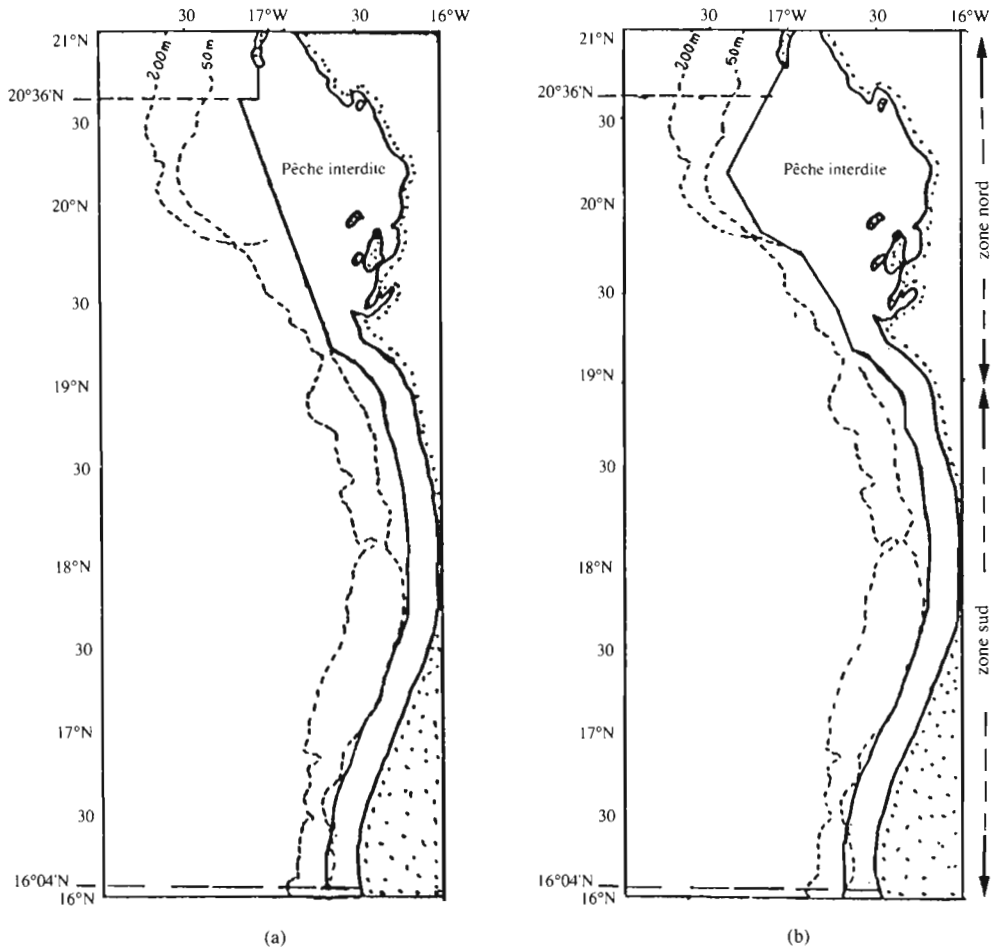
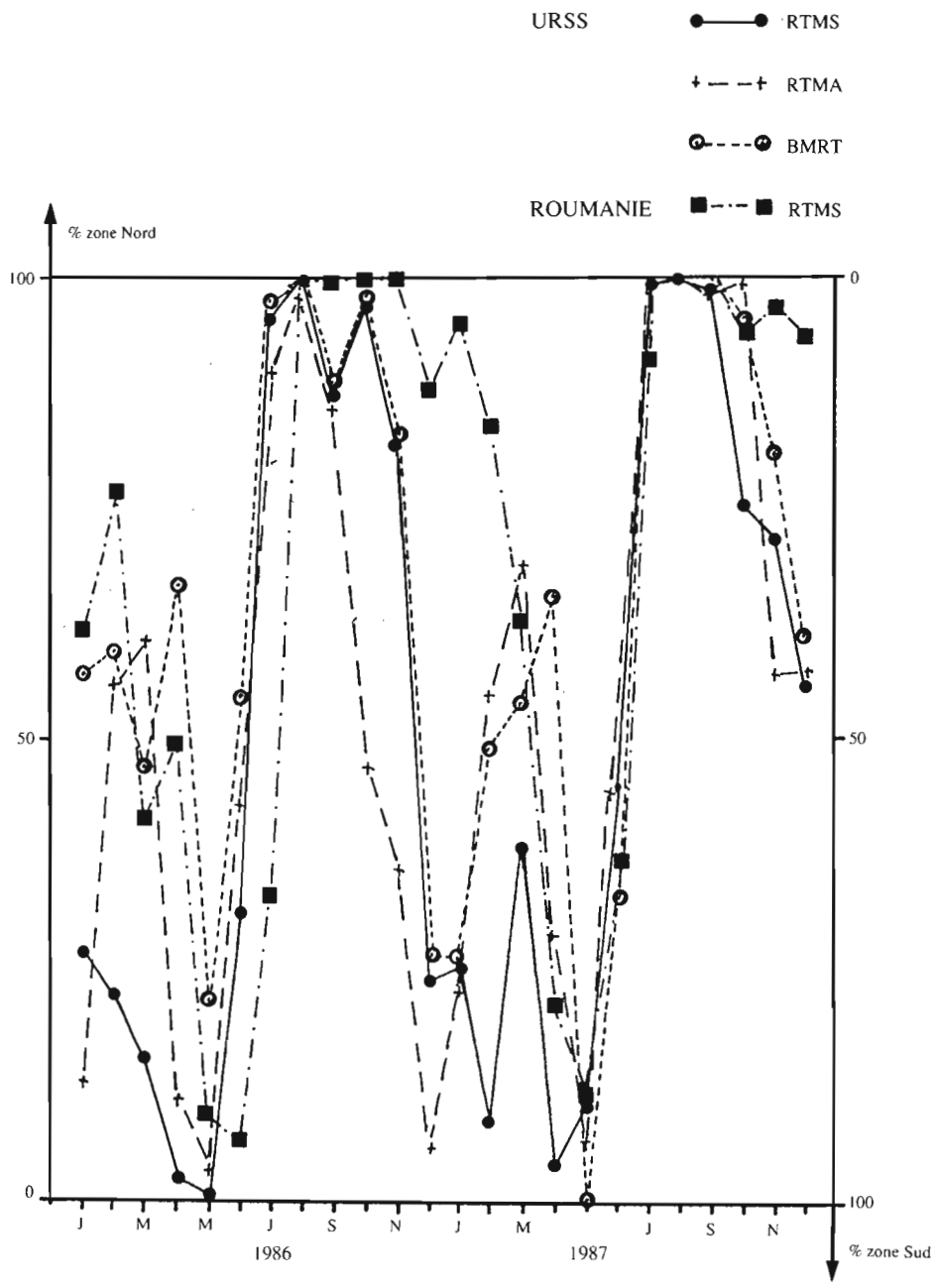


Fig. 4

Répartition mensuelle nord-sud de l'effort de pêche de différentes flottilles en Mauritanie en 1986 et 1987. (Origine des données: Staicu et Maxim, 1987-Staicu *et al*, 1988 pour la Roumanie; statistiques de l'AtlanNIRO pour l'URSS).



temporaire des flottilles vers le nord. Globalement en 1987, 58 % de l'effort a été effectué dans la région nord et 42 % dans la région sud.

Evolution des captures totales et par espèce. Les captures totales réalisées par les chalutiers pélagiques dans la ZEE mauritanienne sont présentées, par nationalité, au tableau 4. Minimales en 1979 avec 87 000 tonnes, les captures totales ont ensuite oscillé, pendant la période 1980-1982 autour de 250 000 tonnes. Après une augmentation brutale en 1983 (470 000 tonnes) liée à l'arrivée massive des flottilles soviétiques, puis une chute sensible en 1984 (360 000 tonnes) à mettre en relation avec l'importante réduction de l'effort de pêche, les captures se sont ensuite stabilisées autour de 450 000 tonnes.

Depuis 1983, les chalutiers soviétiques réalisent environ les deux tiers des captures totales des flottilles pélagiques dans la ZEE mauritanienne, alors que pendant la période 1979-1982, les allemands de l'Est et les roumains réalisaient entre les deux tiers et la totalité des prises totales. Les captures réalisées par les autres flottilles ont représenté jusqu'à 19 % du total en 1981, et 15 % en 1984. Elles n'étaient plus que de 9 % en 1986, année au cours de laquelle les deux flottilles restantes (irakienne et nigériane) ont cessé définitivement leurs activités dans les eaux mauritaniennes.

L'évolution de la composition spécifique des captures de 1979 à 1987 est présentée au tableau 5. La sardine qui représentait en 1979 4 % (3 400 tonnes) des captures totales et 6 % (15 000 tonnes) en 1980 disparaît en 1981 et 1982. Elle réapparaît brusquement en 1983 (75 000 tonnes, soit 16 % des captures totales), principalement dans les captures soviétiques. Par la suite, elle représentera selon les années entre 8 % (35 000 tonnes en 1987) et 18 % (82 000 tonnes en 1987) du total.

Avec 2 400 tonnes environ, les sardinelles représentaient en 1979 moins de 3 % des prises totales. D'année en année, ces espèces vont prendre de plus en plus d'importance pour représenter, avec 94 000 tonnes en 1985, près de 21 % des captures totales. En 1986 et 1987, les captures de sardinelles, avec respectivement 13 % (61 000 tonnes) et 15 % (65 000 tonnes) des captures totales seront moins importantes.

Le pourcentage de chinchards décroît très rapidement entre 1979 (82 %) et 1983 (41 %). Par la suite les variations seront beaucoup moins importantes (minimum 44 % en 1985, maximum 51 % en 1987). En valeur absolue, les captures de chinchards sont beaucoup moins variables. Entre 1980 et 1985, elles ont oscillé entre 150 000 et 200 000 tonnes. En 1986 et 1987, on observe même une tendance légère à la hausse (230 000 tonnes en 1987).

Les captures de maquereau sont très variables d'une année à l'autre. Elles ont été maximales en 1983 (45 000 tonnes, soit près de 10 % des captures totales). Il en est de même pour la ceinture (*Trichiurus lepturus*) dont les captures ont été maximales en 1987 avec 60 000 tonnes, soit 13 % du total.

La répartition spatiale des captures totales, pour l'année 1987, est présentée à la figure 5. On peut identifier deux secteurs de pêche, l'un, très circonscrit, dans la région nord entre 20° et 20°40"N (près de 40 % des captures totales en 1987), l'autre, plus diffus, dans la région sud entre 16°20' et 19°N.

Evolution des rendements totaux et par espèce. Il est difficile d'obtenir une série de données (capture-effort) complète et homogène sur la période 1979-1987, un certain nombre de flottilles n'ayant exploité la ZEE mauritanienne que sur de courtes périodes, ou par intermittence. La série la plus homogène disponible concerne la flottille roumaine, même si la distinction entre les deux types de bateaux n'a pas été possible.

L'évolution des rendements annuels totaux (PUE) et par espèce, exprimée en tonnes par jour de pêche, est présentée à la figure 6. Les PUE ont dans un premier temps diminué assez régulièrement, et sont passées de 47 t/j en 1979 à 26 t/j en 1983. Elles ont par la suite augmenté assez rapidement, pour se stabiliser depuis 1985 autour de 42-43 t/j. Les PUE de «chinchards» ont suivi une évolution identique. Cependant, la diminution des rendements «chinchards», qui passent de 42 t/j en 1979 à 10 t/j en 1983, est plus marquée que celle des rendements totaux. La reprise des rendements observée en 1984 et 1985 est moins importante pour les chinchards (24 t/j en 1985) que si l'on considère l'ensemble des espèces. Par

Tableau 4

Evolution des captures totales (en tonnes) réalisées par les chalutiers pélagiques industriels dans les eaux mauritaniennes de 1979 à 1987.

	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Allemagne de l'Est	42488	87090	103904	94773	50800	29159	27180	15620	31447
Bulgarie	0	0	0	6640	10485	0	0	0	0
Cuba	0	0	0	0	0	8238	6232	0	0
Irak	0	2240	42402	30409	38284	45406	42838	27822	0
Nigéria	0	0	2153	0	0	0	2235	15330	0
Roumanie	44912	77509	85567	84142	51834	39070	85976	80637	116715
URRS	0	75489	0	62818	319604	242069	296522	317614	296933
Capt. totales	87400	242328	234026	278782	471007	363942	454583	457023	445095

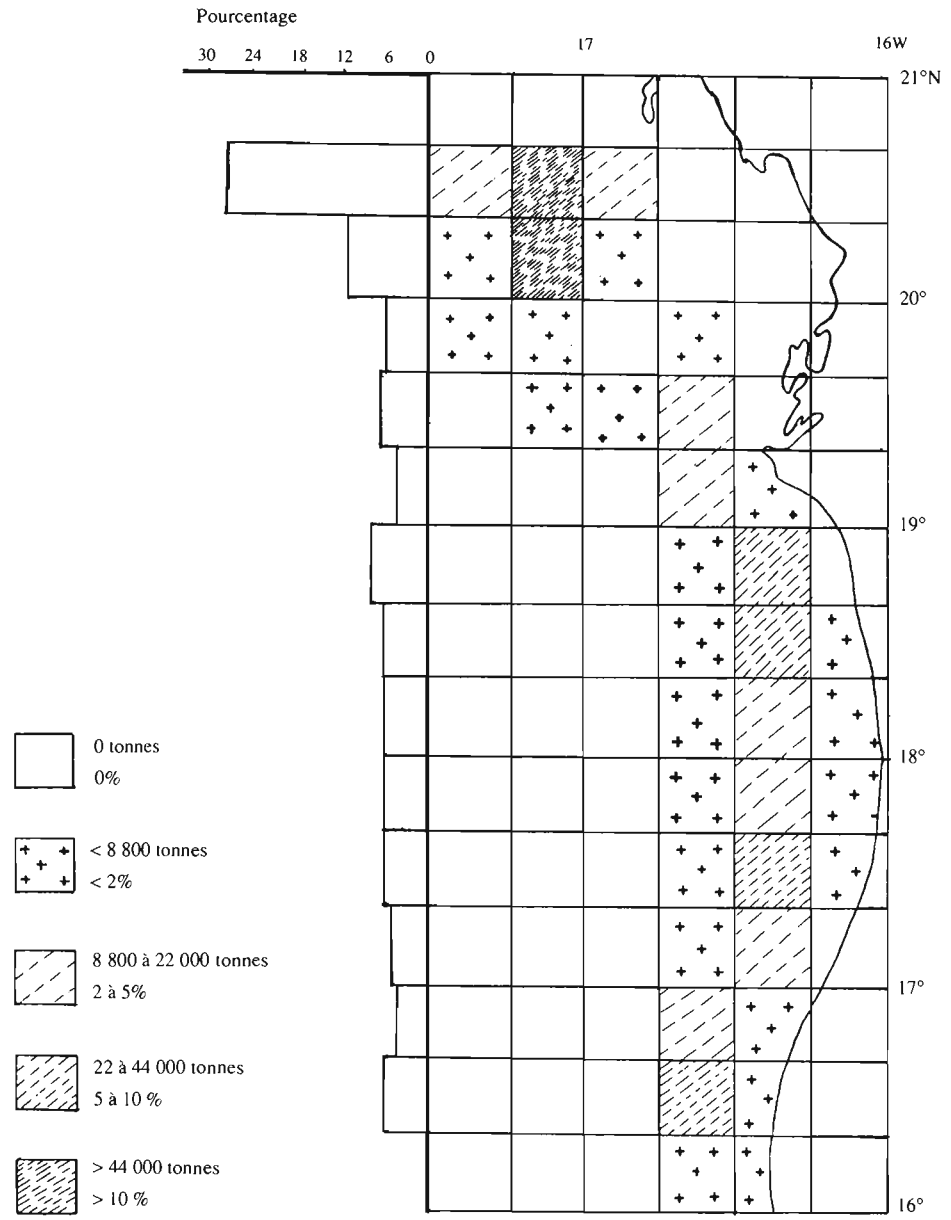
Tableau 5

Composition spécifique en % des captures réalisées par les chalutiers pélagiques dans les eaux mauritaniennes de 1979 à 1987.

	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Sardine	3,9	6,2	,0	,0	15,9	9,9	11,3	17,9	7,8
Sardinelles	2,7	6,3	11,5	15,3	14,3	17,1	20,7	13,4	14,7
Chinchards	81,6	77,0	75,9	53,8	40,9	49,2	43,9	45,1	51,2
Maquereau	10,7	4,7	2,8	4,0	9,5	3,8	3,8	6,3	5,6
Ceinture	0,1	1,1	5,4	9,6	2,8	3,8	8,3	7,3	13,5
divers	0,9	4,7	4,4	17,3	16,7	16,2	11,9	9,9	7,2

Fig. 5

Répartition par carré statistique des captures totales en 1987. (D'après Chavance, 1988).



contre, les PUE continuent à augmenter légèrement en 1986 et 1987 (26 t/j). Les rendements en sardinelles, pratiquement nuls en 1979, ont augmenté régulièrement jusqu'en 1985 où ils ont atteint 11 t/j. En 1986 (8 t/j) et 1987 (6 t/j), s'amorce une décroissance des PUE. Les captures de sardine sont épisodiques jusqu'en 1984. A partir de 1985, les rendements sur cette espèce augmentent régulièrement pour atteindre 6 t/j en 1987.

Il est difficile de considérer que seules les variations d'abondance des différentes espèces soient responsables des variations des rendements (totaux et par espèce), même si la chute des PUE (totales et chinchards) observée entre 1979 à 1984 peut être mise en relation avec l'augmentation régulière et importante de l'effort de pêche. La stabilisation des PUE autour de 45 t/j depuis 1985 serait plus liée à la capacité moyenne de traitement des usines à bord, ou à la réalisation d'un objectif de production. L'augmentation des rendements en sardinelles serait à mettre en relation avec la diminution des rendements en chinchards, les sardinelles venant atténuer la baisse des rendements totaux due à la chute des chinchards. Le report d'une partie de l'effort de pêche vers les sardinelles aurait également pour conséquence d'amplifier les variations des PUE sur les chinchards. De même, l'apparente alternance qui semble se dessiner à partir de 1985 entre les sardinelles et la sardine ne serait qu'un artefact lié à une plus grande fréquentation ces dernières années des zones de pêche les plus septentrionales de la ZEE mauritanienne. Si l'on considère les données des flottilles soviétiques, la tendance inverse apparaît. Il y aurait donc un effet zone de pêche important.

Les données mensuelles de captures et d'effort sont également disponibles, à l'exception de l'année 1983, pour les bateaux roumains. Les rendements, totaux et par espèce, sont présentés à la figure 7. Ils sont très variables (10 à 60 t/j selon les mois), et il y aurait deux maxima par an, l'un en milieu d'année (mai-juin), l'autre en fin d'année (octobre-décembre). ces deux maxima sont encore plus marqués si l'on ne considère que les chinchards. On remarquera également l'opposition entre les années 1980 à 1982 (tendance à la baisse générale des PUE chinchards), et les années 1984 à 1987 (augmentation régulière des PUE de chinchards). Les PUE de sardinelle évoluent en sens inverse de celles des chinchards, que l'on considère les tendances annuelles ou les variations mensuelles. Pêchées essentiellement en saison chaude jusqu'en 1982, elles sont pratiquement capturées toute l'année, avec cependant d'importantes variations selon les mois, à partir de 1985. Les PUE de sardines sont élevées au premier trimestre 1980. Après avoir pratiquement disparu, on les retrouve en 1985 et l'on voit les rendements augmenter en même temps que la durée de la saison de pêche. Il n'y a pas d'opposition entre sardines et sardinelles, à certaines périodes ces deux espèces pouvant être pêchées ensemble. Par contre, en saison chaude, la sardine disparaît totalement.

Fig. 6

Evolution des prises par unités d'effort (en tonnes/jour de pêche), totales, et par espèce ou groupe d'espèces, pour les chalutiers roumains dans la ZEE mauritanienne de 1979 à 1987. (Origine des données: Maxim et Staicu, 1987; Staicu et Maxim, 1984-1987; Staicu *et al.*, 1988).

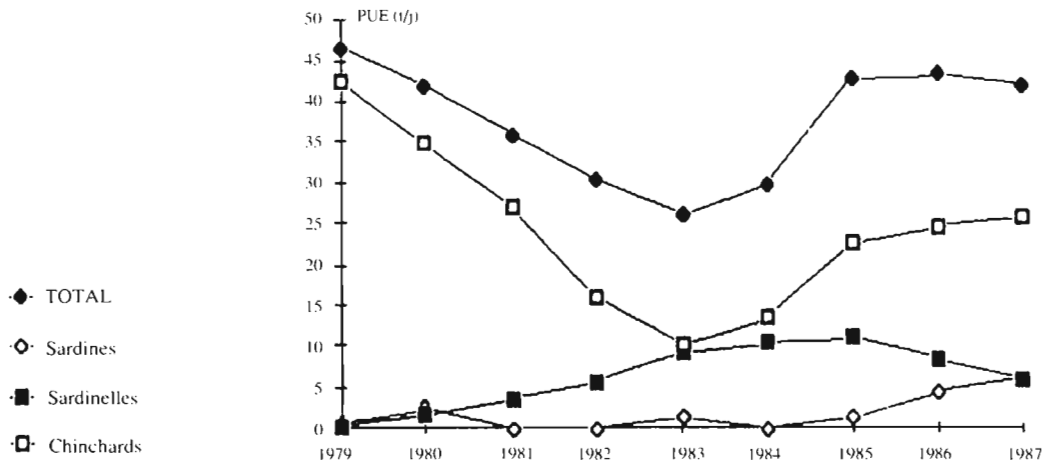
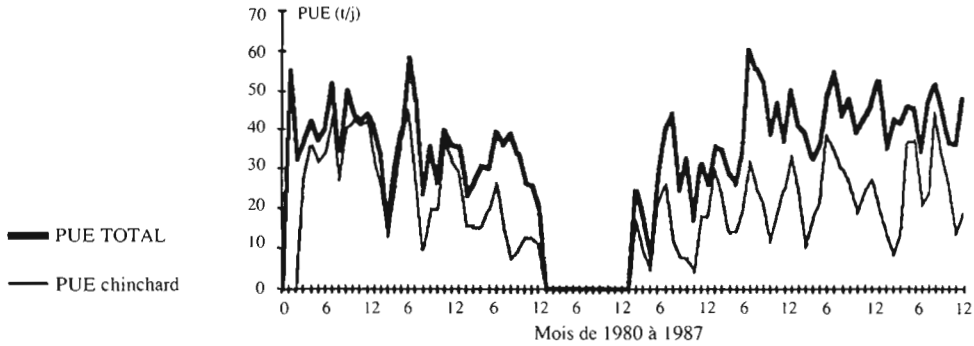
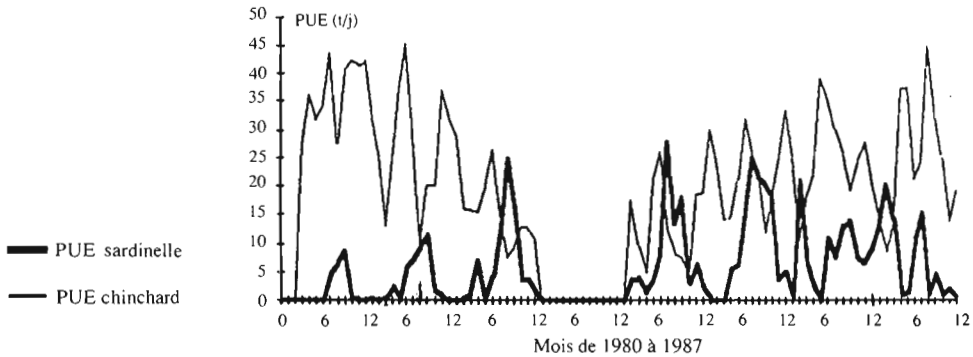
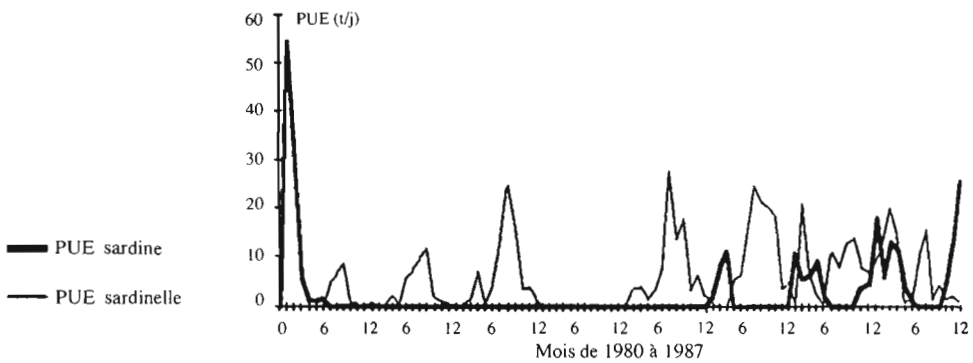


Fig. 7

Evolution des PUE mensuelles (en tonnes par jour de pêche), totales et par espèce, pour les chalutiers pélagiques roumains dans la ZEE mauritanienne de 1980 à 1982 et de 1984 à 1987. (Origine des données: Maxim et Staicu, 1987; Staicu, 1981; Staicu et Maxim, 1984a-1987; Staicu *et al*, 1988).







DISCUSSION ET CONCLUSION

L'exploitation actuelle des ressources pélagiques côtières dans la ZEE mauritanienne se caractérise par:

• l'existence d'une pêcherie artisanale très peu développée. Cette pêcherie, qui débarque environ 1 % des captures de la pêche pélagique en Mauritanie, exploite principalement les stocks de sardinelles;

• la présence d'une pêcherie industrielle importante (99 % des captures totales de la pêche pélagique) exploitant préférentiellement les stocks de chinchards. Les campagnes acoustiques réalisées dans la région (Josse, 1989) ont montré que la biomasse pélagique disponible en Mauritanie dans la région cap Timiris-cap Blanc était maximale pendant le premier semestre. Il y a là une contradiction apparente avec la position moyenne des flottilles (fig. 4) qui exploitent la région nord pendant le second semestre. Cependant, si l'on considère que le déplacement des flottilles est conditionné par l'abondance des chinchards, cette contradiction disparaît. Les chinchards sont plus abondants en saison froide au sud qu'au nord du cap Timiris, et inversement en saison chaude. D'autre part, les campagnes acoustiques ont montré que, en toutes saisons, les clupéidés sont aussi abondants, sinon bien plus abondants, que les carangidés. Ces différences d'abondance ne se retrouvent pas au niveau des captures des chalutiers qui apparaissent donc comme de mauvais indicateurs de l'abondance relative réelle des différentes espèces. Ceci peut s'expliquer par:

• une pêche des chalutiers pélagiques orientée vers l'exploitation des stocks de chinchards, du fait d'une valeur marchande plus élevée de ces espèces, et de l'existence de marchés à l'exportation (produits congelés);

• une répartition en moyenne plus côtière des clupéidés, et plus large des carangidés.

La présence, principalement dans les régions côtières, de stocks de clupéidés importants pourrait permettre, si des débouchés peuvent être trouvés sur le marché intérieur ou international, le développement d'une pêcherie pélagique artisanale en Mauritanie sans pour autant venir concurrencer une pêcherie industrielle, telle que celle actuellement existante.

BIBLIOGRAPHIE

• Anonyme. 1988 . Rapport du Groupe de travail CNROP-CRODT/ ISRA sur les ressources pélagiques côtières (Mauritanie-Sénégal)- Centr. Nat. Rech. Océanogr. et Pêches, Nouadhibou, Mauritanie, 8-16 juin 1988. Miméo, 253 p.

• Chavance P. 1988 . Description de l'activité des flottilles pélagiques industrielles en 1987 dans la ZEE mauritanienne. Bull. Centr. Nat. Rech. Océanogr. et Pêches, Nouadhibou, 17: 1-29

• Chavance P., Josse E., Damiano A. et Lawal D. 1987 . Description de l'activité des flottilles pélagiques industrielles en 1987 dans la ZEE mauritanienne. Bull. Centr. Nat. Rech. Océanogr. et Pêches, Nouadhibou, 15(1): 112-138

• Josse E. 1987 . La pêche industrielle des espèces pélagiques côtières en Mauritanie de 1979 à 1986- Première partie: La pêche à la senne tournante. Bull. Centr. Nat. Rech. Océanogr. et Pêches, Nouadhibou, 15(1): 86-111

• Josse E. 1988 . La pêche industrielle des espèces pélagiques côtières en Mauritanie de 1979 à 1986- Deuxième partie: La pêche au chalut pélagique. Bull. Centr. Nat. Rech. Océanogr. et Pêches, Nouadhibou, 17: 30-60

• Josse E. (ed.) 1989. Les ressources halieutiques de la ZEE mauritanienne: desciption, évaluation et aménagement. Rapport du Groupe de travail CNROP, Nouadhibou, Mauritanie, 15-22 novembre 1988. COPACE/PACE SERIES 89/49: 237.

• Lawal H. S. 1988 . Description de la pêche pélagique artisanale en Mauritanie. *In*: Rapport du Groupe de travail CNROP-CRODT/ISRA sur les ressources pélagiques côtières (Mauritanie-Sénégal)- Centr. Nat. Rech. Océanogr. et Pêches, Nouadhibou, Mauritanie,8-16 juin 1988, 98-105

• Maxim C., et Staicu I. 1987 . Rapport sur les résultats des recherches roumaines dans la ZEE de la République Islamique de Mauritanie en 1984. *In* Rapport du deuxième Groupe de travail *ad hoc* sur les chinchards et les maquereaux de la zone nord du COPACE. COPACE/PACE Séries 86/37/ 51-79

• Staicu I. 1981 . Rapport asupra resultatelor cercetarilor efectuate in zona oceanului atlantic est-central, pe platforma continentala R. I. Mauritania, in periocada februarie-mai 1981. HALIEUTICA (3): 7-30

• Staicu I. et Maxim C. 1984 . Rapport de pêche et recherches de la R. S. Roumanie dans la zone du COPACE pendant la période 1965-1983. Comité des Pêches pour l'Atlantique Centre-Est (COPACE). Groupe de travail sur les statistiques de pêches. Troisième Session - Santa Cruz de Tenerife - 7-15 mai 1984. Doc. Dactyl: pag.var.

• Staicu I. et Maxim C. 1984a . Rapport sur les résultats des recherches roumaines dans la ZEE de la République Islamique de Mauritanie en 1982. *In* Rapport du Groupe de travail *ad hoc* sur les chinchards et les maquereaux de la zone nord du COPACE. COPACE/PACE Séries 83/ 27/ 78-103

• Staicu I. et Maxim C. 1987 . Rapport sur les résultats des recherches roumaines effectuées dans la zone de la République Islamique de Mauritanie au cours de l'année 1986. Doc. Dactyl.: pag. var.

• Staicu I., Maxim C., Dumitrescu V. et Maximov V. 1988 . Rapport sur les résultats des recherches roumaines effectuées dans la zone de la République Islamique de Mauritanie au cours de l'année *In* Rapport du Groupe de travail CNROP CRODT/ISRA sur les ressources pélagiques côtières (Mauritanie-Sénégal). Doc. Dactyl., 122-167

19 • Importance des saisons de transition hydrologique et impact des anomalies climatiques sur l'activité d'une flottille industrielle pélagique en ZEE mauritanienne

PIERRE CHAVANCE
YOURI LOKTIONOV
MOHAMMED MAHFOUD

CNROP, BP 22, Nouadhibou, République Islamique de Mauritanie

RÉSUMÉ

Les ressources pélagiques côtières constituent la biomasse la plus abondante de la ZEE mauritanienne; elles sont exploitées depuis les années soixante par des flottilles industrielles. Les traits majeurs de l'activité de ces flottilles le long du plateau continental sont décrits. La variabilité hydroclimatique saisonnière le long des côtes mauritaniennes est abordée à partir d'observations de température de surface et de données de vent. Les grandes lignes des relations entre la pêche et les conditions environnementales dans cette région sont ensuite dégagées. Partant de ce schéma moyen, l'effet des variations climatiques sur l'activité de la flottille est analysé durant la période 1985-1987 et notamment sur la principale composante des captures: les chinchards *(Trachurus spp.)*.

ABSTRACT

Coastal pelagic species are the dominant fish biomass in the Mauritanian EEZ; these resources are exploited since the sixties by industrial trawlers. The mean seasonal pattern of the activity of these fleets along the continental shelf is drawn. Using sea surface temperature data and wind data, the mean seasonal hydroclimatic cycle is described. The mean pattern of the relation between the fishery activity and the environmental conditions is investigated. From this pattern, the effect of the environmental variability from 1985 to 1987 on the fishery activity and on the dominant species (Trachurus spp.) in the catch is analysed.

INTRODUCTION

Les ressources pélagiques côtières constituent la biomasse disponible la plus abondante de la ZEE (Zone Economique Exclusive) mauritanienne où elles sont exploitées depuis les années 60, principalement par les flottilles à long rayon d'action des pays de l'est européen et des groupements multinationaux. Les captures ont varié depuis 1969 entre 280 000 et 580 000 tonnes; elles sont stabilisées depuis 1985 aux environs de 450 000 tonnes et sont le fait de flottilles chalutières pélagiques industrielles (Anonyme, 1988). Ces ressources sont composées d'un nombre limité d'espèces à affinités tropicales ou tempérées appartenant principalement aux familles des carangidés *(Trachurus trachurus, Trachurus trecae* et *Decapterus rhonchus)* et des clupéidés *(Sardinella aurita, Sardinella maderensis* et *Sardina pilchardus*). D'autres espèces telles que le sabre *(Trichiurus lepturus)*, le maquereau *(Scomber japonicus)* et l'anchois *(Engraulis encrasicolus)* peuvent constituer une part notable des captures. Dans leur grande majorité, ces espèces effectuent des migrations saisonnières de grande amplitude liées au déplacement du front thermique intertropical

nord (Boely et Fréon, 1979; Garcia, 1982). Ces mouvements impliquent que pour l'essentiel les stocks pélagiques côtiers exploités en Mauritanie le sont également dans les pays limitrophes.

Avant l'établissement progressif des zones économiques exclusives qui a débuté en 1973, l'exploitation de ces ressources était caractérisée par de grands déplacements saisonniers des flottilles, comme ont pu le montrer Chabanne et Elwertowski (1973), Elwertowski et Boely (1971), Ostvedt et Myklevoll (1975). Par la suite, les flottilles ont dû trouver de nouveaux secteurs de pêche dans le cadre d'accords bilatéraux avec les pays riverains. L'activité des flottilles à l'intérieur de la ZEE mauritanienne reste toujours fortement marquée saisonnièrement dans ses composantes de distribution spatiale de l'effort, d'importance des captures, de composition spécifique et de rendement par espèce comme ont pu le montrer Chavance *et al.* (1987) et Chavance (1988). Les saisons de transition hydrologique sont des périodes très importantes dans le cycle annuel.

Cet article se propose de décrire les caractéristiques climatiques moyennes (pour la première fois à partir de l'ensemble des données disponibles) et l'activité d'une flottille pélagique industrielle en ZEE mauritanienne, permettant ainsi de dégager les grandes lignes des relations entre la pêche et les conditions environnementales. Partant de ce schéma moyen, nous analyserons l'effet des variations climatiques sur l'activité de la flottille durant la période 1985-1987 et notamment sur la principale composante des captures: les chinchards.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude de la variabilité spatio-temporelle des paramètres hydrométéorologiques dans la ZEE mauritanienne a été réalisée à partir des données suivantes:

- températures de l'eau en surface obtenues pendant les campagnes de recherche effectuées dans la ZEEM de 1955 à 1988 par les navires océanographiques mauritaniens et étrangers (2749 relevés);
- températures moyennes mensuelles de l'eau près du fond (20m) à la station «standard» Bayadère (20°40', 17°04"N) calculées à partir des données par décade de 1968 à 1987 (300 valeurs moyennes);
- relevés de température de l'eau en surface effectués deux fois par jour de 1985 à 1987 par les contrôleurs de pêche à bord des bateaux de pêche industrielle soviétiques travaillant dans la Z.E.E.M. (15000 relevés). Ces données proviennent des thermomètres installés près de la prise d'eau de mer refroidissant le moteur du bateau;
- données d'observations tri-horaires sur le vent effectuées et mises à la disposition du CNROP par les bureaux de l'ASECNA de l'aéroport de Nouadhibou (1968 à 1987) et de Nouakchott (1965 à 1982).

A partir des données des campagnes de recherche, les températures moyennes pluriannuelles pour les périodes caractéristiques de l'année ont été calculées dans chaque carré de 20' utilisés au CNROP pour les statistiques de pêche pélagique. Les cartes saisonnières de température de l'eau en surface ont été constituées d'après ces valeurs.

Les données de température de l'eau relevées par les contrôleurs de pêche ont été traitées séparément de celles des campagnes de recherche en raison de leur moindre précision. Elles ont été moyennées par mois et par carré. Ensuite les valeurs moyennes mensuelles de température étaient calculées pour la partie de la ZEEM située entre 18° et 21°N qui est fréquentée par les flottilles de pêche pélagique durant toute l'année.

A partir des observations sur le vent, les valeurs des vitesses moyennes mensuelles de la composante du vent parallèle à la côte ont été calculées. Le carré de ce paramètre, proportionnel au transport d'Ekman, est utilisé comme indice d'intensité de l'upwelling.

L'étude de l'activité de la flottille pélagique a été faite à partir des données officielles (formulaire Statlant) fournies à la Mauritanie. La répartition spatiale par carré statistique a été déduite des données des contrôleurs.

RÉSULTATS

Régime du vent

Dans le développement des processus hydrologiques de la ZEEM, l'activité du vent joue un rôle important (Arfi, 1985; Coste et Minas, 1982; Halpern, 1977; Huntsman, 1977; Mittelstaedt, 1983; Sedykh, 1978). Les vents dominants sont les alizés (dont la direction et la vitesse sont soumises à variations spatio-temporelles) soufflant du nord-est et du nord, ils caractérisent le régime du vent au nord du cap Timiris. Ceux-ci sont remplacés par les alizés continentaux ou «harmattan» soufflant du nord-est et de l'est dans la partie sud de la région étudiée (Mittelstaedt, 1983).

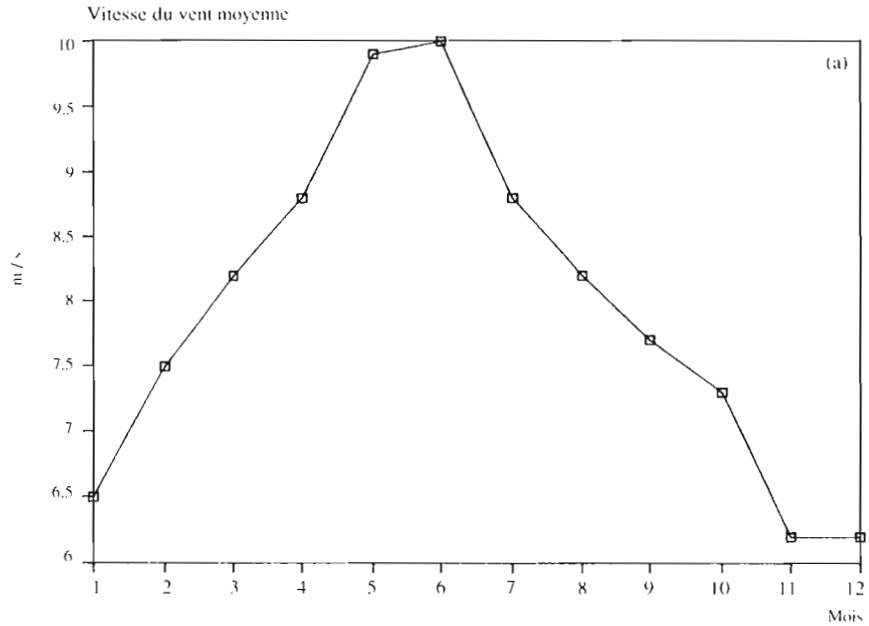
A partir des vents moyens mensuels observés de 1968 à 1987, on peut constater que la vitesse maximale à Nouadhibou est enregistrée en mai-juin tandis que de septembre à janvier les vents sont les moins forts (fig. 1a). La direction mensuelle varie peu en restant dans le secteur 355°-22° (fig. 1b). D'après les observations effectuées à l'aéroport de Nouakchott de 1962 à 1982, les vents au sud du cap Timiris sont moins forts qu'au nord avec une vitesse maximale en mai (fig. 2a). La direction du vent dans cette région est plus variable qu'à Nouadhibou (fig. 2b).

L'intensité de l'upwelling côtier est influencée principalement par la variabilité de la composante du vent parallèle à la côte (Wooster *et al.*, 1976). L'orientation de la côte (N-S) et la direction du vent dominant (N-NE) permettent de supposer que dans le voisinage du cap Blanc, le développement de l'upwelling est régi surtout par les variations de la vitesse du vent. Au sud du cap Timiris, par contre, on peut distinguer trois secteurs caractérisés par une orientation différente de la ligne côtière :

- entre l'extrémité ouest du cap Timiris et la latitude 18°40'N environ, la côte est généralement orientée à 325°;

Fig. 1

Vitesse (a) et direction (b) moyennes (1968-1987) du vent à l'aéroport de Nouadhibou.



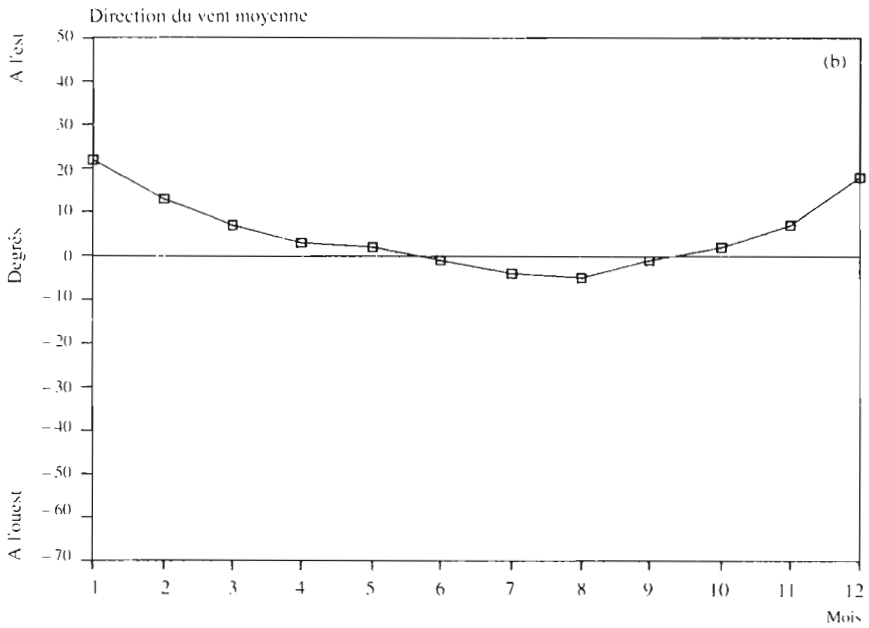
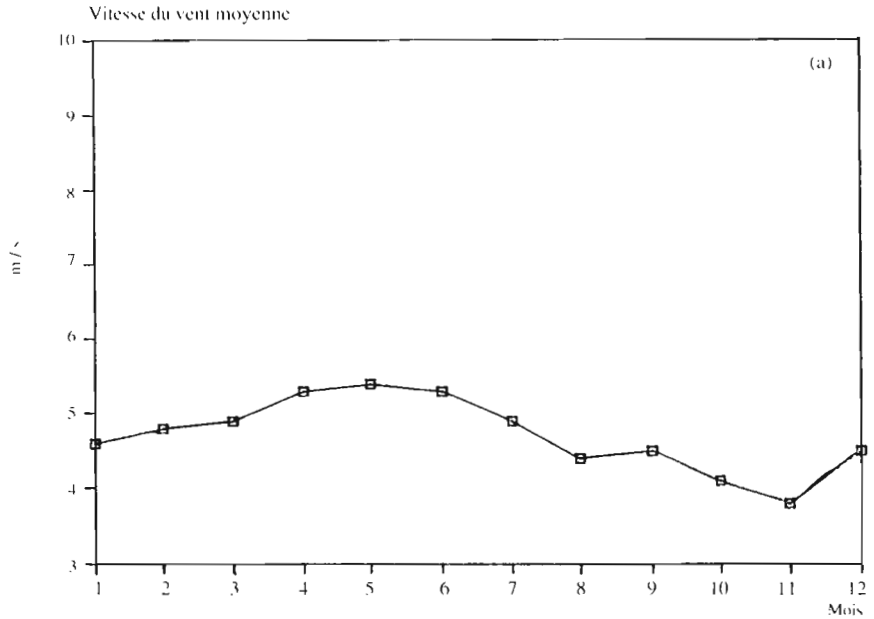
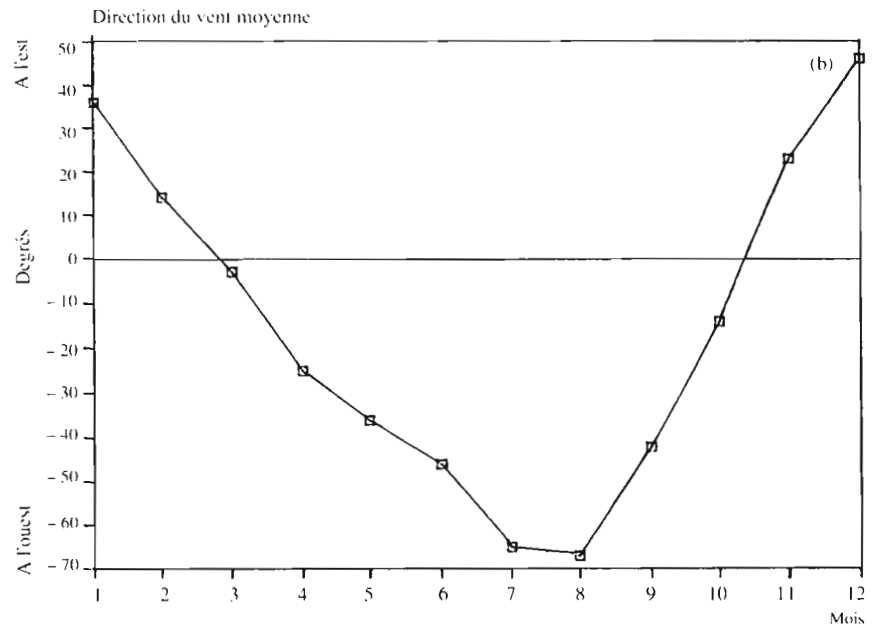


Fig. 2

Vitesse (a) et direction (b) moyennes (1962-1982) du vent à l'aéroport de Nouakchott.





• dans le secteur de Nouakchott (17°40'N-18°40'N), l'orientation de la côte est méridienne (360°);
• au sud de 17°20'N, la ligne côtière est orientée à 30°.

La composante du vent parallèle à la côte dans chacun de ces secteurs varie par conséquent différemment au cours de l'année et induit un effet de «déplacement» de la zone d'upwelling intensif le long de la côte (fig. 3).

Répartition saisonnière des températures superficielles

Les périodes caractéristiques des conditions thermiques superficielles entre 18 et 21°N peuvent être distinguées d'après l'évolution des températures de surface fournies par les contrôleurs (fig. 4). Il y a deux saisons hydrologiques principales:

• de janvier à avril, les températures sont les plus basses avec un minimum absolu en avril et un maximum secondaire en mars;
• de juillet à octobre, les températures sont les plus élevées avec un maximum observé en septembre.

En mai-juin et en novembre-décembre, les conditions thermiques peuvent être qualifiées de transitoires. La variation annuelle des températures à la station Bayadère est également caractérisée par des variations similaires. Le minimum de température dans cette région est observé en moyenne au mois de mai et le maximum en août-septembre. Ceci correspond aux résultats obtenus par Bernikov (1969).

La répartition des températures de surface sur la ZEE mauritanienne durant ces quatre périodes de l'année est présentée à la figure 5. On soulignera les points suivants:

• durant la saison froide (janvier-avril) des gradients thermiques importants existent près de la région du cap Blanc et près du cap Timiris au sud duquel on distingue un upwelling avec des températures inférieures à 16,5°C. Les températures superficielles sur le plateau varient entre 16,5° et 18°C dans toute la ZEE L'augmentation générale des températures vers le large est un trait remarquable en cette saison;
• la période de transition de saison froide à saison chaude (mai-juin) est caractérisée d'une part par l'intensification des upwellings côtiers au sud et par le début du réchauffement général des eaux d'autre part. La température de l'eau durant cette période de transition est variable. Des zones de gradients thermiques très importants sont créées le long de la côte au sud du cap Timiris où les contrastes de températures peuvent atteindre 4 à 6°C. Les isothermes au niveau du cap Timiris prennent, à cette période, une orientation perpendiculaire à la côte;
• durant la saison chaude (juillet-octobre), le phénomène le plus remarquable est l'existence d'un front thermique situé près de 20°30'N avec des contrastes moyens de température de 6°C . La position exacte du front est soumise à des variations intra-saisonnières et interannuelles (Loktionov, 1988). Durant cette saison, des gradients thermiques assez importants peuvent se former près du cap Timiris;

Fig. 3
Indices d'upwelling dans la partie sud de la ZEEM.

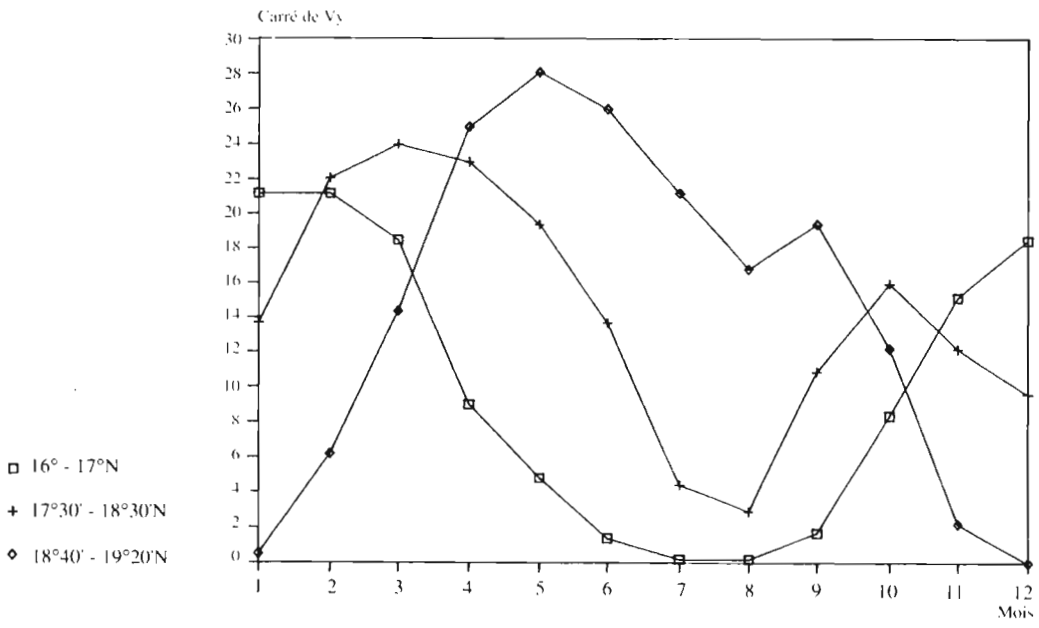


Fig. 4

Température moyenne de l'eau dans le secteur 18-21°N de la ZEEM.

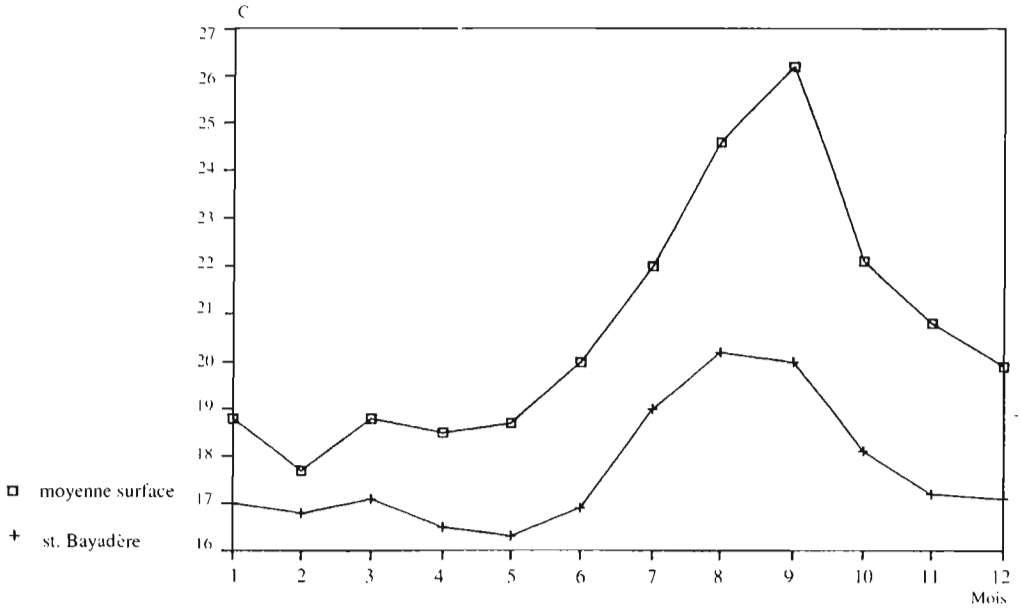
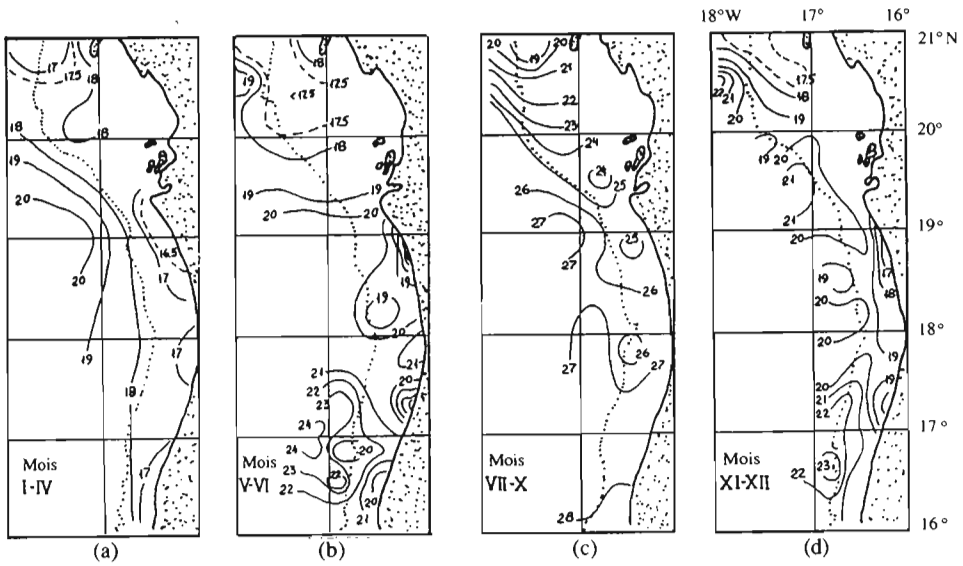


Fig. 5

Répartition des températures de surface sur la ZEE mauritanienne en saison froide (a), saison de transition froide-chaude (b), saison chaude (c) et de transition chaude-froide (d).



• la période de transition de saison chaude à saison froide (novembre-décembre) est caractérisée par l'intensification des upwellings côtiers au sud et par la formation de zones de contrastes thermiques le long de toute la ZEEM, notamment au sud du cap Blanc et au sud du cap Timiris.

Activité de la flottille chalutière pélagique soviétique

La flottille soviétique est depuis 1983 la flottille chalutière pélagique la plus importante en ZEE mauritanienne où elle réalise environ 70% des captures pélagiques totales. Cette flottille est composée de bateaux aux caractéristiques suivantes:

- RTMS (102 m, 3019 tjb, 3 880 ch)
- RTMA (82 m, 2177 tjb, 2 320 ch)
- BMRT (85 m, 2400 tjb, 2 000 ch)
- STM (62 m, 1900 tjb, 2 400 ch)

En 1986-1987, 36 unités ont été autorisées à opérer dans les eaux mauritaniennes.

Comme nous pouvons le voir sur la figure 6, les captures de cette flottille sont principalement composées de chinchards qui constituent la catégorie d'espèces cibles. Alors que ceux-ci ne représentent que 21 à 26% de la biomasse d'après les campagnes d'évaluation acoustique (Josse et Chavance, 1987; 1988), ils participent pour 46% aux captures soviétiques de la même année. Seules les CPUE mensuelles de chinchards ont été jugées utilisables comme indices d'abondance. Celles-ci ont été calculées à partir de prises mensuelles de chinchards et du nombre de jours de pêche toutes unités confondues.

La figure 7 illustre l'évolution moyenne des CPUE sur la période 1985-1987. On observe deux pics saisonniers principaux, l'un très marqué en avril-mai-juin et l'autre en décembre-janvier. Ces périodes de rendements maximums prennent place dans des régions différentes comme on peut l'observer sur la figure 8. En décembre-janvier, le pic a plutôt lieu au nord du cap Timiris, alors qu'en milieu d'année celui-ci a plutôt lieu au sud du même cap vers la latitude 18°N (Nouakchott).

Si l'on compare ces zones d'activité privilégiées aux cartes de température moyenne par saison (fig. 5), on peut observer que la flottille exerce son effort de pêche là où les gradients thermiques sont les plus prononcés. La réalité biologique nous impose de prendre en considération le fait que plusieurs espèces sont comptabilisées dans les statistiques de pêche sous la catégorie «chinchards». Ce sont: *Trachurus trachurus*, le chinchard européen; *Trachurus trecae*, le chinchard noir et *Decapterus rhonchus*, le chinchard jaune. Nos observations sur les chalutiers en 1987 (fig. 9) nous ont permis de constater que les deux pics principaux de rendements correspondent à des espèces différentes. Le pic de rendement au nord en novembre-janvier correspond plutôt à des rendements accrus de *Trachurus trachurus*, le chinchard européen, alors que le deuxième pic de rendement au sud en mai est nettement dû à *Trachurus trecae*, le chinchard noir. *Decapterus rhonchus*, le chinchard jaune, est toujours secondaire

Fig. 6

Composition spécifique des captures soviétiques en 1987 et de la biomasse évaluée par échointégration en janvier et octobre 1987.

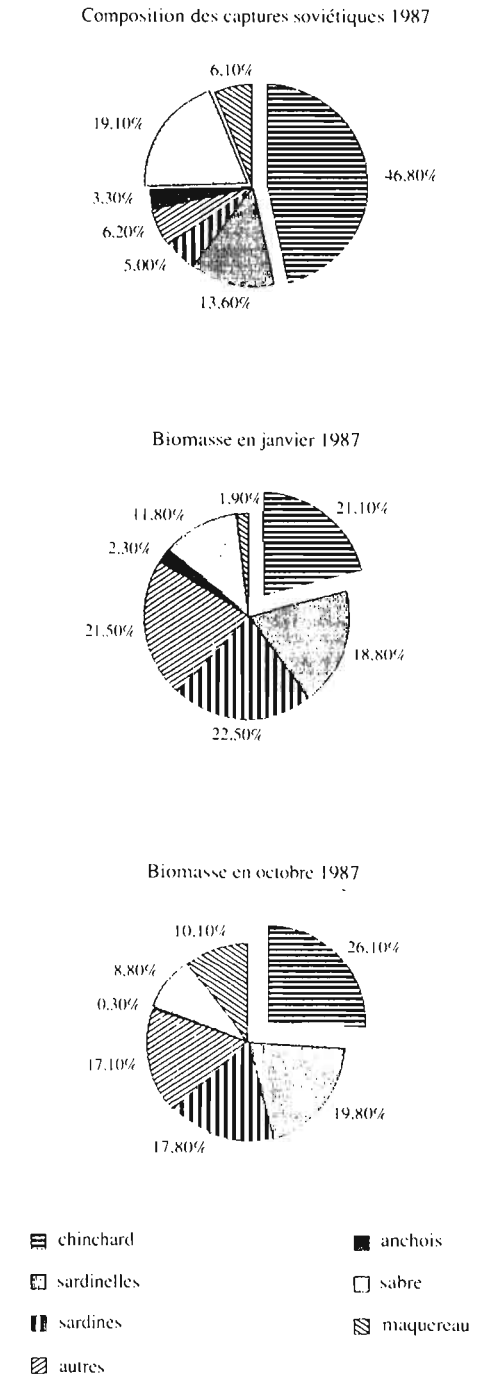


Fig. 7

CPUE moyennes mensuelle de chinchards par la flottille soviétique de 1985 à1987.

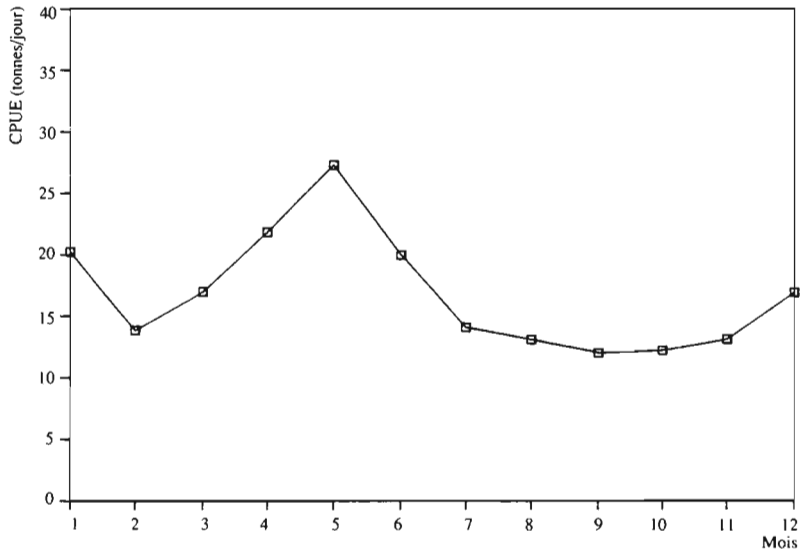


Fig. 8

Répartition de l'effort de pêche soviétique (%) en ZEE mauritanienne aux différentes saisons hydrologiques sur la période 1985-1987 en saison froide (a), saison de transition froide-chaude (b), saison chaude (c) et transition chaude-froide (d).

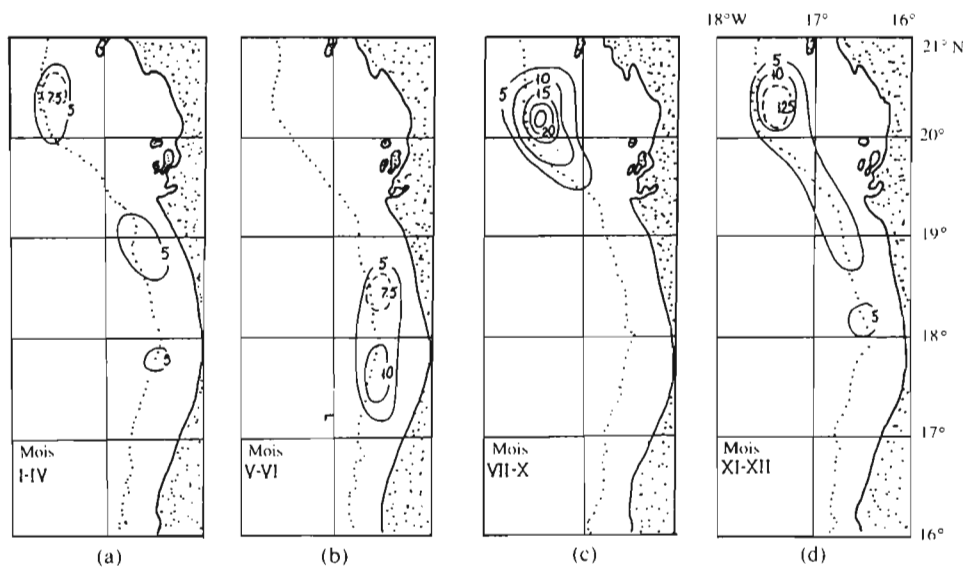
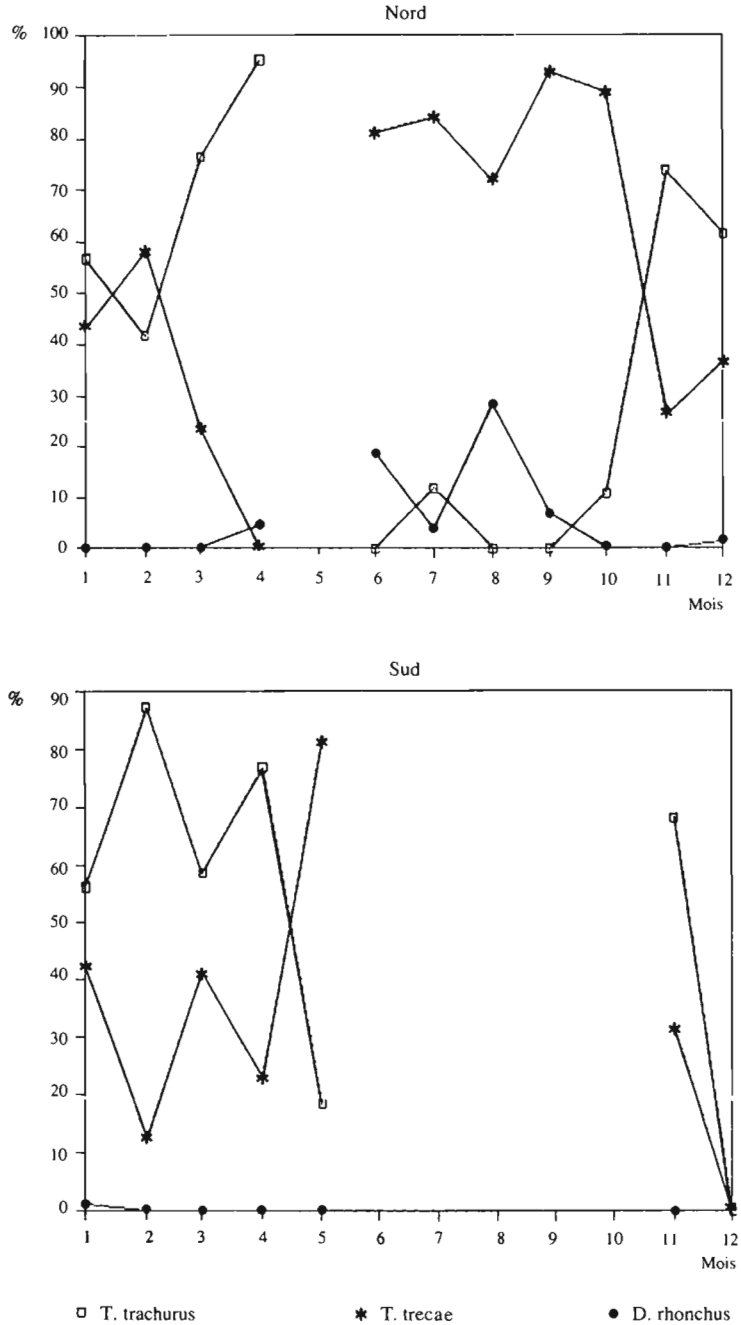


Fig. 9

Composition par espèces de chinchard des captures soviétiques en région nord et sud en 1987, d'après les échantillonnage du CNROP.



dans les captures soviétiques et apparaît surtout en juin et août au nord.

Pour bien comprendre cette situation, il faut se souvenir des schémas migratoires de ces deux espèces. *Trachurus trachurus*, le chinchard européen, est une espèce à affinité tempérée ou méditerranéenne dont la répartition s'étend jusqu'au Sénégal en période froide, corrélativement à la progression vers le sud des eaux canariennes froides. Cette espèce se reproduit en novembre - janvier (Anonyme, 1988). *Trachurus trecae*, le chinchard noir, est essentiellement ouest-africain et tropical et possède sensiblement le même biotope que *Trachurus trachurus* dont il semble être une espèce vicariante. Sa limite septentrionale est le cap Bojador et sa répartition s'étend en période chaude vers le nord, corrélativement à la progression des eaux chaudes. Cette espèce a une période de reproduction très étalée dans le temps; le maximum de ponte se situerait durant le premier semestre (Anonyme, 1988).

En résumé, les deux pics de rendements correspondent respectivement à l'arrivée en ZEE mauritanienne des concentrations génésiques de ces espèces, de novembre à janvier lors de la descente de *Trachurus trachurus* et en début d'année lors de la remontée de *Trachurus trecae*. Les performances de la flottille chalutière dont l'effort est dirigé sur ces espèces vont donc être particulièrement liées au développement des processus hydrologiques qui déterminent la période d'apparition et de disparition des espèces cibles et donc leur durée d'accessibilité.

Impact des anomalies climatiques

La figure 10 indique l'évolution des CPUE de chinchards et les anomalies du carré de la composante méridienne de la vitesse du vent pour la période 1985-1987. Si l'on retrouve le schéma général d'évolution des CPUE avec deux pics annuels, on note cependant, pour les périodes chaudes (juillet-octobre) et de transition chaude-froide (novembre-décembre), les anomalies suivantes:

- septembre-décembre 1985: les CPUE chutent à des niveaux particulièrement bas;
- octobre-novembre 1986: les CPUE sont particulièrement bonnes;
- septembre-octobre 1987: les CPUE sont bonnes et paraissent stabilisées à un niveau assez élevé.

Toutes ces situations correspondent à des anomalies du vent que nous pouvons interpréter de la façon suivante: en période chaude et de transition chaude-froide, en cas de diminution du vent et donc de l'upwelling, les eaux chaudes peuvent progresser davantage vers le nord, rendant en partie inaccessibles les concentrations de *T.trecae* sur lesquelles travaille la flottille à cette période (cas de 1985). En cas de renforcement du vent, par contre, et donc de l'upwelling, le refroidissement des eaux est accéléré et le maintien vers le sud du cap Blanc des chinchards est favorisé (cas 1986 et 1987). Il existe une relation quantitative directe (fig. 11a) entre l'anomalie du vent et les CPUE mensuelles de chinchards en saison chaude et de transition chaude-froide(juillet-octobre).

Fig. 10

CPUE mensuelle de la flottille soviétique de 1985 à 1987 sur le chinchard et upwelling (anomalie du carré de la composante méridienne de la vitesse du vent).

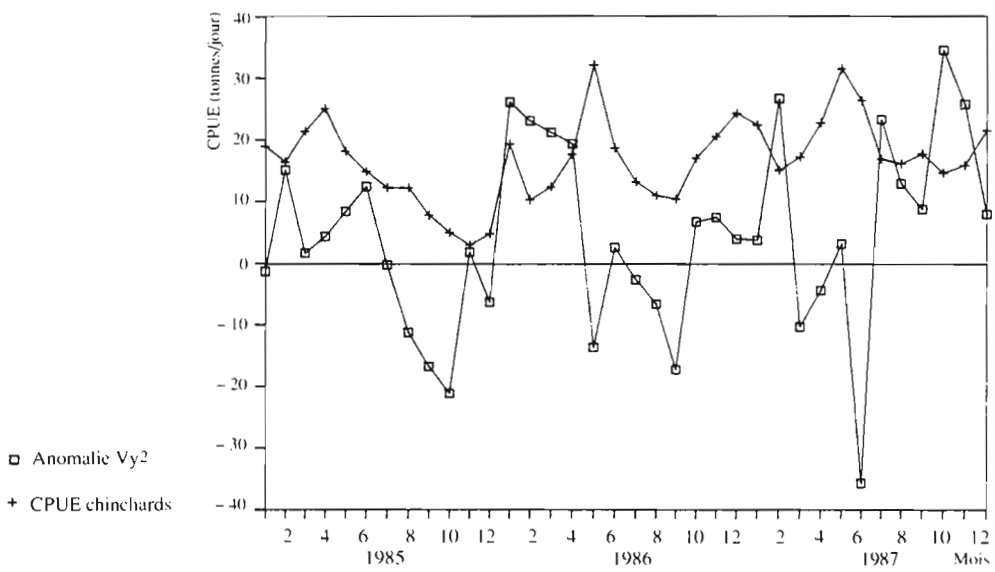
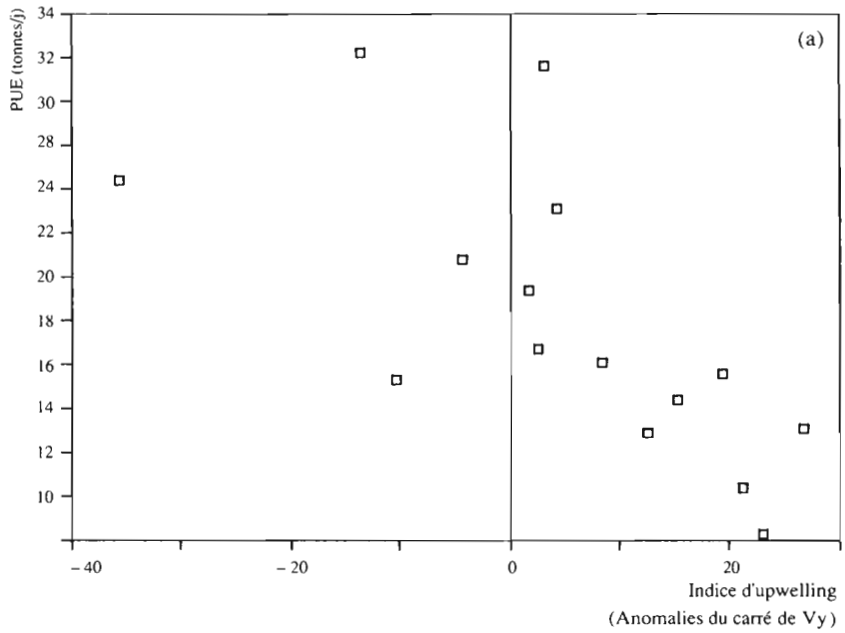
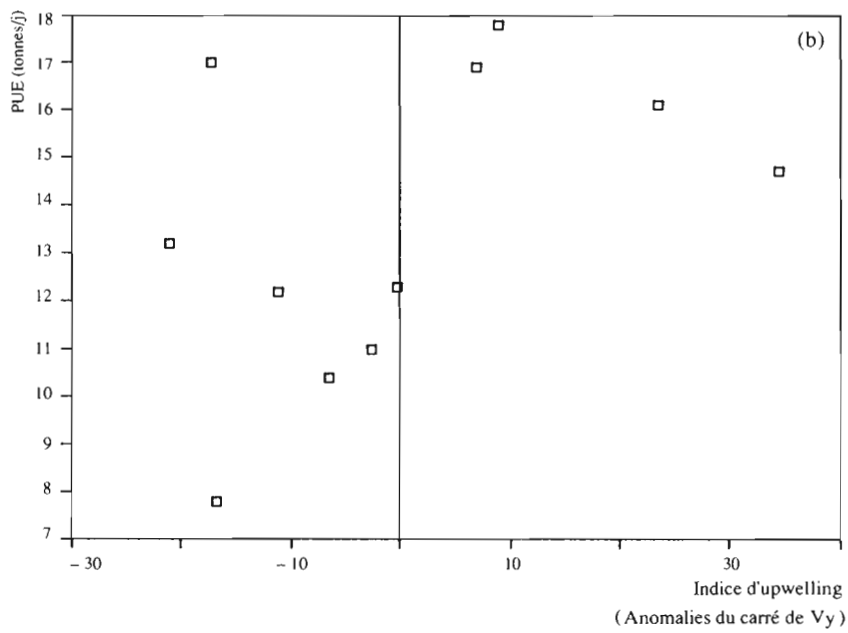


Fig. 11

Indice d'upwelling et PUE (février-juin 1985-1987) (a). Indice d'upwelling et PUE (juillet-octobre 1985-1987) (b).





En saison froide, la situation est inversée (fig. 11b). En effet, une anomalie négative du vent est à même de ralentir la progression des eaux canariennes et donc de maintenir plus longtemps accessibles les populations de chinchards dans la ZEE mauritanienne. Une anomalie positive, elle, accentue la progression des eaux froides, retarde le réchauffement des eaux et est donc susceptible de rendre plus longtemps inaccessibles les fortes concentrations de *Trachurus trecae* essentiellement.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Ainsi les rendements en chinchards de la pêcherie chalutière pélagique en ZEE mauritanienne sont fluctuants et sont liés aux migrations génésiques de *Trachurus trachurus* et *Trachurus trecae* l'un vers le sud de novembre à janvier et l'autre vers le nord en avril-mai.

Les captures de ces espèces se font surtout en périodes de transition pendant lesquelles les flottilles suivent ces concentrations. Les fluctuations climatiques, en modifiant le schéma de développement des périodes de transition, peuvent sensiblement modifier l'accessibilité de ces ressources aux flottilles en ZEE mauritanienne. Les données présentées indiquent qu'une saison chaude plutôt froide et une saison froide plutôt chaude sont susceptibles de maintenir plus longtemps accessibles en Mauritanie les stocks de chinchards partagés avec les pays limitrophes.

DISCUSSION

BINET : Pourquoi n'y a t-il pas d'upwelling devant le banc d'Arguin ?

JOSSE : C'est, semble-t-il, un problème de topographie de la côte et du talus continental. On peut vérifier cette absence d'upwelling par télédétection. En réalité, il y a un upwelling mais celui-ci est peu intense et se traduit par une bande d'eau froide, très mince qui apparaît au niveau de l'isobathe des 50 mètres.

GARCIA : Les concentrations des flottilles de pêche se rencontrent dans les zones à fort gradient thermique. Ces zones sont-elles des zones à capturabilité élevée ou des zones à biomasse élevée ou bien les deux à la fois ?

CHAVANCE : Les campagnes d'écho-intégration montrent que ce sont des zones où les biomasses se concentrent.

HERBLAND : Les zones à fort gradient sont des zones où productivités primaire et secondaire sont intensifiées.

FREON : Une meilleure exploitation des campagnes d'écho-intégration (distribution relative des espèces, distribution des tailles) permettrait de mieux cerner ces problèmes de concentrations de biomasse et de disponibilité.

CITEAU : Comment expliquez-vous le décalage entre le pic saisonnier de vent et le minimum saisonnier de température ?

ROY : Ce décalage est simplement le résultat de l'advection d'eaux froides en hiver. Quand un upwelling se développe en été, les eaux de surface côtières peuvent être à une température supérieure à celle rencontrée en hiver.

BIBLIOGRAPHIE

• Anonyme 1988. Rapport du groupe de travail CNROP/CRODT-ISRA sur les ressources pélagiques côtières. Nouadhibou, juin 1988 (mimeo)

• Arfi R. 1985. Variabilité interannuelle d'un indice d'intensité des remontées d'eau dans le secteur du cap Blanc (Mauritanie). Can. J. Aquat. Sci., 42: 1969-1978.

• Bernikov R.G. 1969. Variabilité saisonnière de température et de salinité dans la région du cap Blanc au port Saint-Louis. Trudy AtlantNIRO iss, XXII, p: 13-29.

• Boely T. et Fréon P. 1979. Les ressources pélagiques côtières. *In:* Troadec J.P. et Garcia S. (eds.). Les ressources halieutiques de l'Atlantique Centre-Est. Première partie: les ressources du Golfe de Guinée de l'Angola à la Mauritanie. FAO doc. tech. Pêches, 186(1): 13-78.

• Chabanne J. et Elwertowski J. 1973. Cartes des rendements de la pêche des poissons pélagiques sur le plateau continental nord ouest africain de 11°N à 26°N. C.R.O. Dakar Thiaroye, Doc. sci. prov., n°49.

• Chavance P., Josse E., Damiano A. et Lawal D. 1987. Description de l'activité des flottilles pélagiques industrielles en 1986 dans la ZEE mauritanienne. Bull. Centr. Nat. Rech. Océanogr. et des Pêches, Nouadhibou, 15(1): 113-138

• Chavance P. 1988. Description de l'activité des flottilles pélagiques industrielles en 1987 dans la ZEE mauritanienne. Bull. Centr. Nat. Rech. Océanogr. et des Pêches, Nouadhibou, 17: 1-29

• Coste B. et Minas H. 1982. Analyse des facteurs régissant la distribution des sels nutritifs dans la zone de remontées d'eau des côtes mauritaniennes. Oceanol. Acta, 5(3): 315-324.

• Elwertowski J. et Boely T. 1971. Répartition saisonnière des poissons pélagiques côtiers dans les eaux mauritaniennes et sénégalaises. Doc. sci. provis. Centr. Rech. Océanogr. Dakar Thiaroye ORSTOM, 32: 15p

• Garcia S. 1982. Distribution, migration and spawning of the main fish resources in the Northern CECAF area. COPACE/PACE series 82/25 9p., 11 cartes.

• Halpern D. 1977. Description of wind and of upper ocean current and temperature variations on the continental shelf off Northwest Africa during March and April 1974. J. Phys. Oceanogr, 7(3): 422- 430.

• Huntsman S.A. et Barber R.T. 1977. Primary production off North West Africa: the relationship to wind and nutrient conditions. Deep-Sea Res, 24: 25-33.

• Josse E. et Chavance P. 1987. Evaluation acoustique des ressources en poissons pélagiques et semi pélagiques de la région du plateau et du talus continental de la ZEE mauritanienne. Résultats de la campagne

ND8701P du N/O NDIAGO. 31 janvier-12 février 1987. Arch. Centr. Nat. Rech. Océanogr. et des Pêches, Nouadhibou, 17: 78 p

• Josse E. et Chavance P. 1988. Evaluation acoustique des ressources en poissons pélagiques et semi pélagiques de la région du plateau et du talus continental de la ZEE mauritanienne. Résultats de la campagne ND8710P du N/O NDIAGO. 26 octobre au 8 novembre 1987. Arch. Centr. Nat. Rech. Océanogr. et des Pêches, Nouadhibou, 26: 63 p

• Loktionov Y. 1988. Evolution de l'hydroclimat et les conditions hydrologiques dans la ZEE mauritanienne en 1979- 1987.Rapport du groupe de travail CNROP/CRODT-ISRA sur les ressources pélagiques côtières. Nouadhibou, 8-16 juin 1988 (mimeo): 55-73.

• Mittelstaedt E. 1983. The upwelling area off Northwest Africa: a description of phenomena related to coastal upwelling. Prog. Oceanogr, 12: 307-331.

• Ostvedt O. J. et Myklevoll S. 1975. Rapport sur le pêcherie pélagique norvégienne au large de la côte d'Afrique occidentale (1970-1973). FAO Rapp. Pêche, 158: 165-187

• Sedykh K. A. 1978. The coastal upwelling off Northwest Africa. Int. Counc. Explor.Sea. C. M. 1978/C:12, Hydrogr. Comm., 19p.

• Wooster W. S., Bakun A. et McLain D. R. 1976. The seasonal upwelling cycle along the Eastern boundary of the North Atlantic. J. Mar. Res., 34: 131-141.

20 • Variations saisonnières et interannuelles de la prise moyenne par calée dans la pêcherie sardinière dakaroise et possibilité d'utilisation comme indice d'abondance

RÉSUMÉ

La prise par unité d'effort et la prise moyenne par calée des senneurs dakarois ayant travaillé sur la Petite Côte du Sénégal de 1969 à 1987 ont été étudiées en utilisant des méthodes statistiques multivariées et d'analyse des séries chronologiques. La prise moyenne par calée est passée de 22 à 4 tonnes au cours de cette période. Ce phénomène pourrait correspondre à la fois à une diminution de la proportion des gros bancs dans le sous-stock exploité et à une réelle diminution de l'abondance totale. En réponse à ces changements, les pêcheurs modifient leur stratégie de pêche: ils consentent à capturer des bancs de plus en plus petits, au fur et à mesure que les gros bancs se raréfient. L'accroissement de l'effort de pêche et les variations d'intensité de l'upwelling semblent être responsables de cette situation. La possibilité d'utiliser la taille des calées comme un indice de la taille des bancs, voire comme un indice d'abondance, est envisagée.

ABSTRACT

The annual catch per unit of effort (c.p.u.e.) and mean catch per set of the seiners fishing along the Petite Côte off Senegal from 1969 to 1987 is studied using multivariate and time series analysis. The annual mean catch per set decreased from 22 to 4 metric tons during this period. This phenomenon may correspond both to a decrease in the proportion of large schools in the stock and to a real decrease of the overall abundance. As a response to these changes, fishermen modified their fishing strategy: they accepted to catch smaller and smaller schools since larger schools are less frequently found. The increase in fishing effort and the variation of upwelling strength seem to govern these changes. The possibility of using the mean catch per set as an index of school size and perhaps of abundance is considered.

PIERRE FRÉON

ORSTOM, Pôle Caraïbe, BP. 81, 97256 Fort-de-France Cedex, Martinique, France

INTRODUCTION

La pêche semi-industrielle dakaroise débuta en 1961 avec un senneur. Après une période d'apprentissage et de bas niveau d'effort de pêche, le nombre de bateaux s'est accru irrégulièrement, passant de deux unités en 1966 à 15-20 unités en 1985 (Boëly et Chabanne, 1975; Fréon *et al.*, 1978; Fréon, 1986). Ces dernières années, la flotte s'est considérablement réduite, essentiellement pour des raisons économiques (vieux bateaux, compétition avec la flottille artisanale, gestion, etc.).

La pêche artisanale est beaucoup plus ancienne, mais les captures de petits pélagiques côtiers ne sont devenues très importantes qu'à partir de 1972, avec l'introduction de la senne tournante sur les pirogues traditionnelles. (Fréon *et al.* ,1978). Cette pêcherie assure actuellement plus de 90% des débarquements.

Dans les deux pêcheries, qui concernent des fonds se chevauchant partiellement, on observe de grandes va-

riations de la prise par unité d'effort (p.u.e.) exprimée en prise par temps de recherche, et ceci aussi bien au niveau saisonnier qu'interannuel. Cela est dû essentiellement aux fluctuations de l'effort de pêche et aux changements dans l'environnement (Fréon, 1986, 1988). Dans la pêcherie industrielle, les prises par calée et les p.u.e. montrent les mêmes variations saisonnières et la même tendance décroissante au cours de la période d'observation (Fréon, 1986). Du fait que la prise par calée peut être considérée comme plus ou moins représentative de la taille des bancs, se pose la question suivante: la diminution des p.u.e. correspond-elle uniquement à une diminution de la taille des bancs ou aussi à celle de leur nombre ? Afin de tenter de répondre à cette question pour les stocks de *Sardinella spp.* du Sénégal, on a entrepris une analyse des biais que comportent les p.u.e. et la prise par calée en tant qu'indice d'abondance, en gardant à l'esprit l'influence que pourraient avoir les changements de comportement des poissons et des pêcheurs (c'est à dire changement dans le schéma d'agrégation ou changement de stratégie de pêche). La réponse à une telle question peut dicter le choix du meilleur indice d'abondance pour l'estimation du stock, pour son mode d'exploitation optimal (taille des engins et des embarcations) et pour sa gestion.

Les pêches sénégalaises pélagiques capturent essentiellement de jeunes *S. aurita* et *S. maderensis*, ainsi que des adultes appartenant à la première espèce ou à la famille des Carangidés. La durée moyenne des sorties est de 10 heures, au cours desquelles sont réalisées de zéro à trois «calées positives» (définies comme telles lorsqu'elles sont supérieures à 200 kg).

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Les données concernant la pêche industrielle ont été obtenues à partir d'entrevues journalières avec les pêcheurs à leur retour au port ou au site de débarquement. Pour la pêche industrielle, le taux d'échantillonnage est de l'ordre de 98% pour les captures et les efforts, sauf en 1973 où il était inférieur à 80%. Des données fiables et représentatives sont disponibles depuis 1969. Pour la pêche artisanale, le taux d'échantillonnage est de l'ordre de 80% pour la variable primaire d'effort (nombre de sorties) et d'environ 15% pour les variables secondaires d'effort (temps en mer, temps de recherche) et pour les captures. La série de données annuelles n'est continue qu'à partir de 1977 pour cette pêcherie. L'analyse des deux séries s'arrête en 1987, au début de l'effondrement de la pêche semi-industrielle. Dans ce document, seules les données de cette dernière pêcherie sont analysées, sauf en ce qui concerne la modélisation du sous-stock pour laquelle les captures totales des deux pêcheries sont considérées.

Chaque enregistrement correspond à une sortie en mer d'une embarcation (à l'exception de 1976, une seule zone de pêche était prospectée au cours d'une sortie dans plus de 95% des cas). Les prises individuelles par calée ne sont pas enregistrées dans le fichier, mais on dispose du nombre de total de calées et du nombre de calées positives. Ceci permet le calcul de divers indices de taille des bancs:

- la prise moyenne par nombre total de calées positives (p.t.c.p.); cet indice présente vraisemblablement les plus forts risques de sous-estimation de la taille des bancs en raison des possibilités de saturation des cales du bateau, en particulier lors de l'embarquement de la dernière calée;
- la prise moyenne par nombre de calées positives, sélectionnées pour les sorties ne comportant qu'une calée positive (p.c.p.s.1). La proportion des calées positives réalisées dans de telles conditions est de 37% sur l'ensemble des données. A l'exception des très grands bancs, cet indice élimine l'effet de saturation. Il peut en revanche sous-estimer la proportion des petits bancs;
- la prise moyenne par nombre de calées positives, sélectionnées pour les sorties ne comportant qu'une calée positive (comme précédemment) et pour les autres sorties lorsque les débarquements sont de moins de 20 tonnes, soit nettement inférieurs à la capacité de charge du bateau (p.c.p.s.2). Cet indice a été retenu pour limiter le risque de sous-estimation ci-dessus mentionné. Le tableau 1 présente les données disponibles.

Tableau 1

Données analysées pour la pêche semi-industrielle dakaroise de 1969 à 1987.

caractéristiques des calées	Nombre de calées	Nombre de visites
Une calée positive/sortie	15 419	15 419
Plus d'une calée positive/sortie	26 276	11 672
Total calées positives	41 695	27 091
Calées nulles	14 684	7 980
Total calées	56 379	35 071

La prise par temps de recherche ou la prise par temps total de pêche (temps de recherche plus temps de capture) sont considérées comme les meilleurs indices d'abondance pour ces pêcheries, bien que n'étant pas totalement exempts de biais (Fréon, 1980).

Les autres données enregistrées sont: date, identification du bateau, temps total en mer, incidents, zone de pêche (bandes de 20 minutes de latitude combinées à des tranches bathymétriques), estimation des débarquements par espèce et par catégorie commerciale, état de la mer d'après le capitaine. Les données météorologiques de la station de l'aéroport de Dakar-Yoff sont également disponibles. La tranche horaire de capture a été enregistrée depuis 1975. La phase lunaire a été calculée ainsi qu'un indice d'intensité lumineuse nocturne sous la surface prenant en compte la réfraction et la surface du disque lunaire (la couverture nuageuse, souvent très réduite en mer au Sénégal, n'a pas été prise en compte).

Du fait que les variables précédentes peuvent être pour la plupart directement ou indirectement reliées à la prise moyenne par calée (taille du bateau, allocation spatiale et temporelle de l'effort de pêche, etc) des analyses multivariées ont été pratiquées sur l'ensemble des données. Ces données ont été codées afin d'obtenir un tableau disjonctif complet; puis une analyse factorielle a été pratiquée sur le tableau de Burt (Benzecri, 1973).

RÉSULTATS

Analyse générale des données

A partir des analyses multivariées (non présentées), il est évident que certains changements significatifs ont eu lieu dans la pêcherie au cours de la période étudiée. Les indices d'abondance et de taille des bancs montrent une forte diminution (cf. infra). La taille moyenne des bateaux, après pondération par leur nombre respectif de sorties, n'a pas changé considérablement (valeurs moyennes annuelles extrêmes: 22,53 m en 1983 et 20,15 m en 1986). Cependant, l'intervalle de taille des bateaux en activité était beaucoup plus grand dans les années 1980, en raison de l'arrivée dans la pêcherie de petites unités (15-16 m) armées par le gouvernement. L'état de la mer a varié considérablement d'une année à l'autre. Selon les pêcheurs, il était très mauvais en 1976 et de 1979 à 1986. Malheureusement, ces données ne sont pas toujours cohérentes entre unités de pêche ayant travaillé à la même heure dans la même zone de pêche. Nous avons préféré retenir les données de la station météorologique qui ne présentent pas de caractère subjectif et qui semblent représentatives de la situation en mer. La zone de pêche était légèrement plus étendue vers le sud mais concernait moins les zones profondes par rapport à la pêche de ces dernières années. En comparaison avec la période historique, les années récentes montrent aussi une augmentation de la proportion des pêches de jour. La proportion des espèces capturées a changé d'année en année, sans tendance très nette, si ce n'est une diminution des jeunes *S. aurita* au profit des jeunes *S. maderensis* jusqu'en 1984, et une diminution de toutes les autres espèces de saison chaude (principalement *Pomadasys spp.*, *Chloroscombrus chrysurus* et *Ethmalosa fimbriata*). La proportion des espèces de saison froide (principalement *Caranx rhonchus*, *Scomber japonicus*, *Trachurus trecae* et les adultes de *S. aurita*) présente des fluctuations sans tendance très marquée (fig. 1).

Bien que l'analyse factorielle reste essentiellement une méthode descriptive qualitative, elle n'indique aucune influence notable des changements à long terme ci-dessus décrits sur les indices annuels d'abondance et de taille des bancs. La seule exception concerne, dans une certaine mesure, l'influence de la taille moyenne des bateaux. La faible influence de la taille des bateaux et des engins sur les p.u.e. avait été mentionnée dans un travail antérieur ne prenant en compte que les données de 1977 (Fréon, 1980). En utilisant l'ensemble du jeu de données, l'introduction récente des petites unités de pêche est sensible sur certaines variables, en particulier la prise par calée. En conséquence, les analyses suivantes ne concernent que les bateaux de taille moyenne (18 à 23 m) qui ont toujours représenté le gros de la flottille, sauf depuis ces dernières années. Par chance, un très vieux bateau a continué à travailler durant toute la période étudiée, et ses données, lorsqu'elles sont traitées séparément, procurent des figures similaires à celles obtenues avec l'ensemble de la flottille.

Analyse des p.u.e.

Les p.u.e. de la pêche semi-industrielle montrent de grandes variations saisonnières et interannuelles, dues pour l'essentiel aux deux principales espèces de Clupéidés: *S. aurita* et *S. maderensis* (fig. 2 et 3) qui représentent respectivement 47 % et 31 % des captures sur l'ensemble de la période étudiée. De telles variations ont déjà été expliquées par:

- l'augmentation de l'effort de pêche au cours de la période considérée;
- les variations interannuelles de l'intensité des vents au cours de la saison d'upwelling (fig. 4);
- les variations saisonnières de l'upwelling associées aux migrations et/ou aux variations saisonnières d'abondance.

A partir de ces observations, un modèle global de production incorporant l'effet de l'upwelling a été proposé (Fréon, 1988 et présent volume).

Analyse des indices de taille des bancs

Les prises par calée (fig. 5) et les p.u.e. (fig. 3) montrent des tendances similaires, que l'on considère les p.t.c.p. (qui passent de 22 à 4 tonnes; non présenté), les p.c.p.s.1 ou les p.c.p.s.2.. Du fait que la p.u.e. est le produit de la prise moyenne par calée par le nombre moyen de calées (n) divisé par l'effort de pêche (f) (p.u.e. = p.t.c.p. $*$ n / f), il est normal que le nombre de calées positives par temps total de pêche ne montre pas de changement important au cours de la période d'observation. Seul un léger accroissement de cette valeur est noté à partir de 1970 (fig. 6). L'interprétation des figures concernant uniquement *S. maderensis* est plus délicate car cette espèce est moins abondante et souvent mélangée à *S. aurita* au sein d'un même banc (cf. infra).

Lorsque l'on étudie l'évolution de ce même nombre de calées par temps total de pêche pour chaque classe de poids de calée prise séparément, il apparaît que la tendance décroissante des p.u.e. et des prises par calées est due à la fois à un accroissement de l'occurrence des captures de petits bancs (moins de 10 tonnes) et à la diminution de celle des bancs de taille moyenne ou grosse (plus de 10 tonnes, fig. 6).

La variation saisonnière des prises par calées est, encore une fois, reliée à celle des p.u.e. (fig. 2). Une nette opposition entre les deux espèces de sardinelles peut être observée: *S. aurita* est plus abondante au cours de la saison froide et forme alors de gros bancs d'octobre à juin, tandis que les plus gros bancs de *S. maderensis* sont observés entre juin et septembre. Une telle opposition reflète la complémentarité des stratégies démo-

Fig. 1

Proportion (en pourcentage) des principales espèces dans les débarquements de la pêche semi-industrielle dakaroise de 1969 à 1987.

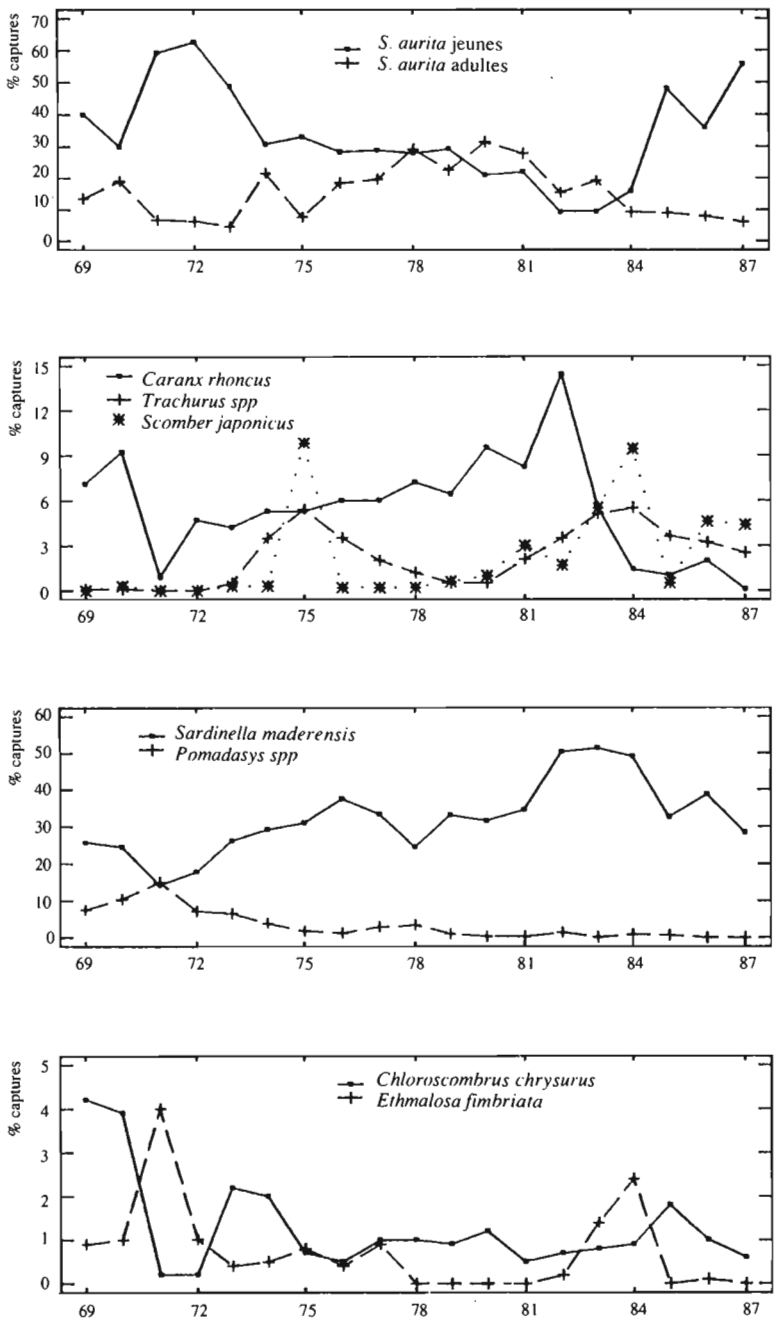


Fig. 2

Variations saisonnières de la prise moyenne par calées (p.t.c.p.) et de la prise par temps de recherche (p.u.e.) de *Sardinella aurita* et *S. maderensis*, à partir des observations réalisées de 1969 à 1987.

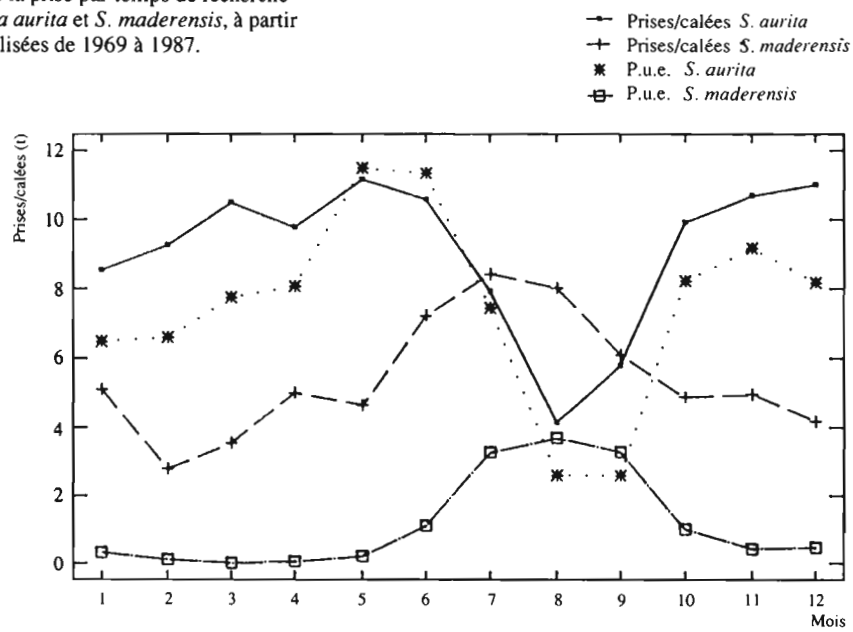


Fig. 3

Variations interannuelles de p.u.e. des senneurs de tailles moyenne de 1969 à 1987.

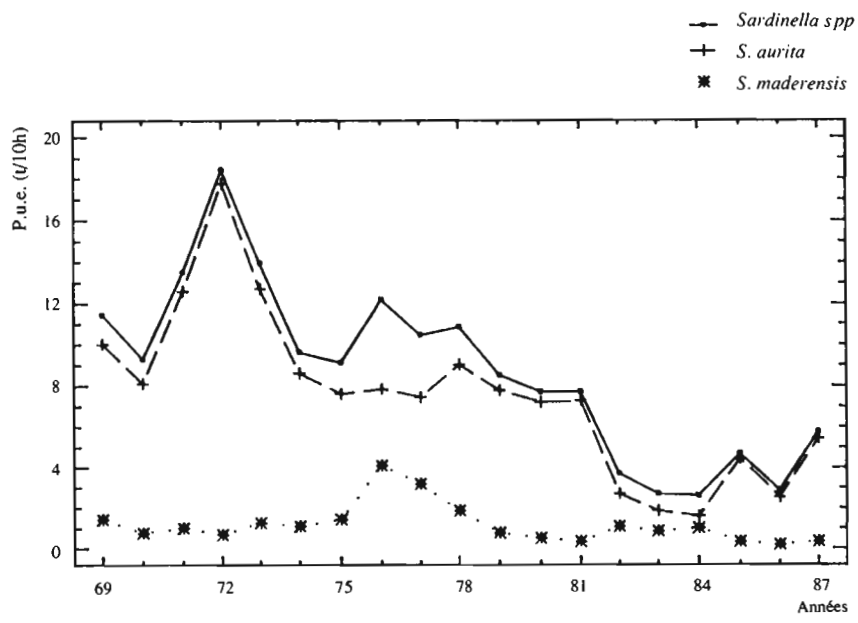


Fig. 4

Indice d'upwelling de 1968 à 1987: vitesse moyenne du vent à Dakar-Yoff de novembre (année i-1) à mai (année i). Source: Météorologie Nationale du Sénégal.

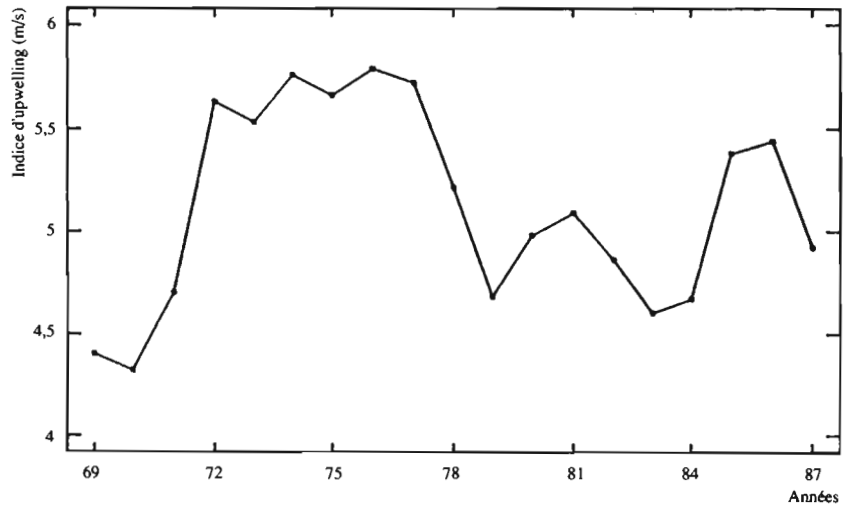


Fig. 5

Variations interannuelles de la prise par calée p.c.p.s.2 (voir texte) de *Sardinella aurita* et *S. maderensis* (1969-1987).

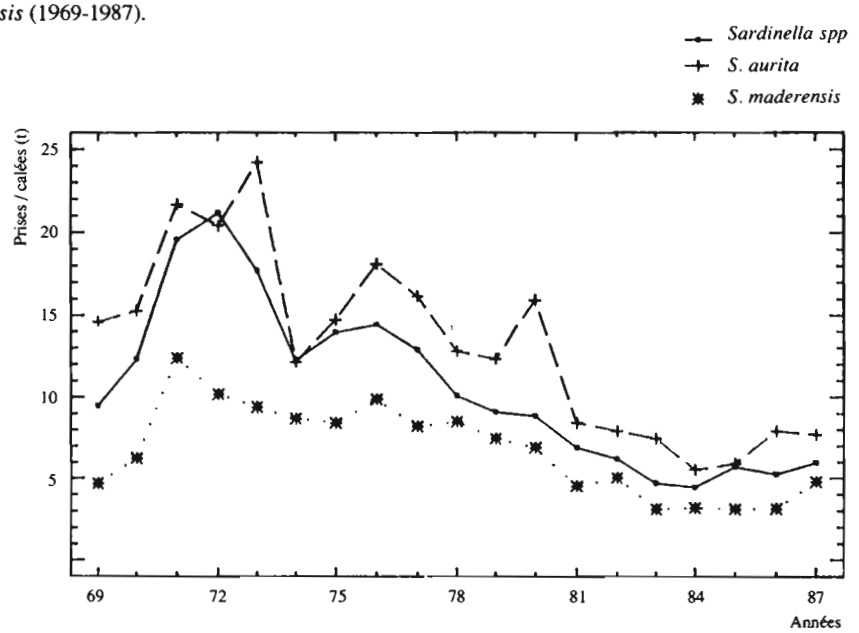
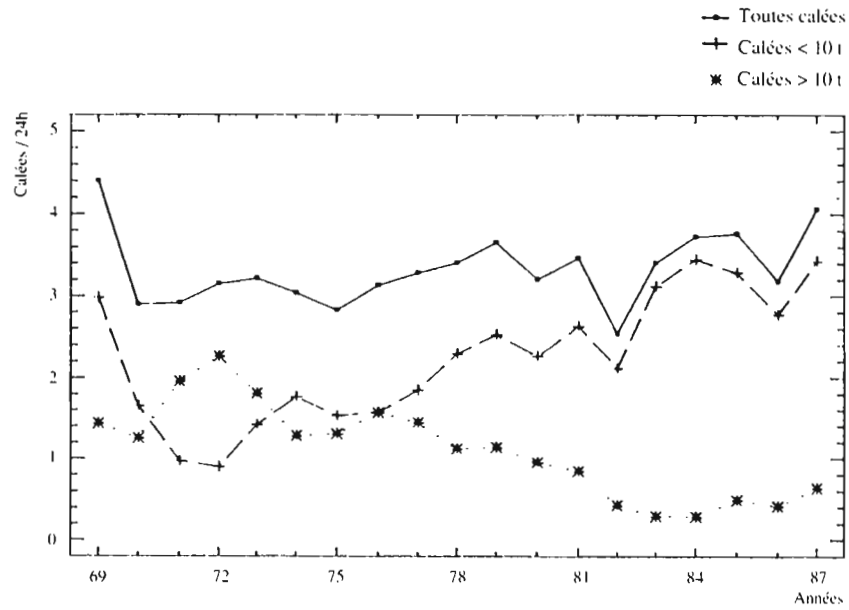


Fig. 6

Nombre de calées de *Sardinella spp* réalisées par 24 h de recherche par les sardiniers de taille moyenne (1969-1987).



graphiques développées par ces deux espèces afin de limiter leur compétition. A ce propos, Cury et Fontana (1988) ont souligné les différences dans les stratégies de reproduction de ces deux espèces qui ont des régimes alimentaires voisins. Cependant, la compétition ne semble pas complètement évitée puisque les deux espèces se retrouvent souvent mélangées dans la même calée et probablement dans le même banc (Fréon, 1984), en particulier en saison chaude lorsque sont capturés les jeunes reproducteurs (tab. 2).

DISCUSSION

Plusieurs facteurs peuvent affecter les prises moyennes par calée enregistrées par un senneur:

- la taille du filet et la capacité de charge du bateau qui, toutes deux, peuvent conduire à une sous-estimation de la taille des bancs;
- la décision du pêcheur de lancer ou non son filet, en fonction de sa propre estimation de la taille du banc (pour les petits bancs) et de son espoir de rencontrer de plus gros bancs;
- la distribution réelle de la taille des bancs sur les lieux de pêche (notre hypothèse de travail). Les changements de taille ou de forme des bancs en fonction d'un rythme nycthéméral, de la présence de prédateur et des conditions d'environnement, en particulier de la densité des proies, sont bien décrites (Kemmerer, 1980; Blaxter et Hunter, 1982; Pitcher, 1986). L'influence de la pression de pêche est, elle, plus controversée (Nonoda, 1985).

Tableau 2

Demi-tableau de Burt montrant la co-occurrence des deux espèces de sardinelle dans la même calée en fonction de leur classe de longueur (catégories commerciales correspondant à des tailles croissantes indiquées par les pêcheurs, de I à VIII).

Espèces	*Sardinella aurita*								*Sardinella maderensis*						
Taille	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII
S. I	88														
II	0	86													
a III	0	4	476												
u IV	0	1	4	2608											
r V	1	2	0	5	3314										
i VI	0	0	0	0	5	305									
t VII	0	0	1	8	2	0	3258								
a VIII	0	0	0	0	0	0	0	136							
S. I	42	5	10	9	6	0	0	0	89						
m II	0	45	13	45	2	0	2	0	0	113					
a III	36	11	210	164	175	4	3	3	4	3	641				
d IV	2	14	108	1746	1487	50	132	44	2	0	7	4724			
e V	0	2	9	110	1083	77	375	26	0	0	5	10	2103		
r VI	0	0	0	5	34	63	7	0	0	0	5	6	11	121	
VII	0	0	0	6	4	0	99	0	0	0	0	0	0	0	120

Il est évident que les petits senneurs sénégalais ne sont pas capables d'encercler ni d'embarquer l'ensemble des individus constituant les très gros bancs au-delà d'un certain seuil (variant de 40 à 100 tonnes selon la taille du bateau et suivant l'état de la mer). Cependant, dans la région considérée et pour les espèces concernées, on sait grâce aux résultats des campagnes d'hydro-acoustique que la taille moyenne des bancs est de l'ordre de 10 tonnes et que les bancs de plus de 40 tonnes sont rares (Gerlotto *et al.*, 1976). Dans cet article, on essaie d'analyser les changements concernant les tailles des bancs de taille moyenne ou petite, pour lesquels l'effet de saturation ne joue pas un rôle majeur.

Lorsque l'on considère les sorties durant lesquelles une seule calée positive a été réalisée, on s'affranchit davantage du problème de saturation. En conséquence, les valeurs moyennes de prise par calées sont supérieures à celles obtenues sans sélection des sorties, et les différences entre bateaux de longueurs différentes sont moins marquées.

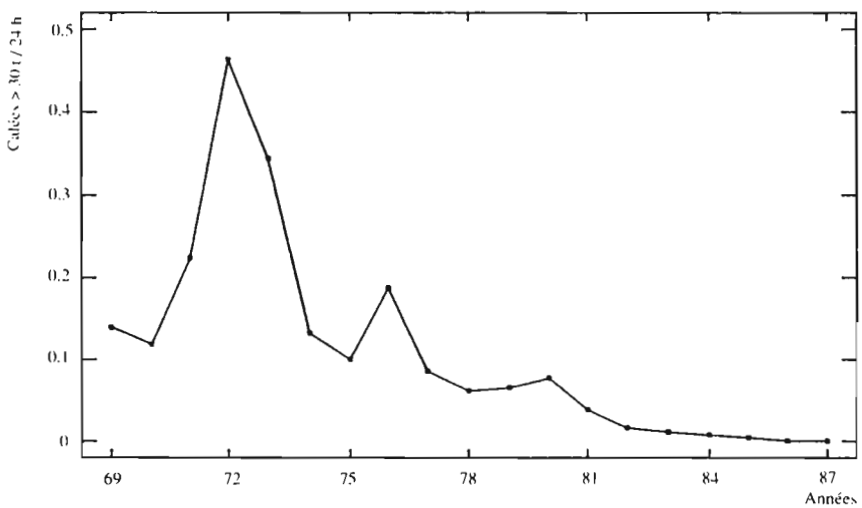
La stratégie des pêcheurs peut changer en fonction de l'abondance du poisson et éventuellement de sa valeur marchande (les faibles changements inter-annuels des prix relatifs des différentes espèces au Sénégal permettent d'écarter cette hypothèse). Pour le premier lancer de filet de la sortie, le pêcheur néglige souvent les bancs de petite taille et ne s'y intéresse que lorsque l'abondance sur les lieux de pêche est faible, et donc les espoirs de meilleure capture limités. Ce phénomène semble responsable de l'augmentation de l'occurrence des prises par calée inférieures à 10 tonnes de 1972 à 1987 (fig. 6). Au cours de cette période, la conjonction d'un effort de pêche élevé et d'une diminution de l'upwelling a réduit l'abondance. Le problème est alors de discriminer l'influence de l'effet de changement de stratégie du pêcheur de celui d'un possible effet direct de l'environnement ou de la pression de pêche sur la taille des bancs présents sur les lieux de pêche.

Une autre façon d'aborder le problème consiste à étudier l'évolution de l'occurrence des grosses calées. En ne sélectionnant que les sorties présentant une seule calée positive, on s'affranchit non seulement du problème de saturation mais on enlève aussi l'éventuelle influence du comportement du pêcheur: en effet, quelle que soit la situation, un pêcheur ne négligera jamais les gros bancs. Les résultats montrent clairement que l'occurrence des bancs de plus de 30 tonnes décroît notablement au cours de la période 1972-85 (fig. 7) lorsque l'on sélectionne ce type de sorties (pour les deux dernières années, les observations concernant ce type de sortie des bateaux de longueur moyenne, sont trop peu nombreuses pour être interprétées).

Les valeurs relativement élevées d'occurrence des petites prises par calée de 1969 et 1970 sont particulièrement intéressantes (fig. 6). En effet la situation n'était pas similaire à celle du milieu des années soixante-dix, et cependant des valeurs identiques de prise par calée ont été relevées: l'upwelling était alors à son minimum d'intensité et la pression de pêche était plus faible. La faible intensité de l'upwelling semble donc être l'évé-

Fig. 7

Nombre de calées de *Sardinella spp* supérieures à 30 tonnes, réalisées par 24 h de recherche par les sardiniers de taille moyenne (1969-1987).



nement majeur expliquant la relative abondance des petits bancs à cette époque. Une étude comparative des anomalies de p.u.e., prises par calée et indices d'upwelling a été réalisée, près avoir retiré l'auto-corrélation de la série en utilisant les résidus d'un modèle ARIMA (Box et Jenkins, 1976). L'étude des fonctions de cross-corrélation indique une relation décalée (de 2 à 14 mois selon la période de l'année considérée) entre les séries d'upwelling et celles de prise par calée (non présentée).

Finalement, il semble que la taille des bancs soit à la fois influencée par les fluctuations de l'environnement et par celles du taux d'exploitation. Les changements de stratégie des pêcheurs, en réaction à ces fluctuations, surestiment la diminution de la taille moyenne des bancs lorsque l'on utilise la prise par calée comme indice de cette taille. Cela tient au fait que les pêcheurs acceptent de capturer des bancs de plus en plus petits lorsque l'abondance diminue. Cependant, utilisée avec précaution, la prise par calée peut constituer un bon indice, non seulement de la taille des bancs, mais peut-être aussi de l'abondance, si on l'associe à l'analyse du nombre de bancs par classe de taille détectés par unité de temps. Les plus petites classes de taille de bancs doivent être éliminées des calculs et une attention particulière doit être portée aux éventuels changements survenus dans la pêcherie (engins de pêche et de détection, taille des bateaux, allocation de l'effort de pêche à différentes échelles spatio-temporelles, évolution du marché, etc). Dans le cas de la pêcherie sénégalaise par exemple, on vérifie que les changements survenus dans la proportion entre efforts de jour et de nuit n'interviennent pas de façon prépondérante dans les variations interannuelles des prises par calée.

En utilisant comme indice d'abondance de *Sardinella spp* la p.c.p.s.2, calculée après élimination des calées inférieures à deux tonnes, un modèle de production global prenant en compte l'influence de l'upwelling (Fréon, présent volume) a été ajusté de façon satisfaisante et permet d'expliquer 95% de la variabilité dans la série historique (fig. 8). L'indice d'effort de pêche est dans ce cas proportionnel au nombre de calées positives. Il indique une évolution de l'effort plus réaliste que celle obtenue en divisant la prise totale par la p.u.e.. Cependant, avant d'adopter définitivement ce nouvel indice d'abondance, il sera nécessaire d'effectuer d'autres études, aussi bien sur la pêche artisanale sénégalaise (qui semble présenter un schéma différent d'évolution des prises par calée) que sur d'autres pêcheries.

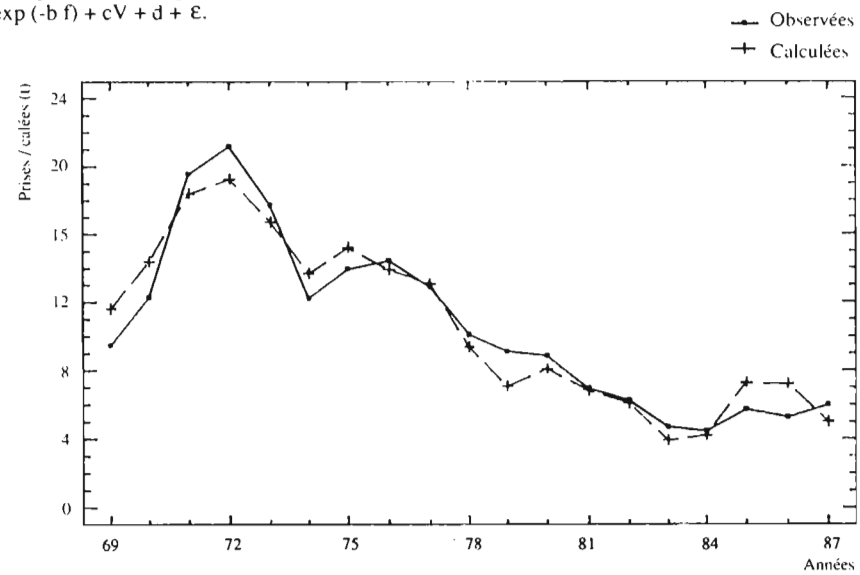
CONCLUSION

Dans les pêcheries sénégalaises, la prise par calée présente de grande variations, aussi bien au niveau saisonnier qu'à plus long terme. Celles-ci semblent liées principalement à des variations de la taille des bancs, amplifiées par le changement de stratégie des pêcheurs en ce qui concerne les petits bancs.

Pour les pêcheries à la senne tournante, le temps de

Fig. 8

Prises par calée (p.c.p.s.2 > 2 t; voir texte) de *Sardinella spp* observées et calculées par un modèle global de production prenant en compte l'effort de pêche (f) et l'indice moyen d'upwelling sur deux ans (V): $p.c.p.s.2 = a.\exp(-b\,f) + cV + d + \varepsilon$.



recherche est habituellement considéré comme étant la meilleure unité d'effort de pêche servant à calculer des indices d'abondance (p.u.e.). Cependant, l'utilisation de tels indices peut introduire un biais dans les évaluations de stocks, en particulier pour les stocks de petits pélagiques côtiers pour lesquels une réduction de l'aire de distribution est souvent observée. L'analyse de la prise moyenne par calée et du nombre de calée par temps de pêche ne résout pas totalement tous les problèmes, mais représente un complément d'information intéressant pour l'évaluation des stocks. De plus, la distribution de la taille des bancs est une donnée importante pour la gestion d'une pêcherie (taille des engins et capacité des bateaux en particulier).

REMERCIEMENTS

Ce travail n'a été réalisable que grâce à l'existence d'un programme à long terme de collecte et de traitement des données de pêche conduit par le Centre Océanographique de Dakar-Thiaroye (CRODT/ISRA) au Sénégal. Je remercie plus particulièrement Ibrahima Sow qui de longue date s'occupe de cette base de données.

NOTE

This paper was presented in English at the International Symposium on the Long-Term Variability of Pelagic Fish Population and their Environment. 14-17 Nov. 1989, Sendai, Japan. Pergamon Press (under press). Cet article a fait l'objet d'une communication en anglais au Symposium International sur les variations à long terme des populations pélagiques et de leur environnement. 14-17 Nov. 1989, Sendai, Japon. Pergamon Press ed. (sous presse).

BIBLIOGRAPHIE

• Benzecri, J.P. 1973. L'analyse des données. Dunod, Paris.

• Blaxter, J.H.S., Hunter J.R. 1982. The biology of the clupeoid fishes. Academic Press, Advances in Marine Biology, 20: 1-223.

• Boëly, T. Chabanne J. 1975. Les poissons pélagiques côtiers au Sénégal. La pêche sardinière à Dakar; état actuel et perspectives. Bull. Inst. Fond. Afr. Noire, 37: 859-886.

• Box G.E.P., Jenkins G.M, 1976. Time Series Analysis, Forecasting and Control, second edition. San Francisco: Holden-Day.

• Cury, P., Fontana A. 1988. Compétition et stratégies démographiques comparées de deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) des côtes ouest-africaines. Aquat. Living Resour., 1: 165-180.

• Fréon, P. 1980. Choix d'une unité d'effort de pêche pour les flottilles sardinières semi-industrielles et artisanales du Sénégal. Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, 1: 1-35.

• Fréon, P. 1984. La variabilité des tailles individuelles à l'intérieur des cohortes et des bancs de poissons; I: observations et interprétation. Oceanologica Acta, 7: 457-468.

• Fréon, P. 1986. Réponses et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'Ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation: analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. ORSTOM, Paris: 287p.

• Fréon, P. 1988. Introduction of environmental variables into global production models. *In*: T. Wyatt and M.G. Larrañeta, eds Int. Symp. Long. Term Changes Mar. Fish Pop., Vigo, (Spain) . pp 481-528.

• Fréon, P., B. Stéquert , Boëly 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: 209-228.

• Gerlotto, F., B. Stéquert, V. Le Philippe et Fréon P. 1976. Répartition et abondance des poissons pélagiques côtiers du plateau continental sénégambien évalués par écho-intégration en avril-mai 1976 (campagne CAP 7605). Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 62: 1-58.

• Kemmerer, A.J. 1980. Environmental preferences and behaviour patterns of Gulf menhaden (*Brevoortia patronus*) inferred from fishing and remotely sensed data. *In*: J.E. Bardach, J.J. Magnuson, R.C. May, eds, Fish behaviour and its use in the capture and culture of fishes , 5, pp.345-370. ICLARM Conference Proceedings, Manilla.

• Nonoda, T. 1985. On the Differences Between Anchovy Fishing and Sardine Fishing by Patti-Ami. Bull. Fac. Fish., Mie Univ., 12: 79-89.

• Pitcher, T.J. 1986. The behaviour of teleost fishes. Croom Helm. London.

21 • Some aspects of the sardinella fishery in Ghana

KWAME ABU KORANTENG
Fisheries Department, Research and Utilization Branch, Tema, Ghana

ABSTRACT

Two main species of sardinellas, namely *Sardinella aurita* and *S. maderensis*, are found in the Western Gulf of Guinea especially off Ghana and Ivory Coast. The fishery has a long history in Ghana and is extremely important both socially and economically. Early investigations have shown that the fishery, which is mainly artisanal, especially in Ghana, is influenced by climatic and oceanographic conditions. After unusually high catch, especially of the *S.aurita*, in 1972, yields from the sardinella fishery have been very variable and highly unpredictable. This has been of great concern to fishermen and fisheries scientists and is now clearly evident that research effort needs to be stepped up especially as regards the stock-environment relationship and possibly to be able to predict the future availability of the fish.

RÉSUMÉ

Les deux principales espèces de sardinelles, Sardinella aurita et Sardinella maderensis, sont localisées à l'ouest du golfe de Guinée particulièrement au large du Ghana et de la Côte-d'Ivoire. Leur pêche qui a une longue histoire au Ghana est socio-économiquement très importante. Des enquêtes historiques ont indiqué que la pêche, qui est principalement artisanale au Ghana, est influencée par les conditions climatiques et océanographiques. Après une très importante prise de S. aurita lors de l'année 1972, les apports de la pêche de sardinelles ont été très variables et non prédictibles. Cette situation a été d'un grand impact pour les pêcheurs. L'effort de recherche pour cette pêcherie en terme de relations stock-environnement doit être soutenu afin de pouvoir éventuellement faire des prédictions sur le devenir de ces stocks.

INTRODUCTION

The round sardinella, *Sardinella aurita* and the flat sardinella, *Sardinella maderensis* are the two main species of sardinellas found in the Western Gulf of Guinea statistical division of the Fishery Committee for the Eastern Central Atlantic (CECAF). This division which encompasses Ivory Coast, Ghana, Togo and Benin has one stock of *S. aurita* (FRU/ORSTOM, 1976). The sardinella fishery is seasonal. *S. aurita*, for example, is most abundant during the period of the major coastal upwelling (July-September) although the juveniles are fished throughout the year, mainly by beach seiners and, to some extent, by poli operators. The adults are fished during the two fishing seasons, i.e. July to September (main) and for about three weeks only in January/February (minor). *S. maderensis* on the other hand, being more tolerant to changes in salinity and temperature than *S. aurita*, (Muta, 1964; Oren and Ofori-

Adu, 1973) is around for most months of the year.
In this paper, a brief history of the sardinella fishery in Ghana is given. Also the gears employed in the fishery are described, and the evolution of catches, efforts and CPUE (Catch Per Unit of Effort) examined.

A BRIEF HISTORY OF THE FISHERY IN GHANA

Sardinella fishery in Ghana has a long history. Before the introduction of the purse seine gear and motorized fishing in Ghana, the sardinella fishery in Ghana which was localized in waters off Accra and Sekondi-Takoradi (Lawson and Kwei, 1974) was dominated by the use of beach seines. The beach seine and the ali nets were the traditional fishing gears for catching sardinellas. Ali fishing dates as far back as about 1850 (Lawson and Kwei, 1974).
Kwei (1964) noted that *Sardinella aurita*, accounting for over 50 % of yearly landings of marine fish, was the most exploited fish in Ghanaian marine waters in the sixties. Sardinellas, especially the *S. aurita*, form the socio-economic resource base for many rural fishing communities (Kwei, 1988).
In the early 1970s, sardinella stocks were thought to be the greatest potential resources in the whole of the Gulf of Guinea (Ansa-Emmim, 1973). Between 1963 and 1971, production from the fishery varied between 3 900 and 36 000 metric tons per annum providing the Ghanaian population with some 20 000 tons (average) of fish annually. This was consumed locally, and the sardinella fishery was regarded to be a very potential and consistent source of input for the new fish cannery at the Tema Food Complex Corporation. Even before this period the Fisheries Department, soon after it was established in 1946, had set up a pilot cannery and fishmeal plant (Ocran, 1973). The aim of the pilot cannery, according to the above author, was to conduct trials into the canning of sardinella and mackerel. A similar attempt was made at Tema by the Russians in 1961.
Then came 1972 fishing season when Ghana alone harvested over 90 000 tons of both species of sardinellas. After this unusually high catch, especially of the *S. aurita*, this species virtually vanished from the catches in 1973. In recent years, catches of these species, especially of the round sardinella, have been highly variable and most unpredictable. The resources appear to have dwindled and showed signs of complete collapse in some years.

DESCRIPTION OF THE CURRENT FISHERY

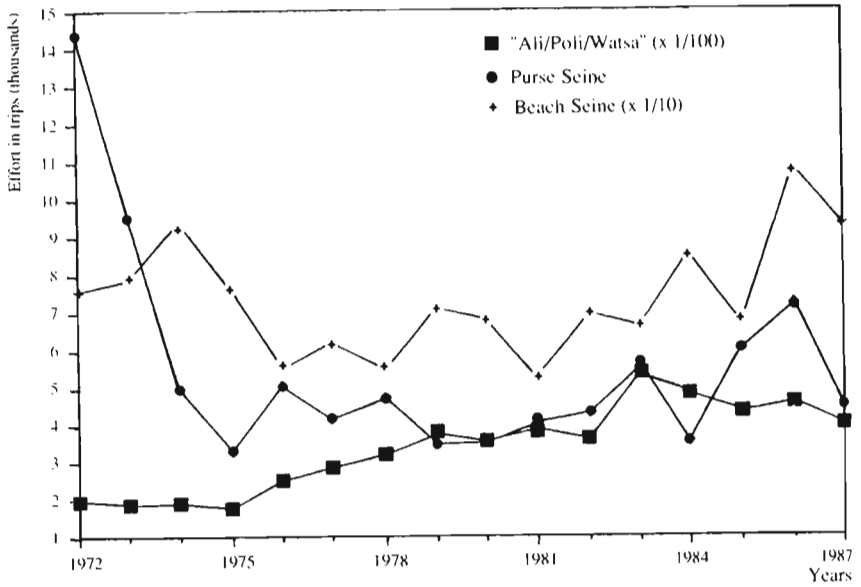
Gears used in the fishery

The sardinella fishery in Ghana today is characterized by the use of various types of gears. The main gears used are "poli", "ali", "watsa", and beach seine in the artisanal sector, and purse seine and, to a very limited extent, trawl in the industrial and semi-industrial fleets.
In the artisanal sector, the traditional fishing craft is the dug-out canoe and the fishing gears in use are the beach seine, poli, ali and watsa. Doyi (1984), gives elaborate descriptions and operations of these gears.
Usually, the beach seine net used in Ghana has a bunt which forms a bag during operation. The gear is operated during daylight hours only and almost all year round.
The poli and watsa are purse seine nets which are operated from large dug-out canoes. The poli net is used throughout the year, to catch sardinellas during the sardinella season and anchovies (*Engraulis encrasicolus*) and other pelagic species after the sardinella season. The ali net on the other hand, is a drifting gill net. It is also used throughout the year, but most especially before the onset and towards the end of the sardinella season when the fish are not shoaling. The ali net is used mainly during the night to catch both *S. aurita* and *S. maderensis*. The sizes of the meshes in these gears are as follows: beach seine, 10-20 mm in the bunt; poli, 10 mm; watsa, 50-60 mm (originally; smaller meshes are now in use) and ali, 40-50 mm.
The inshore or semi-industrial fleet which is made up of trawler/purse seiners, also exploits sardinellas using purse seine nets. These vessels are built locally and measure between 8 and 37 m long. The purse seine net used on these vessels is similar in construction to the poli gear used on the canoes; however, it has larger twines and larger meshes of around 25 mm. When sea surface temperatures are not sufficiently low (26°C and below), the sardinellas remain close to the bottom of the sea where they become more vulnerable to the trawling gear (Kwei, 1988).
The industrial fleet of very large vessels, are mainly trawlers and thus catch only small quantities of sardinellas in Ghanaian waters. The artisanal fleet is, by far, the largest exploiter of sardinellas in Ghanaian waters. The poli, for example, which is the main gear used in the artisanal sector for catching sardinellas, contributed about 70 % of all sardinellas caught in Ghanaian waters in the last five years.
Figure 1 shows the evolution of efforts, since 1972, of each of the main gears used in the sardinella fishery. In Ghanaian statistics, catch and effort for the poli, ali and watsa gears are considered together because they are operated from the same type of canoe. The canoe is the primary sampling unit in Ghanaian catch assessment surveys.

Yearly fluctuation in abundance, catch and CPUE

Sardinella resources in the Western Gulf of Guinea, like most pelagic resources, experience large fluctuations in abundance. The amount of sardinellas, especially, *S. aurita* available to the fisherman appears to determine the annual production (catch) from the fishery. The amount of available fish (abundance), on the other hand, depends on a number of factors, the most important of these being the coastal upwelling (Pople and Mensah, 1971; FRU/ORSTOM, 1976; Ofori-Adu, 1978; Cury and Roy, 1987), rainfall (Oren and Ofori-Adu, 1973; Binet, 1982) and recruitment (FRU/ORSTOM, 1976).

Fig. 1
Evolution of fishing efforts of sardinella fleets between 1972 and 1987.



There are corresponding yearly fluctuations in catch and catch per unit of effort (CPUE). It is believed, however, that in Ghanaian waters, fluctuations in CPUE depict the fluctuations in abundance (CECAF, 1988).
In table 1 and figure 2 are presented annual catches of the two sardinella species in Ghana. Due to technical problems of species identification (Zei, 1969) data for *S. aurita* before 1971, include *S. maderensis*.
Presented in tables 2 and 3 are annual CPUE values (1972-1987) for *S. aurita* and *S. maderensis* respectively for the three main categories of gears used in the sardinella fishery. The annual CPUE values were calculated from :

$$\text{annual CPUE} = \frac{\sum_{1}^{12} \text{monthly CPUE}}{12}$$

where effort is the number of operations (or trips) made in the month and catch is in tonnes.
In view of the importance of beach seine catches with regard to recruitment, monthly CPUE values for both *S. aurita* and *S. maderensis*, for the period 1972-1987, were obtained and the mean value for each month, over the 16 years period was computed. These values were plotted against months in figure 3.
Beach seine annual CPUE for the two species, also for the period 1972 to 1987 are shown in figure 4. Also shown in this figure, is a graph of upwelling index. This index is obtained by multiplying the number of fortnights with sea surface temperatures (SST) less than 26°C by the difference between 26°C and the mean SST during these periods (FRU/ORSTOM, 1976). The index, thus takes into consideration the period and intensity of the upwelling.

RESEARCH

Research into the biology and fishery of sardinellas, especially the *S. aurita*, has been of primary concern in Ghana. Work in this direction, eventually, led to the establishment of the Fishery Research Unit at Tema in 1962. After a brief period of inactive work, research in this area has been re-activated.

Biomass

The biomass has been an important aspect of the work on the species. The potential yield of the resource was estimated to be not exceeding 49 000 tons annually (FRU/ORSTOM, 1976).
Recent acoustic surveys by *RV Dr Fridtjof Nansen* (Stromme, 1983) and *RV Cornide de Saavedra* (Oliver *et al.*, 1986), quote a combined biomass of the two sardinellas and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in Ghanaian waters as 40 000 and 74 000 tons respectively.

Fig. 2
Trend in landings of sardinellas (1963-1987).

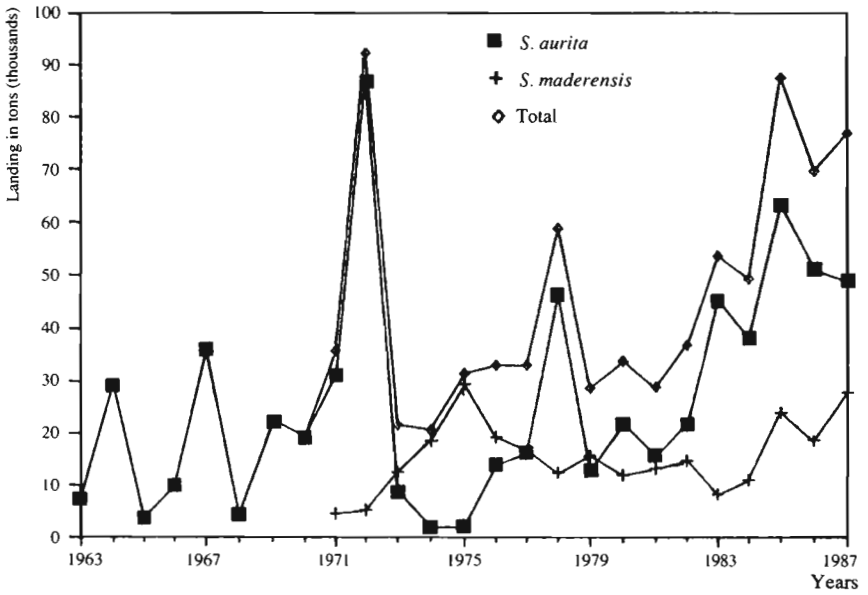


Fig. 3
Monthly CPUE of the sardinellas in the beach seine
(1972-1987 average).

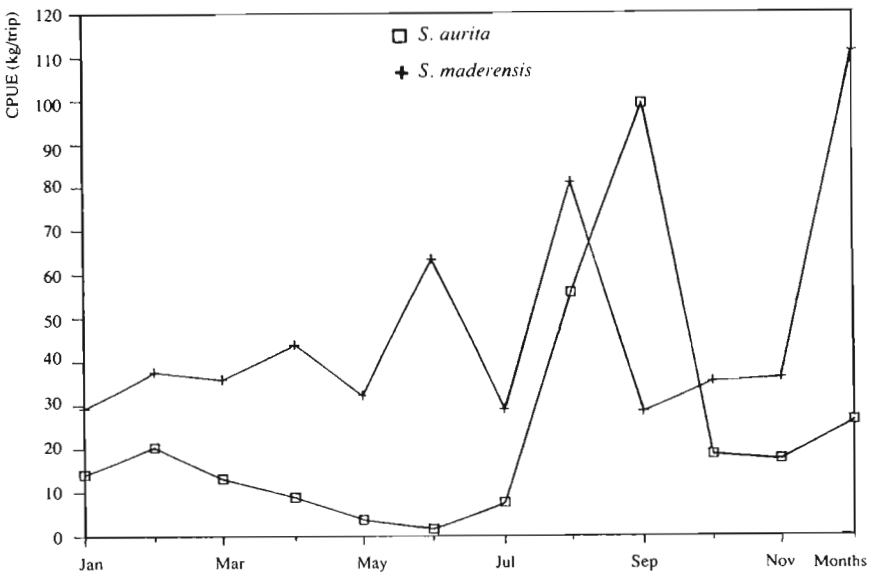
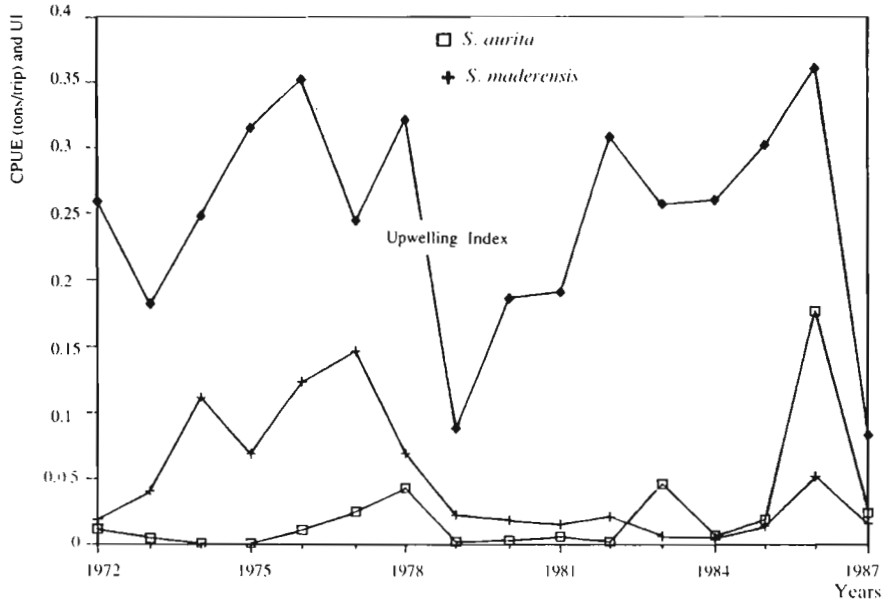


Fig. 4

CPUE of the two sardinellas in beach seines and upwelling index (U.I.).



Recruitment

The problem of recruitment has not yet been satisfactorily solved. Stock-recruitment relationship in the context of the coastal upwelling, has been examined (Oren and Ofori-Adu, 1973; FRU/ORSTOM, 1976; Binet, 1982; Cury and Roy, 1987), however there have not been any conclusive results from the work done so far.

Table 4, 5 and 6 gives an intuitive deduction from a series of discussions held by Mrs Bard (of CRO, Abidjan) and Mensah and the author (of FRU, Tema) on the question of upwelling, recruitment and year-class abundance in the fishery. It was assumed here that:

- a good upwelling enhances spawning and increases the chances of good recruitment;
- length frequencies are indicative of year-class abundance.

Migration

The migration pattern of *S. aurita* has been studied in detail (Kwei, 1964; Knudsen, 1971; Ansa-Emmim, 1976). The model proposed by Ansa-Emmim and discussed in FRU/ORSTOM (1976) indicates that one stock of *S. aurita* exists off Ghana-Ivory Coast. The bulk of the stock rests off central Ghana and at the onset of the fishing season the fish migrate towards the shores of Ivory Coast and western Ghana. They turn eastwards as they hit the coast and continue in this direction to Togo and probably Benin. The fish that are not caught return to their resting grounds towards the end of the season.

This model still holds although recent evidence and discussions point to some departure from this pattern of migration as well as doubts as to whether one or more separate stocks of the round sardinella exist off Ivory Coast-Ghana. At the last Working Group on sardinellas and other pelagic species held in Abidjan in 1987, this issue was discussed at length.

Effective fishing effort and the problem of modelling

In view of the multiplicity of fishing gears used in the industry; and these have varied efficiencies, it has been very difficult to obtain an effective fishing effort which could be used for modelling.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The sardinella fishery in Ghana, which has a very long history is quite obviously, a very important one. It is a target fishery both at the artisanal and semi-industrial levels. The perturbations in abundance and catch rates, however, adversely affect the livelihood of the fishermen.

The unusually high catch of *S. aurita* in 1972 was due primarily, to the fact that the fish was most available that year. The reason for the abundance that season is still not very well understood but the poor catches in the ensuing seasons have been attributed to over-fishing

Table 1

Total annual landings of *S. aurita* and *S. maderensis* in Ghana, 1962-1988.

Years	*S. aurita*	*S. maderensis*	Total *Sardinellas*
1963	7460		7460
1964	29430		29430
1965	3900		3900
1966	10000		10000
1967	36200		36200
1968	4300		4300
1969	22500		22500
1970	19500		19500
1971	31216	4626	35842
1972	87066	5263	92329
1973	8988	12582	21570
1974	2032	18622	20654
1975	2066	29472	31538
1976	13803	19209	33012
1977	16366	16732	33098
1978	46374	12368	58742
1979	12844	15857	28701
1980	21894	11955	33849
1981	15596	13304	28900
1982	21985	14877	36862
1983	45324	8279	53603
1984	38215	11110	49325
1985	63501	24060	87561
1986	50998	18721	69719
1987	48886	28025	76911
1988	65000	10000	75000

Note: 1988 is estimated from data already obtained from january to august. Until about 1971, the two species were combined in the statistics.

Table 2

CPUE (in tonnes/trip) of *S. aurita* obtained from the main gears used in the fishery.

	Ali/Poli/Watsa	Beach Seine	Purse Seine
1972	0.981	0.012	0.766
1973	0.017	0.005	0.072
1974	0.007	0.001	0.021
1975	0.003	0.001	0.026
1976	0.051	0.011	0.241
1977	0.021	0.025	0.263
1978	0.129	0.043	0.505
1979	0.025	0.002	0.334
1980	0.048	0.003	0.438
1981	0.021	0.006	0.325
1982	0.035	0.002	0.502
1983	0.059	0.046	0.534
1984	0.047	0.007	0.324
1985	0.139	0.019	0.622
1986	0.053	0.177	0.238
1987	0.109	0.024	0.305

Table 3

CPUE (in tonnes/trip) of *S. maderensis* obtained from the main gears used in the fishery.

	Ali/Poli/Watsa	Beach Seine	Purse Seine
1972	0.015	0.019	0.047
1973	0.040	0.041	0.870
1974	0.028	0.112	0.206
1975	0.075	0.069	0.277
1976	0.042	0.124	0.274
1977	0.019	0.147	0.407
1978	0.022	0.069	0.273
1979	0.025	0.022	0.460
1980	0.028	0.018	0.174
1981	0.028	0.015	0.141
1982	0.035	0.021	0.164
1983	0.013	0.006	0.129
1984	0.019	0.005	0.265
1985	0.049	0.014	0.171
1986	0.026	0.052	0.173
1987	0.059	0.016	0.254

Table 4

CPUE (tonnes/trip) of *S.aurita* caught by Beach seines. 1972-1987.

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1972	0.021	0	0.01	0.013	0	0	0.033	0.041	0.015	0.003	0.001	0.003
1973	0.001	0	0.001	0.002	0.003	0	0	0.004	0.012	0	0.001	0.031
1974	0.002	0.002	0	0	0	0.003	0.002	0	0	0	0.001	0
1975	0	0	0.005	0.004	0	0.001	0	0	0	0	0.001	0
1976	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.027	0	0.099
1977	0.02	0.014	0	0.001	0	0	0	0	0.001	0.16	0.072	0.037
1978	0.1	0.138	0.034	0.012	0	0	0.031	0.021	0.008	0	0.118	0.044
1979	0	0	0.007	0.007	0.005	0	0	0	0	0	0.006	0
1980	0.01	0.005	0.003	0	0.003	0	0	0.004	0.002	0.008	0	0
1981	0.001	0.019	0	0.014	0.025	0	0	0	0.012	0	0.002	0
1982	0.009	0.001	0.005	0.004	0.004	0	0	0.002	0.001	0.002	0.004	0
1983	0.001	0.032	0.001	0	0	0	0	0.33	0.1	0	0	0.091
1984	0.017	0	0	0	0	0	0	0	0	0.056	0.005	0
1985	0.001	0.037	0	0.049	0.014	0.001	0.029	0.065	0.016	0	0.019	0
1986	0.006	0.032	0.134	0.033	0	0	0.003	0.347	1.399	0.022	0.043	0.107
1987	0.036	0.046	0.011	0.004	0.006	0.02	0.025	0.081	0.025	0.019	0.007	0.01

Table 5

CPUE (tonnes/trip) of *S. maderensis* caught by Beach seines. 1972-1987.

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1972	0.008	0.017	0.04	0.013	0	0.006	0.048	0.057	0.023	0.018	0.003	0
1973	0	0.004	0.047	0.031	0.056	0.065	0.042	0.044	0.017	0.028	0.083	0.069
1974	0.03	0.058	0.022	0.051	0.016	0.076	0.042	0.12	0.016	0.035	0.098	0.782
1975	0.023	0.071	0.051	0.034	0.037	0.112	0.027	0.04	0.037	0.135	0.156	0.107
1976	0.066	0.134	0.21	0.255	0.068	0.112	0.125	0.161	0.149	0.098	0.039	0.073
1977	0.125	0.133	0.061	0.111	0.034	0.497	0.034	0.157	0.185	0.124	0.084	0.223
1978	0.005	0.066	0.013	0.023	0.209	0.058	0	0.026	0.005	0.058	0	0.367
1979	0.02	0.033	0.02	0.049	0.009	0.004	0.016	0.01	0.005	0.018	0.002	0.077
1980	0.023	0.004	0.036	0.028	0.015	0.013	0.015	0.075	0	0	0	0.003
1981	0.039	0.004	0.007	0.012	0.01	0.01	0.001	0.031	0.01	0	0	0.055
1982	0.022	0.024	0.027	0.039	0.011	0.009	0.015	0.05	0.002	0.009	0.045	0.004
1983	0.039	0	0	0.006	0	0	0.005	0	0	0	0.016	0.011
1984	0.03	0	0.001	0.014	0.007	0.001	0.001	0	0	0.006	0.003	0
1985	0.003	0.021	0.02	0.005	0.019	0.013	0.023	0	0	0.016	0.041	0.006
1986	0.004	0.016	0	0.012	0.005	0.021	0.049	0.512	0.004	0.005	0	0.001
1987	0.033	0.018	0.019	0.02	0.019	0.017	0.021	0.015	0.003	0.016	0.011	0.005

(FRU/ORSTOM, 1976) and anomalous climatic conditions in 1973 (Mendelssohn and Cury, 1987).

It is very obvious from the unpredictable fluctuations in abundance, especially of the *S. aurita*, that the fishery is not as well understood as was once thought. For example, it may be inferred from table 4 that the minor upwelling appears to have assumed much greater importance in the fishery than previously thought.

The estimation of the biomass of the sardinellas has always been something of a problem. It is hard, for example, to reconcile the high total catches since 1983 (Mensah and Koranteng, 1988) with the low biomass recorded in both the *Dr Fridtjof Nansen* and *Cornide de Saavedra* surveys. One can only surmise that the timing of the surveys and the fact that the shallow water belt (0-10m) of the continental shelf not being covered in both surveys to be some of the possible reasons for this disparity.

At the moment it is extremely difficult to make any kind of meaningful prediction about the future of the fishery. On one hand one may be tempted to conjecture that the immediate future of the fishery appears to be gloomy. However, if one recalls some of the most difficult times of the fishery, for example in 1973 and 1974, then one is led to desist from making such a statement. Obviously, though, it appears that the level of research on the sardinella resources in the Gulf of Guinea must be raised.

Table 6

Upwelling strengh, recruitment and year-class abundance in the *S. aurita* fishery in Ghana and Côte-d'Ivoire. A very good upwelling, recruitment or year-class is indicated by three stars. For 1986, 1987 and 1988, the upper symbols are for the major upwelling and the lower ones are for the minor upwelling.

Curent year			Abundance in the Ghanaian fishery			Abundance in the Ivorian fishery		
Upwelling		Recruitment						
			0+	1+	2+	0+	1+	2+
1984	***	***	*	**	**		**	**
1985	***	***	*	**	**		**	**
1986	***	***	**					
	***	***	***	*	*		*	**
1987	***	*	*	**				
	0	0	*	**	**		*	**
1988	*	*	*	*	**	*?	*	*
	**	**	**	**?	**	?	?	?

DISCUSSION

DIAW: Y a-t-il une compétition entre les flottes artisanales et les flottes industrielles au Ghana ?

KORANTENG: Oui. Comme au Sénégal, il y a une compétition pour la ressource et le marché.

DIAW: Pourquoi certaines années la relation intensité de l'upwelling-taille du stock ne fonctionne-t-elle apparemment plus ?

KORANTENG: Nous pensons que lorsque le stock est effondré la réponse du stock aux fluctuations environnementales est d'une nature différente et peut être régie par d'autres facteurs que l'enrichissement trophique du milieu.

DIAW: Serait-il possible d'appliquer une répartition de l'effort de pêche entre les flottilles artisanales et industrielles sur le littoral ghanéen en tenant compte de l'espace ?

KORANTENG: Je ne pense pas. Le plateau continental est en effet réduit et permettrait difficilement son partage entre les différentes flottilles exploitant cette ressource.

BINET: A-t-on observé des changements dans la composition et l'abondance du plancton, parallèlement aux changements observés dans le rythme saisonnier des pluies ?

KORANTENG: Apparemment non. On a cependant constaté qu'il y avait moins de plancton lorsque les saisons sont anormales mais les variations saisonnières restent, semble-t-il, inchangées.

MARCHAL: Y a-t-il, au Ghana, un seul stock de sardinelles ?

KORANTENG: On ne peut pas, à l'heure actuelle, répondre à cette question. Certaines études (analyse spatiale des PUE, étude des biomasses par écho-intégration..) pourraient permettre de constater s'il existe une ségrégation spatiale.

MARCHAL: Concernant les estimations de biomasse réalisées par le N.O. *Fridjof Nansen*, il faut être prudent. En juillet-août les sardinelles sont en surface, les bancs sont alors mal échantillonnés par écho-intégration. Il serait préférable de planifier une campagne pendant une période où les sardinelles sont près du fond pour éviter ce genre de biais.

DIAW: A-t-on observé des migrations de pêcheurs simultanément à celles des sardinelles ?

KORANTENG: Les pêcheurs suivent les migrations

des sardinelles vers l'est, souvent jusqu'au Togo. A l'heure actuelle, ils se déplacent moins car l'utilisation des moteurs hors-bord leur permet d'atteindre des zones de pêche éloignées sans déplacer leur base à terre.

BINET: Y-a-t-il eu des changements dans les variations saisonnières de PUE ?

KORANTENG: On observe un décalage d'environ un mois dans le pic de PUE.

GARCIA: Etant donné qu'il y a pour chaque stock une ou deux générations par an, les variations saisonnières de PUE et les variations du rythme saisonnier d'une année sur l'autre sont difficiles à interpréter sans une connaissance de la démographie, de la composition en taille ou en âge (en particulier parce que les différents types de pêche peuvent changer de stratégie d'une année sur l'autre et même parfois d'un mois sur l'autre).

BIBLIOGRAPHY

• Ansa-Emmim, M. 1976. Tagging experiments in Ghana (mimeo).

• Ansa-Emmim, M. 1973. Pelagic fisheries. In The Ghana fishing industry. Proc. symp. on the fishing industry in Ghana, Tema May 4-5, p 42-46.

• Binet, D. 1982. Influence des variations climatiques sur la pêcherie des *Sardinella aurita* ivoiro-ghanéennes: relation sécheresse-surpêche. Oceanol. Acta, 5: 443-452

• CECAF. 1988. Report of the Technical Consultation on Small Pelagic Species of the Western Gulf of Guinea Statistical Division. CECAF/TECH/88/89

• Cury, P. and C. Roy. 1987. Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de Côte d'Ivoire: une approche globale. Oceanol. Acta, 10 (3): 347-357.

• Doyi, Ben A. 1984. Catalogue of small-scale fishing gear of Ghana. CECAF/ECAF SERIES 84/31(En).

• FRU/ORSTOM. 1976. Rapport du groupe de travail sur la sardinelle (*S. aurita*) des côtes ivoiro-ghanéennes, Abidjan 28 Juin-2 Juillet, 1976.

• Knudsen, H. 1971. Determination of mortalities of Sardinella stocks in Ghanaian waters from tagging experiments and length distributions (mimeo)

• Kwei, E. A. 1964. Migration of *Sardinella aurita* (Cuv. et Val.) Ghana J. Sci., 4(1): 34-43

• Kwei, E. A. 1988. Animals with particular reference to fisheries. 29th anniversary lectures; Ghana Academy of Arts and Sciences, Accra 21-25th November, 1988.

• Lawson, R. M. and Kwei, E. A. 1974. African entrepreneurship and economic growth: A case study of the fishing industry of Ghana. Ghana Universities Press, Accra, 262 p.

• Mensah, M. A. and Koranteng, K. A. 1988. A review of the oceanography and fisheries resources in the coastal waters of Ghana, 1981-1986. Mar. Fish. Res. Rep. N° 8, Fishery Research Unit, Tema, 35p.

• Mendelssohn, R. and Cury, P. 1987. Fluctuations of a fortnightly abundance index of the Ivoirian coastal pelagic species and associated environmental conditions Can J. Fish. Aquat. Sci., 44(2): 408-421.

• Muta, K. 1964. Report on the biological survey of the sardine (*Sardinella aurita*) I. Technical Work (mimeo).

• Ocran, R. K. N. 1973. Impact of the fishing industry on the national economy In The Ghana fishing industry, Proc Symp. Tema May 4-5, 1972. p 8-14

• Ofori-Adu, D. W. 1978. The occurrence of thermoclines on the shelf of Ghana and the significance of thermocline depth variations to the surface schooling fishes. Mar. Fish. Res. Rep. 5: 50p Fishery Research Unit, Tema.

• Oren, O. H. and Ofori-Adu, D. W. 1973. The sardine fishery and the coastal hydrography of Ghana, 1968-1969. Inf. Rep. N°. 10 Fishery Research Unit, Tema.

• Oliver, P.; Miquel, J. and Crespo, J. 1986. Preliminary report on the survey carried out by the «R/V Cornide de Saavedra» in the Gulf of Guinea (Division 34.3.4) in 1986. Inst. Espanol de Oceanografia.

• Pople, W. and Mensah, M. A. 1971. Evaporation as the upwelling mechanism in Ghanaian coastal waters. Nat. Physical Sci., 234 (44): 18-20.

• Stromme, T. 1983. Final report of the «R/V Dr Fridtjof Nansen» fish resources surveys off West Africa from Agadir to Ghana. May 1981-March 1982. CECAF/ECAF Series 84/29 (En)

• Zei, M. 1969. Sardines and related species of the Eastern Tropical Atlantic. Proc symp. on the Oceanog. and Fish. Resources of the Tropical Atlantic, UNESCO, Paris.

22 • Influence possible de la température sur les disponibilités locales et les déplacements de sardines du stock central marocain

SOUAD KIFANI et FRANCIS GOHIN
IFREMER, Centre de Brest, DERO-AT, B.P.70, 29280 Plouzané, France

RÉSUMÉ

La population centrale de sardines (cap Cantin - cap Juby) constitue le principal stock exploité par les flottilles marocaines basées à Safi, Essaouira, Agadir et Tan Tan depuis 1981. Le coeur de ce stock est localisé entre Sidi Ifni et le cap Juby. Au printemps ou en début d'été, sous l'influence des conditions hydroclimatiques entre le cap Cantin et le cap Ghir, une portion de ce stock migre vers cette région où elle est exploitée par les sardiniers de Safi, Essaouira et Agadir. Du fait de la faible autonomie de ces flottilles, l'exploitation de la sardine dépend de la disponibilité du poisson dans leur zone d'action. La cause de ces migrations est souvent attribuée à des raisons trophiques. L'upwelling entre le cap Cantin et le cap Ghir induit une eutrophisation de cette zone vers laquelle se déplacent les sardines. Cependant, l'effet possible de la température de l'eau sur le comportement migratoire des sardines n'est pas évident. A la lumière des résultats d'observations, à l'aide de données SST et de vents, de l'évolution du milieu au cours des années 1986 et 1987 et de l'analyse des données mensuelles de pêche (captures), des arguments sont avancés pour mettre en évidence le rôle probable joué par la température dans la modification de la répartition spatio-temporelle de la disponibilité. L'année 1987 étant plus chaude que 1986, du printemps à l'automne, selon l'hypothèse formulée, les sardines migrent plus intensément vers les poches d'eaux froides du nord. Ceci se traduit par des captures de Safi et Essaouira plus importantes en 1987, la disponibilité ayant augmenté dans la zone d'action des pêcheurs locaux.

ABSTRACT

The central sardine population (located between Cape Cantin and Cape Juby) is the main stock exploited by the Moroccan fleet based in Safi, Essaouira, Agadir and Tan Tan since 1981. The heart of this stock is located between Sidi Ifni and Cape Juby. During spring or at the beginning of summer, under the hydro-climatic conditions between Cape Cantin and Cape Ghir, a portion of this stock migrates towards this region and is then exploited by the seiners of Safi, Essaouira and Agadir. Due to the weak autonomy of these fleets, sardine exploitation depends on fish availability. These migrations are attributed to trophic reasons. The upwelling between Cape Cantin and Cape Ghir induces an eutrophisation of the area towards which sardines are moving. However, the possible effect of sea surface temperatures on sardine migratory behaviour is not obvious. Using sea surface temperature, wind data, evolution of the ecosystem between 1986 and 1987 and monthly mean fish statistics, some arguments are proposed to illustrate the effect of temperature on spatial and temporal fish availability. The year 1987 was warmer than 1986, during spring through autumn, according to the previous hypothesis, sardine migrates more intensely toward the North cold areas. As a consequence the catch in Safi and Essaouira are more important in 1987 due to an increase in fish availability.

INTRODUCTION

Parmi les espèces pélagiques colonisant la région d'upwelling marocaine, les clupéidés constituent l'un des principaux groupes. De nombreux travaux biologiques (Furnestin et Furnestin, 1970; Biaz, 1978; Belvèze, 1984) ont révélé l'existence de trois populations de sardines *(Sardina pilchardus* Walb.). La première est située entre le cap Spartel et Larache, une population saharienne s'étend du cap Bojador au cap Blanc de Mauritanie et, entre les deux, existe une troisième population séparée des deux autres par deux solutions de continuité variables selon la saison. Cette dernière s'étend du cap Cantin au cap Juby et forme une unité de stock animée d'une dynamique spatio-temporelle à plus ou moins grande échelle. Ce stock se concentre en automne-hiver entre Sidi Ifni et le cap Juby où s'effectue la reproduction.

La sardine représente la principale espèce pélagique capturée dans les quatre grands ports atlantiques marocains (Safi, Essaouira, Agadir et Tan Tan) exploitant la population centrale (fig.1). Jusqu'en 1982, l'activité des senneurs marocains se limitait à la zone comprise entre Safi et la baie d'Agadir: zone A (COPACE, 1978). La diminution des rendements depuis une dizaine d'années, notamment à Safi, a conduit au report d'une partie de l'effort de pêche vers le sud (Tan Tan): zone B (COPACE, 1978). La pêcherie traditionnelle est en effet tributaire du quota saisonnier qui migre annuellement à partir du sud.

En 1987, on a assisté à une reprise des débarquements sardiniers à Safi, mais les prises relativement modestes enregistrées à Agadir, pour la même année, ne permettent pas de penser que cette reprise soit due à une augmentation de la population globale. Nous pencherons donc vers l'hypothèse d'une autre répartition de la disponibilité. De nombreux travaux, effectués sur ce stock instable, ont mis l'accent sur les relations plus ou moins directes existant entre les systèmes physique et biologique (Furnestin, 1953 ; Belvèze, 1971 ; Belvèze *et al*, 1983; Belvèze, 1984). C'est dans les fluctuations du milieu, suivant en cela les hypothèses des auteurs précités, que nous allons rechercher l'origine de cette évolution.

ENVIRONNEMENT HYDROCLIMATIQUE

Le littoral est-atlantique de 28°N à 33°N est inclus géographiquement dans le secteur d'oscillations saisonnières du système anticyclonique de l'Atlantique nord. Cet anticyclone est centré sur les Açores en été. Il perd en latitude tout en s'affaiblissant à la fin de l'automne. Il se localise alors au niveau des îles Canaries. Le balancement de ce système détermine celui des vents de secteur Nord-Est (alizés) qu'il engendre. Les alizés prennent naissance au-delà de 36°N en été et au sud du cap Juby en hiver. La contribution de ce régime éolien dans la dynamique des eaux de cette région est le phénomène d'upwelling qui anime la quasi-totalité des eaux du plateau continental nord-ouest africain. L'expression «upwelling» fait référence aux remontées d'eaux froides d'origine profonde se produisant sous l'action mécanique du vent soufflant parallèlement à la côte. les eaux résurgentes sont riches en sels minéraux, s'épuisant au fur et à mesure de leur extension vers le large.

Répartition des upwellings

Ces remontées varient dans le temps mais également dans l'espace en fonction de l'orientation de la côte et de la topographie des fonds marins. Ainsi, dans le secteur de côte compris entre le cap Cantin et le cap Juby, l'upwelling se manifeste, en moyenne, entre le cap Cantin et le cap Ghir d'une part et entre Sidi Ifni et le cap Juby d'autre part. Ces deux zones de résurgences présentent toutefois des différences dans la distribution de leurs structures hydrologiques.

Du sud de la baie d'Agadir jusqu'au cap Juby, le plateau continental est relativement étendu. Les eaux de remontée n'apparaissent qu'épisodiquement en surface (Grall *et al*, 1974), Le Corre et Treguer (1976) et Minas *et al* (1982) ont mis en évidence trois strates hydrologiques correspondant à différents niveaux de production. La strate superficielle, peu épaisse, pauvre en sels minéraux et en pigments chlorophylliens, présente des températures élevées. La strate intermédiaire montre un fort gradient en température et en sels nutritifs et correspond au maximum de teneur en chlorophylle. Enfin, la couche la plus profonde forme, sur le plateau continental, des poches d'eaux froides à concentrations élevées en sels minéraux mais pauvres en chlorophylle. Les fortes teneurs observées à ce niveau sont le résultat d'un recyclage permanent des sels nutritifs (fig.2).

Par ailleurs, dans le secteur cap Sim-cap Ghir, l'upwelling est tributaire, parallèlement au régime général des alizés, des vents locaux de la région du cap Ghir. Ces derniers provoquent un phénomène de pulsations augmentant la force et la variabilité des vents dans ce secteur (Richebe, 1980; Belvèze, 1984). L'impact de ces vents se traduit par une périodicité de l'upwelling et de la stratification. Contrairement à celles de l'upwelling du sud, les eaux de remontée atteignent la surface et la stratification verticale est homogène (fig.3).

Bien que les eaux de remontée soient, au niveau des deux zones, des Eaux Centrales Nord Atlantiques (ECNA), les phénomènes de pulsations (au nord) et de régénération (au sud) les placent à un niveau de production photosynthétique très important.

FLUCTUATIONS HYDROCLIMATIQUES OBSERVÉES EN 1986 ET 1987 ET IMPACT SUR LES CAPTURES

Evolution des structures thermiques

Nous avons effectué un suivi de l'évolution des structures hydrologiques dans la zone 21°N-36°N au cours des années 1986 et 1987. Les moyens utilisés sont les données issues du satellite météorologique NOAA 9 qui proviennent du Centre de Météorologie Spatiale de Lannion. Ces données sont calibrées avec les tempéra-

Fig. 1

Situation géographique des localités ou des caps de la côte nord-ouest africaine mentionnés dans le texte.

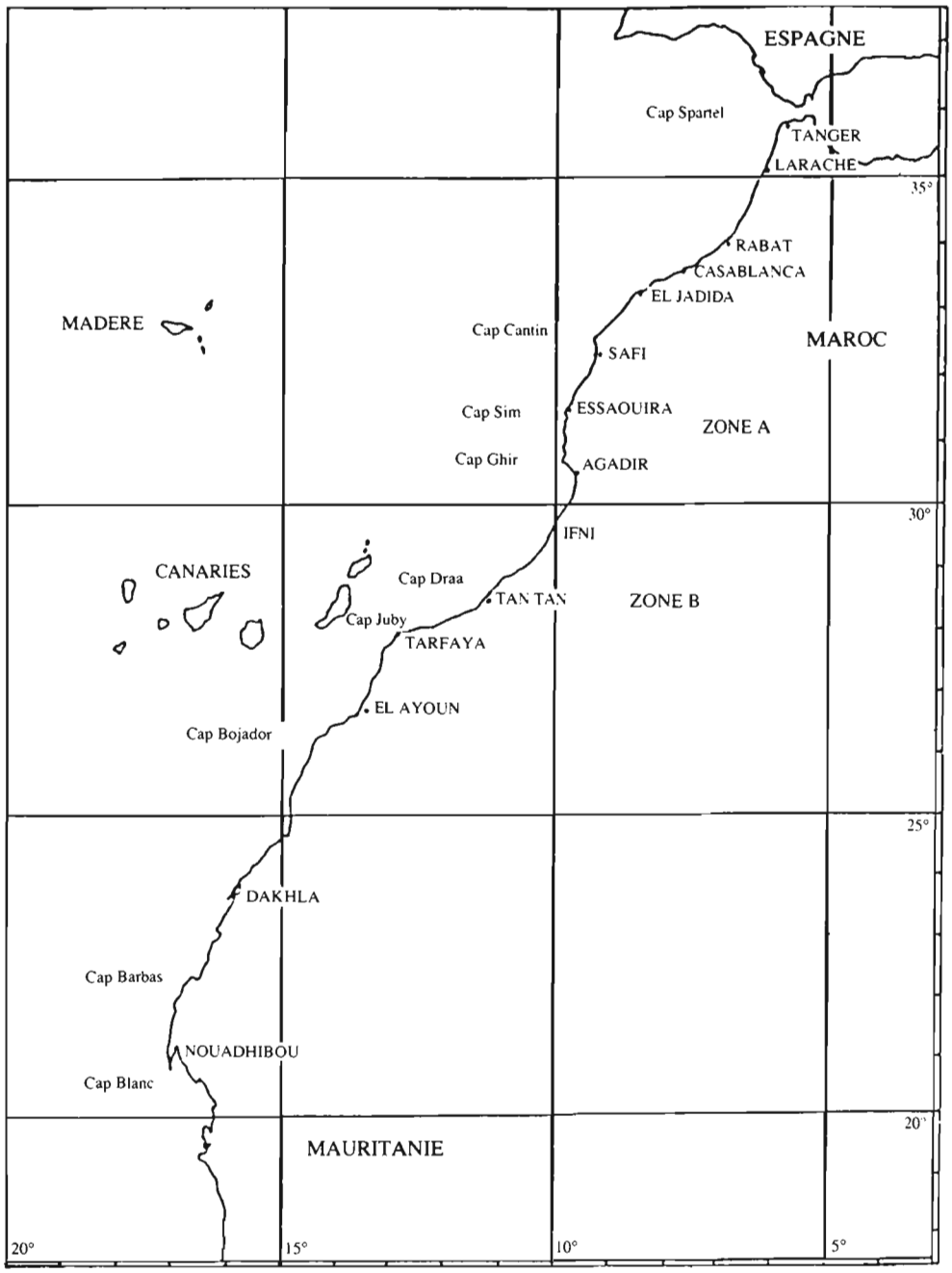


Fig. 2

Distribution verticale de la température et des nitrates entre Sidi Ifni et le Cap Juby (source: Le Corre et Treguer, 1976).

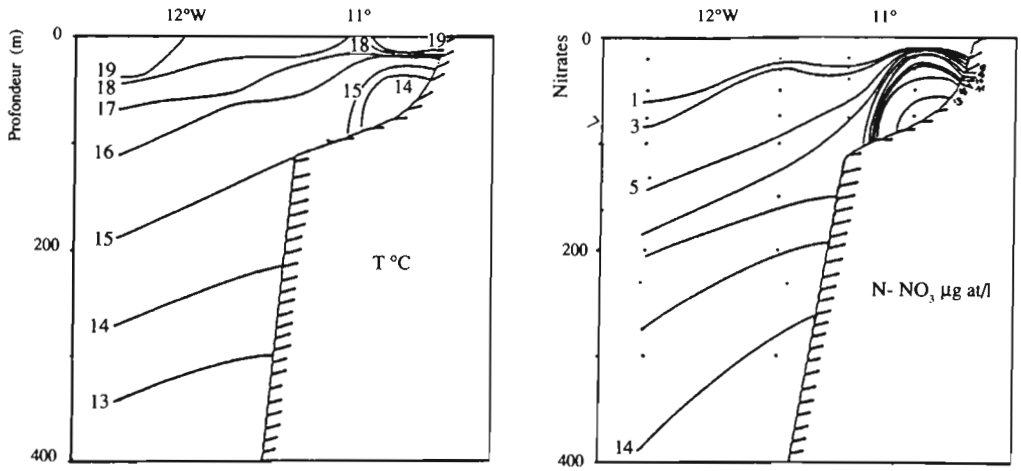
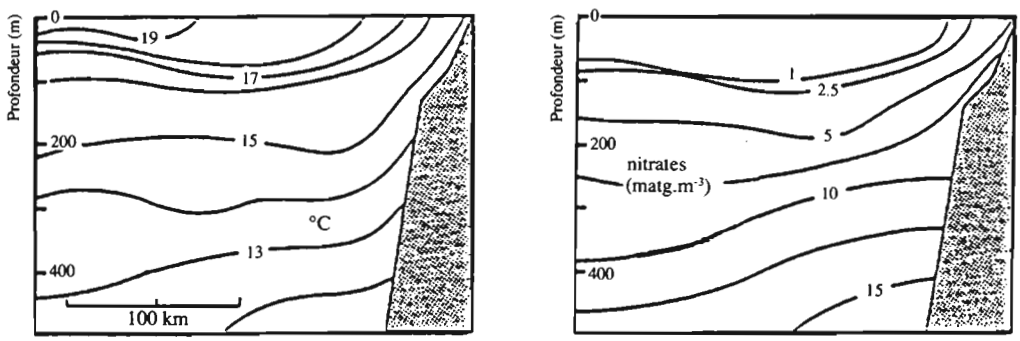


Fig. 3

Distribution verticale de la température et des nitrates entre le cap Cantin et le cap Ghir (source: Jacques et Treguer, 1986).



tures de surface relevées par les navires marchands collaborant au système mondial de transmission, et sont obtenues auprès du service PREVIMAR de la météorologie nationale. Après correction géométrique et élimination des informations nuageuses ou douteuses (présence de brume ou de vent de sable), les images sont calibrées à l'aide de données in-situ de dates proches (moins de trois jours). Une interpolation par une méthode d'analyse objective dite du krigeage (Gohin, 1987) est ensuite effectuée pour combler les espaces non informés. Les isothermes sont ensuite tracées automatiquement.

Afin de s'en tenir aux faits essentiels, une série composée de six cartes de trois observations mensuelles relatives aux deux années 1986 et 1987 a été sélectionnée (annexes 1 à 6). Il ressort de l'expérience acquise durant la période étudiée que la variabilité de la température de surface peut être analysée à trois niveaux.

• Variabilité basse-fréquence: ayant constaté qu'il existait des tendances climatiques annuelles sur la zone, l'expression basse-fréquence fait référence aux variabilités inter-annuelles. Cette échelle prend en compte une part significative de l'évolution du phénomène thermique. Ainsi, les températures de surface de l'année 1987 sont plus élevées que celles de l'année 1986;

• Variabilité moyenne-fréquence: des allures mensuelles voire trimestrielles, des champs thermiques de surface permettent de distinguer des positions caractéristiques de l'upwelling. Les structures thermiques révélatrices de remontées d'eaux au nord du cap Ghir sont plus septentrionales et plus contrastées en 1987 qu'en 1986. On note surtout un réchauffement relativement précoce, à partir du mois d'avril 1987, dans le secteur sud;

• Variabilité haute-fréquence: due essentiellement à la variabilité du vent sur de courtes périodes, de l'ordre de la journée, elle est difficile à apprécier. Elle ne pourrait être évaluée qu'à partir d'une comparaison d'images quotidiennes. A cette échelle de variabilité, il est illusoire d'espérer tirer une information significative des observations provenant des navires marchands. On peut donc, en pratique, n'utiliser que les observations de télédétection. Malheureusement, il existe très peu de séries estivales d'images claires. Lorsqu'une telle série existe, il est légitime de mettre en cause le caractère général des conclusions qui peuvent en être tirées. En effet, une situation claire et stable n'est pas située dans un contexte climatique ordinaire. Or, ce dernier régit le vent à l'origine des fluctuations de l'upwelling. Cette échelle de variabilité ne sera donc pas prise en compte. Plus important l'été que l'hiver, l'effet du vent s'additionne à la variabilité des structures en profondeur et demeure un facteur d'incertitude sans être un obstacle majeur.

Evolutions inter et intra-annuelles des captures

Nous avons mentionné précédemment la migration d'une fraction du stock central de sardines, du secteur Sidi Ifni - cap Juby, où celles-ci se reproduisent principalement en hiver, vers la région d'Agadir au printemps, et au nord (Safi et Essaouira) à la fin de cette saison ou au début de l'été. Ces migrations se reflètent au fur et à mesure par un accroissement des captures d'Agadir, Essaouira puis Safi.

En 1987, les prises réalisées dans la zone traditionnelle de pêche sont comparables, en tonnage annuel, à celles de 1986. Toutefois, les deux années s'opposent quant à la localisation de leurs captures (annexes 1 à 6 et fig. 4). Pour une part importante, celles de 1987 sont issues des ports du nord, de Safi et, dans une moindre mesure, d'Essaouira. La saison de pêche est relativement plus précoce à Safi et Essaouira en 1987 (fig. 4 et 5). Les prises sont déjà importantes à partir d'avril, notamment à Safi. A Agadir les deux années présentent une certaine similitude quant au début de leur saison de pêche. Cependant, si le schéma de l'évolution des captures de ce port en 1986 correspond à celui d'une année moyenne (fig. 5), la décroissance constatée à partir du mois de mai 1987, bien qu'irrégulière, donne matière à réflexion.

Les prises de sardines au port de Tan Tan sont plus tardives qu'au nord et moins importantes la seconde année (fig. 6). Cette diminution est imputable à la réduction de l'activité des sardiniers du nord, notamment ceux de Safi, qui ne ressentent pas le besoin de quitter leur zone d'action traditionnelle où la sardine abonde.

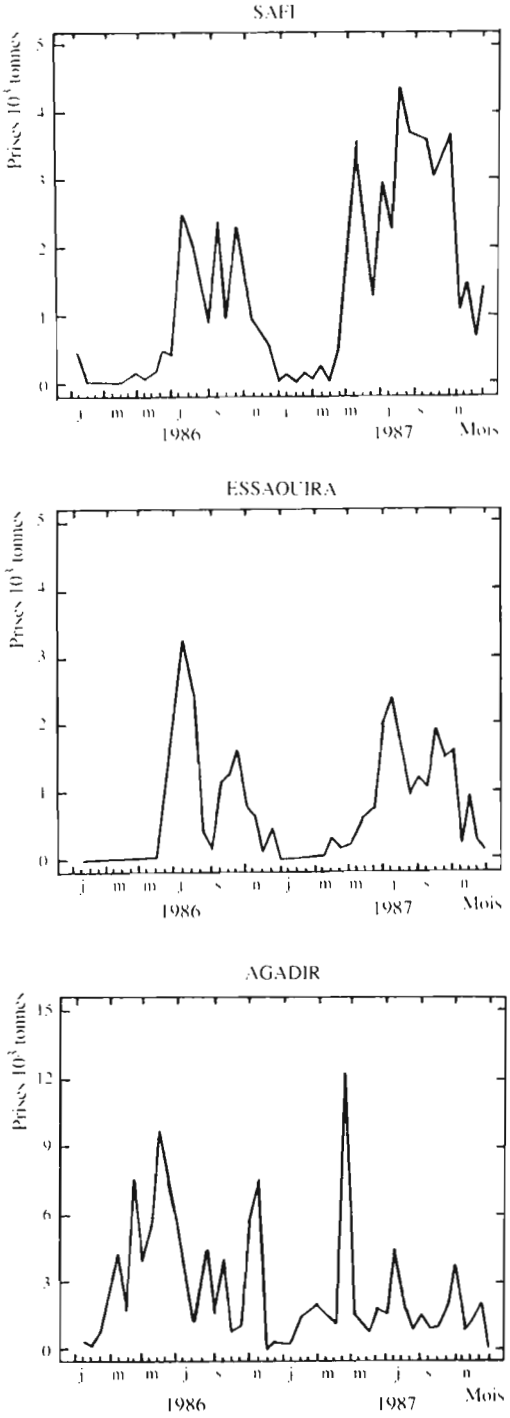
Bien qu'il soit généralement admis en dynamique des populations que l'évolution des captures ne reflète pas réellement la densité du poisson dans la zone de pêche, notre analyse portera cependant sur ce paramètre. Les raisons qui suivent justifient notre attitude.

Le rayon d'action limité des flottilles opérant à partir des différents ports ne leur permet pas de rechercher le poisson plus longtemps que la durée d'une marée. Il nous a été donné de constater en suivant les captures journalières que le nombre de sorties suivait les fluctuations des prises. Un nombre important d'armateurs, par souci de rentabilité, préfère attendre que les unités effectuant des marées régulières aient ramené du poisson avant de faire sortir leurs bateaux. Il semble donc que l'effort de pêche suive les fluctuations de l'abondance locale. Si les captures d'un port restent basses pendant une saison ou même pendant une ou plusieurs années, une partie de l'effort de ce port migrera (dans des limites imposées par l'écoulement du produit de la pêche) vers d'autres ports où la pêche est plus fructueuse. Cette stratégie de report d'effort peut présenter l'inconvénient d'une stabilisation des captures par unité d'effort. C'est ainsi qu'entre 1986 et 1987, l'effort global n'a pas connu d'évolution; en revanche, les efforts locaux ont relativement varié notamment à Tan Tan, Safi et Agadir.

Une étude plus approfondie de la dynamique spatio-temporelle (à plus ou moins court terme) pendant ces deux années serait nécessaire avant de pouvoir utiliser les rendements en terme de capture par unité d'effort comme indice de la disponibilité.

Fig. 4

Captures de sardines par quinzaine à Safi, Essaouira et Agadir en 1986 et 1987.



INTERPRÉTATION ET DISCUSSION

Le pourquoi de la dynamique de ce stock, bien qu'ayant été étudiée précédemment (Furnestin, 1953 ; Furnestin et Furnestin, 1970 ; Belvèze et Erzini, 1983 ; Belvèze, 1984) est encore hypothétique. S'il est admis que l'éthologie de la sardine est régie par son milieu, il est encore difficile de comprendre le déterminisme précis de ses migrations et de reconnaître quel(s) est(sont) le (s) paramètre(s) qui conditionne(nt) le plus son comportement. Dans la littérature, la primauté va souvent soit à une causalité trophique ou à la recherche d'un preferendum thermique. Binet (1988) a constaté que les déplacements des sardines dans la zone 21°N-26°N sont synchrones avec les maxima planctoniques. Nehring et Holzlohner (1982) ont observé qu'entre 21°N et 25°N les concentrations de sardines sont toujours supérieures dans les zones riches en chlorophylle. Les variations journalières des concentrations en chlorophylle *a* se traduisent par des variations des captures par unité d'effort. L'analyse comparée des images du satellite NIMBUS 7, de mai 1983 et avril 1984, et des cartes de distribution de sardines sont surtout évidentes au sud de 25°N (Nykjear *et al*, 1986). Belvèze *et al* (1983) et Belvèze (1984) pensent toutefois que les migrations estivales de la sardine de la zone Sidi Ifni-cap Juby vers le nord, sont conditionnées par une attirance trophique. Les variations du signal saisonnier provoquant la productivité entraînent des variations de disponibilité de la sardine. Cependant, on s'explique mal comment un signal hydroclimatique se produisant hors de la zone de concentration du stock (Sidi Ifni-cap Juby) peut déclencher ce phénomène de migration vers le nord. L'idée d'assimiler ces déplacements à une dilatation du stock semblerait plus cohérente dans ce cas. La sardine étant une espèce à stratégie démographique de type r (Fréon, 1988), elle tend à occuper toutes les strates spatio-temporelles propices à satisfaire ses exigences écologiques. Donc, de bonnes conditions hydroclimatiques au nord devraient entraîner une extension plus importante du stock.

La sardine est préférentiellement zooplanctonophage. Toutefois, Nieland (1980) a souligné que la sardine pouvait être phytoplanctonophage pendant les périodes d'upwelling et zooplantonophage en dehors. Ceci découlerait du caractère opportuniste de cette espèce capable d'adapter son système de filtration aux deux types de nourriture (Andreu, 1969 ; Fréon, 1988). Par ailleurs, Mathisen *et al.* (1978) pensent que la nourriture n'interviendrait de façon déterminante qu'au niveau des phases larvaires. Cette remarque rejoint les hypothèses de Roy *et al.* (1989) explicatives de la raison probable pour laquelle la sardine adulte quitte la zone cap Cantin-cap Ghir en automne, saison pendant laquelle elle peut disposer d'une nourriture plus riche (zooplancton), pour se concentrer dans la zone Sidi Ifni-cap Juby où s'effectue la reproduction en hiver. Pour ces auteurs, la stratégie de reproduction de cette espèce se fait de manière à assurer une meilleure survie des larves. La zone Sidi Ifni-cap Juby constitue alors un milieu favorable à la

Fig. 5

Captures moyennes mensuelles de 1968 à 1987 à Agadir et à Safi et Essaouira regroupées.

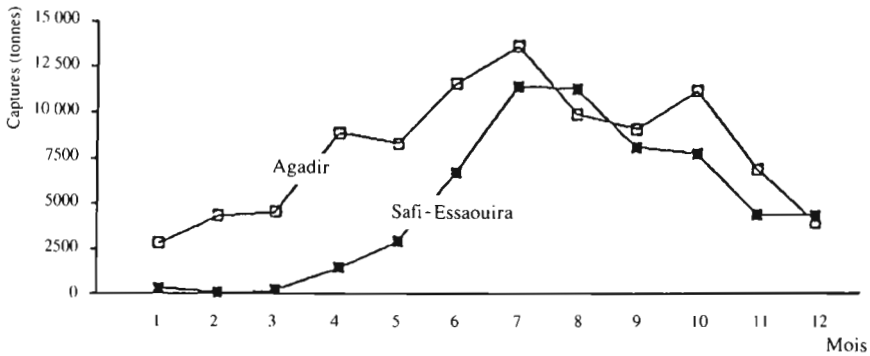
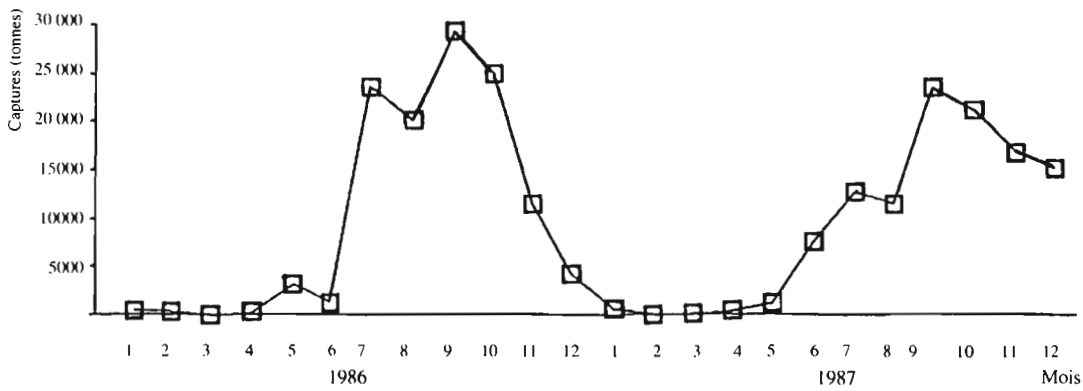


Fig. 6

Captures mensuelles réalisées à Tan Tan en 1986 et 1987.



survie des larves, aussi bien en apport énergétique (zooplancton) que pour ce qui est de la stabilité du milieu.

Toutefois, pour Furnestin et Furnestin (1970), la biologie de la sardine marocaine, particulièrement en ce qui concerne ses migrations génétiques, est essentiellement conditionnée par des impératifs thermiques plutôt que par la recherche d'une nourriture de choix. Pour ces auteurs, les déplacements des sardines se font de manière à respecter les plages thermiques favorables à chaque écophase. En règle générale, cette espèce est inféodée, en moyenne, à des températures de 14°C à 20°C avec des optima de 16°C à 19°C pour les adultes (Fréon *et al.*, 1979) et de 19°C à 24°C pour les jeunes. Furnestin et Furnestin (1970) et Binet (1988) situent respectivement la ponte dans des marges thermiques optimales de 16°C à 18°C et de 15,5°C à 17,5°C.

Fréon (1988) souligne que le fait qu'on ne dispose, le plus souvent, que de données sur la température de surface de l'eau, nous pousse peut-être à une interprétation abusive des réactions du stock en terme de preferendum thermique, alors que la température n'est peut-être que l'indicateur de processus plus complexes. Toutefois, nous pensons avoir, avec l'exemple d'années aussi contrastées du point de vue thermique (1986 et 1987), un élément de réponse à une influence probable de la température sur la dynamique du stock central de sardines.

Si on admet que des causes trophiques conditionnent le déplacement de la sardine, la température contribue probablement au déclenchement du processus et ce, dans la mesure où l'intensification du réchauffement dans la zone de concentration du stock peut stimuler la migration en l'avançant dans le temps et en augmentant les déplacements vers le nord. Dans ce sens, Lee (1961) a observé, dans le cas des sardines du golfe du Lion, que les bancs désertent massivement la zone siège d'une variation hydrologique forte et rapide et rejoignent des zones plus propices. Par contre, si les eaux chaudes envahissent peu à peu la totalité de l'aire de pêche, les sardines ne quittent pas celle-ci aussi brutalement mais la pêche diminue. L'arrivée massive des sardines en avril 1987 à Agadir, la précocité de l'augmentation de la température au sud et son maintien entre 19°C et 22°C accréditent l'idée selon laquelle un phénomène analogue s'est produit dans la région étudiée.

Alors qu'en 1986 les captures des ports du nord augmentaient progressivement, en 1987 Safi et Essaouira ont réalisé, dès le mois de mai, de bonnes prises. Les sardines se sont retrouvées très tôt dans la région de Safi et d'Essaouira et s'y sont maintenues jusqu'à la fin de l'automne. Nous avons d'abord pensé, pour expliquer ce fait, à une augmentation de l'intensité des alizés se reflétant sur la productivité. Cependant, il s'est avéré qu'en 1986 les vents étaient, en moyenne, relativement plus forts et mieux orientés qu'en 1987 (37° et 3,6 $m.s^{-1}$ en 1986 et 338° et 1,17 $m.s^{-1}$ en 1987). On peut donc penser qu'a priori, il ne s'agit pas d'un effet de l'augmentation de l'intensité de l'upwelling. Les constatations faites à partir des cartes de champs thermiques de surface révèlent une contraction des isothermes à la côte en 1987. Ceci étant probablement le résultat de la conjonction d'une réduction de l'intensité de l'upwelling compensée par un réchauffement des eaux du large. Un gradient thermique côtier élevé peut avoir pour conséquence d'augmenter la capturabilité par concentration du poisson à la côte. Furnestin et Furnestin (1970) soulignent le fait que les sardines, tout en restant inféodées à des eaux correspondant à leur preferendum thermique, se tiennent à la limite de leur biotope où elles disposent de conditions de nourriture adéquates. Cette remarque rejoint celle de Lee (1961) qui a également observé des concentrations de sardines au niveau des zones à fort gradient thermique où la nourriture est abondante. Les captures importantes de Safi peuvent corroborer cette hypothèse. La position de ce port en marge des préférences thermiques de la sardine, rend les captures plus sensibles aux variabilités de la disponibilité du poisson. Yanez et Barbieri (1988) ont fait la même constatation quant au stock d'anchois du Chili. Les intrusions d'eaux chaudes subtropicales cantonnent le poisson dans des eaux d'upwelling affaibli, le rendant plus vulnérable.

D'autre part, la grève survenue à Agadir entre la fin du mois d'avril et le début du mois de juin 1987 entraînant un arrêt partiel de la pêche ne peut expliquer, à elle seule, la diminution des captures sardinières de ce port. Aussi a-t-on cherché une explication possible dans l'hydrologie de la baie d'Agadir (Furnestin, 1953 et Belvèze, 1972). Les cartes satellitaires montrent en effet que cette baie est baignée par des eaux chaudes pendant la presque totalité de l'année 1987, particulièrement en août et septembre, mois correspondant à la date de retour des sardines du nord. On peut donc trouver dans cette constatation une explication à la régression des prises à Agadir d'une part et au maintien tardif de celles-ci dans les ports du nord d'autre part.

CONCLUSION

En 1987, on constate que les captures de sardines à Safi furent exceptionnellement élevées par référence à celles réalisées ces dernières années, alors qu'à Agadir on note une régression des captures. En même temps, l'hydrologie de la zone atlantique marocaine observée par l'imagerie satellitaire au cours des années 1986 et 1987, montre un changement inter-annuel remarquable: températures froides et gradient thermique faible au nord en 1986, températures élevées et gradient côtier important en 1987. Cette similitude entre les observations du milieu physique et les variations de captures nous a amené à conclure que si les besoins trophiques régissent le sens général du déplacement, l'intensité de ces migrations serait soumise, au premier chef, à l'évolution de la température absolue au sud. Les captures au nord seraient proportionnelles, non seulement aux conditions nutritives, du moins à court terme, mais également à l'importance de la part du stock ayant migré et à sa concentration dans des zones correspondant à des exigences écologiques relativement strictes.

BIBLIOGRAPHIE

• Andreu B. 1969. Las branchispinas en la caracterizacion de las poblaciones de sardina, Inv. Pes. Barc. 33 (2): 425-607.

• Barkova N.A. et L.N. Domanevsky. 1984. Etat du stock de sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) dans la division statistique 34.1.3, Rapport de la troisième réunion du groupe de travail *ad hoc* sur la sardine *Sardina pilchardus* (Walb.). Casablanca, Maroc, 27 novembre au 5 décembre 1984.

• Belvèze H. 1971. Premières observations sur le stock sardinier de l'Atlantique marocain. Bull. Inst. Pêches Marit. Casablanca (18): 3-35.

• Belvèze H. 1972. Observations complémentaires sur le stock sardinier de l'Atlantique marocain de 1968 à 1971 et essais d'estimation de quelques paramètres. Bull. Inst. Pêches Marit. Casablanca (20): 5-55.

• Belvèze H. and K. Erzini. 1983. The influence of hydroclimatic factors on the availability of the sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum) in the Moroccan atlantic fishery. *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, Fish. Rep., 291 (2): 285-327.

• Belvèze H. 1984. Biologie et dynamique des populations de sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) peuplant les côtes atlantiques marocaines et proposition pour un aménagement des pêcheries. Thèse Université de Bretagne Occidentale, Brest, France, 532 p.

• Biaz R. 1978. Mise au point d'une méthode d'identification des populations de sardines par électrophorèse des protéines solubles du noyau du cristallin. Bull. Inst. Pêche Marit. Casablanca (23): 3-55.

• Binet D. 1988. Rôle possible de l'intensification des alizés sur le changement de répartition des sardines et sardinelles le long de la côte ouest africaine. Aquat. Living Resour.(1): 115-132.

• COPACE. 1978. Rapport du groupe de travail *ad-hoc* sur la sardine (*Sardina pilchardus*. Walb.). COPACE/PACE. SERIES/78/7.

• Fréon P. 1988. Réponses et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation: Analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. Etudes et Thèses, ORSTOM, 287 p.

• Fréon P.et Stequert.B. 1979. Note sur la présence de *Sardina pilchardus* Walb. au Sénégal: étude de la biométrie et interprétation. Cybium. 3° Serie, 1979 (6): 65-90.

• Furnestin J. 1953. Ultra-sons et pêche de la sardine au Maroc. Bull. Inst. Pêches, Maroc, n°1.

• Furnestin J. et Furnestin.M.L. 1970. La sardine marocaine et sa pêche. Migrations trophique et génétique en relation avec l'hydrologie et le plancton. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 159: 165-175.

• Gohin F. 1987. Analyse géostatistique des champs thermiques de surface de la mer. Thèse. Doct. ingénieur, Ecole des Mines, Paris

• Grall J.R., Laborde A., Lecorre P., Neveux J., Treguer P. et Thiriot A. 1974. Caractéristiques trophiques et production planctonique dans la région sud de l'Atlantique marocain. CINECA-CHARCOT I et III. TETHYS 6, (1-12): 11-28.

• Jacques G. et Treguer P. 1986. Ecosystèmes pélagiques marins. Masson, Paris. 234p.

• Le Corre P. et Treguer.P. 1976. Contribution à l'étude de la matière organique dissoute dans l'eau de mer. Caractéristiques chimiques du golfe de Gascogne et des upwellings de l'Afrique du nord-ouest. Thèse Doctorat Etat, Université de Bretagne Occidentale, 490p.

• Lee J.Y. 1961. La sardine du golfe du Lion. *Sardina pilchardus sardina* (Regan). Rev. Trav. Inst. Pêches Marit., 25 (4).

• Mathisen O.A., Thorne R.E., Trumble R.J and Blackburn M. 1978. Food consumption of pelagic fish in upwelling area. *In*: Boje and Tomczak (eds), Upwelling ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, 111-123.

• Minas H. J., Codispoti. L.A. and Dugdale. R.C.1982. Nutrients and primary production in the upwelling region of Northwest Africa. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 148-183.

• Nehring D. and Holzlohner. S. 1982. Investigation on the relationship between environmental conditions and distribution of *S.pilchardus* in the shelf area of North west Africa. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 342-344.

• Nieland H. 1980. Die nahrung von Sardinen, Sardinellen und maifischen vor der westkuste Afrikas. Inst. Fur Meereskunde Chris. Alb. Univers. Kiel, 75: 137 p.

• Nykjear L., Refk. R. and Schlittenhart. P.M. 1986. Remote sensing of the Northwest African upwelling area: assessment of Coastal Zone Color Scanner images for fishery purposes. Eur-publication nr. S.A./ I.05.E2.85.30. Commission of the European Communities, Joint Research. Centre ISPRA Establishment.

• Richebe B. 1980. Influence des paramètres hydrologiques et météorologiques sur les phénomènes d'upwelling au Maroc. Rapport ISPM Casablanca, avril 1980, (dactylographié).

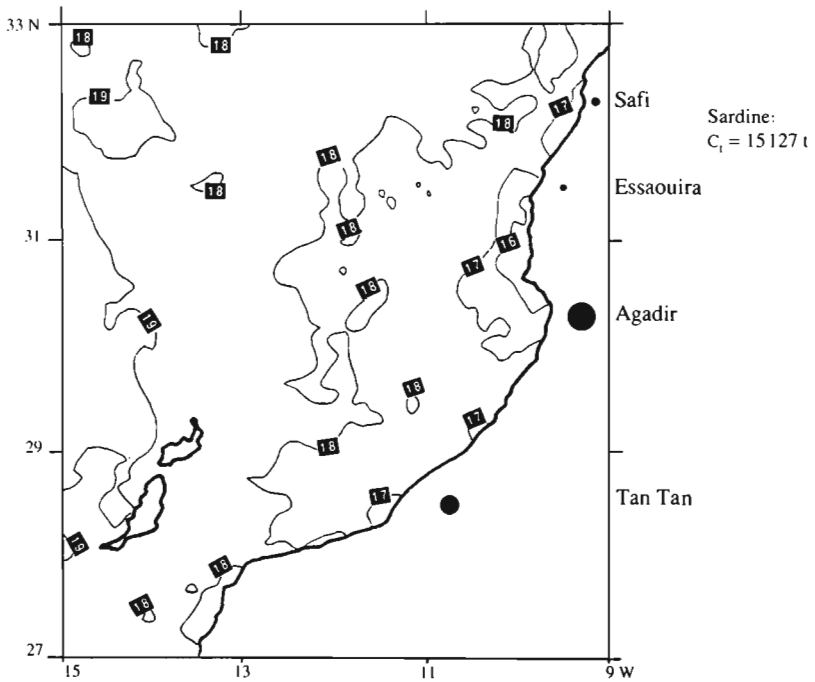
• Roy C., P. Cury, A. Fontana et H. Belvèze. 1989. Stratégies spatio-temporelles de la reproduction des clupéidés des zones d'upwelling d'Afrique de l'Ouest. Aquat. Living Resourc. 2: 21-29.

• Yanez E. et M.A. Barbieri. 1988. Principal pelagic resources exploited in Northern Chile and their relationship to environnemental variations. *In*: Wyatt T. and M.G. Larrañeta (eds), Long term changes in marine fish populations. Int. Symp. Long Term Changes Mar. Fish Pop. Vigo: 197-219.

Annexes présentant les situations thermiques déduites des données des satellites NOAA et METEO-SAT, calibrées avec les données bateaux marchands, puis traitées par krigeage (logiciel PESKET de l'IFREMER) ainsi que les captures de sardine (les ronds sont proportionnels aux débarquements) à Safi, Essaouria, Agadir et Tan Tan.

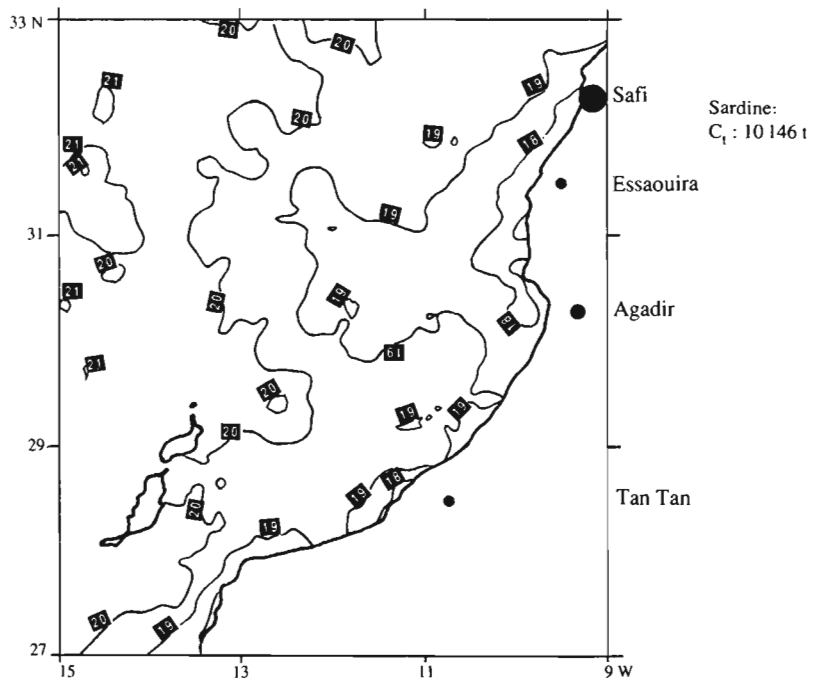
Annexe 1

Situation thermique du 6 mai et captures de mai 1986



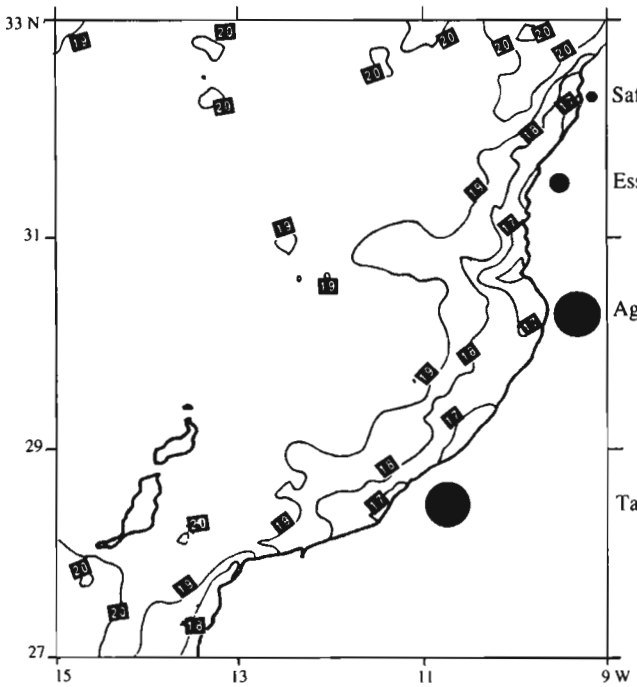
Annexe 2

Situation thermique du 13 mai et captures de mai 1987



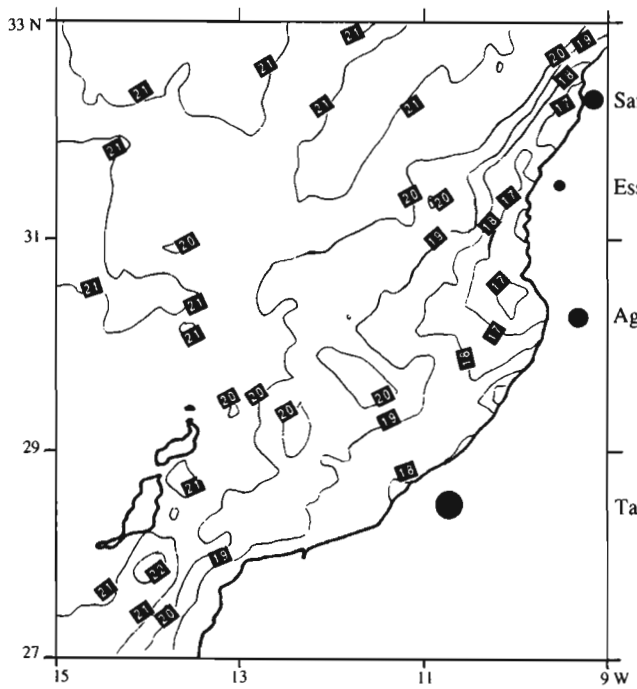
Annexe 3

Situation thermique du 21 juin et captures de juin 1986



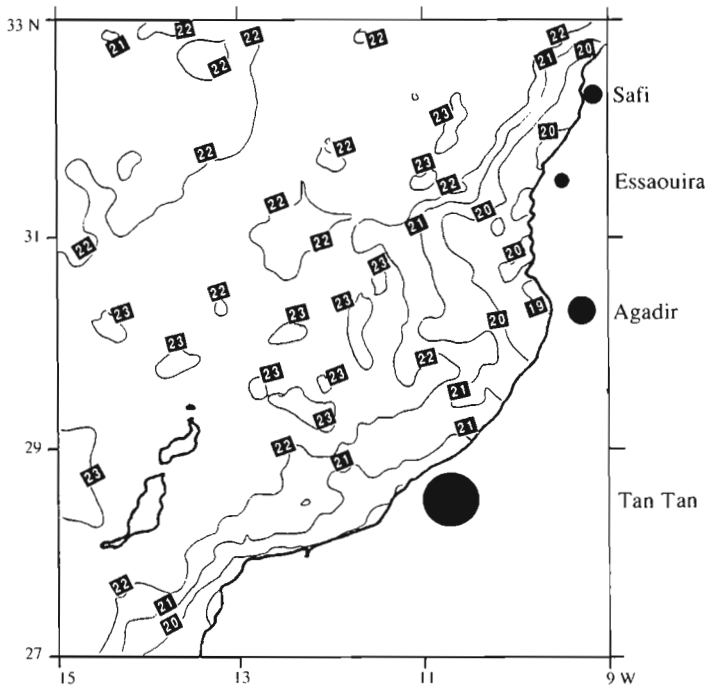
Annexe 4

Situation thermique du 10 juin et captures de juin 1987



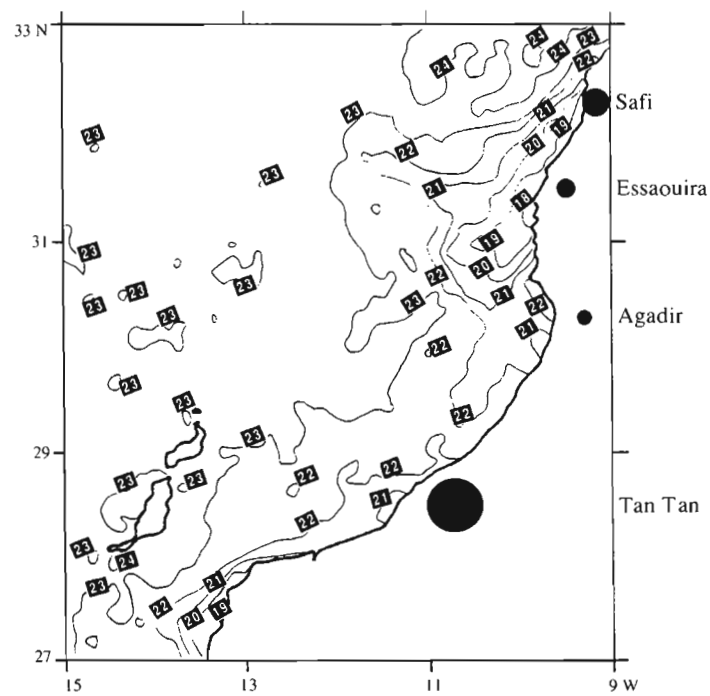
Annexe 5

Situation thermique
du 13 septembre
et captures
de septembre 1986



Annexe 6

Situation thermique
du 10 septembre
et capture
de septembre 1987



23 • Influence des variations de l'upwelling sur la répartition des poissons pélagiques au Sénégal

HERVÉ DEMARCQ
Biologiste de l'OSTOM, CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal

BIRANE SAMB
Biologiste, CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal

RÉSUMÉ

Le plateau continental sénégalais est soumis à un upwelling côtier saisonnier, sous l'étroite dépendance du régime des vents alizés. La température de surface, mesurée par télédétection, permet de caractériser l'intensité relative et l'extension géographique superficielle de l'upwelling. L'eau résurgente en zone euphotique, riche en sels nutritifs, commande en partie l'intensité de la production primaire puis secondaire et ses effets possibles sur l'abondance et la distribution des poissons pélagiques, mesurées par écho-intégration, sont estimés. La liaison entre les événements thermiques observés et les mesures de densités établies par méthode acoustique permet de constater que si sur la côte Nord, les bancs de poissons sont localisés dans le périmètre côtier froid, sur la côte Sud, les fortes concentrations sont observées en dehors de la zone active de l'upwelling. Par ailleurs, l'analyse dynamique des upwellings successifs de 1984 à 1988 permet d'interpréter en partie, d'une part l'abondance moyenne élevée des espèces pélagiques constatée en 1985 et d'autre part les valeurs élevées observées localement en face du fleuve Casamance.

ABSTRACT

The west African continental shelf is submitted to strong trade winds which generate from December to May an intense coastal upwelling along the Senegalese coast. Its intensity and its spatial dynamic can easily be described by the sea surface temperature. The environmental instability induces primary production fluctuations and affects survival of pelagic fish species of economical importance. Their abundance is affected by the environmental instability and can be partially measured by echo-integration. Some links can be found between thermic surface events and mean biomass measurements, depending on ecological differences between north and south Senegal. In the north, the high biomass is restricted to the coldest upwelling area, and in the south to the surrounding area of the upwelling which extension is less strictly coastal. The general high densities observed in 1985 on the whole continental shelf and every year in front of the Casamance river can be explained by the dynamic analysis of the upwelling intensity from 1984 to 1988.

INTRODUCTION

Les côtes ouest-africaines sont soumises à un upwelling côtier saisonnier, sous la dépendance du régime des vents alizés. Ces derniers soufflent en moyenne de décembre à mai sur les côtes sénégalaises (Rébert, 1979; Roy, 1989). La température de surface est un paramètre de l'environnement facilement accessible par télédétection à une échelle spatiotemporelle fine, en raison de la faible nébulosité générale caractérisant

cette région en hiver. On peut ainsi caractériser l'intensité et l'ampleur de l'upwelling. L'eau résurgente, riche en sels nutritifs, commande en partie l'intensité de la production primaire, très importante bien que généralement limitée à une couche euphotique de faible épaisseur (Rébert, 1979). Ses variations, ainsi que celles de la production secondaire qui en découle, se répercutent à terme sur l'abondance des poissons pélagiques, principalement des sardinelles qui représentent une partie importante des prises effectuées sur le plateau continental ouest-africain (Fréon *et al.*, 1982; Fréon, 1984). Les conséquences sont d'autant plus rapides que les deux espèces de sardinelles les plus pêchées se situent dans les premiers maillons de la chaîne trophique (Binet, 1988).

L'analyse des variations entre prises par unité d'effort (utilisée comme indice d'abondance) et facteurs climatiques ne fait généralement pas apparaître de relation de cause à effet à l'échelle mensuelle (Fréon, 1984). Il peut être par contre intéressant de relier les variations rapides de l'environnement (par période de 5 jours) avec une estimation directe des stocks des espèces pélagiques. Cette dernière peut être réalisée en utilisant les techniques d'écho-intégration. La température de surface, calculée par télédétection, sera utilisée comme descripteur des variations environnementales. C'est en effet le seul paramètre mesurable régulièrement à une échelle de temps de l'ordre de la semaine et qui permet d'une part d'accéder à une description non plus statique mais dynamique de l'upwelling et d'autre part d'expliquer une part de l'hétérogénéité spatiale des biomasses mesurées par méthode acoustique.

La zone étudiée se limite au plateau continental sénégalais (fonds de 10 à 200 m) pour les données acoustiques, mais s'étend des côtes de la Mauritanie à celles de la Guinée pour les cartes de température de surface obtenues par satellite. Bien que des données anciennes d'écho-intégration existent (Gerlotto *et al.*, 1982), la disponibilité de l'imagerie satellitaire nous a amené à limiter l'étude aux saisons d'upwelling de 1984 à 1988.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

La technique d'échointégration et ses résultats

A partir de 1983, le Sénégal s'est équipé d'un ensemble complet d'écho-intégration BIOSONICS permettant l'évaluation des stocks halieutiques par prospection acoustique sonore. Les campagnes ont été réalisées par le N/O Laurent Amaro, puis à partir de 1985, par le N/O Louis Sauger. Un relevé en continu des températures de sub-surface a été réalisé simultanément à l'aide d'un thermographe.

Les résultats des mesures acoustiques traitées dans le cadre de cette étude relèvent de deux types de campagne: l'une le long de toute la côte, appelée «ECHOSAR», l'autre circonscrite à la zone Dakar - nord Gambie, appelée «Petite Côte».

Les prospections ont été réalisées selon une série de radiales latitudinales séparées par une distance de cinq milles nautiques. La zone bathymétrique couverte s'étend sur les fonds de dix à deux cents mètres, déterminant ainsi la longueur des radiales. Des valeurs de biomasse exprimées en grammes par mètre cube sont fournies par l'intégrateur à chaque mille nautique parcouru, puis converties en tonnes par mille carré avant de calculer la densité moyenne par radiale.

L'estimation des biomasses peut être faite pour l'ensemble du plateau continental ou pour des zones délimitées suivant un quadrillage particulier. Pour chacune d'entre elles, la densité moyenne des valeurs d'intégration, de jour d'une part et de nuit d'autre part, peut être calculée.

Les données satellitaires et leur traitement

Les grands traits de la structure marine superficielle ainsi que sa variabilité peuvent être décrites au cours des saisons d'upwelling, pendant et entre les campagnes en mer, par une cartographie régulière de la température de surface de la mer. La télédétection se prête remarquablement à une telle étude sur les côtes ouest africaines, où la faible nébulosité atmosphérique, liée à la présence même de l'upwelling côtier, permet une observation fréquente de la surface océanique. La répétitivité d'observation du satellite géostationnaire METEOSAT II, sa résolution spatiale (5 kilomètres dans le domaine de l'infrarouge thermique) et sa résolution thermique de 0,5 degré, permettent la cartographie de la température de surface avec une précision et une régularité très supérieure à celle classiquement disponible.

Le traitement des images satellitaires, effectué à l'Unité de Traitement d'Images Satellitaires (UTIS) du CRODT, peut être résumé succinctement: les facteurs atmosphériques perturbateurs, en général suffisamment variables dans le temps et l'espace, sont minimisés dans un premier temps grâce à une synthèse entre images par maximum thermique point par point sur une période de 5 à 7 jours. On synthétise ainsi l'information, en ne conservant en chaque point d'image que le signal le moins altéré par l'atmosphère, en considérant que la traversée du signal par l'atmosphère revient presque toujours à réduire la température radiative mesurée.

Les images résultantes sont redressées géométriquement. Les mesures de température effectuées par les navires marchands et disséminées par le réseau mondial de transmission sont alors utilisées pour estimer un champ de correction atmosphérique. Ce dernier est calculé statistiquement par ajustement des températures satellitaires aux températures bateaux, puis appliqué en retour à l'image METEOSAT initiale.

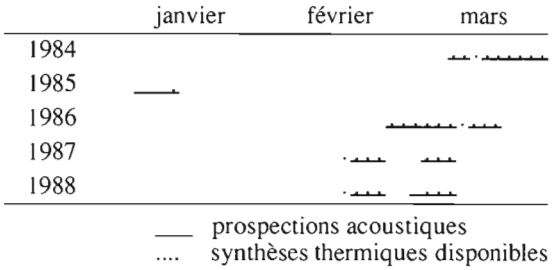
Des synthèses de la température de surface sont élaborées sur une base de temps de sept puis cinq jours sur les années 1984 à 1988. Afin de paramétrer l'intensité de l'upwelling, des cartes d'indice sont calculées par zones géographiques.

Des cartes de concentration relative en chlorophylle *a*, élaborées à partir des données couleur de la mer du capteur CZCS (satellite NIMBUS 7), ont également été utilisées durant la saison froide 1984. Ces cartes ont été

traitées à l'antenne ORSTOM de Brest.
Les fluctuations conjuguées de la température de surface (prise comme descripteur de l'environnement superficiel) et de l'abondance des espèces pélagiques sont étudiées, puis une réflexion sur les causes des grandes variations interannuelles de la biomasse moyenne observée est ensuite abordée.

ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES RELATIONS BIOMASSE-TEMPÉRATURE

Nous procédons à une description chronologique par année, en distinguant à chaque fois deux zones écologiques distinctes: la côte nord, du cap Vert jusqu'à Saint-Louis et la côte sud, du cap Vert jusqu'au cap Roxo (fig. 1). Il existe en effet une nette disparité écologique entre ces deux zones, aussi bien au niveau de l'influence directe de l'upwelling qu'au niveau des processus d'enrichissement qui en découlent (Roy, 1989).
Le tableau suivant présente la répartition des campagnes de prospection utilisées ainsi que les dates des synthèses thermiques qui ont servi à la comparaison directe des relations spatiales biomasse/température.



Campagne ECHOSAR 6 (7-21 mars 1984)

Contexte hydroclimatique. Le mois de janvier 1984 est caractérisé sur l'ensemble des côtes sénégalaises par un upwelling côtier très actif, sous l'action de vents alizés continus. Ces conditions sont confirmées par les synthèses thermiques satellitaires indiquant une extension spatiale des eaux côtières froides, caractéristique d'un upwelling fort. Le mois de février 1984 est, par contre, caractérisé par une longue phase de relaxation de l'upwelling, particulièrement sur la Petite Côte où les alizés sont en moyenne plus faibles. La faible turbulence de la couche marine de surface qui s'ensuit est propice à un fort développement phytoplanctonique superficiel. Cette phase de réchauffement débute dès le mois de février et se poursuit jusqu'à la fin du mois.
• *Côte nord* : l'upwelling sur la côte nord est en phase de régression continue depuis début février et ne reprend légèrement de l'ampleur que début mars, au cours de la période de prospection acoustique. La zone la plus froide (environ 19°C) se situe autour de Saint-Louis, où a été mesurées la plupart des fortes concentrations (fig. 2). Des estimations satellitaires de la teneur en pigments chlorophylliens (fig. 3) ne montrent pas pendant cette période de variation significative de l'extension spatiale de ce paramètre sur la côte nord, pourtant exposée à un upwelling d'intensité très variable.
• *Côte sud* : la prospection sur la côte sud se déroule du 12 au 21 mars. Dès le début du mois, l'upwelling s'intensifie nettement sur la Petite Côte en s'amplifiant rapidement durant deux semaines pour rester stationnaire jusqu'en avril. L'information satellitaire sur la couleur de la mer (teneur en pigments chlorophylliens) permet de mettre en évidence une zone côtière riche en pigments, contrastant avec une zone du large pauvre en pigments (fig. 3). Cette zone côtière riche apparaît très étendue les 15 et 21 février (période de relaxation de l'upwelling), puis régresse fortement en période de reprise d'alizés, comme le montre une image du 16 mars. Elle est alors limitée environ par l'isobathe 30 m, puis disparaît complètement le 25 mars.
Il apparaît donc qu'une relaxation temporaire de l'upwelling côtier fournit des conditions très favorables à un fort développement planctonique.

Estimation de la biomasse et interprétation. La campagne ECHOSAR 6 (Lévenez *et al.*, 1985) montre que les fortes densités de poissons sont localisées d'une part sur la Petite Côte en eaux peu profondes entre Mbour et jusqu'à l'embouchure du Saloum (peuplement par des bancs de sardinelles sur des fonds de 10 à 20 mètres) et d'autre part en face de l'embouchure de la Casamance (fig. 2). De même, des bancs de sardinelles ont été détectés au large de la Gambie au dessus des fonds de 50 mètres. Une synthèse des températures de surface mesurées d'une part en continu pendant la campagne et d'autre part par télédétection permet de situer précisément l'extension de l'upwelling pendant la prospection. Elle montre que, à l'exception d'un seul banc de sardinelles très côtier situé devant Mbour, les fortes détections sur la côte sud se situent presque entièrement en dehors de la zone active de l'upwelling et le plus souvent entre ce dernier et la côte.
La répartition des bancs observée paraît dépendre essentiellement de l'extension de l'upwelling, dont la région centrale est soumise à de forts mouvements turbulents des masses d'eau. La biomasse observée est en général beaucoup plus importante dans une zone située entre l'upwelling et la côte, là où d'une part, l'enrichissement de l'upwelling provoque une plus forte production primaire (fig. 3) et où, d'autre part, persiste une relative stabilité des eaux de surface.

Campagne «Petite Côte 3» (7 au 12 janvier 1985)

Contexte hydroclimatique. Le mois de décembre 1984 est caractérisé par un très faible upwelling sur la Petite Côte, jusqu'au 26 décembre environ. L'imagerie satellitaire fait apparaître un upwelling intense, du 27 décembre au 2 janvier (anomalie moyenne sur la Petite Côte: - 2,5 °C), qui s'intensifie à peine le 12 janvier en s'étendant vers le sud, mais en restant très peu étendu vers le large.
La carte des températures de surface mesurées en continu pendant la campagne fait apparaître l'eau la

Fig. 1
Zone d'étude et toponomie utilisée.

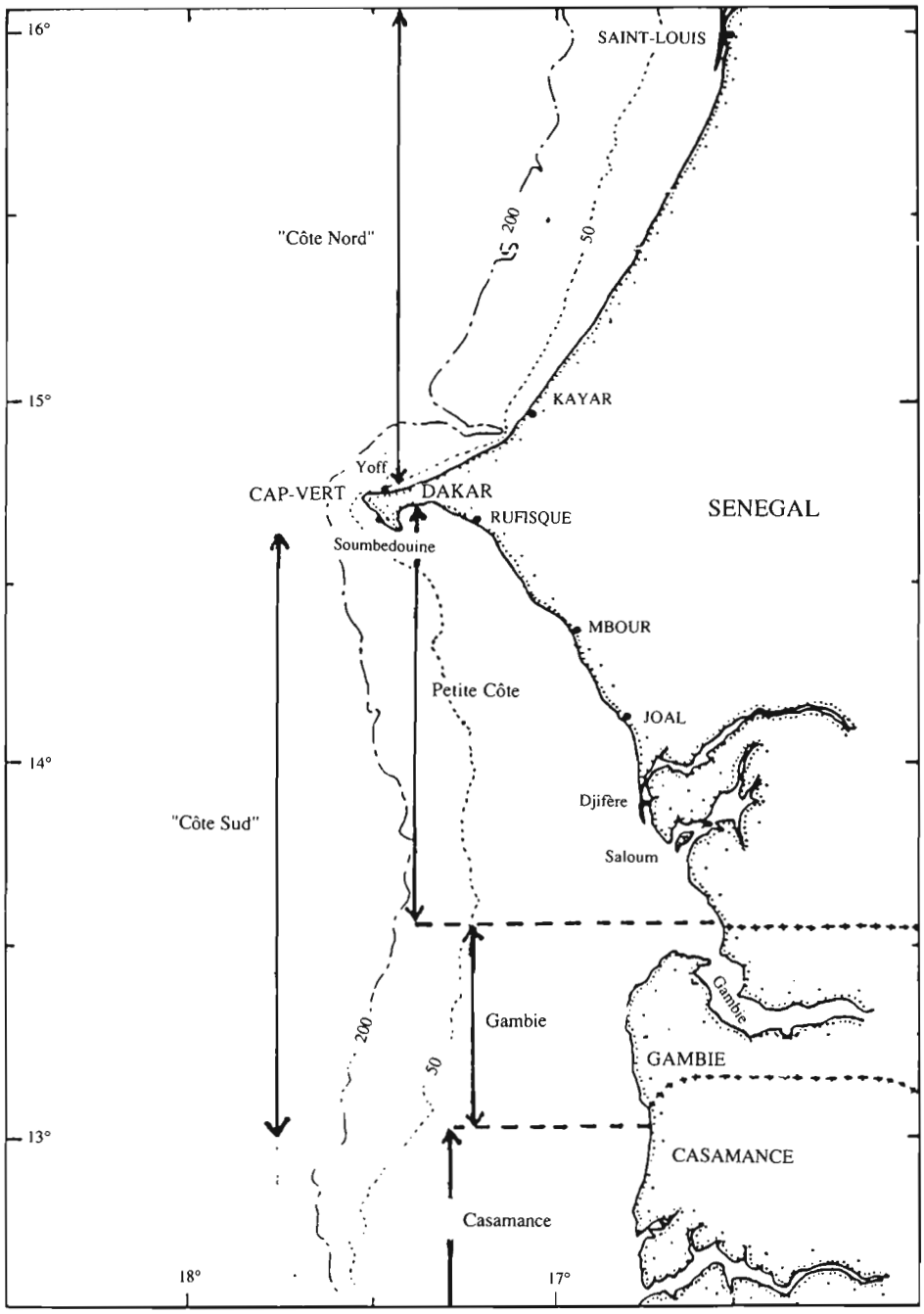


Fig. 2

Répartition des densités de poissons mesurées par écho-intégration et structure superficielle de l'upwelling du 7 au 21 mars 1984.

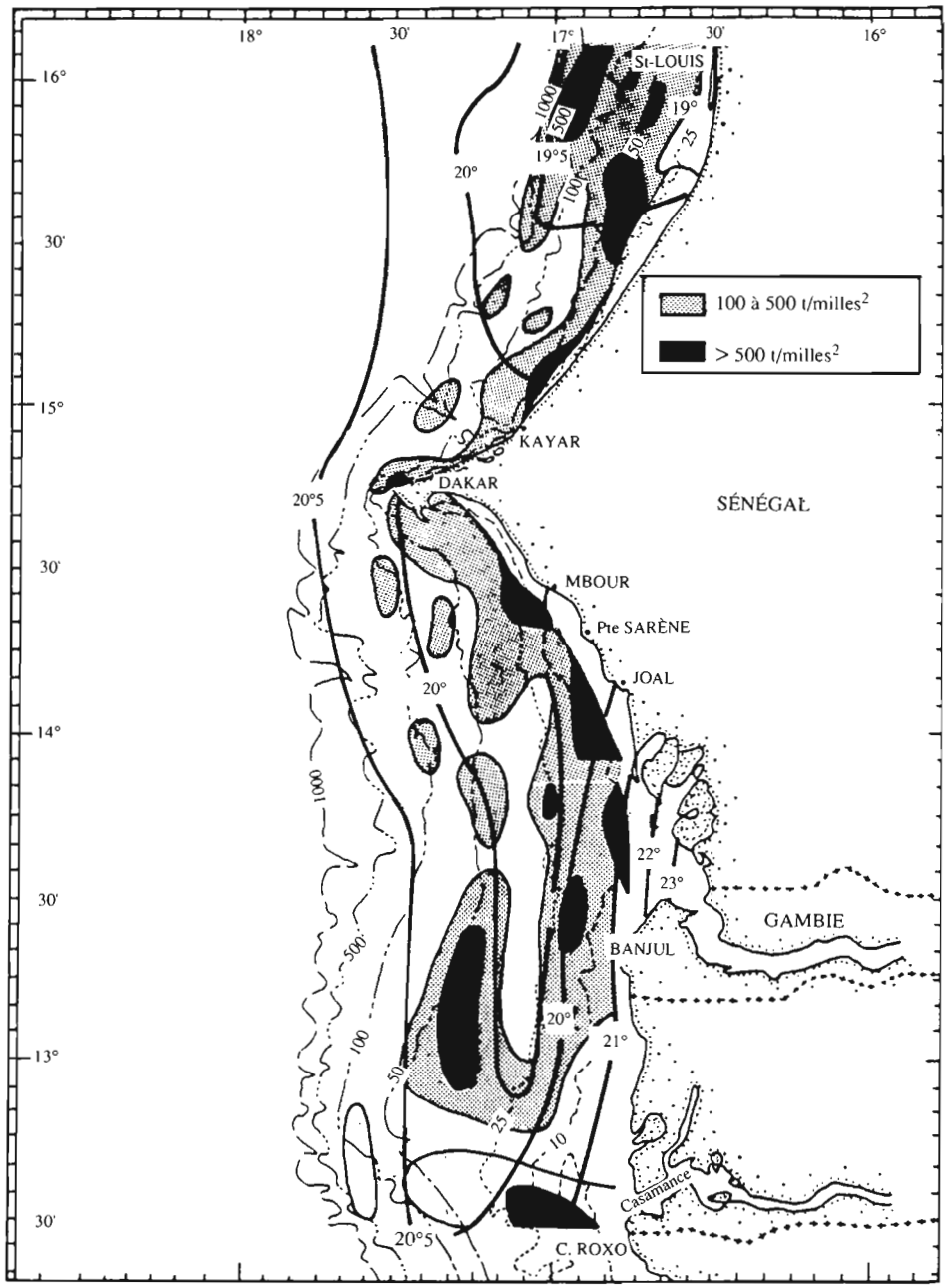
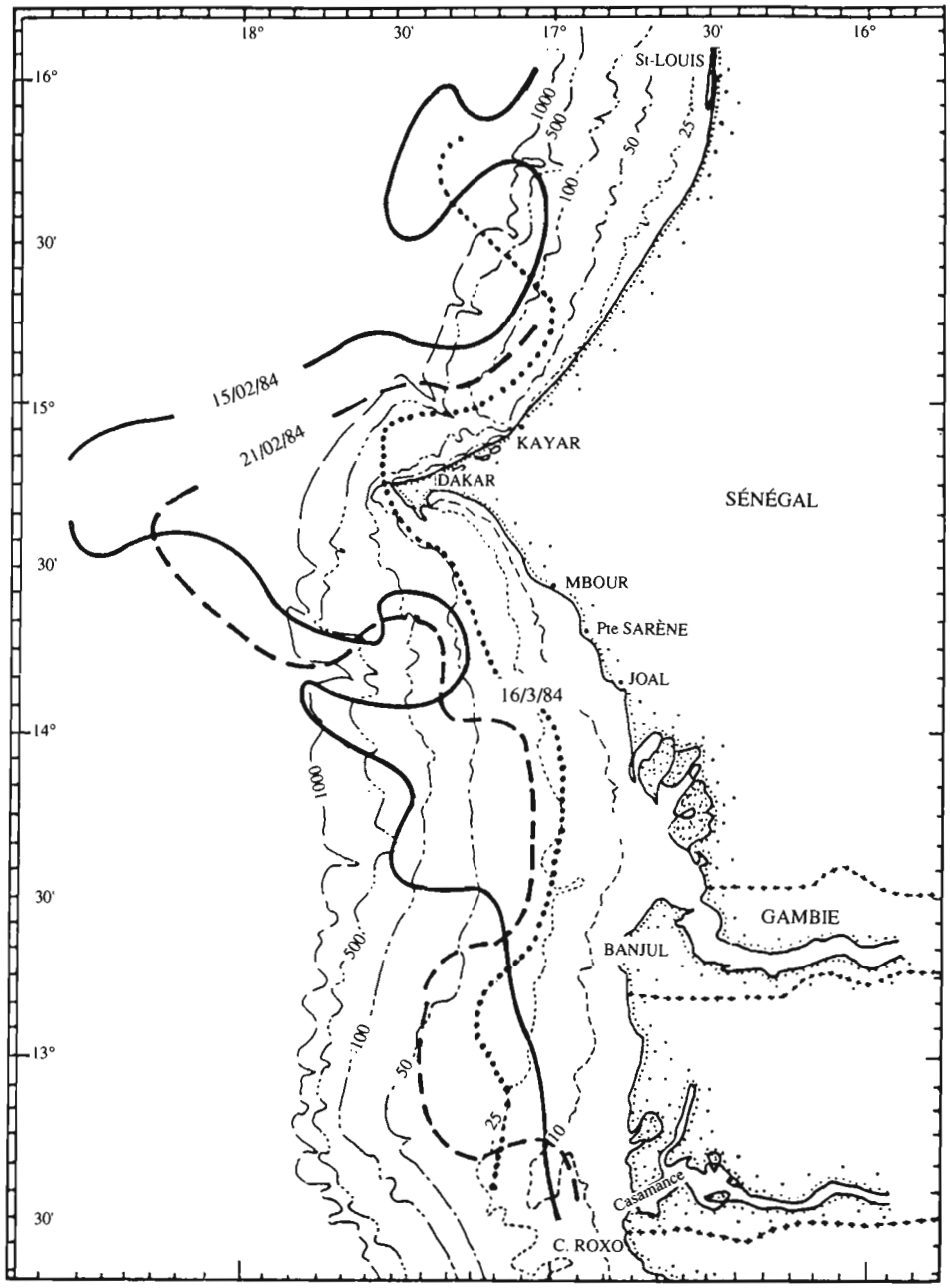


Fig. 3

Evolution des limites des zones à fortes concentration en chlorophylle *a* (> 10 mg/m3) d'après l'imagerie CZCS au cours d'une phase de régression de l'upwelling, en février-mars 1984.



plus froide (température inférieure à 17 °C), sous forme de langues détachées de la côte entre Mbour et la presqu'île du cap Vert, le long de l'isobathe 50 mètres. L'image satellitaire du 12 janvier montre également un rattachement classique de l'upwelling à la côte dans cette zone (fig. 4).

Estimation des biomasses et interprétation. La carte de répartition des densités obtenues lors de la campagne «Petite Côte 3», du 7 au 12 janvier 1985, montre que presque toute la zone centrale de l'upwelling s'étendant de Dakar vers le sud-ouest puis vers le sud, est dépourvue de fortes concentrations de poisson. En revanche, les trois plus grosses concentrations observées se situent d'une part au sud de Dakar sur les fonds de 100 à 200 mètres et d'autre part sur les fonds de 10 mètres face à l'estuaire du Saloum. Ces deux zones sont proches des bords est et sud de l'upwelling (température supérieure à 19 °C). Malgré la précocité de la campagne par rapport à la saison froide (Samb, 1985), certains points communs se dégagent d'après la comparaison de la répartition des biomasses avec celle observée pendant la campagne ECHOSAR 6, du 12 au 21 mars 1984 (fig. 4). Les plus fortes détections sont situées en majorité en dehors des taches d'eau froide. Les plus importantes de ces détections se situent soit dans des zones relativement chaudes (plus de 18,5 °C) et correspondent alors à des bancs de pélagiques situés au bord du plateau entre la surface et 50 mètres, soit près de l'isobathe 10 mètres. Une pêche d'échantillonnage a permis d'autre part de mettre en évidence des bancs importants de *Brachydeuterus auritus*, détectés dans la veine d'eau froide entre Rufisque et Mbour.

Campagne ECHOSAR 10 (19 février - 2 mars 1986)

• *Côte nord :* un fort développement de l'upwelling est observé au mois de janvier (minimum thermique de 16°C). Il est suivi d'un arrêt brusque vers mi-février puis d'une reprise normale qui persiste jusqu'au déroulement de la campagne.

La biomasse mesurée sur la côte nord est faible (Lévenez, à paraître) et surtout concentrée entre la côte et l'isobathe 50 m au sud de Saint-Louis (fig. 5). On observe une relation étroite entre les fortes biomasses et les zones les plus froides sur la région prospectée.

• *Côte sud* : l'upwelling est faible et peu étendu durant l'ensemble du mois de janvier (isotherme 19°C ne dépassant pas 13°N), son centre étant toujours localisé à proximité immédiate du cap Vert, situation couramment observée en période de vent faible. Son extension est maximale au début de février, diminue brusquement du 13 au 19 février, avant de reprendre au moment de la prospection (fig. 5), pendant laquelle le centre froid se situe entre le cap Vert et 13°N. Les résultats de la campagne montrent de fortes concentrations d'une part sur l'isobathe 10m entre Joal et l'estuaire du Saloum et d'autre part au sud de la Gambie. Le schéma classique montrant une répartition des fortes concentrations limitées à la périphérie du centre froid de l'upwelling est observé.

Campagne ECHOSAR 12 (13 - 28 février 1987)

La figure 6 montre la répartition des fortes concentrations mesurées par écho-intégration (Samb et Lévenez, 1988), ainsi que la situation thermique de surface caractérisant l'upwelling durant la même période.

• *Côte nord* : l'upwelling commence à occuper la côte nord aux alentours de Saint-Louis (température inférieure à 19°) vers la mi-janvier, reste stationnaire jusqu'à la fin du mois de février et s'intensifie régulièrement dès le 1er février pour atteindre un maximum prononcé (température de 16 à 17 °C) au cours de la prospection, du 13 au 17 février. Les fortes concentrations, bien que peu nombreuses, sont situées exclusivement sur les petits fonds (moins de 50 mètres) au sud de Saint-Louis (fig. 6), c'est-à-dire dans la zone la plus froide de l'upwelling.

• *Côte sud* : l'upwelling est dans une phase de forte régression (température entre 18 et 21°C). Entre le début de la campagne et son milieu, on observe sur l'imagerie satellitaire un déplacement progressif des eaux les plus froides (initialement situées face à l'estuaire de la Gambie, aux environs de l'isobathe 50 mètres) vers le sud du cap Vert.

La carte des densités (fig. 6) montre une répartition classique déjà observée les années précédentes, à savoir de fortes concentrations situées face aux embouchures des fleuves Saloum et Gambie, avec des bancs isolés plus au large (isobathe 200 m environ), soit dans tous les cas dans la zone périphérique de l'upwelling. C'est ainsi que les fortes concentrations observées se trouvent toutes en dehors de la zone centrale froide.

Les autres fortes détections sont mesurées face à l'estuaire de la Casamance. Cette zone a été peu soumise aux fluctuations de l'upwelling et l'influence du fleuve paraît ici prépondérante.

Campagne ECHOSAR 14 (13 - 23 février 1988)

• *Côte nord* : d'abord modéré début janvier (température moyenne de 20°C), l'upwelling s'intensifie régulièrement pour atteindre un maximum à la mi-février (température moyenne de 18°C), pendant la prospection (Samb, 1989 et fig. 7). Suivant un schéma identique à celui de l'année précédente, la zone la plus froide, toujours aux alentours de Saint-Louis, renferme la totalité des fortes détections mesurées dans cette zone.

• *Côte sud* : le mois de janvier est caractérisé par une mise en place très progressive de l'upwelling au sud du cap Vert, jusqu'au 10 février environ. L'upwelling reste stationnaire jusqu'au 20 février (début de la campagne), pour régresser lentement jusqu'à la fin du mois. Le centre froid reste toujours au nord de la Gambie puis, comme en 1986, se déplace et reste accolé au sud de la presqu'île du cap Vert.

La campagne de prospection s'est donc déroulée au tout début d'une phase de régression, faisant suite à quatre semaines d'activité, ce qui semble peu propice à un enrichissement planctonique. La carte de répartition des densités fait état de faibles concentrations dans toute la zone située au nord de la Gambie et correspon-

Fig. 4

Répartition des densités de poissons mesurées par écho-intégration et structure superficielle de l'upwelling du 7 au 12 janvier 1985.

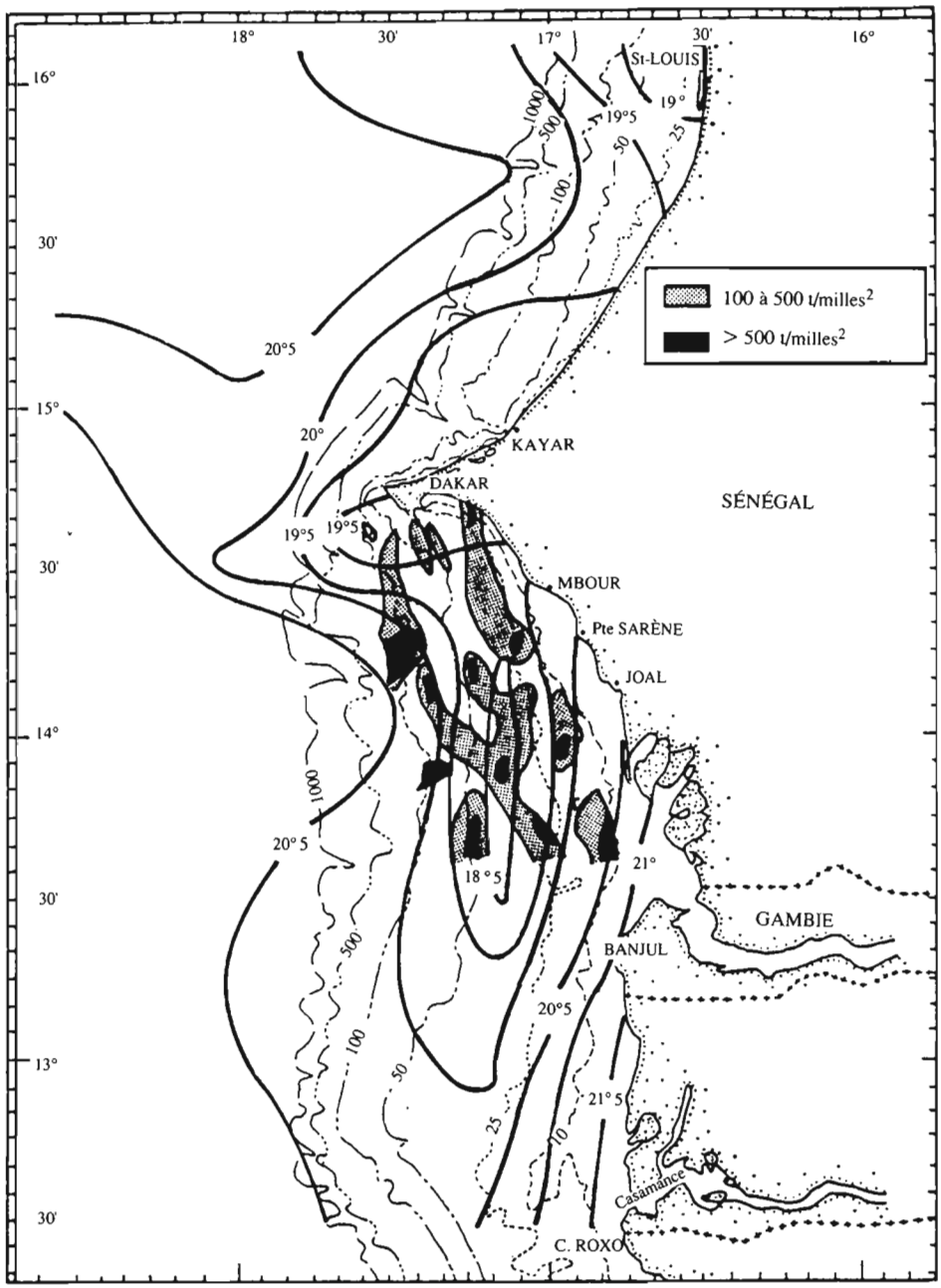


Fig. 5

Répartition des densités de poissons mesurées par écho-intégration et structure superficielle de l'upwelling du 19 février au 2 mars 1986.

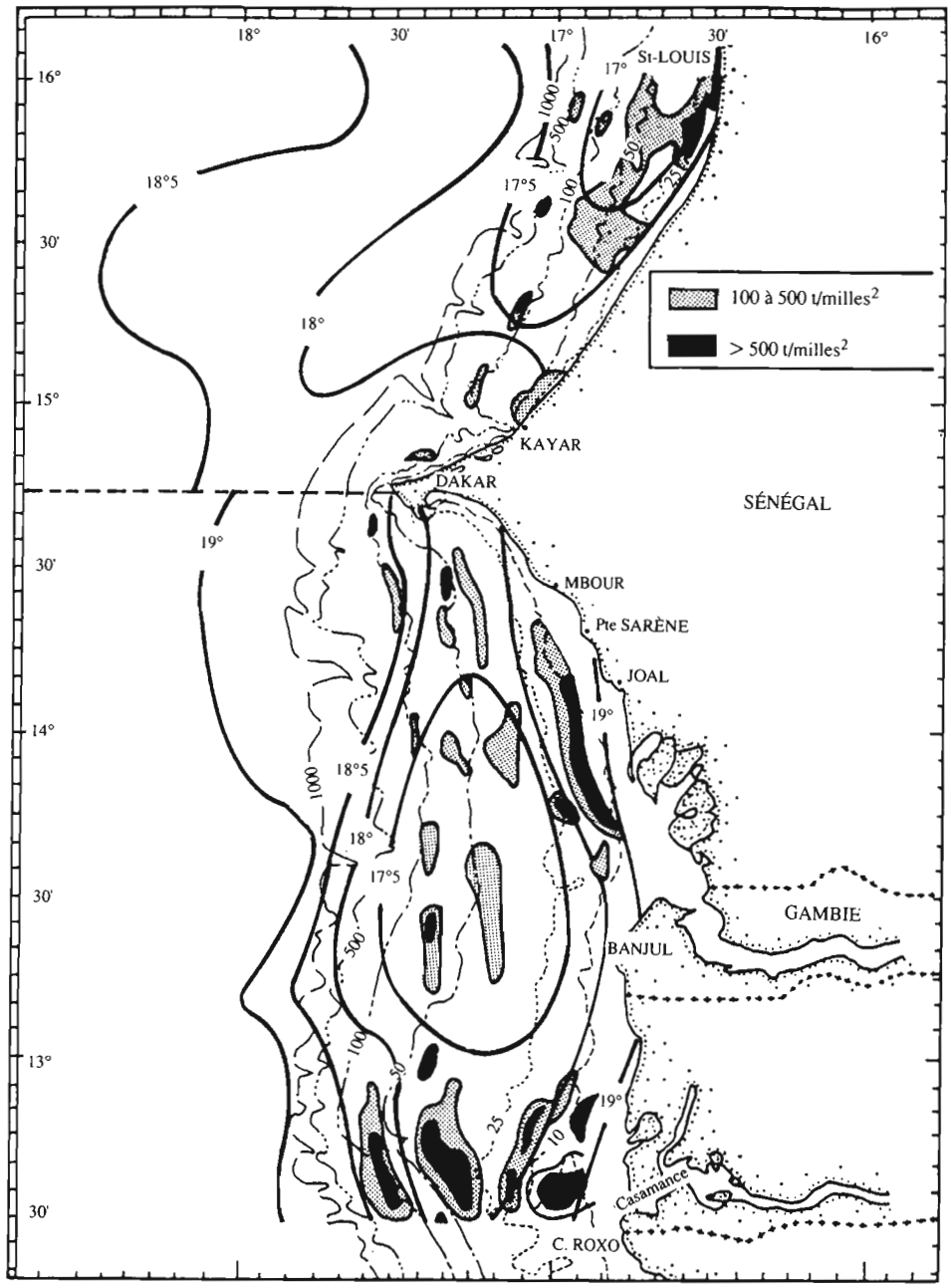


Fig. 6

Répartition des densités de poissons mesurées par écho-intégration et structure superficielle de l'upwelling du 13 au 28 février 1987.

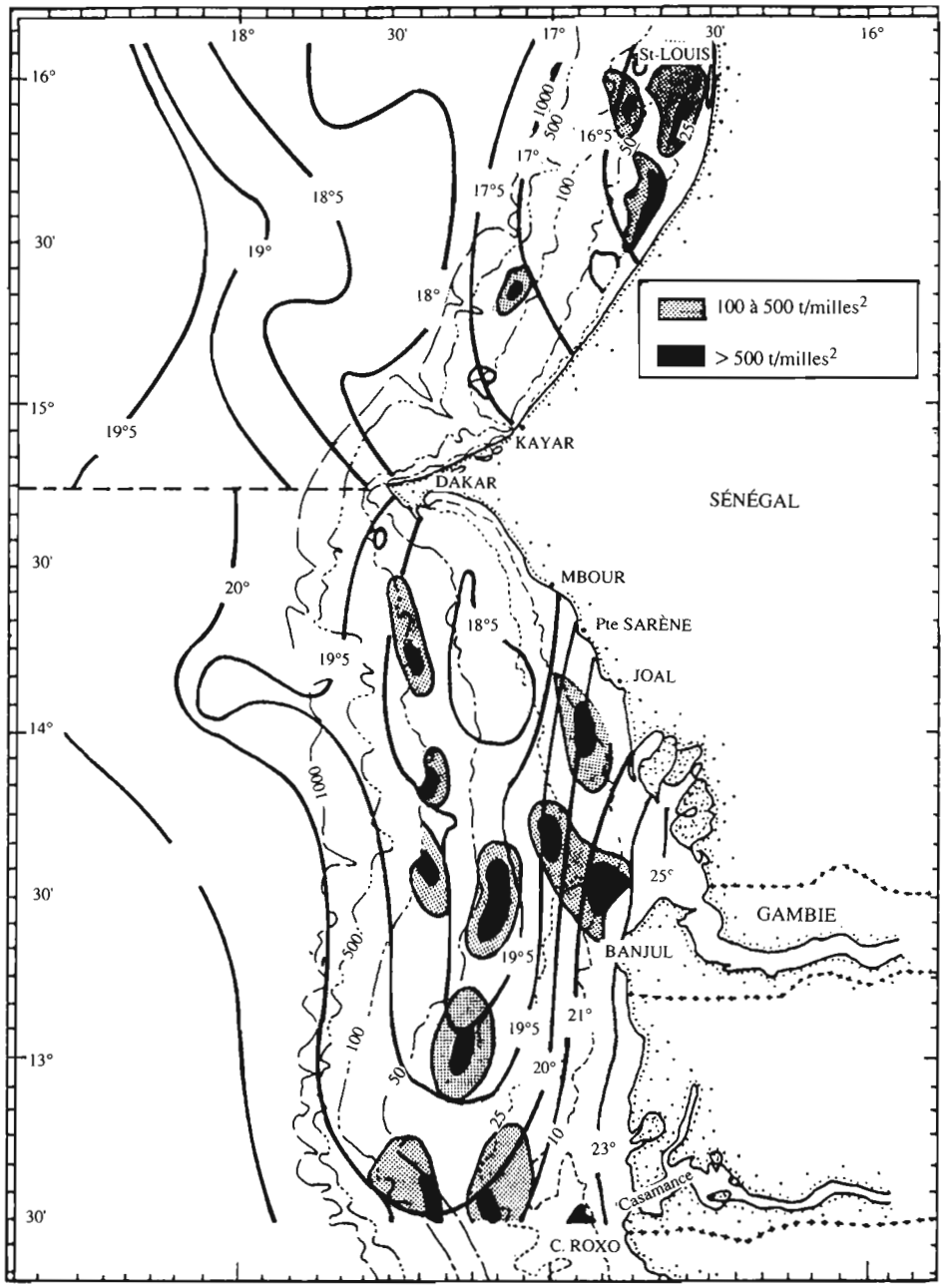
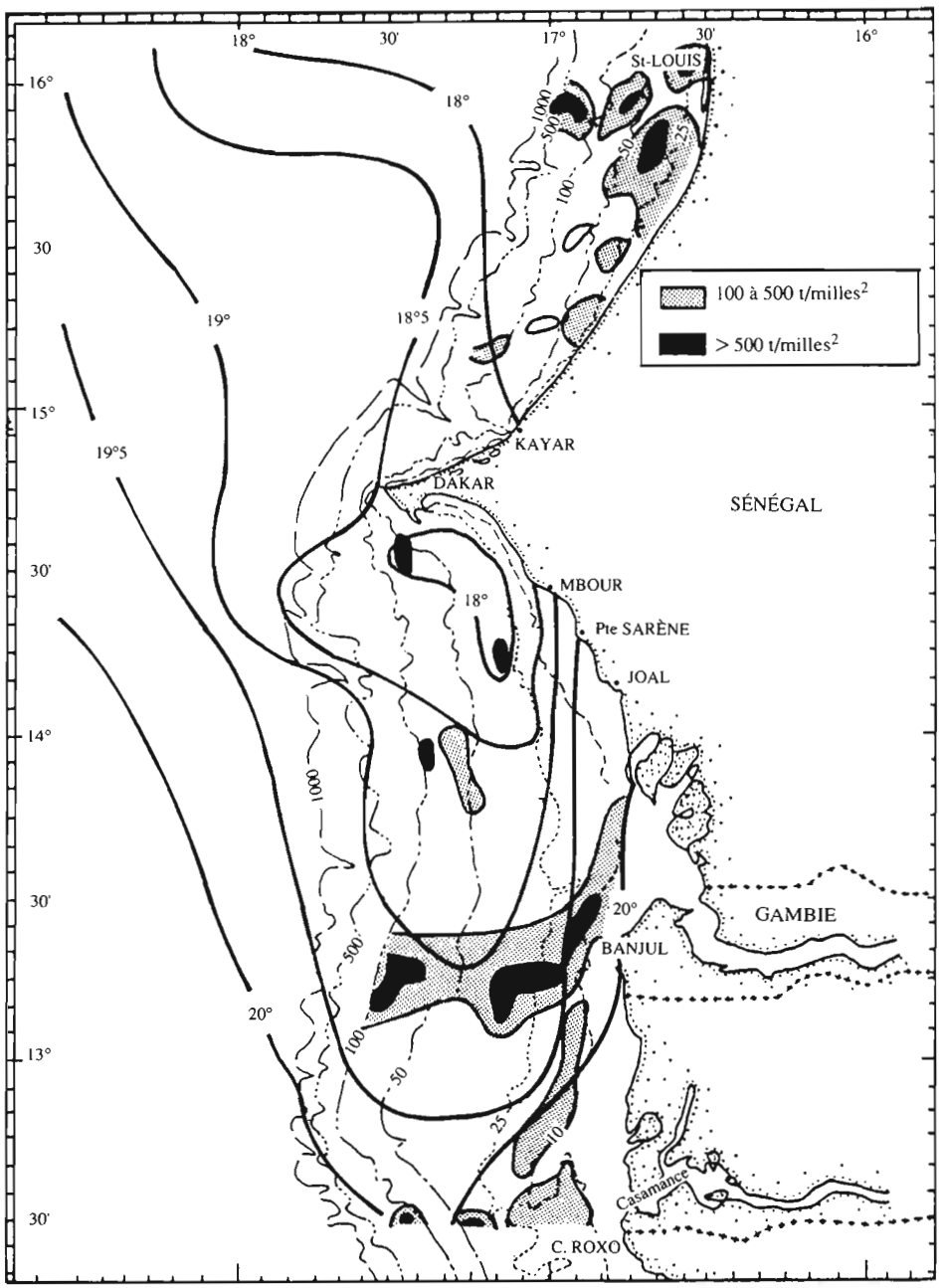


Fig. 7

Répartition des densités de poissons mesurées par écho-intégration et structure superficielle de l'upwelling du 13 au 23 février 1988.



dant encore à l'extension des eaux froides (température moyenne: 16°C).
Toutes les fortes densités sont situées dans des zones à faible gradient thermique en dehors du centre froid de l'upwelling, d'une part au large de la Gambie, d'autre part devant l'estuaire de la Casamance.

Résultats et discussion

L'analyse des campagnes d'écho-intégration de 1984 à 1988 dans le contexte hydroclimatique révèle des schémas de distribution des densités radicalement opposés entre côte nord et côte sud. Sur la côte nord, les fortes concentrations sont toujours détectées dans les eaux les plus froides, c'est-à-dire dans la partie nord de la zone prospectée, proche de Saint-Louis et de l'embouchure du fleuve Sénégal, région de la Grande Côte où le plateau continental est également moins étroit.
Sur la côte sud en revanche, les fortes concentrations de poisson sont généralement localisées à la périphérie de l'upwelling et il n'existe pas a priori de relations de proportionnalité directe température-biomasse.
Si les températures observées d'une année à l'autre sur la côte nord sont toujours décroissantes de Saint Louis au cap Vert, il n'en est pas de même sur la côte sud où des inversions locales de température sont parfois observées entre le cap Vert et la Casamance. De même, l'extension spatiale de l'upwelling vers le large est beaucoup plus variable.
Parmi les facteurs pouvant entraîner des différences écologiques entre zone nord et zone sud, on notera l'extension moyenne très différente du plateau continental (environ deux fois plus large sur la côte sud), ainsi que la différence de composition spécifique et de comportement des poissons pélagiques responsables des détections au nord et au sud.

ANALYSE DYNAMIQUE DE L'UPWELLING AU COURS DES SAISONS FROIDES DE 1984 À 1988.

Le tableau suivant représente les densités moyennes annuelles des poissons, mesurées par écho-intégration de 1984 à 1988 pour quatre zones couvrant l'ensemble du plateau continental sénégalais.

	côte nord	côte sud	Gambie	Casamance	période
1984	62	59	65	76	mars
	–	93	–	–	mai
1985	–	–	158	–	janvier
	–	207	–	–	septembre
	–	157	–	–	avril
1986	97	65	41	151	février
1987	70	68	82	91	février
1988	87	52	261	91	février
moy.	79	80	112	102	

Deux points remarquables apparaissent au vu de ces données:

- les biomasses présentent peu de variabilité interannuelle à l'exception de l'année 1985 pour laquelle des valeurs exceptionnellement élevées ont été calculées lors de trois campagnes différentes au cours de l'année;
- durant chacune des campagnes, les densités moyenne calculées sont toujours plus élevées en Casamance.

Par ailleurs, il ressort de l'analyse précédente que la répartition des espèces pélagiques est influencée non seulement par les caractéristiques de l'upwelling à un instant donné, mais aussi par la succession des événements thermiques précédents.
Dans le but de quantifier ces derniers, un découpage en quatre zones a été effectué, de Saint-Louis au Sud Casamance, suivant le schéma indiqué figure 8. La délimitation de chaque zone n'est pas arbitraire, mais effectuée d'après la connaissance préalable que nous avons de l'extension moyenne de l'upwelling à partir de toutes les thermographies disponibles, soit près d'une centaine de situations. A l'intérieur de chaque zone et pour chaque thermographie satellitaire, la température moyenne a été mesurée. Cette dernière représente un indice d'upwelling issu d'une combinaison de sa température moyenne locale, mais aussi de son extension spatiale à l'intérieur de chaque zone.
Les figures 9 à 13 représentent les variations hebdomadaires des indices ainsi calculés pour les premiers mois des années 1984 à 1988.
Le gradient général de température est constant et toujours positif de la zone nord cap Vert à la zone Casamance. D'autre part, les fluctuations temporelles observées sont très proches pour les trois zones, c'est-à-dire de même amplitude moyenne, quelle que soit la proximité de l'upwelling. L'influence de ce dernier en Casamance est donc directe et s'accompagne d'une diminution de température proportionnelle à celle de la zone centrale froide.
Les fortes concentrations de poisson mesurées en Casamance s'expliquent entre autre par la situation de transition entre eau upwellée et eau guinéenne chaude qui prévaut généralement dans cette zone, surtout par situation d'upwelling modéré. Elle profite ainsi de l'enrichissement de l'upwelling, tout en bénéficiant d'une turbulence générale moindre. C'est d'autre part une zone à large plateau continental, soumise aux apports nutritifs du fleuve Casamance.
L'analyse des figures 9 à 13 permet en outre de constater de fortes différences dans l'intensité et la variabilité temporelle de l'upwelling. L'année 1984 est caractérisée par un upwelling faible mais présentant d'importantes fluctuations thermiques. En 1985, au contraire, l'upwelling est fort mais d'intensité constante pour chacune des trois zones étudiées. En 1986, l'upwelling est fort et d'intensité variable au cours de la saison froide. En 1987 et 1988, il est d'intensité et de variabilité moyennes.
Les importantes détections mesurées en 1985 lors de

Fig. 8

Moyenne de la température de surface de la mer en saison froide (novembre à mars 1984 à 1988) établie d'après les synthèses thermiques des satellites METEOSAT et découpage des zones utilisées dans le calcul de l'indice d'upwelling.

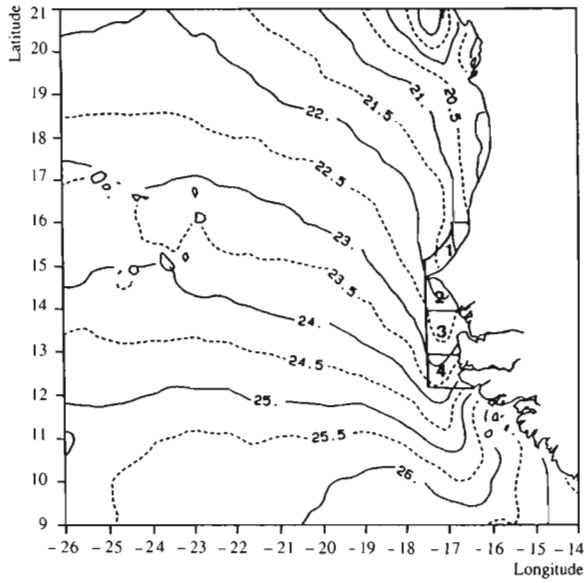


Fig. 9

Dynamique de l'upwelling sénégalais de janvier à avril 1984.

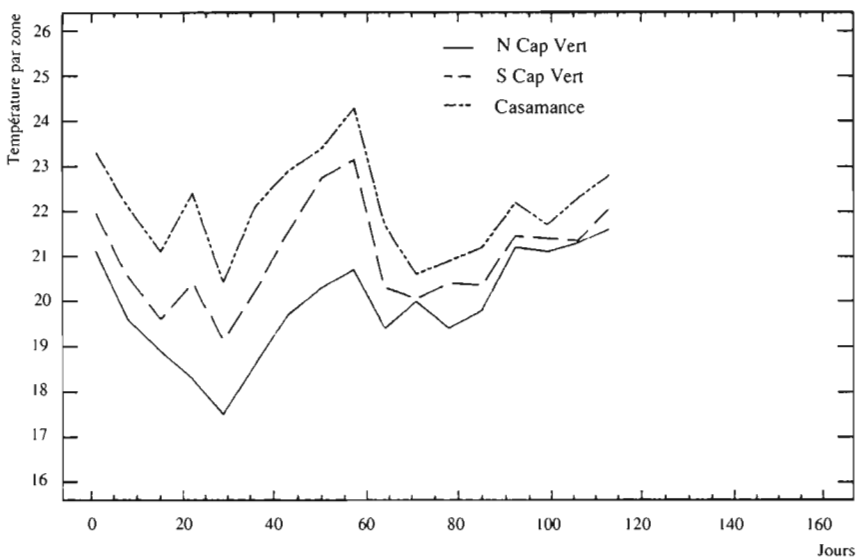


Fig. 10

Dynamique de l'upwelling sénégalais de janvier à mars 1985.

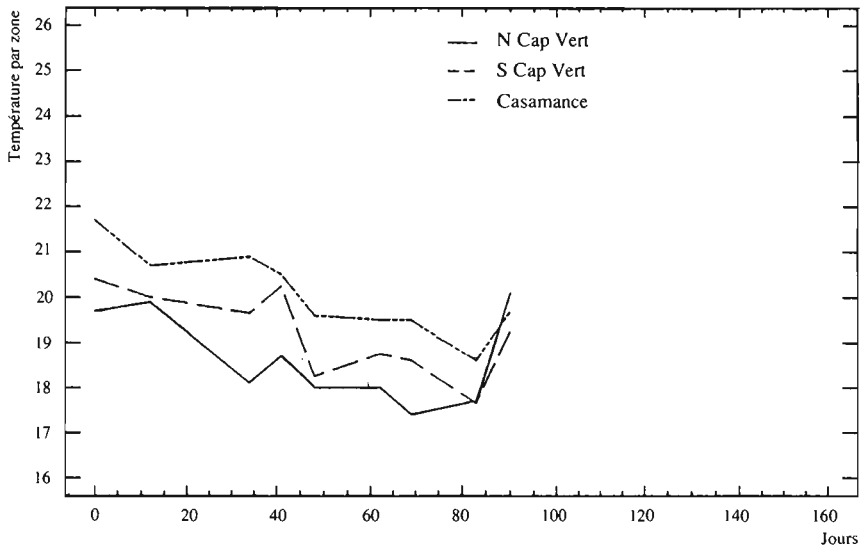


Fig. 11

Dynamique de l'upwelling sénégalais de janvier à mai 1986.

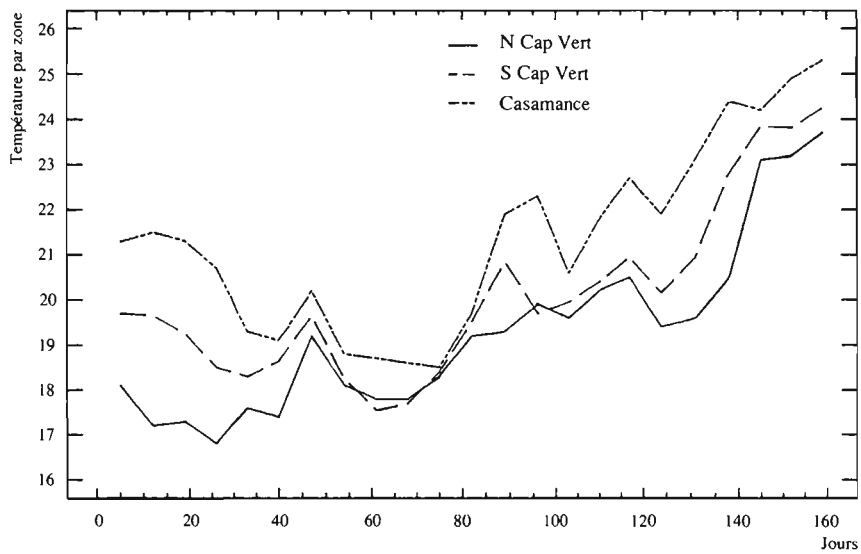


Fig. 12

Dynamique de l'upwelling sénégalais de janvier à mars 1987.

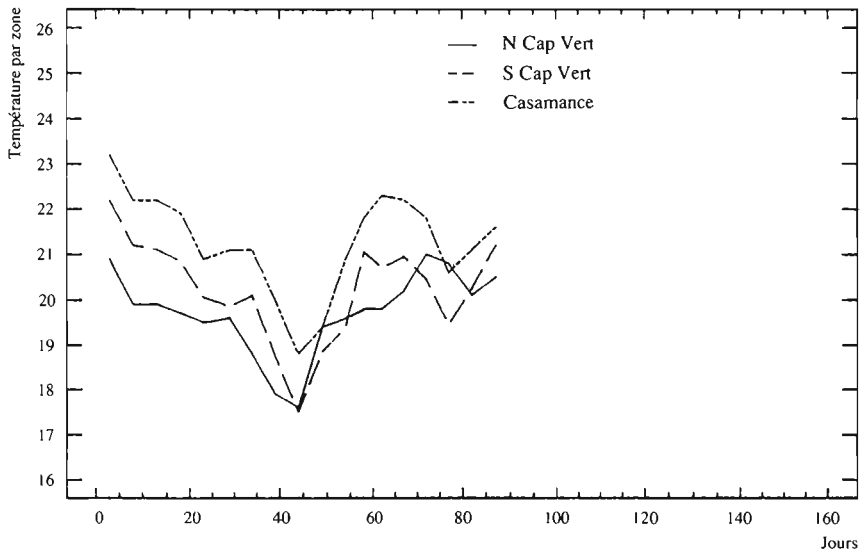
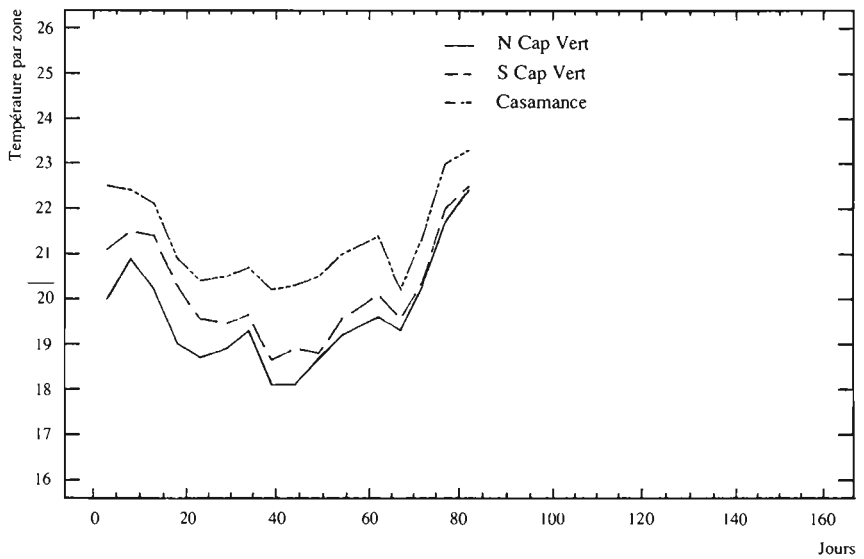


Fig. 13

Dynamique de l'upwelling sénégalais de janvier à mars 1988.



plusieurs campagnes en saison froide (Camarena ,1986; Samb, 1985) peuvent être reliées d'une part à la forte intensité de l'upwelling ayant entraîné une forte production primaire moyenne et d'autre part aux conditions particulières de l'upwelling de 1984 qui, bien que de faible intensité, semble avoir été propice, de par l'alternance de phases de courtes activités suivies de longues périodes de régression, à une production primaire globalement importante.

CONCLUSION

L'étude comparative des champs thermiques superficiels et des densités de poissons pélagiques réalisée sur le plateau continental sénégalais en saison froide révèle plusieurs traits caractéristiques:

- sur la côte nord, les plus fortes densités de poissons pélagiques sont essentiellement limitées à la zone la plus froide de l'upwelling;
- sur la côte sud, les fortes densités se retrouvent essentiellement à la périphérie de l'upwelling et non dans la partie centrale froide.

A défaut d'avoir pu réaliser des pêches de contrôle pour l'identification des espèces responsables des fortes détections, on peut poser deux hypothèses:

- les espèces détectées sont différentes sur la côte nord et sur la côte sud ou n'ont pas le même comportement vis à vis des eaux froides. De plus, les plus fortes biomasses détectées au nord et au sud du cap Vert ne concernent pas les mêmes tranches de profondeur;
- les caractéristiques environnementales sont suffisamment distinctes au nord et au sud pour justifier, à elles seules, ces différences de comportement qui ne paraissent pas explicables par la structure de l'upwelling (gradient thermique local) mais par exemple par la proximité des fleuves.

Le schéma d'évitement des zones centrales de l'upwelling sur la côte sud a déjà été observé au niveau de la répartition des larves de sardinelles (Conand, 1976) et également par écho-intégration (Marchal et Picaut, 1977) dans l'upwelling de Côte-d'Ivoire. En effet les eaux nouvellement upwellées sont pauvres en oxygène et sont évitées par les poissons. Par ailleurs, la production primaire et secondaire ne commence à s'établir qu'après un certain temps de présence de l'eau upwellée en surface, donc nécessairement à une certaine distance de l'upwelling et en dehors des zones de turbulence.

Il ne semble pas exister de relation nette entre intensité moyenne de l'upwelling en saison froide et densité des poissons (en 1985 et 1986, années à upwelling fort comparables sur la petite côte, des valeurs très différentes de biomasse ont été mesurées). Une analyse dynamique des événements semble, par contre, indiquer une influence importante de la variabilité temporelle de l'upwelling (succession de longues phases d'upwelling intense et d'upwelling faible) sur l'abondance moyenne des pélagiques l'année suivante. C'est le cas de l'année 1985 que précède une année à upwelling présentant une forte variabilité temporelle à l'échelle du mois, bien que d'intensité moyenne faible.

Le critère de productivité de l'upwelling côtier sénégalais au cours d'une saison froide semblerait ainsi lié davantage à sa variabilité temporelle qu'à son intensité moyenne.

Il reste évident que les facteurs explicatifs de la distribution des poissons pélagiques sont à rechercher aussi dans le cadre d'autres études restant à entreprendre sur les points suivants:

- échantillonnage spécifique des espèces détectées par écho-intégration;
- quantification des apports fluviatiles;
- relations existant entre la dynamique de l'upwelling à l'échelle de la semaine (ou plus) et le taux de survie larvaire d'une part, et l'importance de la production primaire d'autre part.

DISCUSSION

LEVENEZ: L'utilisation des cartes satellites présente une certaine limite. En effet, les biomasses obtenues par écho-intégration sont intégrées sur la verticale alors que les températures mesurées par satellites sont représentatives de la surface. Quand l'upwelling est installé, le biais introduit est sans doute faible; par contre, en saison chaude et en période d'upwelling faible, il peut y avoir un écart important entre les températures superficielles et celles rencontrées sur la verticale.

ROY: Cette remarque est judicieuse, cependant il me paraît vain de rechercher des corrélations entre température et biomasse de poissons. Il est préférable de rechercher des correspondances entre des structures thermiques qui reflètent des processus biologiques. Par exemple, les biomasses rencontrées le long de la Petite Côte sont sans doute explicables par les concentrations en chlorophylle ou en plancton à cet endroit plutôt que par la température de surface. Les cartes satellites sont l'outil idéal pour ce type de recherche.

DIOUF: Y a-t-il une concentration de sardinelles en Casamance en saison chaude comme en saison froide ?

SAMB: Oui, cette concentration semble permanente.

DIOUF: L'explication de la présence de poissons à la périphérie de l'upwelling ne peut donc tout expliquer. Il faudrait peut-être prendre en compte l'enrichissement des eaux en saison chaude par les apports d'éléments minéraux à partir de l'estuaire de la Casamance.

ROY: L'utilisation des satellites pour comprendre la dynamique spatio-temporelle des populations au sein d'un écosystème, est un outil précieux. Grâce à cet outil, on peut maintenant appréhender la dynamique spatio-temporelle des upwellings à une échelle beaucoup plus fine que ne le permettent les outils classiques. Cependant, nous ne sommes pas encore familiers avec ce type

de données et surtout peu d'outils existent pour synthétiser dans l'espace et le temps les informations récoltées.

CURY: Un effort particulier devra être réalisé dans cette direction car ces outils nous permettront de développer des approches en terme de processus en suivant par exemple l'évolution spatio-temporelle des masses d'eaux.

BIBLIOGRAPHIE

• Binet, D. 1988. Rôle possible d'une intensification des alizés sur le changement de répartition des sardines et sardinelles le long de la côte ouest-africaine. Aquat. living Resour. 1: 115-132.

• Camarena T.L. 1986. Les principales espèces de poissons pélagiques côtiers au Sénégal: biologie et évaluations des ressources. Thèse de 3ème cycle, Université de Bretagne Occidentale, 127p.

• Conand F. 1976. Distribution et abondance des larves de Sardinella aurita Val. 1847 dans la région du Sénégal en 1974. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr. 14, 3: 221-225.

• Domain F. 1979. Le satellite METEOSTAT et l'océanographie. Etude des températures de la mer au voisinage des côtes de Mauritanie et du Sénégal. Télédétection, 3, série IDT ORSTOM.

• Fréon P. Stéquert B. et Boëly T. 1982. La pêche des poissons pélagiques côtiers en Afrique de l'Ouest des Iles Bissagos au nord de la Mauritanie: description des types d'exploitation. Rapp. P-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 399-404.

• Fréon P. 1984. Des modèles de production appliqués à des fractions de stock dépendant des vents d'upwelling (pêche sardinière au Sénégal). Océanogr. trop. 19, 1: 67-94.

• Gerlotto F. Marchal E. et Stéquert B. 1982. Les ressources en poissons du plateau continental sénégambien évalués par écho-intégration. Rapp.P-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 379-384.

• Lévenez J.J. Samb B. et Camarena T. 1985. Résultats de la campagne ECHOSAR VI du Laurent Amaro. Prospection des stocks de poissons pélagiques côtiers le long des côtes du Sénégal et de la Gambie en saison froide du 6 au 26 mars 1984. Archive CRODT, 133, 39 p.

• Lévenez J.J. A paraître. Résultats de la campagne ECHOSAR10 du Louis Sauger. Prospection des stocks de poissons pélagiques côtiers le long des côtes Sénégambiennes (19 février au 2 mars 1986).

• Marchal E. Picaut J. 1977. Répartition et abondance évaluées par écho-intégration des poissons du plateau ivoiro-ghanéen en relation avec les upwellings locaux. J. Rech. Océanogr. 2 (4).

• Rébert J.P. 1979. Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais. Doc. scient. Cent. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 93, 186 p.

• Roy C. 1989. Fluctuations des vents et variabilité de l'upwelling devant les côtes du Sénégal. Oceanologica Acta, 12, 4: 361-369.

• Samb B. 1985. Résultats de la campagne Petite Côte 3 du Laurent Amaro. Prospection des stocks de poissons pélagiques côtiers le long de la Petite Côte du Sénégal (7 au 12 janvier 1985). Archive CRODT, 143, 18 p.

• Samb B. 1989. Résultats de la campagne ECHOSAR 14 du N/O Louis Sauger. Prospection des stocks de poissons pélagiques côtiers le long des côtes sénégambiennes du 13 au 24 février 1988. Archive CRODT, 172, 15p.

• Samb B. et Lévenez J.J. 1988.- Résultats de la campagne ECHOSAR 12 du N/O Louis Sauger. Prospection des stocks de poissons pélagiques côtiers le long des côtes sénégambiennes du 12 février au 1er mars 1987. Archive CRODT, 168, 16 p.

24 • Upwelling sénégalo-mauritanien et pêche du tassergal (*Pomatomus saltator*) sur la côte nord du Sénégal

RÉSUMÉ

Des analyses exploratoires à partir de variables d'environnement (indices d'upwelling, températures de surface) et de pêche sont faites. De bons ajustements sont obtenus entre, d'une part les captures ou les prises par sortie de tassergal sur la côte nord du Sénégal, et d'autre part le différentiel d'intensité d'upwelling entre le Sénégal et la Mauritanie, ainsi que les températures de surface notées au début de la saison d'upwelling au Sénégal. La qualité de ces ajustements est discutée à la lumière de la stratégie d'exploitation de la pêche artisanale sénégalaise.

ABSTRACT

We make exploratory analysis of a set of environmental and bluefish fishery data. We find empirical relations between catches or CPUE on the northern coast of Senegal on one hand, and difference of upwelling intensity between Senegal and Mauritania and sea surface temperature values in Senegal at the beginning of the upwelling season on the other hand. Those relations are discussed in the general context of the exploitation strategy of the Senegalese small scale fishery.

ALASSANE SAMBA
Chercheur ISRA. CRODT, B.P. 2241, Dakar, Sénégal
FRANCIS LALOË
Chercheur ORSTOM. ORSTOM, B.P. 5045, 34032 Montpellier, France

INTRODUCTION

Le tassergal (*Pomatomus saltator*) est une espèce pélagique capturée en quantités importantes par la pêche artisanale sur la côte nord du Sénégal jusqu'au milieu des années quatre-vingt. Les captures annuelles débarquées dans les deux principaux ports de pêche (Kayar et Saint-Louis) ont varié entre 2 500 et 4 200 tonnes entre 1975 et 1983. Elles ont ensuite connu une baisse très importante, avec un résultat inférieur à 200 tonnes en 1987.

L'analyse des captures par type d'engin indique par ailleurs un changement radical de l'exploitation faite par la pêche artisanale à partir de 1981, lorsque la généralisation de l'usage des sennes tournantes au nord de Dakar s'est traduite par d'importantes captures de tassergal réalisées avec cet engin et par une chute de celles obtenues avec les lignes à main (Laloë et Samba, 1989).

Le tassergal est une espèce migratrice capturée par les lignes au Sénégal de février à début juin, au cours de la période d'upwelling (Champagnat *et al.*, 1983). Les captures obtenues avec les sennes tournantes n'ont lieu qu'à la fin de cette période, de fin mai à début juin, avant la remontée des poissons vers la Mauritanie.

Si on admet que le fonctionnement de l'upwelling sénégalo-mauritanien a une grande importance sur la dynamique et le comportement de nombreuses espèces, on peut rechercher l'existence de relations entre les variations de cet upwelling et les résultats de la pêche pour ces espèces (Fréon, 1986). La recherche de rela-

tions empiriques entre les variations de l'upwelling et les résultats de pêche peut être abordée par des analyses exploratoires de données disponibles en divers lieux de la façade maritime. Dans la zone concernée par la pêche au tassergal, Cury et Roy (1988) ont observé une liaison entre la date d'apparition du tiof (*Epinephelus aeneus*) dans les captures réalisées par la pêche artisanale à Saint-Louis et Kayar et les indices d'upwelling à Nouadhibou (nord de la côte mauritanienne) et Yoff (banlieue de Dakar sur la presqu'île du cap Vert). Le déclenchement de la migration des tiofs vers le sud apparaît associé au moment où l'intensité de l'upwelling s'accroît au Sénégal et diminue en Mauritanie. Il était intéressant de rechercher si des phénomènes de même nature peuvent être également observés pour le tassergal.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Nous avons tenté (Laloë et Samba, 1989), à partir des données d'intensité d'upwelling (fig. 1), d'explorer l'apport de variables susceptibles de résumer l'évolution relative des indices d'upwelling entre Nouadhibou et Yoff. Onze variables d'environnement, construites à partir de ces données d'upwelling ont été ainsi prises en compte de 1975 à 1987. Elles sont présentées au tableau 1. Nous avons également utilisé les températures moyennes de surface observées à Saint-Louis pendant la quinzaine de début d'upwelling à Yoff (tab. 1). Les variables ont été choisies de façon à refléter la durée de la période au cours de laquelle l'indice d'upwelling à Yoff est supérieur à celui mesuré à Nouadhibou, l'ampleur moyenne et totale de ces différences, les quinzaines d'apparition de cette période, ou d'apparition de l'upwelling à Yoff.

Pour quatre variables (également présentées au tableau 1) résumant les résultats de la pêche artisanale à Saint-Louis et Kayar concernant le tassergal, nous avons, selon une procédure ascendante de sélection de modèles de régression multiple, recherché une relation avec au plus trois des 12 variables d'environnement. Une telle démarche est, rappelons le, de nature exploratoire. La qualité des ajustements, obtenus à partir d'un faible nombre de données, doit être relativisée puisque leur sélection est faite parmi un nombre considérable de formulations possibles. Ces ajustements peuvent néanmoins être utilisés dans une discussion plus générale sur l'exploitation du tassergal.

RÉSULTATS

Les ajustements obtenus pour les quinzaines de début de campagne à Saint-Louis et Kayar «n'expliquent» qu'environ 50% des variances respectives. Nous ne discuterons ici que des résultats concernant les captures totales (Y_3) réalisées en saison froide à Kayar et Saint-Louis, et les sommes (Y_4) de rendements moyens en saison froide obtenus dans ces deux localités:

$Y_3 = 20\,316 + 413\,X_8 - 89\,X_6$
(87,3% de variance expliquée),

$Y_4 = 3\,762 - 16\,X_6 + 96\,X_8 - 3{,}1\,X_9$
(72,9% de variance expliquée).

Fig. 1

Transport d'Ekman (en m³/s/m) par quinzaine à Nouadhibou et à Yoff de 1974 à 1987.

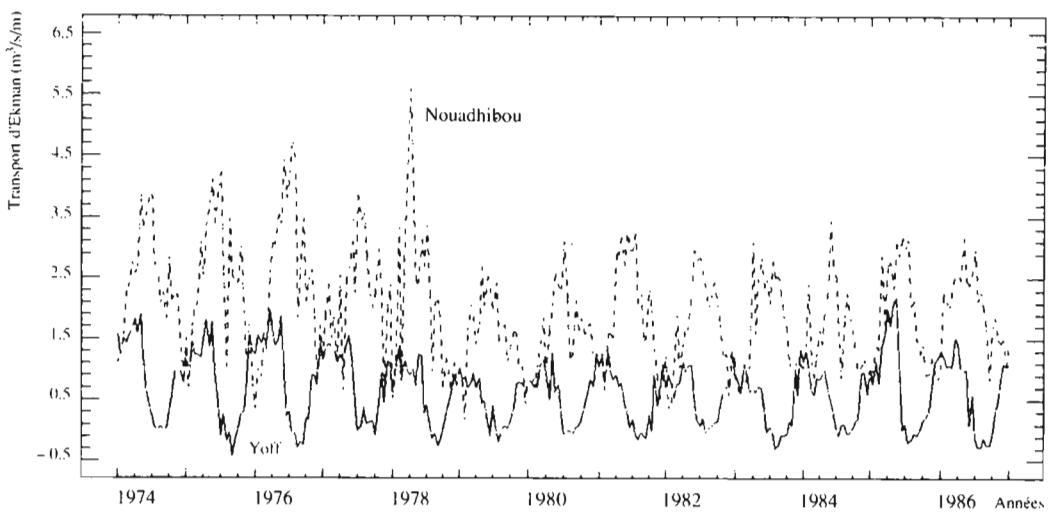


Tableau 1

Valeurs des différentes variables d'environnement (x_m) et de pêche (y_n).

Année	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
75	19	20	20	20	129	203	23	4	6	17	2	10	25	3	4275	733
76	21	22	22	22	155	221	21	9	122	534	3	10	24	3	4138	755
77	20	20	23	20	143	236	22	9	61	252	2	10	24	2	3687	685
78	19	20	22	22	113	219	24	4	17	24	2	10	26	3	2387	531
79	20	22	24	24	103	227	21	6	64	112	1	9	25	2	2632	490
80	20	20	25	20	84	237	23	7	33	98	0	10	25	2	2470	463
81	19	21	23	23	127	224	23	6	84	216	2	9	23	4	2967	332
82	20	20	23	20	110	231	22	8	110	339	1	10	25	2	2620	227
83	20	21	23	23	127	231	22	7	68	225	1	10	26	5	2469	111
84	21	21	21	21	136	233	23	3	64	160	3	10	25	5	1261	40
85	21	21	24	21	105	223	24	3	61	69	1	10	25	5	1526	98
86	21	21	22	22	132	230	22	3	71	156	3	11	26	5	415	65
87	20	21	22	21	110	237	23	3	23	43	3	10	26	4	192	30

x_1 = 1 : Quinzaine de début d'upwelling quand l'intensité est supérieure à 0,44 $m^3/s/m$ de côte.

x_2 = 2 : Quinzaine de début d'upwelling quand l'intensité est supérieure à 0,70 $m^3/s/m$ de côte.

x_3 = 3 : Quinzaine de début d'upwelling quand l'intensité est supérieure à 1,00 $m^3/s/m$ de côte.

x_4 = 4 : Quinzaine d'observation de la plus forte valeur d'intensité d'upwelling entre les quinzaines 20 et 24.

x_5 = 5 : Intensité maximale d'upwelling observée entre les quinzaines 20 et 24.

x_6 = 6 : Température de surface observée à Saint-Louis au début de l'upwelling (var. 1)(1/10 de degrés C.).

x_7 = 7 : Quinzaine de démarrage d'un upwelling plus intense à Yoff qu'à Nouadhibou.

x_8 = 8 : Durée en quinzaine de cette période favorable à Yoff.

x_9 = 9 : Ecart maximum d'intensité d'upwelling entre Yoff et Nouadhibou dans la même période.

x_{10} = 10 : Somme des écarts d'intensité quand l'upwelling est plus intense à Yoff.

x_{11} = 11 : Nombre de fois que l'intensité de l'upwelling à Yoff est supérieure à 1 entre les quinzaines 20 et 24.

x_{12} = 12 : Quinzaine de fin de l'upwelling.

y_1 = 13 : Quinzaine d'apparition du tassergal à Saint-Louis.

y_2 = 14 : Quinzaine d'apparition du tassergal à Kayar.

y_3 = 15 : Captures (en tonnes) de tassergal par tous les engins en saison froide (St-Louis + Kayar).

y_4 = 16 : Somme des rendements des pirogues lignes (en kg/sortie) en tassergal en saison froide (St-Louis + Kayar).

Nous avons porté sur les figures 2 et 3 les graphes des valeurs observées et ajustées pour ces deux relations.
La capture totale de tassergal apparaît liée de façon positive à la durée de la période au cours de laquelle l'intensité de l'upwelling est plus importante à Yoff qu'à Nouadhibou, et de façon négative à la température de surface à Saint-Louis. Les captures ont été particulièrement faibles de 1984 à 1987, années au cours desquelles la durée d'inversion de l'intensité de l'upwelling n'excède pas trois quinzaines.
Les deux mêmes variables explicatives ont été sélectionnées pour la relation décrivant les rendements. Toutefois, même en introduisant l'écart maximum d'intensité d'upwelling entre Yoff et Nouadhibou pendant la période d'inversion, la qualité de l'ajustement obtenu est moins satisfaisante. L'examen des écarts entre valeurs ajustées et observées indique que les premières sont nettement plus importantes que les secondes en 1982 et 1983.

DISCUSSION

Cette inadéquation de l'ajustement des rendements réalisés avec les lignes est en fait intéressante. Elle traduit le changement de stratégie dans l'exploitation de cette espèce par la pêche artisanale à partir de 1981 avec l'apparition des sennes tournantes. En effet la chute des rendements des lignes ne traduit probablement pas une baisse d'abondance ou de capturabilité, mais plutôt une collaboration entre certaines unités de pêche à la ligne et unités de sennes tournantes pour la recherche par les premières des bancs capturés par les secondes. Parallèlement, les unités de pêche à la ligne en général ont privilégié la recherche d'autres espèces entraînant la chute des rendements des lignes observée en 1982 et 1983. A partir de 1984, cette chute de rendements a affecté l'ensemble des techniques, entraînant l'effondrement des captures totales.
La qualité de l'ajustement obtenu pour les captures doit être discutée dans le contexte des stratégies d'exploitation des pêcheurs artisans. La relation obtenue conforte les idées habituellement retenues selon lesquelles l'intensité de l'upwelling sur la façade maritime sénégalaise est un facteur favorable à l'abondance au Sénégal des espèces sahariennes (présentes en saison froide); mais il convient de noter que la chute sensible des captures de tassergal à partir de 1984, si elle peut être liée à des conditions climatiques, a pu être amplifiée par un redéploiement de l'activité des unités de pêche. Ainsi, juste avant 1984, la saison de pêche au tassergal ne concernait plus guère que les sennes tournantes, et sa durée était réduite à moins d'un mois, alors qu'elle se prolongeait sur plusieurs mois quelques années auparavant, lorsque le tassergal était l'une des principales espèces cibles pour les pêche à la ligne. La recherche du tassergal impliquant souvent des migrations pour les pêcheurs (qui peuvent choisir d'exercer leur activité sur la côte sud du Sénégal) a pu devenir un «pari» au risque de plus en plus important. Dans de telles conditions, l'effet d'une diminution de l'abondance du tassergal au

Fig. 2

Captures de tassergal (en tonnes) de 1975 à 1987: valeurs observées (ligne continue) et ajustées (ligne pointillée) par le modèle.

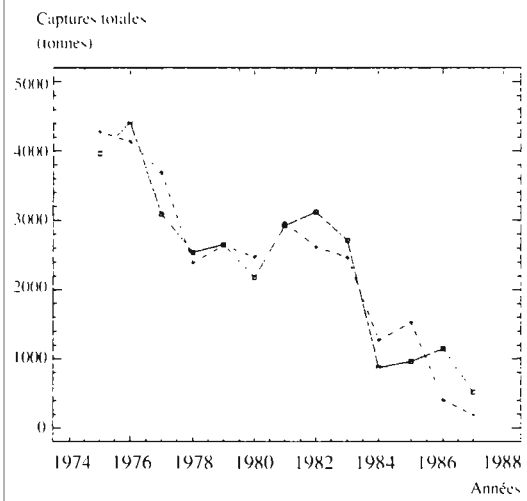
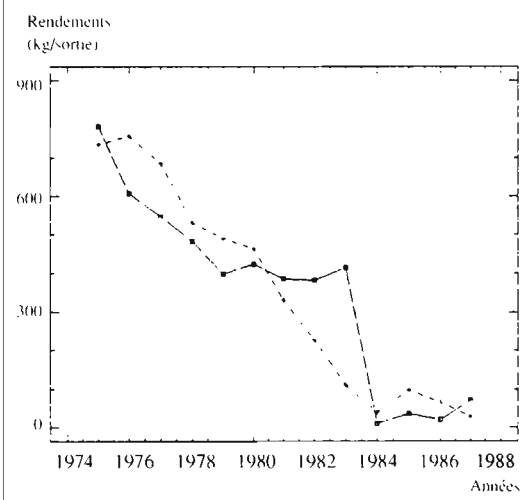


Fig. 3

Rendements de tassergal (en kg/sortie) de 1975 à 1987: valeurs observées (ligne continue) et ajustées (ligne pointillée) par le modèle.



Sénégal a pu être considérablement amplifié, en encourageant les unités de pêche à privilégier la recherche d'autres espèces, sardinelles ou chinchards pour les sennes tournantes, espèces démersales pour les lignes.

CONCLUSION.

Il convient de ne pas conclure de façon péremptoire sur la signification de la chute des captures de tassergal. Il n'est pas possible en effet de savoir dans quelle mesure elle est due à une baisse de la biomasse du stock, ou à une répartition différente de cette biomasse parce que la relation observée, en pouvant inclure des effets d'interactions ayant pu amplifier ces modifications, ne permet pas de les quantifier. Sans prétendre aucunement que l'évolution des captures de tassergal est un événement banal, il faut la replacer dans un contexte plus général, marqué par une croissance maintenue des résultats généraux de la pêche au cours de cette période. Le climat est l'une des sources de variabilité qui affecte la relation entre pêcheurs et poissons au Sénégal. On a assisté à une adaptation de la pêche qui a réagi de telle sorte que les effets négatifs que l'on pouvait redouter d'une diminution d'abondance du tassergal (Champagnat *et al.*, 1983) ont pu être en grande partie évités.

Les relations observées ne peuvent être utilisées seules pour réaliser des prédictions quant à l'exploitation du tassergal et ses résultats. En effet, même si on pouvait prédire le comportement de l'upwelling pour les prochaines années, il conviendrait de tenir compte de l'évolution des stratégies de pêche des artisans sénégalais. Au cours de l'épisode d'abord marqué par la chute des rendements des lignes puis par celle des captures, le recours à d'autres tactiques s'est développé. Un retour à des conditions d'environnement semblables à celles des années 1970, même s'il se traduisait par un retour du tassergal, se produirait dans un contexte nouveau et ne rendrait peut-être pas au tassergal un statut d'espèce cible aussi net que par le passé.

BIBLIOGRAPHIE

• Champagnat C. A. Caverivière, C. Conand, P. Cury, J.R. Durand, A. Fontana, A. Fonteneau, P. Fréon et A. Samba. 1983. Pêche, biologie et dynamique du tassergal (*Pomatomus saltator*, Linnaeus, 1766) sur les côtes sénégalo-mauritaniennes. Trav. Doc. ORSTOM, Paris, 168, 279 p.

• Cury P. et Roy C. 1988. Migration saisonnière du thiof (*Epinephelus aeneus*) au Sénégal : influence des upwellings sénégalais et mauritanien. Oceanol. Acta, 11 : 25-36.

• Fréon P. 1986. Réponses et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'Ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation. Analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. Thèse doct. d'Etat, Université Aix-Marseille II.

• Laloë F. et Samba A. 1989. La pêche artisanale au Sénégal : ressource et stratégies de pêche. Thèse Doct. d'Université Paris XI.

25 • Pélagiques côtiers, pélagiques hauturiers et fluctuations environnementales : quelques éléments de comparaison

ALAIN FONTENEAU
Chercheur ORSTOM, CRODT/ISRA, B.P. 2241 Dakar, Sénégal

RÉSUMÉ

Des éléments de comparaison de la dynamique des ressources pélagiques hauturières et côtières sont présentés. Le cycle vital des thonidés tropicaux est largement conditionné par la recherche de conditions favorables à la reproduction ou à l'alimentation. Les thons effectuent de grandes migrations transocéaniques qui sont affectées par les conditions de l'environnement. Toutefois, la biomasse des thons tropicaux est en général stable du fait de la stabilité relative du recrutement et de la capturabilité des stocks. Cette stabilité résulte probablement de conditions écologiques très variées qui existent au sein de la vaste zone de distribution, contrairement aux petits pélagiques côtiers qui sont en général captifs dans un biotope côtier donné. L'importance des captures de thons à proximité immédiate des plateaux continentaux où sont localisés des stocks importants de pélagiques côtiers, comme par exemple le Sénégal et la région Côte-d'Ivoire-Ghana est un fait notable. Il est vraisemblable que les importantes biomasses de thons présentes dans ces zones introduisent une mortalité naturelle importante chez les pélagiques côtiers. Cette mortalité naturelle pourrait être variable d'une année à l'autre, selon l'importance des concentrations de thons présentes localement. Des changements survenus dans la localisation des captures de thonidés devant la Côte-d'Ivoire et le Ghana ont peut-être un lien avec les profondes modifications de l'écosystème ivoiro-ghanéen.

ABSTRACT

A comparative study between the dynamics of coastal pelagic resources and tuna stocks is done. The life cycle of tunas is dominated by migrations in search for food and for conditions suitable for spawning. Tunas are migrating in the off-shore ocean areas and are subject to environmental variability. However the tuna biomass shows little year to year variability due to relatively low fluctuations of recruitment and of the catchability. This stability seems to be the consequence of their wide oceanic habitat, where they can find a wide spectrum of environmental conditions. Small coastal pelagic stocks are on the contrary usually captive in a fixed coastal habitat. Tunas are very often taken in great quantities in the immediate vicinity of the continental shelves where the major stocks of small coastal pelagic species are located. Those stocks, for instance in Senegal and in Ivory Coast-Ghana, are usually related to a seasonal upwelling. It seems that the huge biomass of tunas concentrated in those coastal areas may exert a significant source of natural mortality upon the small pelagic stocks on which they feed. If this hypothesis is valid, this natural mortality of small pelagic species could vary from year to year depending of the tuna concentrated locally. The important changes observed during recent years in the tuna fishing zones off the Ivoiro-Ghanaian continental shelf, could be related to the important ecological changes observed in the area.

INTRODUCTION

Les thonidés et les petits pélagiques côtiers ont en commun de vivre dans des écosystèmes pélagiques et de subir les effets de la variabilité des masses d'eaux. Quelles sont les particularités des thons ? Quelles sont les relations entre ces deux groupes de poissons et quelle est leur sensibilité respective aux variations de l'environnement? Tels sont les thèmes qui seront abordés dans la présente note.

CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES

Quelques caractéristiques biologiques majeures des thons peuvent être soulignées. Les migrations des thons sont variables selon les espèces, mais sont en général importantes. Un bilan complet des migrations des thons tropicaux dans l'Atlantique est donné par Bard *et al.* (1988). Un bon exemple est donné par les migrations de l'albacore (fig. 1). On note la grande régularité de ces migrations: les grosses concentrations et fortes captures de thons sont pratiquement toujours observées aux mêmes positions géographiques et aux mêmes dates (fig. 2). Un examen de la biologie de cette espèce montre que ces migrations peuvent être classifiées selon deux types:

• *les migrations liées à la reproduction:* dans l'Atlantique est, la ponte est un phénomène saisonnier très régulier avec deux maxima: la principale ponte a lieu dans la zone de l'équateur au 1er trimestre et la ponte secondaire, dans la zone des îles du cap Vert au large du Sénégal, en été. Dans les deux cas, les thons adultes migrent pour se concentrer vers ces zones de reproduction (fig. 3) (Bard *et al.*, 1988);

• *les migrations liées à l'alimentation:* les zones productives, principalement les zones d'upwelling côtier riches en petits pélagiques côtiers, voient chaque année de fortes concentrations de thons aux accores du talus continental (fig.4). Les migrations qui conduisent les thons dans ces zones d'alimentation (Sénégal, Mauritanie, Ghana, cap Lopez, Angola) sont aussi le plus souvent cycliques et régulières d'une année à l'autre (Bard *et al.*, 1988). La résultante de ces migrations liées à la reproduction et l'alimentation est bien montrée par les rendements par quinzaine et secteur de la figure 2 .

Concernant les migrations trophiques, on doit garder à l'esprit différents facteurs synthétisés dans Cayré *et al.* (1988):

• les besoins alimentaires des thons sont très importants: 5 à 10 % du poids du thon chaque jour;

• la nourriture des thons est potentiellement très variée, mais les poissons pélagiques côtiers sont, semble-t-il, toujours importants pour l'alimentation dans les zones proches des plateaux continentaux;

• les zones et les périodes où les pélagiques côtiers ont les plus fortes biomasses (fig. 5) sont baignées par des eaux de surface froides (15 à 20°C); celles-ci sont impropres aux thons tropicaux, à l'albacore en particulier, espèce qui n'est que très rarement présente en

Fig. 1

Schéma du modèle de migration de l'albacore Atlantique *Thunnus albacares* (d'après Cayré *et al.*, 1988).

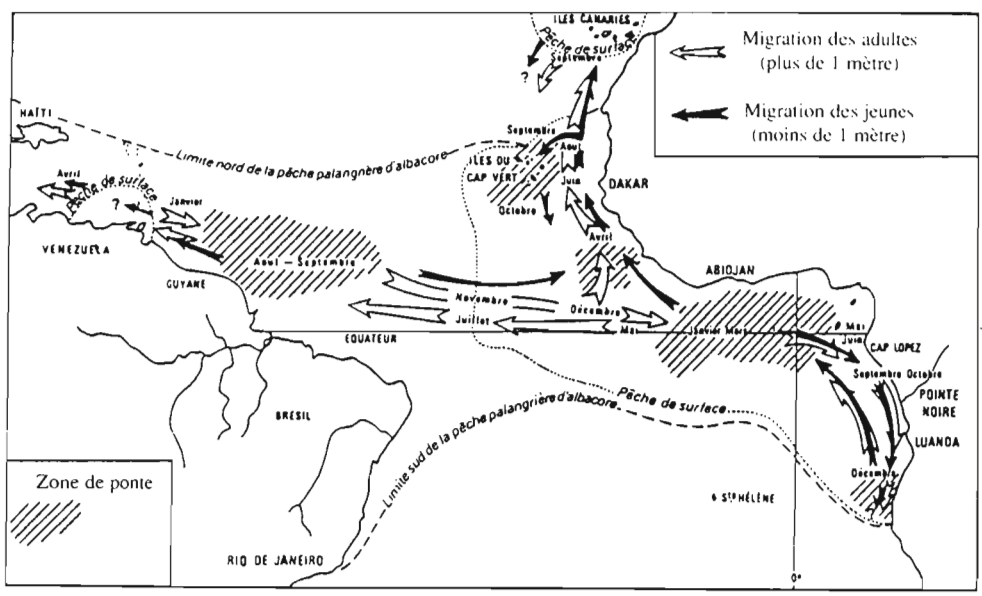
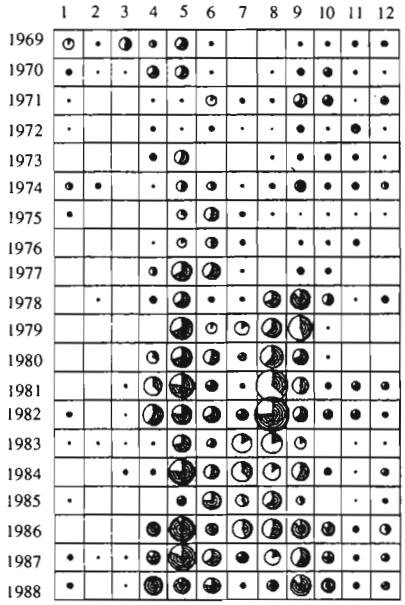
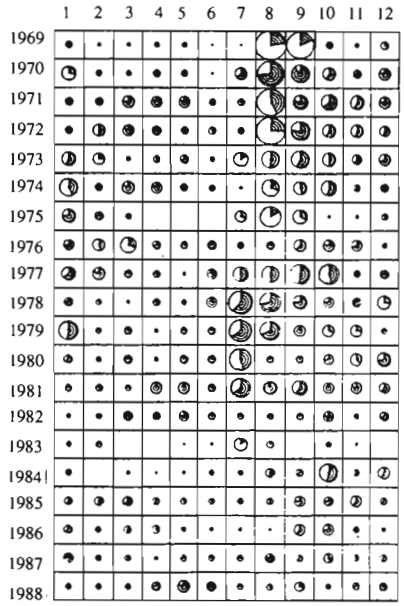


Fig. 2

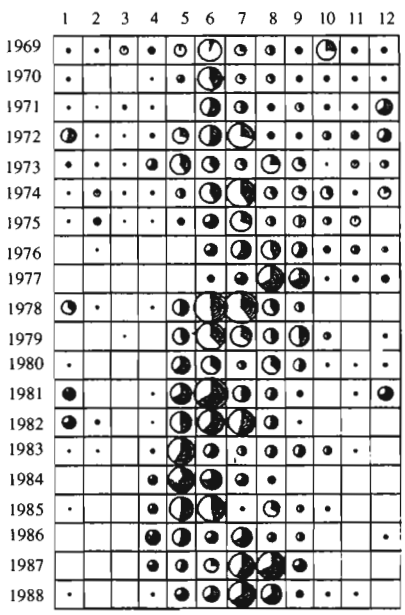
Prises mensuelles par espèces, toutes flottilles de surface, réalisées dans la ZEE du Sénégal, du Ghana et du Gabon ainsi que dans la zone de l'équateur (20° W à 0°, 2°N à 5°S) de 1969 à 1988.



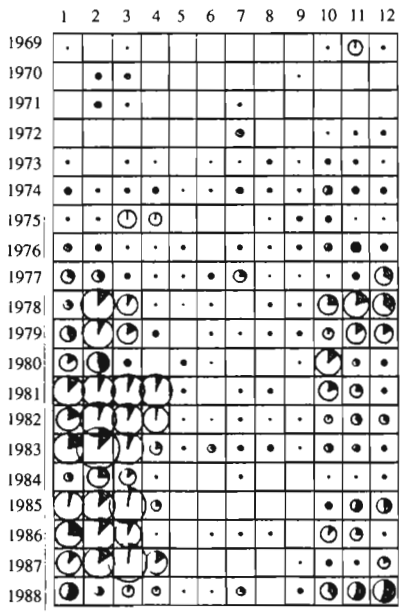
Prises mensuelles ZEE Sénégal



Prises mensuelles ZEE Ghana



Prises mensuelles ZEE Gabon



Prises mensuelles ZEE Equateur

Fig. 3

Schéma de la reproduction de l'albacore Atlantique
(d'après Bard *et al.*, 1988).

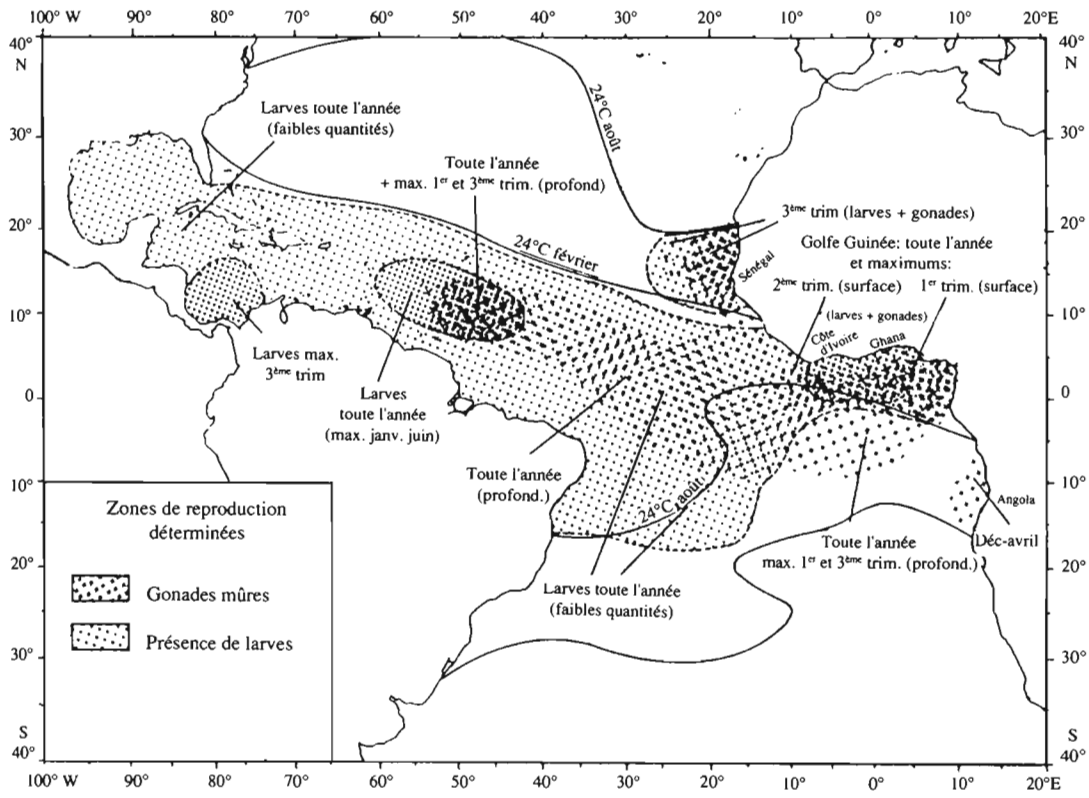
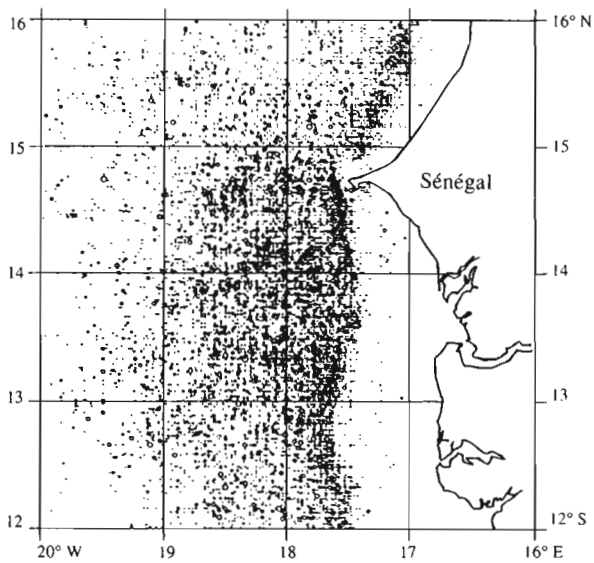


Fig. 4

Exemple de localisations précises des captures de thons réalisées dans les zones proches des plateaux continentaux sénégalais (a) et ivoiro-ghanéen (b).

(a)



(b)

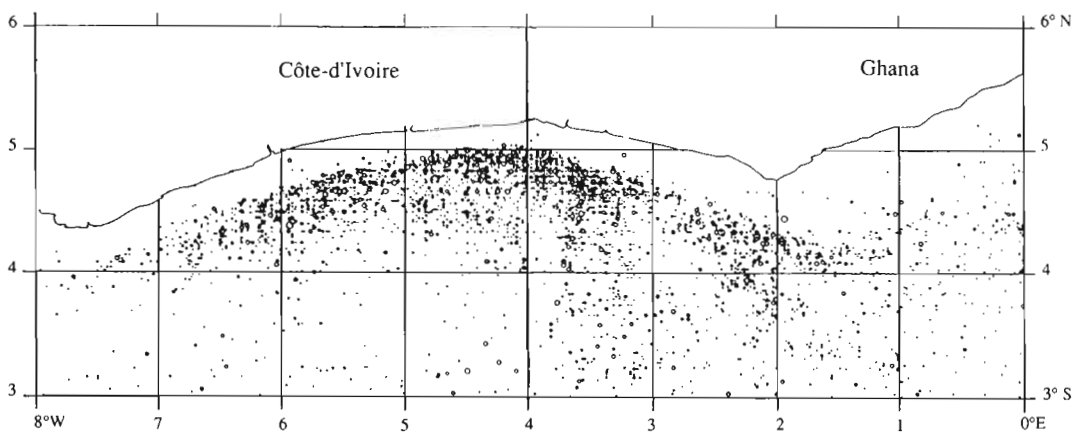
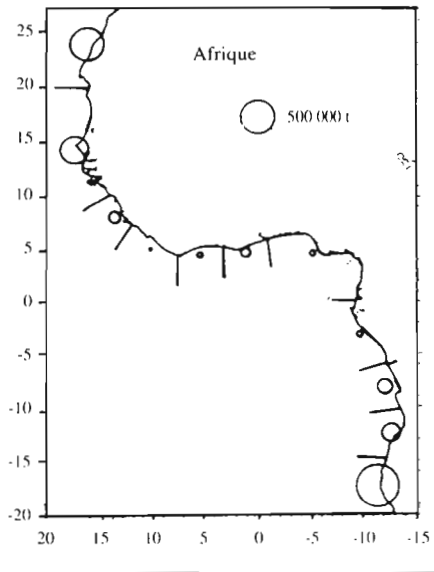


Fig. 5

Captures de pélagiques côtiers par zone (moyenne de la période 1979 à 1982) réalisées sur les plateaux continentaux ouest-africains.



dessous de 20°C. Ces espèces ne peuvent donc «exploiter» les biomasses de petits pélagiques côtiers qu'en dehors des périodes froides, même si la biomasse de poissons côtiers est alors plus faible. Ceci est le cas au Sénégal, comme on le verra ultérieurement.

EXEMPLES DE RELATIONS TROPHIQUES PROBABLEMENT IMPORTANTES ENTRE THONS ET PÉLAGIQUES CÔTIERS.

Le Sénégal

Au Sénégal existe en permanence une biomasse importante de plusieurs centaines de milliers de tonnes de petits pélagiques côtiers localisée principalement sur le plateau continental (fig. 6). Les eaux froides d'upwelling dont la température est comprise entre 15 à 20°C baignent ce plateau continental six mois par an. Les thons tropicaux - albacore, listao et patudo - sont alors exclus de la zone. Par contre, dès que l'upwelling cesse, on note chaque année une arrivée massive et immédiate de ces trois espèces (fig. 2). Les thons sont alors capturés en grande quantité (en moyenne près de 20 000 tonnes en 6 mois) à proximité immédiate du plateau continental (fig. 7). Les quelques contenus stomacaux déjà anciens réalisés par Postel (1955) et confirmés par divers auteurs (non publié) sur ces thons montrent que les petits pélagiques côtiers sont alors importants dans l'alimentation de ces thons. Ces résultats sont actuellement réactualisés sur une base quantitative.

Fig. 6

Exemple de localisation de la biomasse de pélagiques côtiers dans la zone sud du plateau continental sénégalais évaluée par écho-intégration en novembre 1984 (données CRODT).

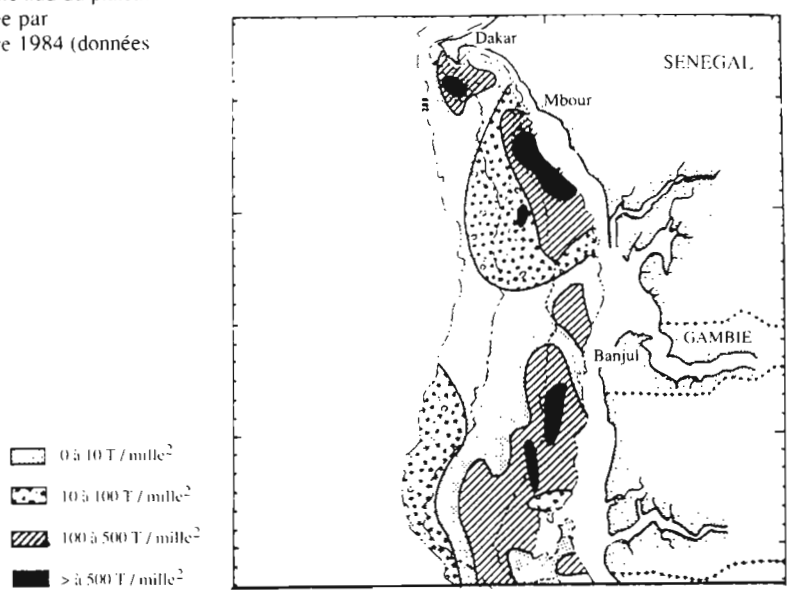
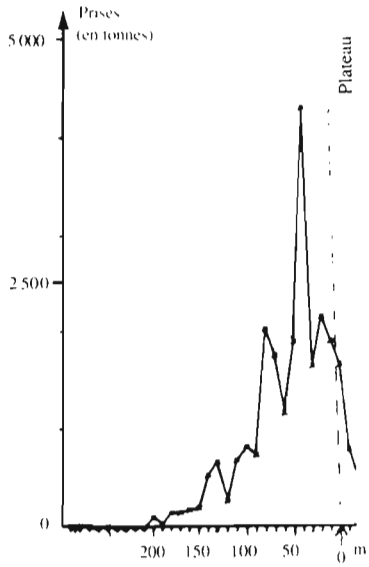


Fig. 7

Captures de thons par les senneurs dans la zone du Sénégal en fonction de la distance à l'isobathe 200 mètres.



Côte-d'Ivoire - Ghana

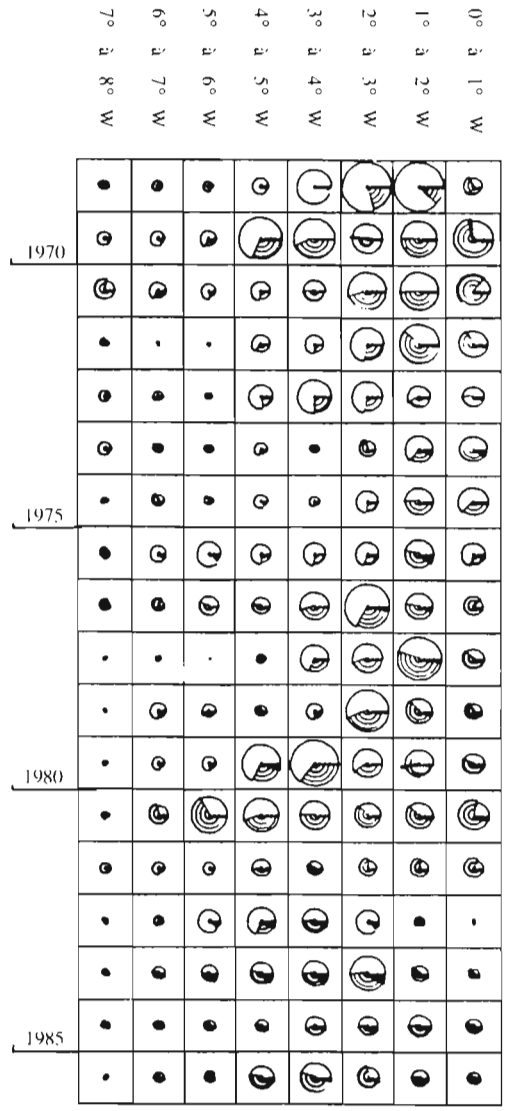
En Côte-d'Ivoire - Ghana, des concentrations saisonnières de thons sont observées comme au Sénégal à proximité immédiate du plateau continental. Ces concentrations de thons étaient observées traditionnellement surtout dans la zone du cap des Trois Pointes (Ghana), zone la plus riche en poissons pélagiques côtiers. Depuis quelques années, on les observe plutôt face à la Côte-d'Ivoire (fig. 8). Les causes exactes de ce déplacement des zones de pêche ne sont pas claires: elles peuvent correspondre, soit à la fermeture progressive de la zone économique ghanéenne aux flottilles de senneurs non ghanéens, soit à d'importantes modifications écologiques qui ont été observées sur le plateau continental ivoirien (Arfi *et al.*, présent volume; Binet *et al.*; présent volume; Herbland et Marchal, présent volume). Dans les deux cas, les thons semblent se concentrer près du plateau continental pour se nourrir de pélagiques côtiers.

QUELQUES ÉLÉMENTS DE COMPARAISON SUR LA SENSIBILITÉ DES THONS ET DES PETITS PÉLAGIQUES CÔTIERS AUX FLUCTUATIONS DE L'ENVIRONNEMENT

Tant pour les thons que pour les petits pélagiques côtiers, les variations de l'environnement peuvent modifier à la fois, directement la biomasse du stock par modulation du recrutement, et indirectement en modifiant sa capturabilité. Ceci étant, les effets de l'environ-

Fig. 8

Localisation des prises annuelles de thonidés par carré de 1° dans le secteur Côte-d'Ivoire - Ghana de 1969 à 1986.



nement sont en général beaucoup plus faibles pour les thons que pour les pélagiques côtiers pour de multiples causes (Stretta, 1988):

• les thons sont très mobiles et jamais «prisonniers» d'un upwelling quelconque, contrairement aux pélagiques côtiers le plus souvent inféodés à une zone côtière;

• la nourriture des thons juvéniles et adultes est très éclectique et variée: un thon peut manger à peu près n'importe quelle nourriture dans une large gamme de tailles et à toutes les profondeurs comprises entre la surface et 200 à 400 mètres. Au contraire, les pélagiques côtiers ont des besoins alimentaires précis, principalement planctoniques;

• le recrutement des thons est peu variable (Fonteneau, 1988) comparé à celui des pélagiques côtiers (Cury, 1989). Ceci tient largement au fait que les thons peuvent se reproduire toute l'année sur de vastes zones et qu'ils finissent toujours statistiquement par y trouver (plus ou moins...) des conditions favorables à la ponte. En outre, la zone de reproduction des thons est principalement la zone équatoriale, qui est hydrologiquement peu variable en comparaison des zones côtières. La survie des larves est aussi vraisemblablement meilleure pour des raisons probabilistiques équivalentes. Au contraire, les pélagiques côtiers sont véritablement «prisonniers» des conditions qui prévalent dans leur zone lors de la saison de ponte (Parrish *et al.*, 1983; Roy *et al.*, 1989). Pour les pélagiques côtiers, on pourra ainsi observer soit un recrutement très faible, soit un recrutement exceptionnel plusieurs centaines de fois supérieur, contrairement aux thons tropicaux dont le recrutement ne semble varier que dans une gamme d'environ un à dix au maximum;

• la variabilité du facteur capturabilité semble beaucoup plus faible pour les thons que pour les pélagiques côtiers pour les mêmes causes: s'il existe localement et saisonnièrement des «anomalies» de capturabilité où les thons sont très faciles ou difficiles à capturer, sur une moyenne annuelle et sur toute la vaste zone de pêche, la capturabilité est en général assez constante d'une année à l'autre. Une exception notable toutefois a été observée: la capturabilité des albacores adultes qui, durant 1984, a été globalement très faible pour les senneurs par suite, semble-t-il, d'un approfondissement de la thermocline (Fonteneau, 1989). Par contre la capturabilité des pélagiques côtiers, là encore inféodés à un écosystème limité géographiquement, peut montrer une grande variabilité intra-annuelle (Mendelssohn et Cury, 1987; 1989).

Outre une longévité plus grande chez les thons que chez les pélagiques côtiers, ces divers éléments constituent des facteurs qui contribuent à expliquer, pourquoi les thons sont une ressource stable en biomasse, relativement facile à modéliser, contrairement aux pélagiques côtiers qui sont par nature instables, imprévisibles et plus difficiles à modéliser en utilisant les modèles classiques de dynamique des populations.

CONCLUSION

Le présent bilan des relations thons-pélagiques côtiers-environnement n'apporte pas de conclusion majeure nouvelle. Il pose toutefois un certain nombre de questions qui mériteraient d'être mieux étudiées, en particulier en ce qui concerne les relations trophiques thons et pélagiques côtiers dans les zones côtières, ainsi que leurs variabilités en fonction de l'environnement. Ces résultats pourraient être intéressants, tant pour les thons que pour les pélagiques côtiers ; dans ce dernier cas, on peut en effet penser que parfois, par exemple en Côte-d'Ivoire, au Ghana ou au Sénégal, le prélèvement annuel par les thons sur le stock de sardinelles pourrait être beaucoup plus important que celui des pêcheries locales, et ne devrait donc pas être négligé dans la modélisation des ressources pélagiques côtières. Il pourrait en effet introduire une forte variabilité interannuelle de la mortalité «naturelle» des pélagiques côtiers en fonction de la variabilité de la biomasse de thons présente chaque année localement. Cette variabilité interannuelle de la mortalité naturelle reste, à l'heure actuelle, totalement négligée dans la dynamique des populations «classique».

BIBLIOGRAPHIE

• Bard, F.X., Cayré, P. et T. Diouf. 1988. Les migrations des thons. *In* Fonteneau et Marcille (eds.): Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre Est. FAO Doc. Tech. Pêches, 292: 111-156.

• Cayré P., Amon Kothias J.B., Stretta J.M. et Diouf T. 1988. Biologie des thons. *In* : Fonteneau et Marcille (eds.), Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre Est. FAO Doc. Tech. Pêches, 292: 157-268.

• Cury, Ph. 1989. Approches modélisatrices des relations à court, moyen et long termes entre la dynamique des stocks de poissons pélagiques côtiers et les fluctuations climatiques. Thèse Doctorat, Université Paris VII, 258p.

• Fonteneau, A. 1988. Modélisation, gestion et aménagement des pêcheries thonières de l'Atlantique Centre Est. *In* : Fonteneau A. et J. Marcille (eds.), Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre Est. FAO Doc. Tech. Pêches, 292: 317-355.

• Fonteneau, A. 1989. Environnement et thons tropicaux de l'Atlantique: introduction au problème. Rec. Doc. Scient. ICCAT, 30 (1): 104-117.

• Mendelssohn, R. and P. Cury. 1987. Fluctuations of a fortnightly abundance index of the Ivoirian coastal pelagic species and associated environmental conditions. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44: 408-428.

• Mendelssohn, R. and P. Cury. 1989. Temporal and spatial dynamics of a coastal pelagic species *S. maderensis* off the Ivory Coast. Can. J. Fish Aquat. Sci., 46: 1686-1697.

• Parrish, R.H., A. Bakun, D.M. Husby and C.S. Nelson. 1983. Comparative climatology of selected environmental processes in relation to Eastern boundary current pelagic fish reproduction. *In:* G.D. Sharp, J.Csirke (eds), Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources,FAO Fish. Rep., 291, 3: 731-777.

• Postel, E. 1955. Contribution à l'étude de la biologie de quelques *Scombridae* de l'Atlantique tropico-oriental. Ann. Stat. Oceanog. Salambo, 10.

• Roy C., P. Cury, A. Fontana et H. Belvèze. 1989. Stratégies spatio-temporelles de la reproduction des clupéidés des zones d'upwelling d'Afrique de l'Ouest. Aquat. Living Resourc., 2: 21-29.

• Stretta, J.M. 1988. Environnement et pêche thonière en Atlantique tropical oriental. *In* Fonteneau et Marcille (eds.), Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre Est. FAO Doc. Tech. Pêches, 292: 269-316.

26 • *Sardinella aurita* de Côte-d'Ivoire et du Ghana: fluctuations halieutiques et changements climatiques

DENIS BINET
Chercheur ORSTOM, Antenne ORSTOM, Centre IFREMER
B.P. 1049, 44037 Nantes-Cedex 01, France
EMILE MARCHAL
Chercheur ORSTOM, Institut Océanographique, 195 rue St-Jacques, 75005 Paris, France
OLIVIER PEZENNEC
Chercheur ORSTOM, C.R.O.A, B.P. V 18, Abidjan, Côte-d'Ivoire

RÉSUMÉ

Les *Sardinella aurita* de la région ivoiro-ghanéenne donnent lieu à des captures très fluctuantes. En 1972 une disponibilité exceptionnelle entraîne surpêche puis effondrement. En 1978 l'abondance est retrouvée. Depuis 1981 les débarquements se maintiennent à un niveau très élevé. Cette nouvelle situation va de pair avec des modifications des lieux et des saisons de pêche: les captures ne sont plus limitées aux saisons froides du littoral ghanéen, elles se font également devant la Côte-d'Ivoire, durant toute l'année. Les fluctuations des upwellings et des débits fluviaux ne suffisent plus pour expliquer la variabilité des rendements. L'essor des pêcheries devant la Côte-d'Ivoire correspondrait au développement d'une population, à la faveur d'un changement de la circulation côtière. L'hypothèse d'une modification locale de la circulation est étayée par un ensemble de changements dans l'Atlantique intertropical. i) Un maximum de salinité subsuperficiel se développe en 1984, dans le fond du golfe de Guinée. Il serait à l'origine d'une intensification et d'une extension du Sous-Courant de Guinée (SCG). ii) La latitude de l'ITCZ détermine celle du Contre Courant Equatorial Nord (CCEN) qui se prolonge par le Courant de Guinée (CG). A partir de 1984, l'ITCZ descend jusqu'à l'équateur, le CCEN est donc plus au sud et le CG plus éloigné de la côte. Il résulterait de ces changements une intensification de la circulation ouest, au dessus du plateau continental, augmentant la perte advective en larves de la population de *Sardinella aurita* ghanéenne et augmentant la rétention de celles de la population ivoirienne, dont le recrutement s'améliorerait.

ABSTRACT

The catches of Sardinella aurita from Ivory Coast and Ghana are very fluctuating. In 1972 an exceptional availability leads to an overfishing and a collapse. In 1978, the stock recovered. Since 1981 onwards, the landings have been remaining at a very high level. This new situation is associated with changes in seasons and fishing areas. In the former years, the bulk of the catch came from Ghana during the upwelling season, in the latter ones the catch appears much more spread on the Ivoirian Coast all the year round. Upwellings and river flows variability are not sufficient to explain the changes of the yield. The rise of fisheries off Ivoirian coast would correspond to the development of a new population, due to a change in the shelf currents. The hypothesis of a current pattern alteration is supported by some direct observations and a set of changes in the tropical Atlantic. i) A subsuperficial salinity maximum spreads out during 1984, in the eastern part of the Gulf of Guinea. It would be the origin of a Westwards Guinea Under Current spreading and intensification. ii) The latitude of the ITCZ (Inter Tropical Convergence Zone) induces that of the North Equatorial Counter Current (NECC). The Guinea Current is issued from the NECC. Since 1984

onwards, the ITCZ has been shifting equatorwards, so an offshore displacement of the GC may be expected. Over the shelf, the result would be an increase of the westwards advection increasing the loss of Sardinella larvae from the Ghanaian shelf, and their retention off Ivory Coast. Hence, the recruitment of the Ivoirian S. aurita should rise.

INTRODUCTION

Le stock ivoiro-ghanéen de *Sardinella aurita* s'étend de la Côte-d'Ivoire au Bénin (fig. 1). Il est exploité depuis longtemps, particulièrement au Ghana. En 1958, débute la motorisation des pirogues ghanéennes et dans les mêmes années, une pêcherie industrielle se développe avec des sardiniers utilisant une senne tournante (1955 en Côte-d'Ivoire, 1959 au Ghana). Durant les années soixante les débarquements oscillent entre 8 000 et 40 000 tonnes. En 1972, les prises, exceptionnelles, atteignent 95 000 tonnes, mais le stock s'effondre ensuite et reste à un niveau très bas jusqu'en 1975. Cependant, la pêcherie reprend et 50 000 tonnes sont débarquées en 1978. Les années suivantes la production diminue notablement (15 000 à 25 000 tonnes), puis elle remonte et, contre toute attente, se maintient depuis 1983 entre 50 000 et 100 000 tonnes (fig. 2).

Cet article suggère une explication à ces changements liés à une modification de l'environnement due à des changements de la circulation océanique.

CHANGEMENTS DANS LES PÊCHERIES ET LE STOCK DE *SARDINELLA AURITA*

Le maintien pendant au moins cinq années consécutives d'un fort niveau de captures est une nouvelle caractéristique de ce stock. D'autres modifications sont intervenues dans les pêcheries pélagiques côtières, traduisant l'apparition de nouveaux équilibres dynamiques.

Changements dans la composition des captures pélagiques

Depuis 1966, début des séries statistiques ivoiriennes, jusqu'en 1980, *Sardinella maderensis* est l'espèce pélagique qui fournit les débarquements les plus importants et les plus stables (fig. 3, tab. 1 et 2, Mendelssohn et Cury, 1987; Pezennec *et al.*, à paraître). Entre 1966 et 1987, les sardiniers ivoiriens prennent chaque année, dans leurs eaux, entre 6 000 et 15 000 t de *S. maderensis*. Au début de cette période, et dans les mêmes secteurs, ces bateaux capturent moins de 5 000 t de *S. aurita*. A partir de 1981, *S. aurita* devient la première espèce débarquée en Côte-d'Ivoire, elle dépasse 24 000 t en 1985; une pêcherie artisanale se développe, ses prises dépassent les captures industrielles à partir de 1985 (Ecoutin *et al.*, à paraître), (fig.2 et 6). Il s'est produit une inversion du rapport d'abondance des deux

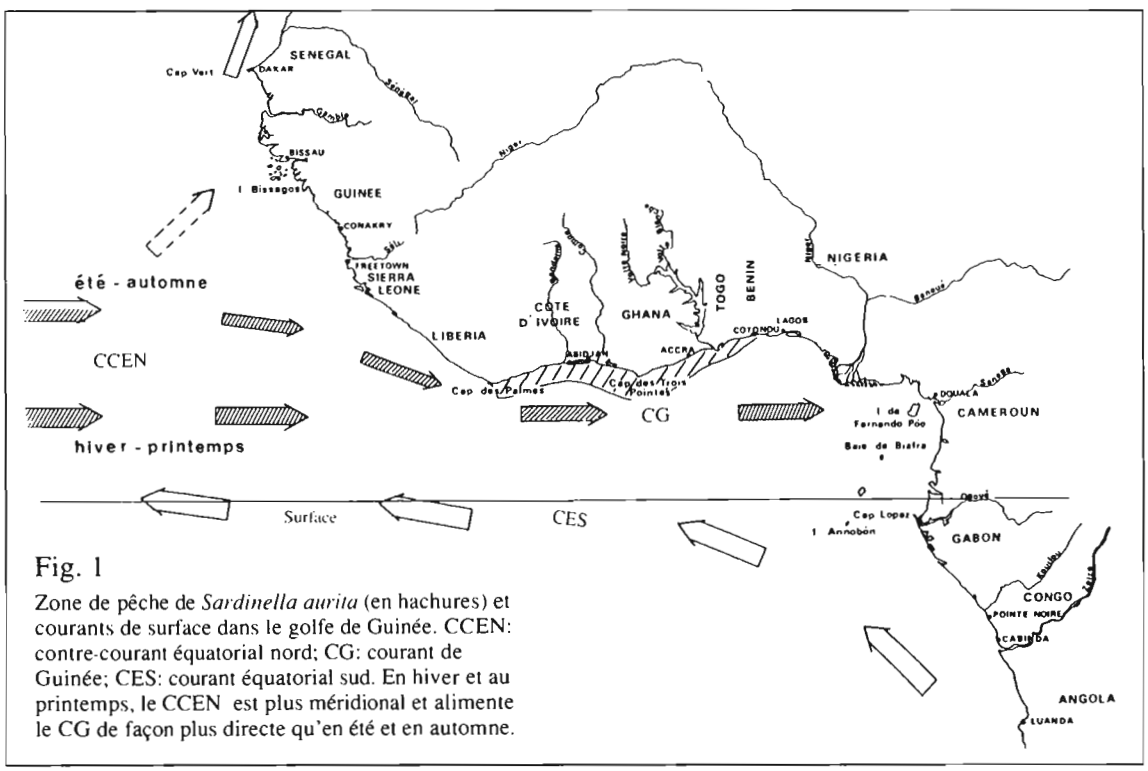


Fig. 1

Zone de pêche de *Sardinella aurita* (en hachures) et courants de surface dans le golfe de Guinée. CCEN: contre-courant équatorial nord; CG: courant de Guinée; CES: courant équatorial sud. En hiver et au printemps, le CCEN est plus méridional et alimente le CG de façon plus directe qu'en été et en automne.

Fig. 2

Prises de *Sardinella aurita* par le Ghana et la Côte-d'Ivoire (cf. tab. 1).

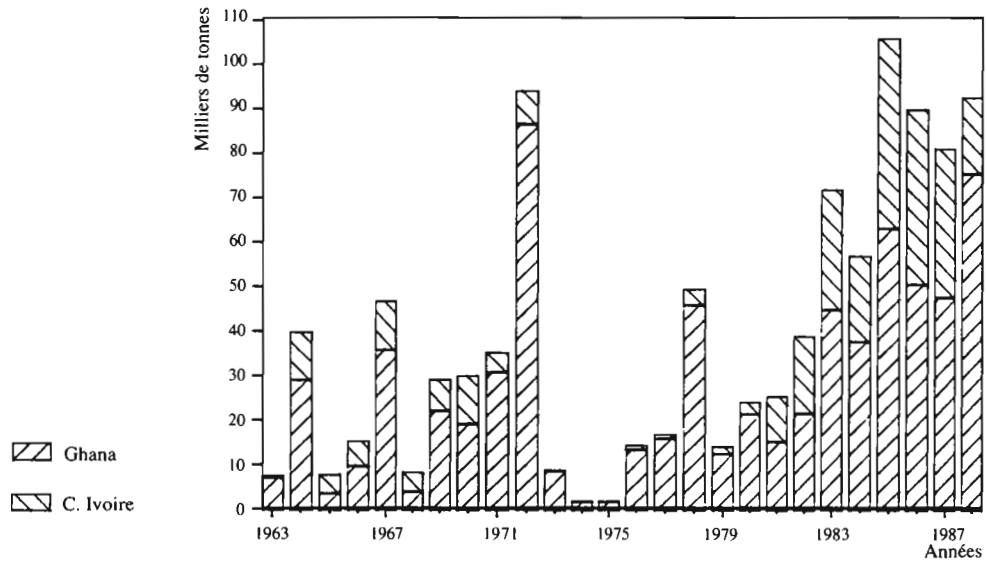


Fig. 3

Prises de *Sardinella maderensis* par le Ghana et la Côte-d'Ivoire (cf. tabl. 2).

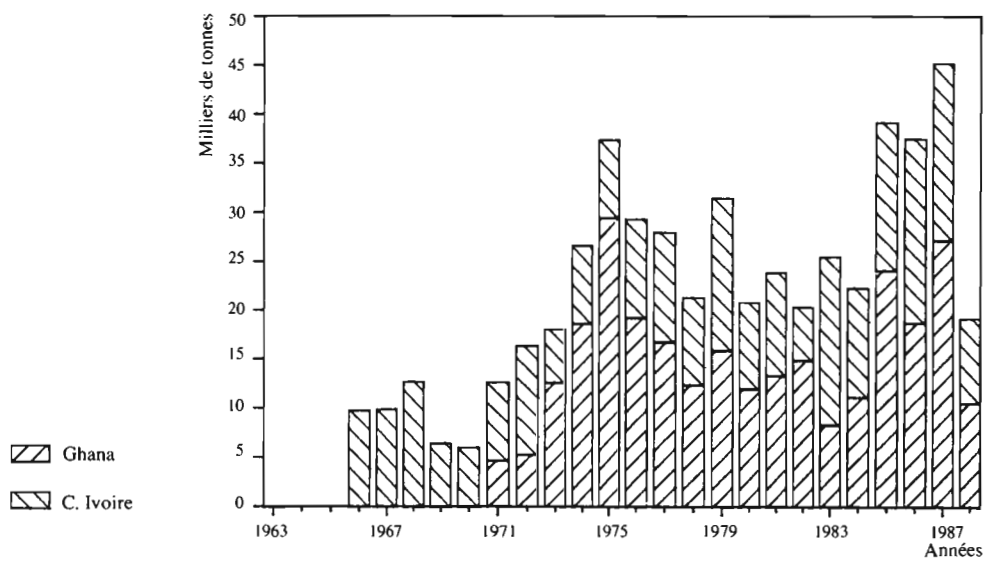


Tableau 1

Prises industrielles (Ind.) et artisanales (Art.) de *Sardinella aurita* (en tonnes) au Ghana et en Côte-d'Ivoire. D'après Pezennec *et al.*, à paraître.
Les données antérieures à 1966 sont douteuses, celles de 1988 provisoires.

	GHANA		COTE-D'IVOIRE	
	Ind.	Art.	Ind.	Art
1963	1960	5500	500	
1964	7180	22250	10900	
1965	1550	2350	4300	
1966	5800	4200	5774	
1967	11000	25200	11022	
1968	1800	2500	4433	
1969	6600	15900	7115	
1970	4800	14700	10911	
1971	3724	27492	4471	
1972	14716	72350	7560	
1973	4287	4701	181	
1974	623	1409	45	
1975	136	1930	9	
1976	1794	12009	1049	
1977	2755	13611	937	
1978	6117	40257	3629	
1979	3597	9247	454	1265
1980	2768	19126	1827	908
1981	5529	10067	8782	1515
1982	7330	14655	11207	6200
1983	9024	36300	11681	15356
1984	3398	34817	7168	12043
1985	9429	54072	24387	18500
1986	5509	45489	19510	20000
1987	1736	46338	19609	14000
1988	72	75852	11300	5968

Tableau 2

Captures de *Sardinella maderensis* au Ghana et en Côte-d'Ivoire. D'après Pezennec *et al.*, à paraître.

	GHANA	C. IVOIRE
1966	0	9757
1967	0	9849
1968	0	12660
1969	0	6390
1970	0	5991
1971	4627	7979
1972	5263	11094
1973	12592	5458
1974	18622	8029
1975	29472	7885
1976	19209	10110
1977	16732	11234
1978	12368	8921
1979	15857	15597
1980	11955	8878
1981	13304	10547
1982	14877	5439
1983	8279	17216
1984	11110	11150
1985	24060	15076
1986	18721	18781
1987	27177	18031
1988	10546	8611

sardinelles (fig. 4). *S. maderensis* reste sensiblement au même niveau (variations de 1 à 2), tandis que les captures de *S. aurita* fluctuent entre 9 t et 24 000 t.
D'autres changements dans la composition des captures sont apparus. L'anchois (*Engraulis encrasicolus*) est l'objet d'une pêcherie artisanale dont les prises passent de 15 000 à 70 000 t au Ghana, entre 1972 et 1981 (tab. 2). Elles retombent au niveau initial en 1986, puis culminent à 95 000 t l'année suivante (Pezennec *et al.*, à paraître). Les pêcheries togolaises et béninoises, négligeables avant 1980, produisent, en 1985, le quart des apports entre le cap des Palmes et la frontière nigériane (fig.4).
Le maquereau (*Scomber japonicus*) est débarqué au Ghana et en Côte- d'Ivoire, en tonnages croissants de 1966 à 1973 (11 000 t, cette dernière année), puis les mises à terre s'effondrent (tab. 3). Elles remontent légèrement a partir de 1983, atteignent brutalement un niveau record (20 800 t) en 1986 et retombent l'année suivante (fig.4).
Brachydeuterus auritus, autre espèce pélagique, très côtière, est régulièrement pêchée en Côte-d'Ivoire. Depuis 1966, les captures tendent à diminuer, cette tendance s'affirme à partir des années quatre-vingt. Les prises passent ainsi de 4 ou 5 mille à un millier de tonnes environ (Pezennec *et al.*, à paraître). Cependant, cette espèce est moins recherchée que les sardinelles, ce qui peut entraîner une sous-estimation de son abondance.
Le cas du baliste (*Balistes carolinensis*) est plus étonnant. Cette espèce dont on ne pêchait que quelques individus dans les années soixante n'avait jamais été recherchée. Cet accroissement de population eut lieu fin 1971-début 1972 au Ghana, puis dans tout le golfe de Guinée, atteignant le Sénégal en 1978. Au début des années quatre-vingt, le baliste représente en bien des régions, du cap Vert au Nigéria, une biomasse supérieure à celle de la moitié des poissons du plateau continental (Caverivière, 1982; Gulland et Garcia, 1984). D'après Amon Kothias *et al.* (1986), le baliste aurait représenté pour la Côte-d'Ivoire un potentiel capturable de 2 000 à 3 000 t. Bien qu'il n'ait pas fait l'objet d'une exploitation commerciale, et que nous manquions donc de données le concernant, le baliste semble actuellement en régression (Caverivière, présent volume). On remarque que l'explosion démographique de cette espèce correspond à la période de disparition de *Sardinella aurita*, bien que les deux espèces n'aient apparemment pas la même niche écologique.

Taille plus élevée, croissance plus rapide

L'examen des fréquences de taille de *S.aurita* du Ghana et de la Côte-d'Ivoire, échantillonnées au débarquement, montre une augmentation du mode depuis les années soixante. Cet accroissement est plus prononcé parmi les sardinelles mesurées en Côte-d'Ivoire: de 15-16 cm dans les années 1964 à 1969, le mode est passé à 19,5 avec un autre mode à 24 cm en 1987 (Pezennec *et al.*, à paraître).

Fig. 4

Prises de pélagiques dans le golfe de Guinée (*Sardinella aurita*, *Sardinella maderensis*, *Engraulis encrasicolus*, *Scomber japonicus*) (cf. tabl. 3).

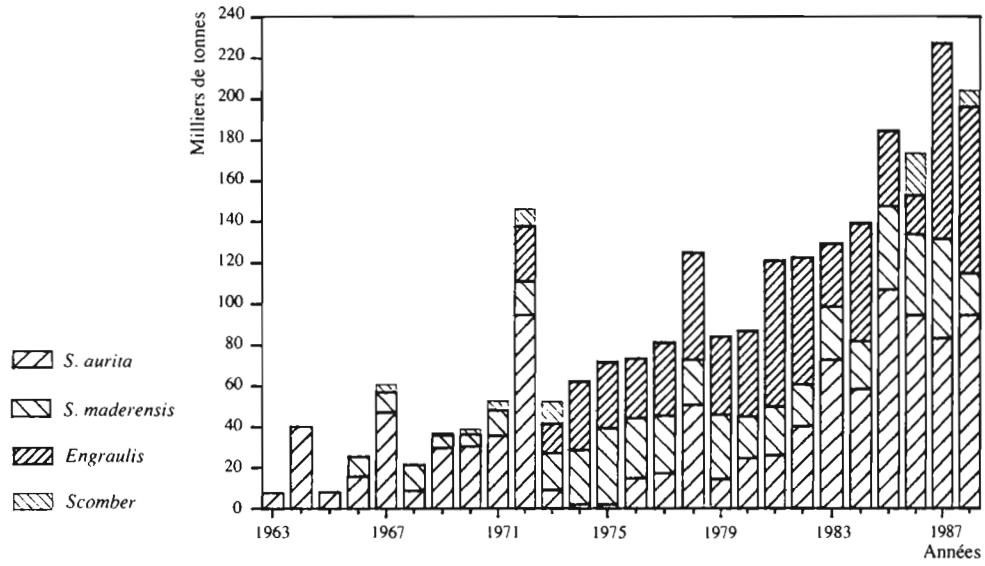


Tableau 3

Captures totales des pélagiques de Côte-d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin (*Sardinella aurita*, *S. maderensis*, *Engraulis encrasicolus*, *Scomber japonicus*). D'après Pezennec *et al.*, à paraître.

	S. aurita	*S. mader.*	*Engraulis*	*Scomber*
1963	7960			
1964	40330			
1965	8200			
1966	15779	9757		341
1967	47222	9849		4109
1968	8733	12660		582
1969	29615	6390		1289
1970	30411	5991		2652
1971	35687	12606		4677
1972	94626	16357	26780	8607
1973	9169	18041	14455	11129
1974	2077	26651	33439	695
1975	2075	37357	32173	910
1976	15011	29340	29126	152
1977	17353	28042	35939	567
1978	50833	21952	51992	553
1979	14604	31523	38222	187
1980	24732	20491	41936	470
1981	26162	23911	71088	500
1982	40373	20405	61843	387
1983	72830	25914	30780	312
1984	58561	23460	57184	797
1985	107121	40596	37082	247
1986	94687	39262	19185	20851
1987	83417	48145	95762	456
1988	94713	20161	81374	8171

Des lois de croissance ont été estimées par Marchal (FAO, 1974) et, récemment, par le groupe de travail COPACE (1989). Le premier obtient une vitesse de croissance plus faible que le second. Si ces différences ne sont pas des artefacts, elles correspondraient bien à l'incontestable augmentation de taille moyenne, en Côte-d'Ivoire.

Allongement de la saison de pêche

Marchal (1966) note que la saison de pêche de *S. aurita* est pratiquement limitée à celle des upwellings. Entre 1966 et 1972, les rendements des saisons froides sont de 2 à 5 fois plus élevés que ceux des saisons chaudes et de la première saison des pluies. Au contraire, depuis 1983 et surtout 1985, les captures ont lieu presque toute l'année (fig. 5), (Pezennec *et al.*, à paraître). Le second semestre est le plus productif en 1983 et 1984; les deux années suivantes, les prises sont sensiblement aussi importantes dans les deux parties de l'année. En 1987, les meilleures captures ont lieu en février.

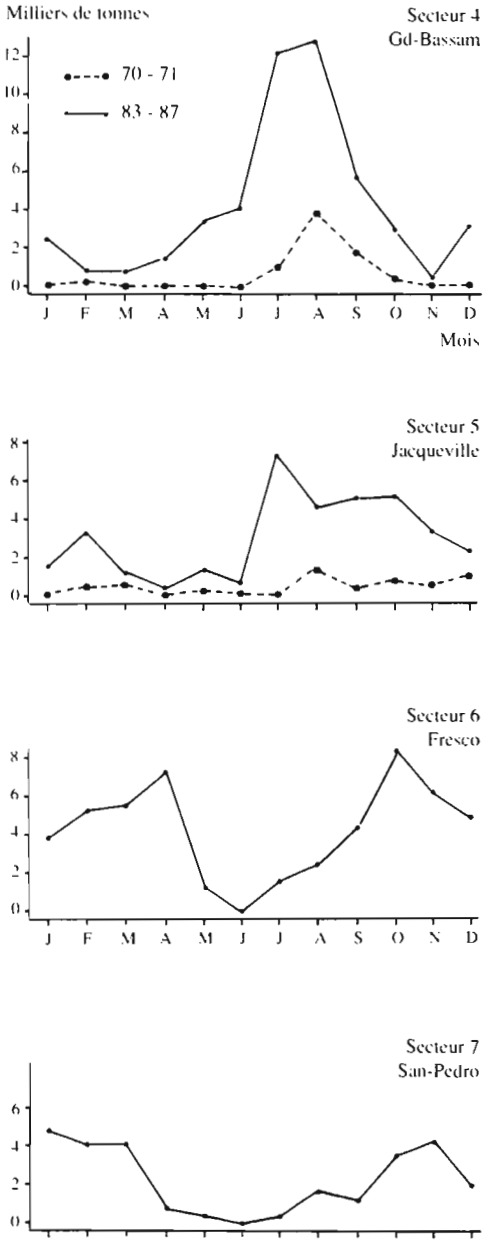
Cependant, il existe chaque année - sauf en 1986 - une «coupure» dans la saison de pêche (juin) qui correspond au passage du front intertropical au dessus du littoral et à la première saison des pluies sur la basse Côte-d'Ivoire.

Déplacement des zones de pêche

De 1966 jusqu'en 1972, la majeure partie des prises

Fig. 5

Débarquements mensuels de *S. aurita* en Côte-d'Ivoire par secteur de pêche. Comparaison des périodes 1970-71 (tirets) et 1983-87 (traits pleins), montrant le changement des zones et des périodes de pêche. Secteur 4 (Gd Bassam): 3-4°W, secteur 5 (Jacqueville): 4-5°W, secteur 6 (Fresco): 5-6°W, secteur 7 (San Pedro): 6-7°W.



ivoiriennes est réalisée hors des eaux nationales, devant la côte ghanéenne. Dans les eaux ivoiriennes, les secteurs productifs sont les plus orientaux. Au contraire, à partir de 1976, lorsque le stock, récupérant après son effondrement, recommence à faire l'objet d'une exploitation, les captures des senneurs ivoiriens se font essentiellement devant le littoral ivoirien. Le long de cette côte, les secteurs de Grand-Bassam et de Jacqueville fournissent un peu plus de la moitié des apports, surtout pendant la Grande Saison Froide. Par contre, les secteurs occidentaux (San Pedro et Fresco), aux rendements traditionnellement faibles, deviennent très productifs, notamment durant les premiers mois de l'année (janvier à avril) et les derniers (septembre à décembre). C'est ce que montre la figure 5 représentant les prises mensuelles de chaque secteur pour les années 1970-71 et 1983-87. Jusqu'en 1980, les captures des pêcheries ghanéennes, sont beaucoup plus importantes que celles de Côte-d'Ivoire (75 à 96% du total, à l'exception de 1968 et 1970). A partir de 1981, les débarquements des sardiniers ivoiriens et des grandes pirogues basées en Côte-d'Ivoire augmentent jusqu'à dépasser 40 % du total des deux pays (fig. 6).

Accroissement de la biomasse pélagique dans l'ouest

Cette modification géographique de la pêcherie semble correspondre à un changement des répartitions spatiales des poissons pélagiques. Marchal et Picaut (1977) constatent en janvier 1974, au cours d'une campagne d'écho-intégration, que la densité de poissons à l'est du cap des Trois Pointes est trois fois plus importante qu'entre Abidjan et le cap des Palmes (respectivement 53,3 et 17,8 t/mille^2); la densité entre le cap des Trois Pointes et Abidjan (20,3 t/mille^2) est légèrement supérieure à celle de l'ouest du plateau ivoirien. Du fait des largeurs respectives des plate-formes continentales, la biomasse estimée entre les deux caps (82 000 t) est très inférieure à celle située à l'est des Trois Pointes (225 000 t).

Des campagnes plus récentes (Marchal, à paraître) montrent au contraire des densités en poissons équivalentes, de part et d'autre des Trois Pointes. Les mesures d'écho-intégration confirment les observations faites à partir des fiches de pêche: jusque vers 1980, le barycentre du stock de *S. aurita* se trouvait au Ghana, entre Accra et Takoradi; actuellement, il semble se situer dans le golfe ivoirien, entre les deux caps.

Une ou deux populations de Sardinella aurita ?

Des pontes ont lieu sur l'ensemble du plateau, du cap des Palmes aux Trois Pointes, mais la répartition des larves suggère la présence de deux frayères, aux extrémités est et ouest du golfe (tab. 4). Le plus grand nombre de larves, observé au cours de trois années consécutives (1970-71-72) se trouve dans la zone ouest, à proximité du cap des Palmes. Les larves sont abondantes pendant les saisons froides et davantage en Petite Saison Froide. Les données biométriques (sardinelles de plus grande taille dans l'ouest ivoirien qu'au Ghana), les lieux de

Tableau 4

Abondance des larves de *S. aurita* moyenne sur 3 années (Juillet 69 - Avril 72). (Nombre par 100 m^2 de surface).

SECT. MOIS	8	7	6	5	4	3	Moy.
I	0	0	0	3	1	0	1
II	15	27	22	24	16	36	23
III	545	18	0	0	5	65	106
IV	177	3	1	13	2	0	33
V	0	0	0	0	0	0	0
VI	0	0	0	0	0	0	0
VII	2	0	0	0	3	30	6
VIII	3	0	10	0	22	9	7
IX	6	6	0	7	0	32	9
X	6	1	0	1	0	0	1
XI	0	0	0	0	13	0	2
XII	0	0	0	0	0	0	0
Moy.	63	5	3	4	5	14	

pêche relativement distincts, (est ivoirien et Ghana jusqu'à ces dernières années, centre et ouest de la Côte-d'Ivoire et Ghana, depuis les années quatre-vingt) montrent, selon Marchal (*Ibid.*) l'existence de deux populations aux frayères distinctes.

La population ouest-ivoirienne, serait restée latente jusqu'au début des années quatre-vingts, tandis que la population ghanéenne, pleinement développée, supportait tout l'effort de pêche. La situation serait actuellement inversée et ce serait la population ivoirienne qui serait pleinement exprimée.

CHANGEMENTS DANS L'ENVIRONNEMENT

Les modifications des pêcheries pélagiques côtières conduisent à s'interroger sur l'évolution du milieu. On examinera trois paramètres qui peuvent avoir influé sur l'abondance et la répartition des poissons: les remontées d'eaux froides, les apports fluviaux et la circulation. Leurs variations sont vraisemblablement liées à l'échelle régionale parce qu'elles dépendent des mêmes causes climatiques.

Les résurgences saisonnières

En hiver et en été boréal, des affleurements d'eaux profondes, froides se produisent. La thermocline remonte et peut atteindre la surface, en été boréal. Les eaux chaudes superficielles sont chassées par les eaux subthermoclinales. L' upwelling principal dure de juillet

Fig. 6

Pourcentage des captures de *S. aurita* effectuées par les pêcheries ivoiriennes(CI) et ghanéennes (Gh), industrielles (ind.) et artisanales (art.).

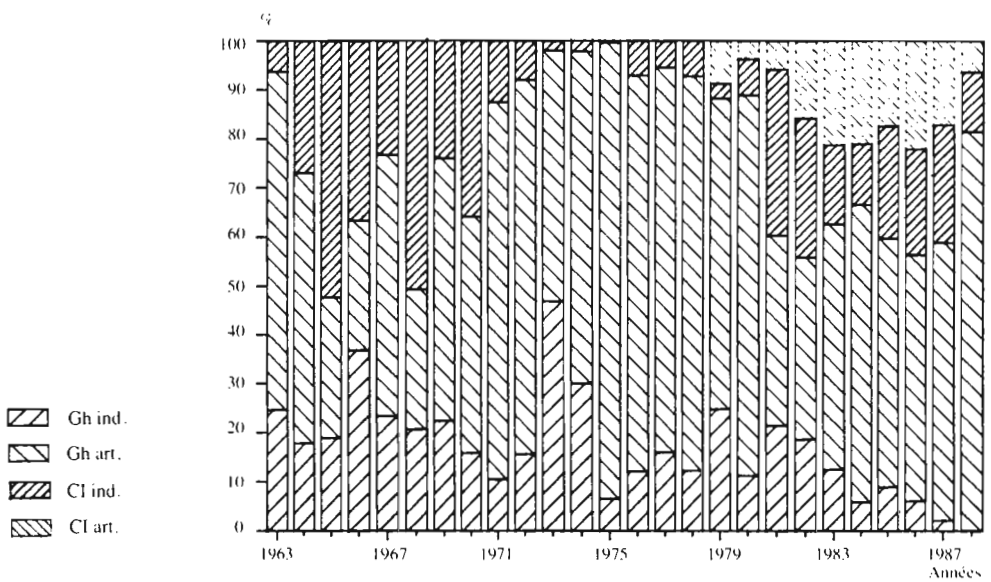
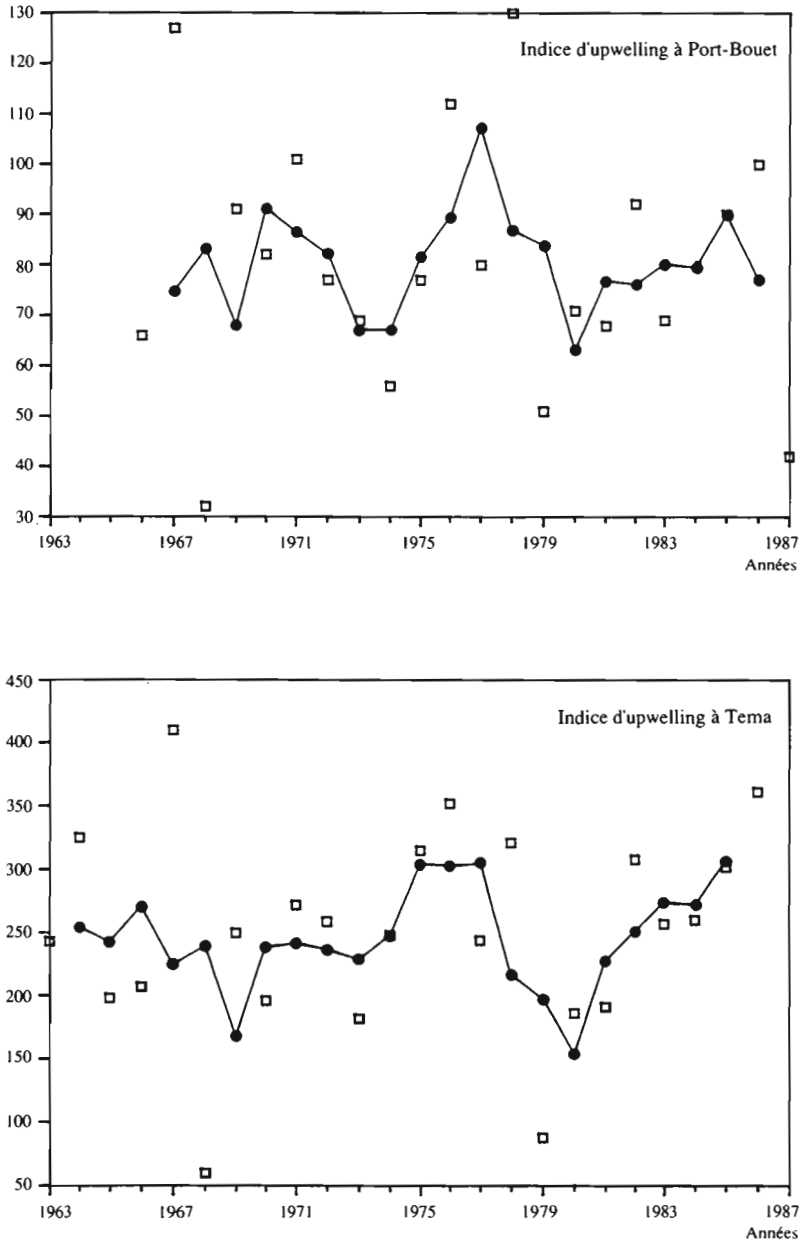


Fig. 7

Indices d'upwelling à Port-Bouet et à Tema; valeurs annuelles et moyennes mobiles sur 3 ans (cf. tab. 5).



à septembre et les eaux froides envahissent tout le plateau, c'est la «Grande Saison Froide» (Morlière, 1970; Morlière et Rébert, 1972). La remontée des sels nutritifs dans la couche euphotique induit une forte poussée phytoplanctonique, suivie d'un développement important de zooplancton (Dandonneau, 1973; Binet, 1976). Les zones d'affleurements les plus marquées sont situées à l'est du cap des Palmes et du cap des Trois Pointes, l'advection superficielle (courant de Guinée) disperse ces eaux sur toute la largeur du plateau et des accores. Certaines années, on observe ces refroidissements jusqu'au Bénin ou même au Nigéria.
Des remontées d'eaux ont également lieu - essentiellement à l'est des caps - durant les quatre premiers mois de l'année, plus particulièrement entre janvier et février. Ces refroidissements sont moins intenses, plus sporadiques que ceux de la Grande Saison Froide. Néanmoins, ils permettent un regain de production nouvelle et enrichissent le milieu, qui, en leur absence, s'appauvrit progressivement.

Recherche de tendance à long terme aux stations côtières. Le suivi d'indices d'upwelling basés sur les anomalies de température, en face d'Abidjan et de Tema, montre une forte variabilité interannuelle, mais pas de tendance, entre 1963 et 1987 (tab. 5). Les refroidissements ont été particulièrement faibles en 1968 et 1979. De 1979 à 1986, ils s'intensifient, sans toutefois dépasser les valeurs atteintes depuis le début des séries. Si on ne considère que leurs moyennes annuelles, les indices des deux stations varient dans le même sens (fig. 7). En fait, les intensités des upwellings ivoirien et ghanéen sont corrélés, durant les Grandes Saisons Froides mais non pendant les Petites Saisons Froides (Cury, *in* COPACE, 1989). Or, l'indice de Petite Saison Froide augmente, devant la Côte d'Ivoire, de 1983 à 1987 (Arfi *et al.*, présent volume).
Le niveau moyen de l'océan à Takoradi (Ghana), après soustraction de la tendance séculaire à la hausse, montre une anomalie négative entre 1956 et 1962 (fig.8), (Verstraete et Picaut, 1983). Le niveau de la mer étant négativement corrélé à l'intensité de l'upwelling, cette anomalie pourrait signifier une intensification des résurgences.

Inversion du gradient zonal de température. Si l'on se contente d'examiner les relevés de température de surface devant Tema et Abidjan, depuis les années soixante, il n'apparaît pas d'évolution à long-terme. Et pourtant, la répartition zonale des températures semble s'être modifiée au milieu de cette période.
Les observations de Morlière et Rébert (1972) - élévation des températures de surface d'ouest en est - correspondent à des affleurements plus actifs dans l'ouest et à une dérive vers l'est des panaches d'upwelling. Ce schéma est en accord avec les premières mesures effectuées aux stations côtières réparties le long du littoral ivoirien. Arfi *et al.* (présent volume) retrouvent cette tendance sur leurs moyennes pluriannuelles (1978-1987): l'indice d'upwelling diminue de Tabou à Axim, remonte fortement au cap des Trois Pointes et décroît à nouveau d'Axim à Keta (fig. 9).
Mais, depuis 1981 environ, ce schéma ne correspond plus aux observations (Herbland et Marchal, présent volume;Herbland et Le Loeuff, à paraître):

- jusqu'en 1980, les refroidissements sont nettement plus forts dans l'ouest du golfe ivoirien que dans l'est;
- entre 1980 et 1982, les remontées d'eaux froides ont à peu près la même intensité tout le long du littoral;
- de 1983 à 1986, le gradient s'inverse et le refroidissement est plus fort dans l'est que dans l'ouest;
- en 1987, il n'y a pas de gradient zonal, l'upwelling est faible partout.

Ces résultats doivent être considérés avec prudence et validés par d'autres sources de données. Différents biais peuvent avoir influencé des températures mesurées au bord de la plage: mode de prélèvement, présence ou absence d'eaux dessalées d'origine continentale. En effet, les eaux lagunaires et fluviales sont plus chaudes

Tableau 5

Indices d'upwelling à Tema et Port-Bouet. D'après COPACE (1989) et débits moyens des fleuves Bandama et Comoé (m^3/s). D'après le Service Hydrologique de l'ORSTOM. L'indice d'upwelling à Tema est calculé de la façon suivante: I=Nqz * (26- T°C) dans lequel Nqz est le nombre de quinzaine où la température de surface (T°C) est inférieure à 26°C.

	Indice d'upwelling		Débits moyens
	TEMA	P. BOUET	BANDAMA+ COMOE
1963	243		1019
1964	325		756
1965	198		835
1966	207	66	627
1967	410	127	423
1968	60	32	1089
1969	250	91	499
1970	196	82	534
1971	272	101	367
1972	259	77	174
1973	182	69	256
1974	248	56	369
1975	315	77	335
1976	352	112	197
1977	244	80	264
1978	321	130	142
1979	88	51	488
1980	186	71	485
1981	191	68	288
1982	308	92	248
1983	257	69	87
1984	260	80	194
1985	302	90	381
1986	361	100	229
1987		42	336

Fig. 8

Niveau de la mer à Takoradi, Tema, Abidjan et Dakar (d'après Verstraete et Picaut, 1983).

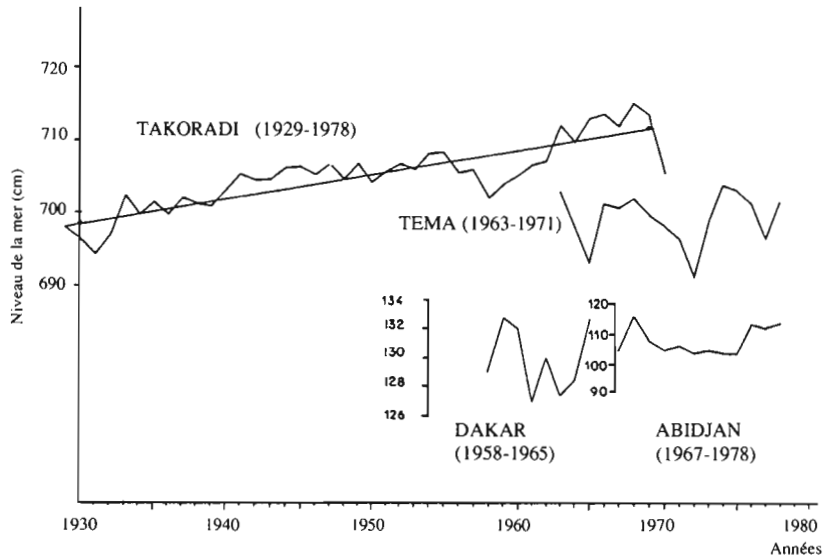
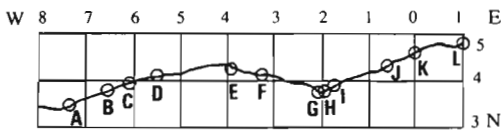
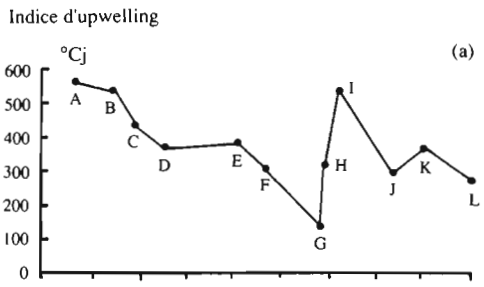
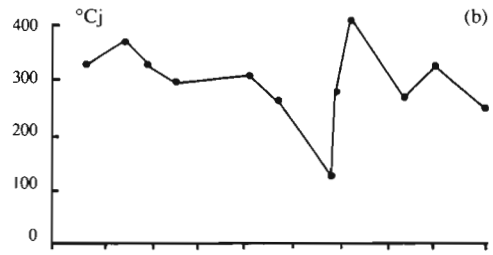


Fig. 9

Indices d'upwelling aux stations côtières de Tabou (7°20' W) à Keta (1°E). D'après Arfi *et al.*, (présent volume). a: indice annuel, b: indice de Grande Saison Froide, c: indice de Petite Saison Froide.







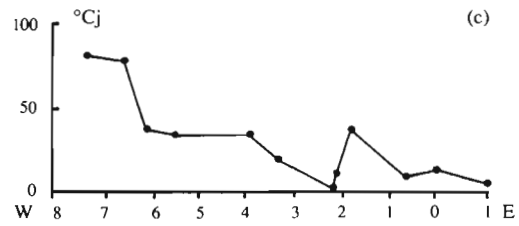
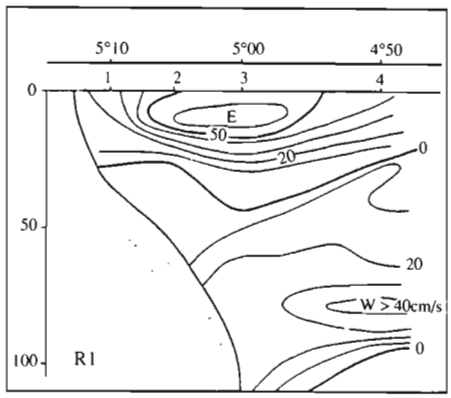
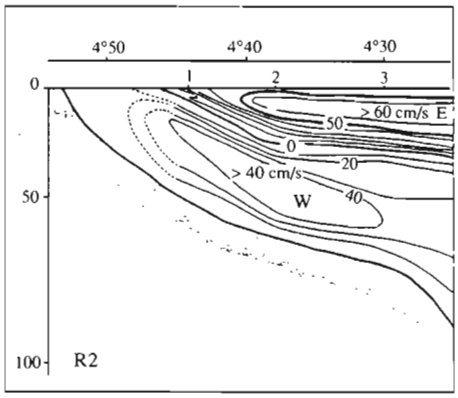
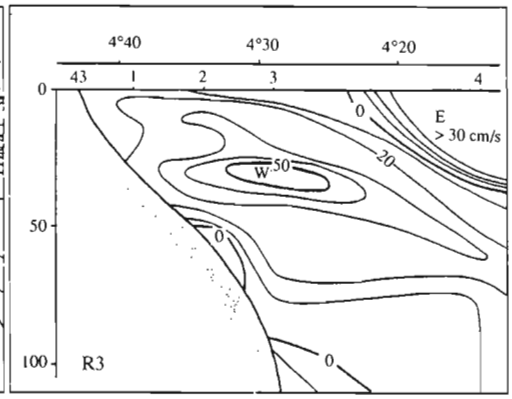


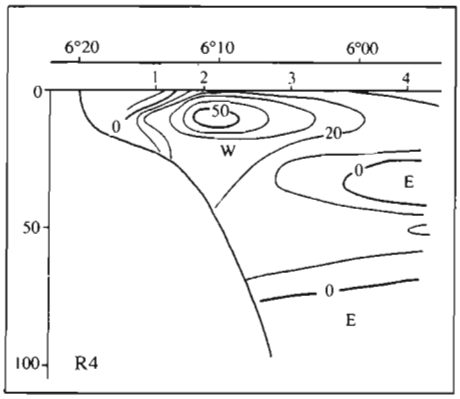
Fig. 10

Courant de Guinée (E) et sous-courant ivoirien, ou sous-courant de Guinée (W). Distribution verticale, en cm/s, de la composante zonale, le long de cinq radiales nord-sud (d'après Lemasson et Rebert, 1973 b). R1: Abidjan, R2: Takoradi, R3: Accra, R4: Cotonou, R5: Lagos.









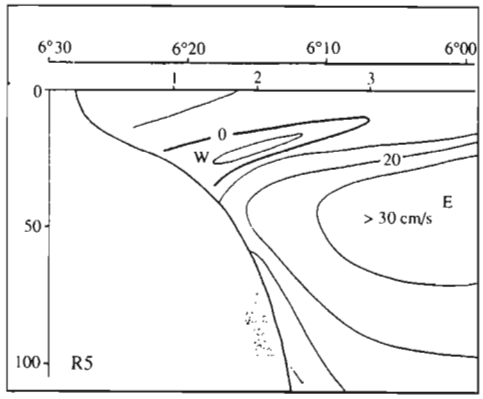
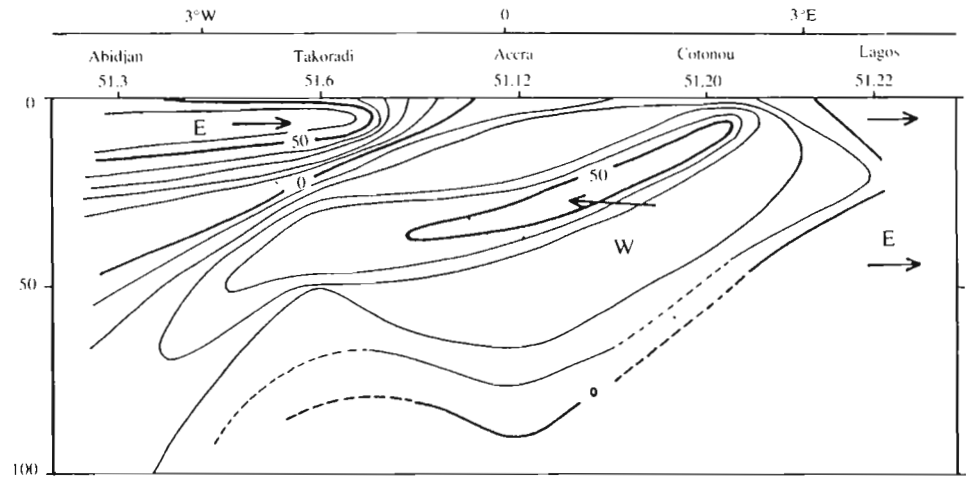


Fig. 11

Courant de Guinée et sous-courant ivoirien (ou sous courant de Guinée): distribution longitudinale, en cm/s, de la composante zonale (Lemasson et Rébert, 1973 b).



que les eaux marines en saison froide et la fermeture de certains graux, empêchant l'écoulement des eaux continentales, entraînerait un refroidissement superficiel dans la zone de l'ancien panache des eaux saumâtres. Cependant, la cohérence du signal entre stations voisines exclut l'erreur de mesure.

La circulation

Du littoral jusqu'à une centaine de milles au large, on rencontre un système de deux courants superposés dont l'épaisseur et l'éloignement à la côte sont variables. Le courant de Guinée (CG) se dirige vers l'est et surmonte un sous-courant, dont le noyau se trouve, en moyenne, vers 50 m, aux accores (fig. 10 et 11), (Lemasson et Rébert, 1973 a). Le courant de Guinée peut être rejeté au large et le sous-courant ivoirien (ou Sous-Courant de Guinée - SCG - d'après la terminologie de Verstraete, 1985) peut atteindre la surface, près de la côte. Il se produit alors une inversion du transport superficiel, connue depuis longtemps (Longhurst, 1962) mais considérée, jusqu'à présent, comme relativement exceptionnelle.

D'après Lemasson et Rébert (1973 a), le sous-courant est plus proche de la surface et de la côte pendant les périodes d'upwelling et même pendant la Petite Saison Chaude, et plus profond pendant les mois les plus chauds. Or, Hisard *et al.* (1986) constatent en 1984, au large d'Abidjan, une circulation d'est en ouest dans les 20 premiers mètres. Cette circulation est limitée à une bande proche des accores en janvier-février et en juillet-août 1984, mais elle s'étend jusqu'à l'équateur en avril. Une comparaison rapide entre les mesures de Lemasson et Rébert (1973 a) et celles de Colin (1988) montre que, en une station située au bord du plateau, le pourcentage d'apparition des courants est et ouest, sur la colonne 0-100 m n'est pas très différent entre les périodes 1968-

Tableau 6

Fréquences d'observations du Courant de Guinée, portant à l'est et du sous-courant ivoirien (ou Sous Courant de Guinée), portant à l'ouest; d'après les campagnes mensuelles de Lemasson et Rébert (1973 a) et les mesures hebdomadaires de Colin (1988).

	1968	1969	1970	1983	1984
Couche 0-100m					
Courant Est	31	34	44	37	31
Courant Ouest	69	66	56	63	69
Surface					
Courant Est	77	93	91	71	65
Courant Ouest	23	7	9	29	35

Fig. 12

Débits moyens annuels des grands fleuves ivoiriens et ghanéens (1955-1988). a : Bandama + Comoé et Volta au barrage d'Akosombo. b : Volta d'après diverses informations, à Senchi et Akosombo. D'après les données du Service Hydrologique de l'ORSTOM (cf. tab. 5), de la Division des Ressources en Eaux de Surface de Côte-d'Ivoire et de la Volta River Authority (Armah com. pers.).

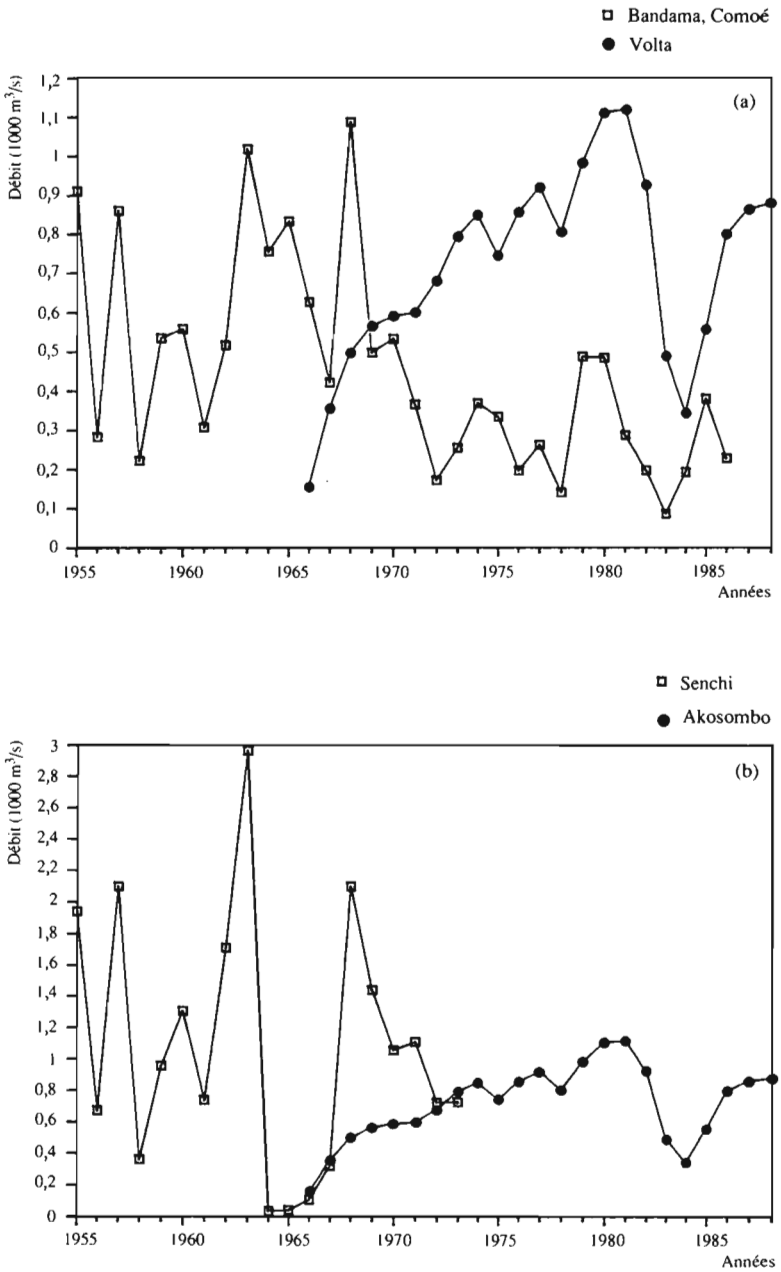
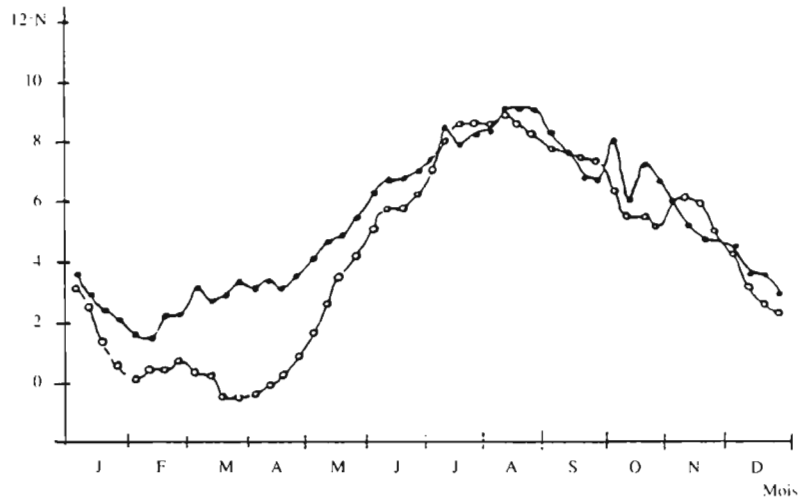


Fig. 13

Variations saisonnières moyennes de la latitude de l'ITCZ à 28°W, durant les années sèches (●—●) ou humides (o—o), sur le Sahel (d'après Citeau *et al.*, 1988 a).



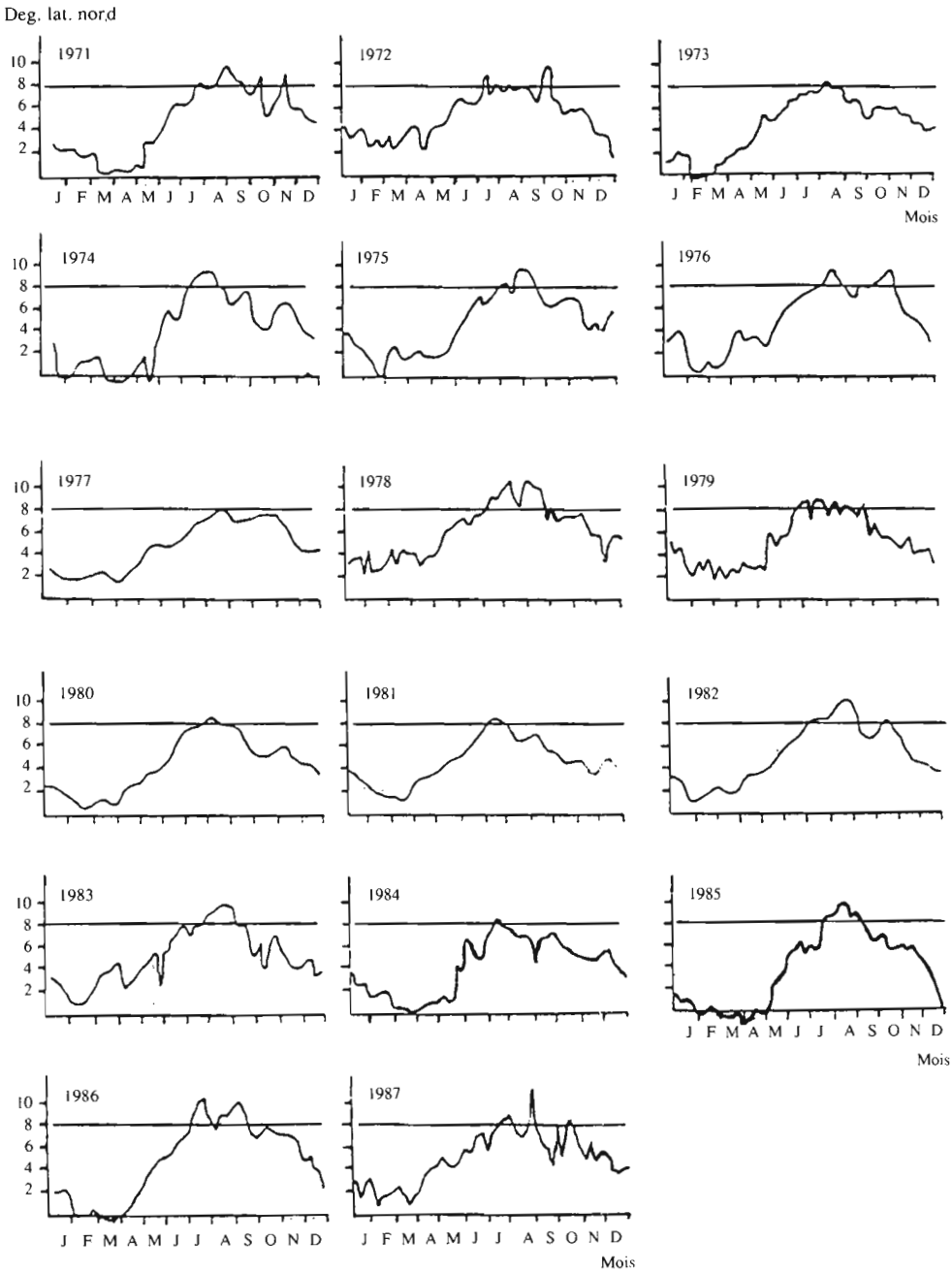
1970 et 1983-1984. Cependant,la fréquence des observations de transport vers l'ouest tende à diminuer de 1968 à 1970 et à augmenter de 1983 à 1984.
Si l'on ne considère que les observations de surface, l'apparition du courant ouest est nettement plus fréquente au cours de la seconde période que de la première (tab. 6), surtout si l'on met à part 1968, année tout à fait exceptionnelle.

ITCZ, pluviométrie et CCEN

L'Afrique sud-saharienne connaît une bonne pluviométrie vers la fin des années soixante (Mahé, présent volume). Mais, entre les périodes 1955-69 et 1970-86, le débit moyen annuel des fleuves Bandama et Comoé est divisé par 4, (tab. 5, fig. 12). Il en est de même pour la Volta qui déversait, à l'est du Ghana, presque 10 fois plus d'eau douce que chacun des grands fleuves ivoiriens.
D'autre part, la régularisation du débit à proximité des embouchures par des barrages (Akosombo sur la Volta, Kossou et Taabo sur le Bandama) entraîne une augmentation des rejets d'étiage et surtout un écrêtage des crues. Les variations saisonnières des débits sont considérablement atténuées.
La sécheresse qui sévit sur le Sahel est liée à certaines anomalies du déplacement de la Zone de Convergence Intertropicale (ITCZ) sur la côte nord du golfe de Guinée. Normalement, un mouvement de translation saisonnière amène des pluies de mousson sur les zones sahéliennes. On estimait jusqu'à présent (Hastenrath, 1984) que le blocage de l'ITCZ sur la côte, pendant l'hivernage (été boréal), coïncidait avec des années sèches et inversement qu'une montée de la convergence plus au nord correspondait à des années humides.
Citeau *et al.* (1988) constatent que ce schéma s'applique bien pendant les années soixante-dix, mais pas après 1980. Durant les années sèches de la décennie soixante-dix, il se produit un changement dans la répartition saisonnière des pluies sur le littoral. La première saison des pluies sur le littoral (juin) est plus forte lorsque la zone de convergence des alizés ne monte pas au nord de la côte, mais les pluies d'août sur le Sahel sont déficitaires.
Par contre, durant les années quatre-vingt, Citeau *et al.* (1988) estiment que la latitude atteinte par l'ITCZ (à 28°W) pendant l'hivernage ne suffit plus à expliquer les différences interannuelles de pluviométrie. Ils montrent l'importance de la position de l'ITCZ pendant la saison sèche (hiver boréal). Lorsque la convergence se trouve sur l'équateur de février à avril, l'année est humide; au contraire, si elle se maintient vers 3°N, l'année est sèche (fig. 13).
L'ITCZ est la zone de convergence des alizés. C'est donc la région où le contre-courant équatorial nord (CCEN) peut se former et diriger vers l'est (contre les alizés) des eaux qui butent sur les côtes guinéennes. D'après Mittelstaedt (1983), en arrivant sur la côte africaine ce flux se partage en deux branches (fig. 1). L'une remonte au nord, vers le Sénégal, l'autre poursuit

Fig. 14

Variations de la latitude de l'ITCZ à 28°W, de 1971 à 1987, (d'après Citeau *et al.*, 1988 b).



sa course vers l'est-sud-est et alimente le courant de Guinée (CG). En été et en automne, la position plus septentrionale de l'ITCZ fait que les eaux du CCEN seraient, en grande partie, infléchies vers le Sénégal. En hiver et au printemps, l'inverse se produit et le CCEN alimente directement le CG.

Les indications fournies par la dérive des navires marchands ne montrent qu'une légère composante nord au large de la Guinée (Richardson et McKee, 1984), en été boréal; ce que confirment les flotteurs lâchés en 1983-84 (Richardson et Reverdin, 1987).

Les anomalies interannuelles de la migration N - S de l'ITCZ et, par conséquent de l'axe du CCEN, sont fondamentales pour le CG et l'advection d'eau chaude dans l'est de l'Atlantique tropical (Hisard, 1988). Etant donné la variabilité saisonnière de la date à partir de laquelle le CCEN n'alimente plus directement le CG, (variabilité liée au déplacement saisonnier de l'ITCZ vers le nord), on peut se demander s'il n'existe pas une même variabilité interannuelle. S'il en était ainsi, les années où l'ITCZ, à 28°W, se maintient vers 3°N, au lieu de descendre jusqu'à l'équateur, le flux du courant de Guinée serait plus proche des côtes ivoirienne et ghanéenne.

Au vu du déplacement de l'ITCZ (Citeau *et al.*, 1988), ceci aurait pu se produire, notamment, de 1977 à 1983 (fig. 14). En 1984, au contraire, l'ITCZ reste sur l'équateur jusqu'en mai. On observe, le long du méridien 28°W, un flux est, assimilable au CCEN, très important et axé vers 5°N. Ce CCEN est sensiblement décalé vers le sud. La position anormalement sud de l'ITCZ a donc favorisé l'établissement d'un fort courant de Guinée, dont on voit des traces en février et mai 1984 à 1°E (Hisard *et al.* 1986; Piton, 1987 a). L'axe du CG est décalé vers le sud en été boréal 1983 et 1984 (Colin, 1989).

Un épisode analogue s'est déjà produit en mai-juin 1968 (Hisard, 1989): l'ITCZ se trouvait, en mai-juin, très au sud de sa position normale et il y avait eu un apport inhabituel d'eaux chaudes dans le golfe de Guinée (donc un CG renforcé). Les pluies avaient été abondantes sur le littoral, mais non sur les régions sahéliennes. Cependant, à la différence de l'année 1984, aucun upwelling côtier ne s'était produit. Or, durant cette année 1968, le courant de Guinée renforcé s'est traduit, sur le plateau continental, par une moindre fréquence de transport vers l'Est, comme en 1984 (tab. 6).

Maximum de salinité subsuperficiel et Sous-Courant de Guinée

Le Sous-Courant Equatorial (SCE) amène, en subsurface, le long de l'équateur, des eaux salées, dans l'est de l'Atlantique. Généralement, ces eaux alimentent l'upwelling équatorial et n'arrivent qu'en quantité limitée sur le bord est de l'océan. En 1984, cette eau n'est pas remontée en surface, à cause de la faiblesse du Courant Equatorial Sud et de la divergence équatoriale, et s'est donc accumulée dans le golfe de Guinée entre 4°N et 4°S (Piton et Wacogne, 1985; Piton, 1987 a). Ce maximum de salinité (>36‰) est situé entre 50 et 100 m de profondeur en février 1984 et entre 20 et 30 m en mai 1984. En arrivant au fond du golfe de Guinée, le maximum se divise en deux branches, l'une vers les côtes du Gabon, l'autre vers le fond de la baie de Biafra (fig. 15). En 1984 encore, Piton (1987 b) observe sur les côtes du Togo un maximum de salinité subsuperficiel anormalement élevé. Il y voit la trace de l'eau équatoriale subsuperficielle.

Lemasson et Rébert (1973 b) estiment que le sous-courant ivoirien est alimenté par un maximum de salinité d'origine sud-atlantique qui se mélangerait partiellement avec les eaux du sous-courant équatorial. Toutes ces observations conduisent à supposer que les eaux salées subsuperficielles accumulées dans le fond du golfe de Guinée, s'écoulent, de part et d'autre de l'équateur, vers le sud et vers le nord. La branche nord, en arrivant sur le talus continental du Nigéria s'incurverait vers l'ouest et donnerait naissance au sous-courant de Guinée (SCG), observé devant la Côte-d'Ivoire sous le nom de sous-courant ivoirien (Lemasson et Rébert 1973 a).

Une accumulation d'eaux inhabituelle sur l'un des bords de l'océan finit par s'écouler en direction de l'autre bord, quand la tension qui maintenait ce déséquilibre s'estompe. On peut donc penser que l'accumulation d'eaux salées subsuperficielles, dans le golfe de Guinée, a finit par entraîner un renforcement, voire un déplacement du SCG (fig. 15). Devant Lagos, le courant porte généralement à l'est, mais on observe parfois un remplacement par un courant dirigé vers l'ouest. D'après les pêcheurs locaux, ce courant des Forcados, reconnaissable à ses eaux bleues et transparentes, viendrait des profondeurs (Longhurst, 1964). Piton (1987 b) fait état de plusieurs observations de transport ouest superficiel, devant le Nigéria et le Togo, en 1983 et 1985. Habituellement, les apparitions de courant ouest en surface sont de moins en moins fréquentes, de l'embouchure du Niger à River Chess (Libéria), d'après Longhurst (1962), conformément au schéma de Lemasson et Rébert (1973 b), (fig. 11).

VERS UN SCHÉMA EXPLICATIF

Les modèles disponibles: upwellings et débits fluviaux

La constatation que la disponibilité à court terme semblait liée aux refroidissements a conduit Mendelssohn et Cury (1987) à modéliser les prises par unité d'effort par quinzaine de l'ensemble des petits pélagiques, en fonction des températures de surface. Le résultat est compatible avec la dynamique du zooplancton dans cette région. Il traduit une préférence des pélagiques pour les eaux parvenues en surface depuis moins d'un mois et donc enrichies en plancton.

A plus long terme, la variabilité des captures peut être imputée également à des changements de disponibilité, mais aussi à celles du recrutement. En utilisant un indice annuel d'upwelling comme un indicateur de richesse trophique susceptible de favoriser survie des larves et

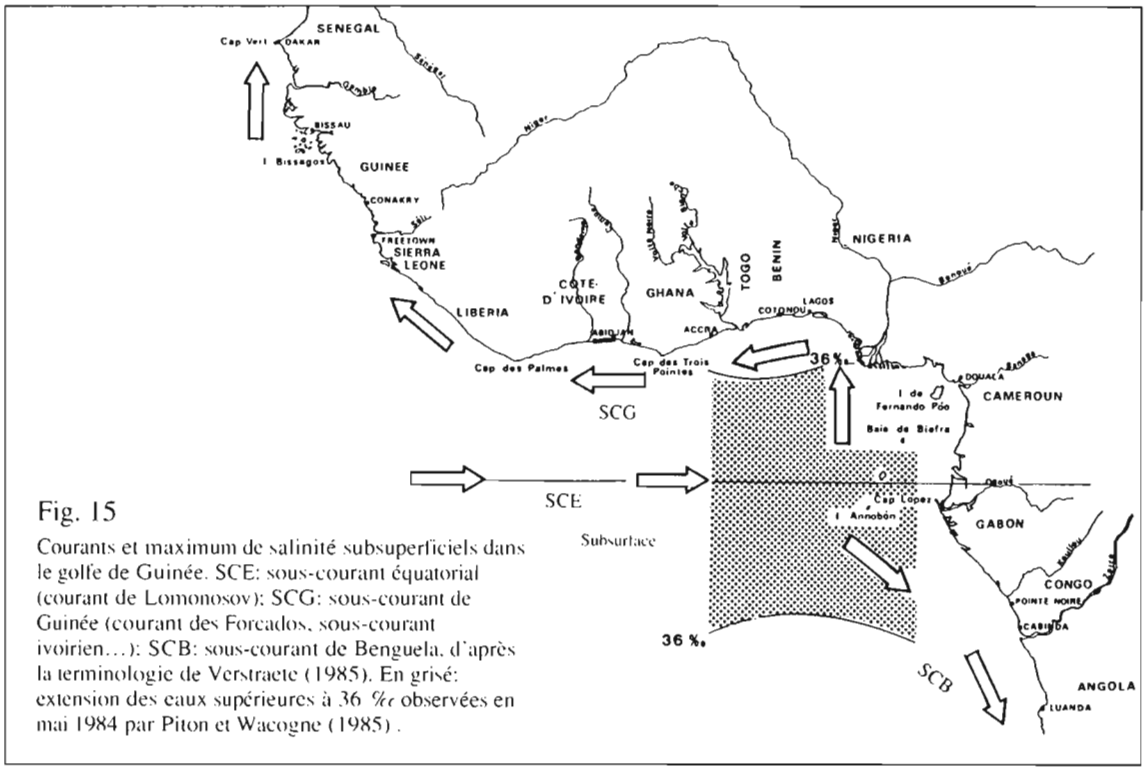


Fig. 15

Courants et maximum de salinité subsuperficiels dans le golfe de Guinée. SCE: sous-courant équatorial (courant de Lomonosov); SCG: sous-courant de Guinée (courant des Forcados, sous-courant ivoirien...); SCB: sous-courant de Benguela, d'après la terminologie de Verstraete (1985). En grisé: extension des eaux supérieures à 36 ‰ observées en mai 1984 par Piton et Wacogne (1985).

recrutement, Binet (1982), Cury et Roy (1987), Fréon (1988 et présent volume) interprètent une partie de la variabilité interannuelle des rendements halieutiques par des modèles dans lesquels l'intensité de l'upwelling agit sur l'abondance et la capturabilité. Cury et Roy (1989) montrent que dans la région ivoiro-ghanéenne l'intensité du recrutement croît avec le refroidissement, sans atteindre de maximum, alors qu'il passe par un optimum dans la plupart des remontées d'eaux. Ils attribuent cette particularité à la faiblesse de l'advection vers le large. On peut donc s'attendre à ce que le recrutement s'améliore avec la force de l'upwelling qui augmente la richesse trophique des eaux côtières, sans qu'il y ait dissipation vers le large de cette production nouvelle (fig. 16).

En se basant sur le caractère sténohalin de *Sardinella aurita* et la remarque que les fortes prises correspondent à des années sèches (FAO, 1974), Binet (1982) suggère que la disponibilité de cette espèce est négativement corrélée au débit des grands fleuves (fig. 17). Laloë (1988) développe le concept de biomasse inaccessible autour de cette idée.

Une régression multiple utilisant indice d'upwelling et débits fluviaux explique bien la variabilité des prises entre 1963 et 1979, à condition d'exclure la période 1973-1977. En effet, durant cette période, le stock, dans un état de surexploitation, peut avoir réagi d'une façon différente aux facteurs environnementaux (Binet, 1982). Appliqué aux dernières données, avec de nouveaux indices d'upwelling, le modèle, tout en rendant compte d'une certaine variabilité des captures, diverge de la réalité après 1984 (fig. 18 et 19). On constate en effet d'assez bonnes relations entre prises et indices d'upwelling ou débits fluviaux, jusqu'en 1982 (à l'exception de la période 1972-77), puis un schéma complètement différent par la suite (fig. 16 et 17). De même, le modèle de Laloë (1988) n'est ajusté que jusqu'en 1980.

Des changements inexpliqués par les modèles précédents

Un certain nombre de signes incite à penser qu'il s'est produit un changement dans la (ou les) population(s) de *Sardinella aurita* à partir des années quatre-vingt:

- vitesse de croissance et taille modale plus élevées;
- répartition spatio-temporelle des captures complètement modifiée: saison de pêche étendue à toute l'année (à l'exception de la première saison de décharge des fleuves côtiers), production ivoirienne équivalente aux prises ghanéennes;
- production croissante et soutenue pendant plusieurs années consécutives, prises totales et prises par unité d'effort plus élevées que jamais, au moins devant la Côte-d'Ivoire.

Ces changements dans la biologie et l'exploitation de *Sardinella aurita* trouvent un écho chez d'autres pélagiques. Explosion démographique du baliste, ac-

Fig. 16

Relation entre l'intensité de l'upwelling à Tema (U) et les débarquements de *S. aurita* au Ghana et en Côte-d'Ivoire (Y). La relation s'écrit:
Y(t) = 162 U - 5430, (r = 0,44)

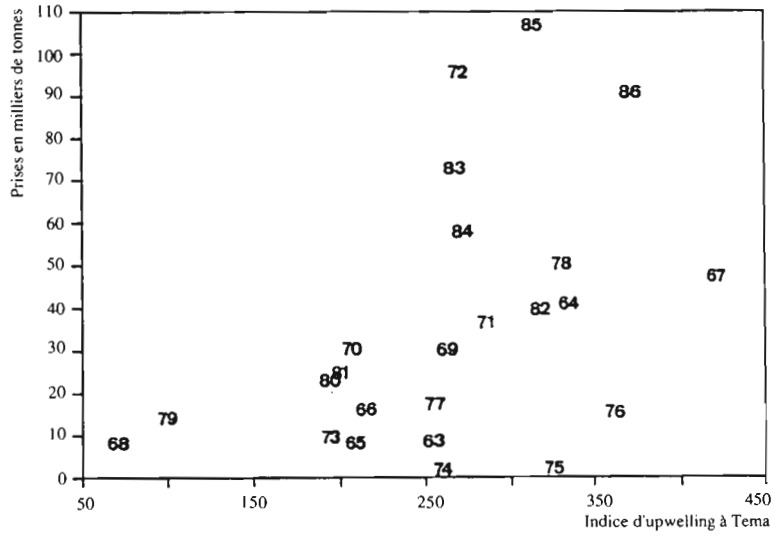


Fig. 17

Relation entre les débits des fleuves ivoiriens Bandama et Comoé (D) et les débarquements de *S. aurita* par les flottilles ivoiriennes et ghanéennes (Y).
Y(t) = - 50,3 D (m^3/s) + 56 700, (r = 0,45).

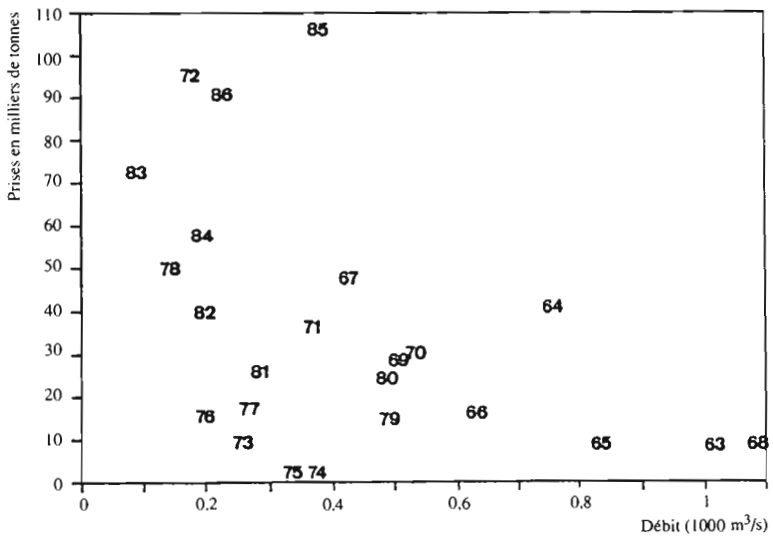


Fig. 18

Prises de *S. aurita* de la pêcherie industrielle ivoirienne seule, ajustées par une régression multiple à l'indice d'upwelling à Tema (U) et aux débits des fleuves Bandama et Comoé (D) durant les périodes 1963-72 et 1978-86 (r = 0,55). On considère que de 1973 à 1977 le stock, surexploité, ne répond pas de la même façon aux conditions environnementales (Binet, 1982). La régression s'écrit:
Y(t) = 33,3 U - 3,16 D + 1430.

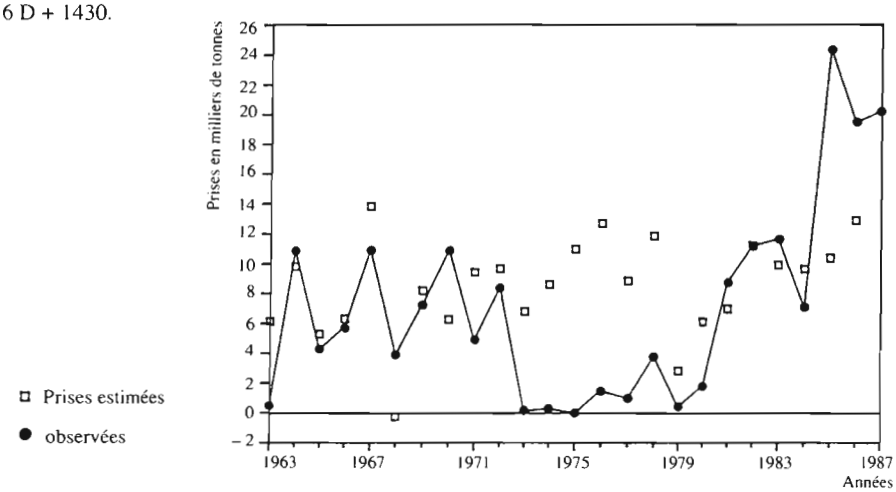
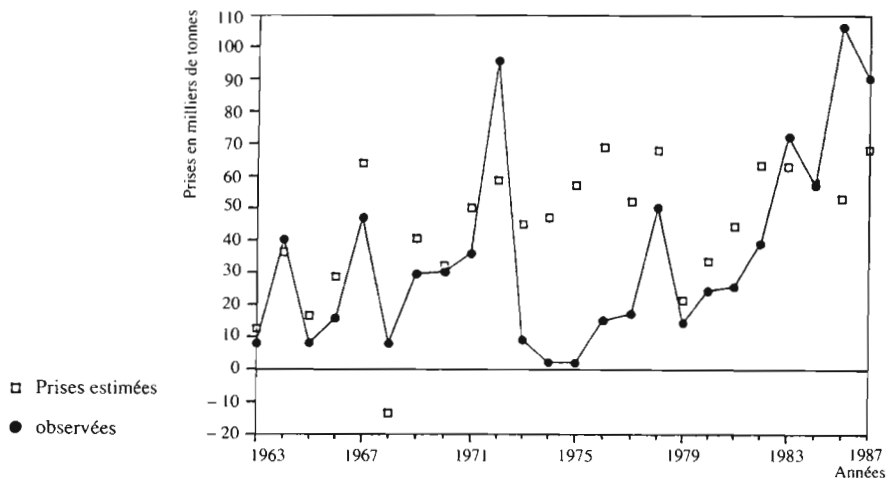


Fig. 19

Prises de *S. aurita* de l'ensemble Côte-d'Ivoire - Ghana (Y); ajustement par une régression multiple à l'upwelling à Tema (U) et aux débits des fleuves Bandama et Comoé (D), durant les périodes 1963-72 et 1978-86 (r = 0,74). La régression s'écrit: Y(t) = 122 U - 52,1 D + 36 200



croissement des captures d'anchois, disparition du maquereau, diminution des prises de *Brachydeuterus auritus* correspondent à un nouveau schéma du biotope qui paraît cohérent. La famille des balistes est connue habituellement dans les régions coralliennes aux eaux claires et salées. Les *Brachydeuterus* vivent au contraire dans des eaux néritiques souvent dessalées. Les anchois sont planctonophages, essentiellement filtreurs de phytoplancton, tandis que les maquereaux prédateurs exploitent un maillon beaucoup plus élevé de la chaîne alimentaire. Tout se passe comme s'il y avait eu diminution de l'influence néritique et raccourcissement de la chaîne alimentaire.
Pendant cette période, l'indice d'upwelling s'accroît, tout en restant à l'intérieur des limites de variation des deux décennies passées. La sécheresse n'est pas terminée, les débits des fleuves ivoiriens atteignent en 1983 un *minimum minimorum*. Ces deux indices climatiques peuvent expliquer l'évolution des captures devant le Ghana, mais non le développement d'une population de *Sardinella aurita* devant la Côte-d'Ivoire.

L'hypothèse du sous-courant

Les enrichissements d'origine profonde et les apports telluriques variant dans des limites connues, même si leur répartition spatio-temporelle a changé, il est nécessaire de chercher un paramètre dont les modifications récentes sortent de l'intervalle de variation des dernières décennies et soient susceptibles d'expliquer les derniers changements physiques et écologiques.
Si une position anormalement nord de l'ITCZ entraîne un décalage de même sens du CCEN et du courant de Guinée, on peut s'attendre à des modifications de la circulation devant la Côte-d'Ivoire. Le courant de Guinée serait plus étroit et collé à la côte, les années où l'ITCZ occupe une position septentrionale en hiver et au printemps (ce qui correspond à des années sèches); il serait plus étalé en latitude, décalé vers le Sud et donc plus distant de la côte, les années où la convergence des alizés est sur l'équateur (années plus humides).
Au fond du golfe de Guinée, les années où la divergence équatoriale est particulièrement faible, il se produit une accumulation subsuperficielle d'eaux salées. Celle-ci entraînerait un renforcement du SCG.
On peut supposer - mais ceci demande confirmation - que la conjugaison des deux anomalies (étalement du CG plus au sud, renforcement du SCG) amène le flux de retour vers l'ouest (SCG) plus près de la côte et de la surface, tandis que le CG est rejeté au delà des accores. Si les deux flux sont alimentés par des masses d'eau plus importantes, leur vitesse pourrait s'accroître et l'accélération de Coriolis entraîner un rapprochement de la côte du noyau du SCG et un étalement vers le large du CG. Le changement concernerait d'une part la position en latitude des circulations est et ouest, mais aussi la longitude à laquelle la circulation ouest s'enfonce sous le courant de Guinée pour mériter le nom de sous-courant.
Même si cette modification n'est pas radicale et que les oscillations du système ne conduisent qu'à augmenter la fréquence des apparitions de courant ouest à la côte et en surface, ce pourrait être la clé de bien des changements hydrologiques, écologiques et halieutiques observés depuis les années soixante-dix.
Pendant une période d'upwelling, le courant de Guinée s'éloigne de la côte, son épaisseur diminue, le sous-courant se rapproche de la surface et les eaux d'affleurement proviennent de niveaux plus froids. L'apparition du SCG en surface est une intensification de ce phénomène, qui pourrait être à l'origine de l'abaissement des températures observé ces dernières années dans l'est ivoirien.
En effet, le sous-courant peut alimenter en eaux plus froides les régions côtières superficielles:

- directement, par upwelling, l'eau provenant de niveaux habituellement plus profonds,
- indirectement, par advection; les eaux provenant du versant oriental du cap des Trois Pointes sont toujours plus froides.

Ceci pourrait expliquer l'inversion du gradient thermique zonal qui s'est produite vers 1981, l'est du golfe ivoirien (Assinie) devenant autant, et même plus froid que l'ouest (Tabou, Sassandra), à la faveur d'une poussée du sous-courant le long de la côte, à l'ouest des Trois Pointes.
Si le phénomène physique est confirmé, on doit s'attendre à une augmentation de la production primaire nouvelle, à un raccourcissement de la chaîne alimentaire et à un déplacement vers l'ouest de la zone de biomasse maximale. En effet, la teneur en nitrates des eaux est négativement corrélée à leur température (Herbland et Marchal, présent volume); des eaux plus froides donnent une production primaire plus forte.
Le zooplancton qui utilise cette production, migre entre deux courants contraires (Binet, 1979). De 1969 à 1972 la biomasse zooplanctonique maximale est, en saison froide, située au milieu du golfe ivoirien. On peut s'attendre à trouver le maximum de biomasse d'autant plus à l'ouest que les apparitions du SCG en surface sont fréquentes. Enfin, du fait de l'absence d'une double structure de courants diminuant les pertes advectives de production secondaire, le rapport zoo/phytoplancton diminuerait (Binet, 1988).
Dans quelle mesure la population de *Sardinella aurita* est-elle liée au sous-courant ?
D'après Lemasson et Rébert (1973 b), le SCG prend naissance au fond du golfe du Bénin, au voisinage de Lagos. C'est approximativement la limite orientale d'extension des upwellings saisonniers, c'est aussi la limite biogéographique du stock de *Sardinella aurita* de la côte nord du golfe de Guinée (fig. 1 et 15). Les pêcheurs de Lagos associent l'arrivée de bancs de *Sardinella cameronensis* à l'apparition du courant des Forcados (Longhurst, 1964).
Il y a quinze ans, Marchal écrivait (FAO, 1974): «Les sardines se maintiendraient en règle générale dans les eaux du sous-courant (maximum de salinité). Elles le

quitteraient pour se nourrir près de la surface, tant qu'il n'existe pas d'eaux superficielles dessalées». On observait alors une certaine coïncidence entre la position du noyau du sous-courant, le maximum de salinité et les concentrations de sardinelles sur le fond (FRU, CRO, ORSTOM, 1976). L'arrivée des sardinelles en surface, dans les eaux côtières, en saison froide, correspondait à une remontée du sous-courant près de la surface. Au Ghana, où l'essentiel des pêches de *S. aurita* se faisait à l'est des Trois Pointes, dans les années 1960, le contre-courant était beaucoup plus proche de la côte et de la surface que devant la Côte d'Ivoire (fig. 11 et 15), (Lemasson et Rébert 1973 b).

Il semble que l'arrivée du sous-courant en surface, près de la côte, puisse s'accompagner de la présence de sardinelles dans les eaux superficielles du plateau, même en saison chaude, ce qui devient fréquent après 1982, particulièrement en 1985 et 1986.

L'éloignement du courant de Guinée au delà du plateau a, sur le transport de l'ichtyoplancton, une conséquence incontestable: l'ensemble des oeufs et des larves de la frayère ghanéenne (d'Accra aux Trois Pointes) est entraîné vers l'ouest, par le SCG, ce qui diminuerait le recrutement devant le Ghana.

D'octobre à juin la biomasse zooplanctonique décroît, comme si l'écosystème pélagique consommait les réserves accumulées en Grande Saison Froide. Les pontes de *S. aurita* sont centrées sur les saisons froides, ce qui optimise les possibilités trophiques et améliore les chances de survie des larves. Entre 1969 et 1972, on constate la présence de larves de *S. aurita* dans l'extrême ouest ivoirien, lors des Petites Saisons Froides, alors que les pêches d'adultes y sont rares. Il y a donc déjà une zone de ponte dans cette région. La nouvelle situation hydrologique, (renforcement des Petites Saisons Froides sur le littoral occidental, circulation ouest plus fréquente et donc limitation des pertes advectives vers l'est) peut être à l'origine du développement d'une population dans ces secteurs et de la redistribution des nouvelles zones de pêche.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les modèles explicatifs avancés jusqu'ici ne sont probablement pas à remettre en cause, sinon dans leur formulation, du moins dans leur esprit. La variabilité de l'upwelling détermine, vraisemblablement toujours, recrutement et disponibilité. La présence d'eaux dessalées près de la côte empêche les *Sardinella aurita* de s'en approcher trop, tandis qu'une période de sécheresse les rend plus vulnérables. Mais ces modèles sont établis pour un environnement dont les upwellings et les apports fluviaux sont les paramètres les plus variables et contrôlent apparemment le système.

Il est évident que si l'un des paramètres du milieu (la circulation, dans le cas présent) vient à sortir de la gamme de variation dans laquelle il était confiné jusqu'ici, le système va évoluer vers un nouvel équilibre. On pourrait proposer le schéma suivant: durant la fin des années soixante, le SCG atteint rarement la surface devant la Côte-d'Ivoire, les fleuves sont dans une phase d'hydraulicité élevée, le peuplement de sardinelles est dominé par *Sardinella maderensis*. La population ghanéenne de *S. aurita* est beaucoup plus importante que celle de l'ouest ivoirien. Les prises en sont modulées par les upwellings et les débits fluviaux. L'installation de la sécheresse, la multiplication des barrages rend brutalement très disponible toute une classe (0+) de *S. aurita*. La surpêche qui s'ensuit (1972) entraîne un effondrement du stock ghanéen l'année suivante. Néanmoins, il se reconstitue progressivement puis subit de nouveaux aléas.

Mais, à partir des années quatre-vingts, l'environnement semble à nouveau se modifier. Les rejets fluviaux sont toujours faibles, les upwellings de juillet à septembre s'intensifient dans l'est ivoirien. En 1983 et 1984, on note des inversions de courant durables devant Abidjan. Ces anomalies de circulation pourraient avoir débuté avec les inversions zonales de température, vers 1981. Le stock ghanéen de *S. aurita* se déplace vers l'ouest par entraînement des larves. La population ivoirienne, qui se retrouve dans un système de circulation analogue à celui du Ghana, deux décennies plus tôt, prospère, et supporte des prises 10 fois supérieures. Une confirmation indirecte d'un déplacement de la zone de production maximale est fourni par Fonteneau (présent volume); le maximum des prises par unité d'effort des thonidés se trouvait à l'est du cap des Trois Pointes dans les années soixante-dix, il passe à l'ouest dans les années quatre vingts.

Il est vraisemblable que de tels événements se sont déjà produits dans le passé. Blanchard (com. pers.), commandant d'un chalutier océanographique, affirme avoir connu, vers 1960, devant Abidjan, des pêches abondantes dans lesquelles *S. aurita* dominait. On remarquera incidemment que les fleuves ivoiriens ont connu une période de moindre débit (presque analogue à la phase actuelle) entre 1958 et 1962 (fig. 12) et que dans le même intervalle l'upwelling de Takoradi était plus intense (fig. 8). D'autre part, vers 1945 les *S. aurita* étaient, au Ghana, beaucoup plus grandes et proches de la côte que maintenant (Mensah, com. pers.). Ces deux cas pourraient correspondre à des renversements de circulation superficielle.

Dans les années soixante-dix, l'ITCZ ne descend guère, en automne et au printemps, au sud de 2°N; au cours de la décennie suivante, la zone de convergence atteint souvent l'équateur. On en déduit que le courant de Guinée devait être étroit et côtier au cours des premières années, étalé et plus hauturier durant la seconde période. Indépendamment (du moins à l'échelle du golfe de Guinée), le SCG est renforcé en 1984. Par conséquent, un glissement vers l'équateur du CG correspondrait, sur le plateau continental, à une diminution du transport vers l'est.

En résumé, tout se passe comme si les deux populations ivoirienne et ghanéenne étaient dilatées ou décimées, selon la position qu'elles occupent dans le système CG-SCG. Selon la théorie de Sinclair (1988), une popula-

tion se développe si les larves sont ramenées vers leur lieu d'engraissement, par un système de courants. Au contraire, la population est décimée si les larves sont entraînées hors de la région favorable.
Il faut donc bien admettre que la biomasse du stock - ou sa production - a considérablement augmenté puisque celui-ci supporte globalement des captures annuelles deux à trois fois supérieures à la période précédant l'effondrement. Cette augmentation considérable porte essentiellement sur la partie «ivoirienne» du stock qui représentait une quantité négligeable jusqu'en 1980. Qu'il s'agisse du développement d'une population individualisée ou d'une simple extension de la population ghanéenne (Cury, *in* COPACE, 1989), ceci traduit une augmentation de la productivité des eaux ivoiriennes. Celle-ci, étroitement sous la dépendance des conditions d'environnement, et notamment du régime des courants, peut aussi bien revenir à la situation antérieure et entraîner une disparition de *Sardinella aurita* des eaux ivoiriennes.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le CRO d'Abidjan pour avoir mis à notre disposition les statistiques de pêche. Les hypothèses sur l'évolution du climat et de la circulation, présentées ici, ont été développées grâce aux informations fournies par P. Hisard, B. Piton, J. Citeau., C. Colin, J.P. Rébert et J.M. Verstraete. Nous les en remercions vivement.

DISCUSSION

HERBLAND: Depuis plus de 20 ans que l'on travaille en Côte-d'Ivoire, on ne comprend toujours pas le fonctionnement de l'upwelling ivoiro-ghanéen. Aujourd'hui, on observe des modifications importantes de cet écosystème sans avoir d'explication vraiment claire à donner.

BINET: Ce problème nécessite de lancer un vaste programme pluri-disciplinaire afin de comprendre les mécanismes mis en jeu, comme par exemple l'étude des liens entre l'ITCZ et l'intensité des upwellings.

ROY: Quel est le lien entre une salinité élevée dans la baie de Biafra et une intensification du sous-courant de Guinée ?

HERBLAND: D'après les mesures de courant effectuées devant la Côte-d'Ivoire par C. Colin, il y aurait coïncidence entre les deux phénomènes.

LALOE: L'«effondrement» prédit lors du groupe de travail COPACE/PACE en 87 du stock de *Sardinella aurita* a-t-il eu lieu en Côte-d'Ivoire-Ghana ?

MENSAH: En 1988, les prises ghanéennes ont été proches de la moyenne.

PEZENNEC: En 1988, les prises de Côte-d'Ivoire ont été insignifiantes pendant les 5 premiers mois et bonnes de juin à septembre. Il n'y a pas eu d'effondrement du stock.

BIBLIOGRAPHIE

• Amon Kothias J.B. Bard F.-X. Konan J. et al. 1986 - Aménagement de la pêche et de l'aquaculture en Côte d'Ivoire. Rapport multigr. C.R.O. Abidjan, 125 p.

• Arfi R. Pezennec O. Cissoko S. Mensah M. Présent Volume - Variabilité spatiale et temporelle de la résurgence ivoiro-ghanéenne.

• Binet D. 1976 - Biovolumes et poids secs zooplanctoniques en relation avec le milieu pélagique au dessus du plateau ivoirien. Cah. O.R.S.T.O.M. sér Océanogr. 14, 4: 301-326.

• Binet D. 1979 - Le zooplancton du plateau continental ivoirien. Essai de synthèse écologique. Oceanol. Acta, 2, (4): 397-410.

• Binet D. 1982 - Influence des variations climatiques sur la pêcherie des Sardinella aurita ivoiro-ghanéennes: relation sécheresse-surpêche. Oceanol. Acta, 5, (4): 443-452.

• Binet D. 1988 - Rôle possible d'une intensification des alizés sur le changement de répartition des sardines et sardinelles le long de la côte ouest africaine. Aquat. Liv. Res. ,1: 115-132.

• Caverivière A. 1982 - Le baliste des côtes africaines, (*Balistes carolinensis*). Biologie, prolifération et possibilité d'exploitation. Oceanol. Acta, 5(4):453-459.

• Caverivière A. Présent Volume - Explosion démographique du baliste (*Balistes carolinensis*) en Afrique de l'ouest et son évolution en relation avec les tendances climatiques.

• Citeau J. Bergès J.C. Demarcq H. Mahé G. 1988 a - Position de la zone intertropicale de convergence et températures de surface de l'océan. Bull. Veille climat. satell. 21: 1-5.

• Citeau J. Bergès J.C. Demarcq H. Mahé G. 1988 b - The watch of ITCZ migrations over the tropical Atlantic ocean as an indicator in drought forecast over the Sahelian area. Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter, 45:1-3.

• Colin C. 1988 - Coastal upwelling events in fronts of the Ivory Coast during the FOCAL program. Oceanol. Acta 11,(2):125-138.

• Colin C. 1989 - Sur la variabilité dans le golfe de Guinée. Nouvelles considérations sur les mécanismes d'upwelling. Thèse Doct. M.N.H.N. Paris, 57 p. dactylogr.

• Colin C. Gallardo Y. Chuchla R. Cissoko S. à paraître - Synthèse du plateau continental de Côte-d'Ivoire (Environnements climatique et océanographique). *In*: Le milieu marin de Côte d'Ivoire. ORSTOM.

• COPACE, 1989 - Rapport de la consultation technique sur les petites espèces pélagiques Golfe de Guinée Ouest. 8-12 déc. 1987, C.R.O. Abidjan, Côte d'Ivoire.Rapp. COPACE/PACE, series 89/47: 91p.

• Cury P. Roy C. 1987 - Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de Côte d'Ivoire: une approche globale. Oceanol. Acta, 10,(3) : 347-357.

• Cury P. Roy C. 1989 - Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46, 4, 670-680.

• Dandonneau Y. 1973. Etude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte-d'Ivoire. III. Facteurs dynamiques et variations spatio-temporelles. Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Océanogr. 11 (4):431-454.

• Ecoutin J.M. Delaunay K. Konan J. A paraître. Les pêches artisanales maritimes. *In*: Le milieu naturel marin de Côte-d'Ivoire. ORSTOM.

• F.A.O. 1974 - Etude et mise en valeur des ressources en poissons pélagiques côtiers. Côte-d'Ivoire. Conclusions et recommandations du Projet. P.N.U.D.- F.A.O. FI: DP/IVC/66/506, Rome, 72 p.

• Fonteneau A. Présent Volume - Pélagiques côtiers, pélagiques hauturiers et fluctuations environnementales: quelques éléments de comparaison.

• Fréon P. 1988 - Réponses et adaptations des stocks de Clupéidés d'Afrique de l'ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation. Analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. Etudes et Thèses, ORSTOM, 287 p.

• FRU, CRO, ORSTOM, 1976 - Rapport du groupe de travail sur la sardinelle (S. aurita des côtes ivoiro-ghanéennes. Abidjan 28/6 - 3/7 1976, 63 p. 27 fig.

• Gulland J.A. Garcia S. 1984 - Observed patterns in multispecies fisheries. In: (ed.), R.M. May. Exploitation of Marine Communities pp. 155-190. Dahlem Konferenzem 1984. Berlin, Heidelberg, New-York, Tokyo ; Springer Verlag.

• Hastenrath S. 1984 - Interannual variability tropical Atlantic sector. Mon. Wea. Rev. 112, 1097-1107.

• Herbland A. Le Loeuff P. A paraître - Les sels nutritifs au large de la Côte-d'Ivoire. *In*: Le milieu naturel marin de Côte-d'Ivoire. ORSTOM.

• Hisard P. 1988 - El Nino response of the tropical Atlantic ocean during the 1984 year. Int. Symp. Long Term Changes Mar. Fish Pop. 1986, Vigo, p. 273-290.

• Hisard P. 1989 - FOCAL / SEQUAL: «The Oceanographic Report». Bull. Liaison Océan Climat, ORSTOM Montpellier, 23: 2-4.

• Hisard P. Hénin C. Houghton R. Piton B. Rual P. 1986 - Oceanic conditions in the tropical Atlantic during 1983 and 1984. Nature, 322: 243-245.

• Laloë F. 1988 - Un modèle global avec quantité de biomasse inaccessible liée aux conditions environnementales: applications aux données de la pêche ivoiro-ghanéenne de Sardinella aurita. Aquat. Living Resour. 1: 289-298.

• Lemasson L. Rébert J.P. 1973 a - Les courants marins dans le golfe ivoirien. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr.,11,1:67-96.

• Lemasson L. Rébert J.P. 1973 b - Circulation dans le golfe de Guinée. Etude de la région d'origine du sous-courant ivoirien. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr., 11,3:303-316.

• Longhurst A.R. 1962 - A review of the Oceanography of the Gulf of Guinea. Bull. de l'I.F.A.N. 24 (A3): 633-663.

• Longhurst A.R. 1964 - The coastal oceanography of Western Nigeria. Bull. de l'I.F.A.N. 26 (A2): 337-402.

• Mahé G. Présent Volume. La variabilité des apports fluviaux au golfe de Guinée utilisée comme indice climatique.

• Marchal E. 1966 - Fluctuations de la pêche des sardinelles en Côte d'Ivoire. Doc. sci. prov. C.R.O. Abidjan, 1, 16 p.

• Marchal E. A paraître. Les poissons pélagiques côtiers: biologie et peuplement. In: Le milieu naturel marin de Côte-d'Ivoire. ORSTOM.

• Marchal E. Picaut J. 1977 - Répartition et abondance évaluées par échointégration des poissons du plateau ivoiro-ghanéen, en relation avec les upwellings locaux. J. Rech. Océanogr., 2 (4): 39-57.

• Mendelssohn R. Cury P. 1987 - Fluctuations of a fortnightly abundance index of the Ivoirian coastal pelagic species and associated environmental conditions. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44,2: 408-421.

• Mittelstaedt E. 1983 - The upwelling area off Northwest Africa. A description of phenomena related to coastal upwelling. Prog. Oceanog. 12: 307-331.

• Morlière A. 1970 - Les saisons marines devant Abidjan. Doc. Scient. C.R.O. Abidjan, 2: 1-15.

• Morlière A. Rébert J.P. 1972 - Etude hydrologique du plateau continental ivoirien. Doc. Scient. C.R.O. Abidjan, 3: 1-30.

• Pezennec O. Marchal E. Bard F.-X. A paraître - La pêche des petites espèces pélagiques en Côte d'Ivoire. *In*: Le milieu marin en Côte-d'Ivoire. ORSTOM.

• Piton B. 1987 a- Les anomalies océanographiques et climatiques de 1983 et 1984 dans le golfe de Guinée. Veille climatique satellitaire, 16: 18-31.

• Piton B. 1987 b- Caractéristiques hydroclimatiques des eaux côtières du Togo (Golfe de Guinée). Doc. Scient. Brest 42: 33 p. multigr.

• Piton B. Wacogne S. 1985 - Unusual amounts of very saline subsurface water in the eastern Gulf of Guinea in May 1984. Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter, 32: 5-8.

• Richardson P.L. McKee T.K. 1984 - Average seasonal variation of the Atlantic Equatorial currents from historical ship drifts. J. Phys. Oceanogr., 14 (7): 1226-1238.

Richardson P.L. Reverdin G. 1987 - Seasonal cycle of velocity in the Atlantic North Equatorial Countercurrent as measured by surface drifters, current meters and ship drifts. J. Geophys. Res., 92 (C4): 3691-3708.

• Sinclair M. 1988 - Marine populations: An essay on population regulation and speciation. Washington Press, Seattle & London, 252 p.

• Verstraete J.M. Picaut J. 1983 - Variations du niveau de la mer, de la température de surface et des hauteurs dynamiques le long de la côte nord du golfe de Guinée. Océanogr. trop., 18, 2: 139-162.

• Verstraete J.M. 1985 - Contre-courants équatoriaux et variations saisonnières du contenu thermique et du niveau moyen dans l'Atlantique tropical Est. Oceanol. Acta, 8, 3: 249-261.

27 • Variations locales de l'upwelling, répartition et abondance des sardinelles en Côte-d'Ivoire

ALAIN HERBLAND
CREMA, l'Houmeau, Case 5, 17137 Nieul sur Mer, France

EMILE MARCHAL
Chercheur ORSTOM, Institut Océanographique, 195 rue Saint-Jacques, 75005 Paris, France

RÉSUMÉ

Les nombreuses données acquises sur l'intensité et la localisation de l'upwelling du plateau continental ivoirien ont permis de mettre en évidence un cycle géographique saisonnier cohérent plus ou moins reproductible d'une année à l'autre: les maximums d'intensité et de durée de la grande saison froide (GSF = upwelling d'été) et ceux de la petite saison froide (PSF = janvier à mars) sont localisés dans l'ouest, entre Tabou et Sassandra. Depuis 1982-1983, il semble que ce schéma soit modifié avec, certaines années (1983, 1984 et 1986), une diminution très nette de l'upwelling dans l'ouest «au profit» d'une augmentation dans l'est (Assinie). Ces modifications ont nécessairement des conséquences sur la localisation et l'intensité des productions primaire et secondaire, mais il est aujourd'hui impossible de les préciser. En revanche, les données sur les captures des sardinelles montrent que les prises de *Sardinella aurita* ont considérablement augmenté depuis le début des années 1980. Ces captures, traditionnellement concentrées pendant la GSF dans les secteurs est du plateau continental ivoirien se sont étendues à l'ensemble du plateau et à toute l'année. Bien qu'aucun rapport de cause à effet ne puisse être établi entre ces deux modifications, il est probable que ces deux événements ne soient pas indépendants. Les mécanismes qui les sous-tendent restent à élucider.

ABSTRACT

The seasonal upwellings off Ivory Coast have a mean spatial and temporal pattern, more or less reproductible from one year to another: maximum intensity and length of the main cold season (GSF = summer upwelling) and those of the minor cold season (PSF = January to March) are located on the Western area between Tabou and Sassandra. Since 1982-1983, it appears that this mean pattern has changed, in 1983, 1984 and 1986 a sharp decrease of the upwelling intensity occured in the West concurrently with an increase in the East (Assinie). These modifications should alter the location and intensity of primary and secondary production. However, the catch of Sardinella aurita show an incredible increase since 1980. These catches traditionally concentrated during the GSF in the Eastern areas, now extended to all the continental shelf and to all the year. There are probable links between these two fluctuations eventhough there are no direct relationships. The responsible mechanisms have not been yet clarified.

INTENSITÉ ET LOCALISATION DE L'UPWELLING SUR LE PLATEAU CONTINENTAL IVOIRIEN

Le schéma classique

Si le mécanisme causal de l'upwelling ivoiro-ghanéen n'est pas encore élucidé (Picaut, 1983; Colin, 1988) ses

manifestations géographico-saisonnières sont en revanche bien connues.
Morlière et Rébert (1972), en se basant sur les résultats des campagnes PK (26 campagnes entre juillet 1969 et janvier 1972), concluent que les remontées d'eau estivales sont plus longues et plus intenses dans l'ouest de la Côte d'Ivoire (entre Tabou et Grand Lahou) qu'à l'est (entre Grand Bassam et le cap des Trois Pointes). Ainsi, ce que Morlière (1970) a appelé la grande saison froide (GSF) est plus intense à l'ouest qu'à l'est du plateau continental ivoirien (fig. 1). Il ressort aussi nettement de leurs travaux que la petite saison froide (PSF), caractérisée par des refroidissements hivernaux (janvier-mars) qui n'atteignent pas toujours la surface, est plus marquée à l'ouest qu'à l'est (fig. 1).
A partir de données quotidiennes de température mesurées à différents endroits du littoral ivoiro-ghanéen entre 1978 et 1987, Arfi *et al.* (présent volume) confirment et précisent les observations des années 70. Leur indice d'upwelling montre une distribution spatio-temporelle conforme aux conclusions de Morlière et Rébert (1972): il existe une diminution d'ouest en est de la valeur de l'indice d'upwelling pour les deux saisons froides (fig. 2). Cette figure montre clairement le phénomène ainsi que la réaugmentation de l'intensité de l'upwelling à l'est du cap des Trois Pointes (au Ghana) mais de façon dissymétrique selon les saisons: la grande saison froide est aussi intense au Ghana qu'en Côte-d'Ivoire alors que la petite saison froide est beaucoup plus faible au Ghana.
Ce schéma géographico-saisonnier de l'upwelling ivoirien se reproduit-il d'une année à l'autre avec régularité, ou au contraire subit-il des modifications qui seraient passées inaperçues jusqu'à présent ?
On sait déjà que certaines années se distinguent très nettement de la moyenne: 1963, 1968 et 1979 sont connues pour être des années à upwelling faible tandis que 1967, 1976 et 1977 sont des années à fort upwelling. Mais ces variations interanuelles portent sur l'intensité du refroidissement. En revanche, peu de renseignements concernent les variations interannuelles de sa localisation sur le plateau continental ivoirien. C'est cet aspect qui est étudié dans le présent article.

Anomalies à partir de 1981-1982

Modifications de l'enrichissement. Lorsqu'on parle d'upwelling on confond souvent deux notions qui, du point de vue biologique, ont des conséquences très différentes: le refroidissement et l'enrichissement.
En effet, les relations qui lient la température et les sels nutritifs, et plus particulièrement le nitrate (qui est le sel nutritif limitant la production primaire dans les eaux de l'Atlantique tropical), montrent qu'un refroidissement n'est pas nécessairement accompagné d'un enrichissement. Pendant la saison chaude, la couche épuisée en nitrate est généralement plus épaisse que la couche homogène, si bien qu'une partie de la thermocline est dépourvue de nitrate. D'où l'idée de rechercher à partir de quelle température, le nitrate apparaît de façon significative dans les eaux du plateau continental ivoirien, et ainsi de prévoir un enrichissement à partir des données thermiques.
Cette étude a été menée par Herbland et Le Loeuff (en préparation) et a confirmé les résultats des études précédentes dans le golfe de Guinée (Voituriez et Herbland, 1984; Oudot et Morin, 1987), à savoir que le nitrate n'est présent dans l'eau qu'en dessous de 23-24° C.
A partir des données de températures des différentes stations côtières, il est possible de rechercher les périodes de l'année où la température de surface est égale ou inférieure à 23° C de façon à obtenir une image de la durée et de l'intensité des périodes d'enrichissement le long du littoral ivoirien. En juxtaposant les portions de courbe correspondant à la grande saison froide (juin à octobre inclus) pour les différentes stations, on obtient une visualisation, dans l'espace et dans le temps, de l'intensité de cet enrichissement (fig. 3). A l'évidence, cette figure révèle une double tendance:

- entre les années 1979 et 1981, le schéma est conforme aux observations antérieures: l'upwelling est plus intense et dure plus longtemps dans l'ouest (Tabou - Grand Drewin) que dans l'est (Port-Bouet - Assinie);
- à partir de 1982, la situation s'inverse: l'upwelling de la GSF est plus marqué en 1983 et 1984 à Port-Bouet et Assinie qu'à Tabou.

Au travers de cette fenêtre d'observation qui, répétons le, est volontairement très sélective puisqu'elle ne retient que les températures de surface inférieures à 23°C, un observateur placé à Assinie aura tendance à conclure que de 1979 à 1985 la vigueur du refroidissement / enrichissement augmente (la surface des courbes de la fig.3 le montre clairement) tandis qu'un observateur placé à Tabou conclurait le contraire. Un observateur placé à Abidjan-Port-Bouet, lui, n'aurait rien vu... et c'est effectivement ce qui est arrivé puisque les nombreuses mesures effectuées à proximité d'Abidjan pendant le programme FOCAL (1982-1984) n'ont pas permis de déceler le phénomène: tout se passe comme s'il y avait eu un basculement de l'intensité maximale de l'upwelling de grande saison froide entre l'ouest et l'est, le centre n'étant pas modifié.
Toutefois, il faut reconnaître que cette analyse empirique, avec un seuil fixé à 23°C, est critiquable parce qu'elle ne privilégie qu'un aspect de l'upwelling: le maximum de refroidissement estival; bien qu'il ne soit vraisemblablement pas neutre sur le plan biologique, il se pourrait que cette analyse ne résiste pas à celle plus rigoureuse, des physiciens: le calcul d'un indice d'upwelling et des anomalies thermiques.

Evolution des indices d'upwelling de 1979 à 1987 le long du littoral ivoirien (Arfi et al., présent volume). L'indice d'upwelling est calculé pour chaque quinzaine à chaque station selon la formule :

$$Iq = (26-Mqz)*Nqz \quad \text{en °C.J}$$

Fig. 1

Diagrammes spatio-temporels: températures et salinités à 0, 10 et 20 m, le long du plateau continental ivoirien (extrait de Morlière et Rébert, 1972).

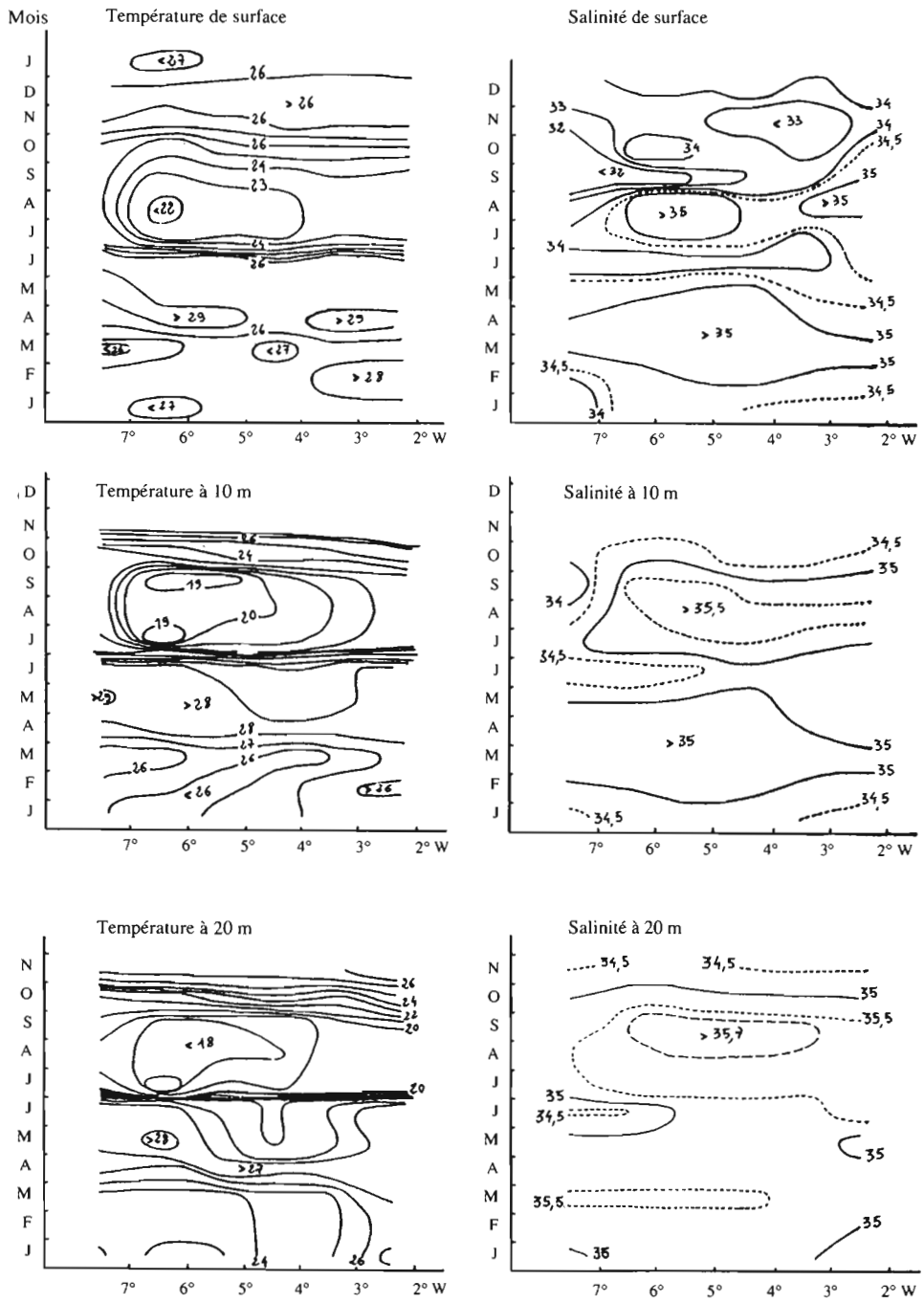


Fig. 2

Indices moyens d'upwelling entre 1978 et 1987, de Tabou à Keta. Numéros de stations: 1:Tabou, 2:San Pedro, 3:Sassandra, 4:Fresco, 5:Abidjan, 6:Assinie, 7:Axim, 8:Trois Pointes, 9:Takoradi, 10:Winneba, 11:Tema, 12:Keta (extrait de Arfi *et al.*, présent volume).

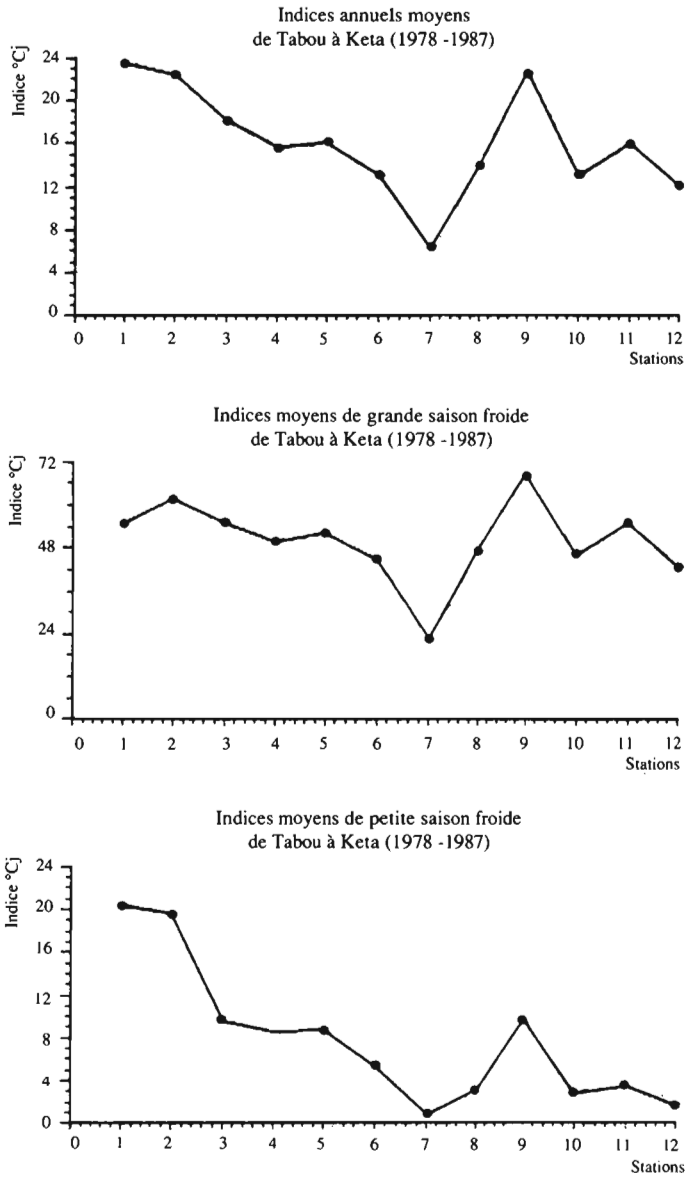
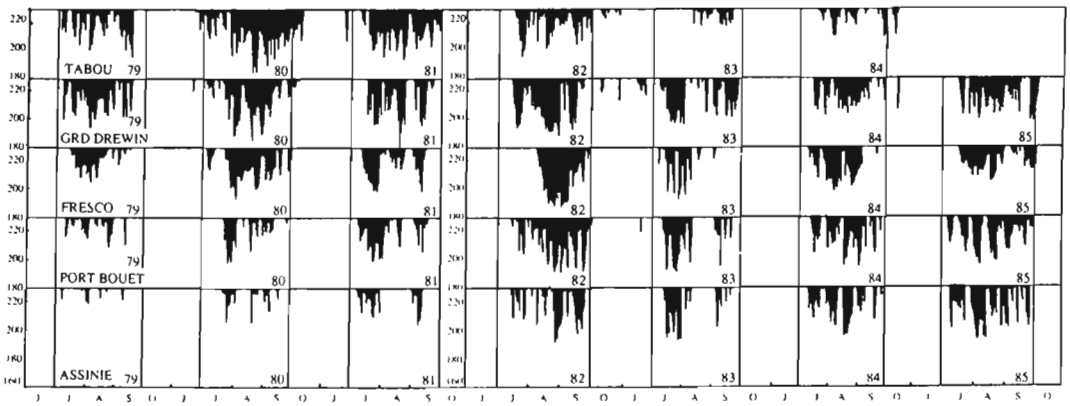


Fig. 3

Evolution entre 1978 et 1985 de la température de surface inférieure à 23°C aux différentes stations côtières pendant la grande saison froide (juin à octobre inclus). Plus l'intégrale de courbe est importante, plus l'upwelling est intense.



Nqz = nombre de jours de la quinzaine pour lesquels la température est inférieure à 26°C;

Mqz = moyenne des températures inférieures à 26°C pour la quinzaine considérée.

La représentation graphique de ces indices (fig. 4 et 5) est centrée sur la moyenne, ce qui explique la présence de valeurs négatives. Il faut également préciser que les indices PSF et GSF, se rapportent à des durées différentes (4 et 6 quinzaines respectivement) et ne sont donc pas comparables entre eux.

L'évolution interannuelle des deux indices montre que jusqu'à 1981 les valeurs sont plus élevées à l'ouest qu'à l'est ; 1982 est une année de transition, bien que la PSF soit conforme au schéma classique ; les années 1983, 1984 et 1986 sont complètement atypiques puisque l'indice d'upwelling est plus fort à Assinie qu'à Tabou ; 1987 est une année anormale avec des valeurs très faibles de l'indice d'upwelling sur tout le littoral.

Evolution des anomalies thermiques négatives cumulées. Une représentation de l'évolution des anomalies thermiques à Tabou par quinzaine (fig. 6) met en évidence le réchauffement qui s'est opéré entre 1977 et 1984 (les données n'étaient pas disponibles pour les années suivantes). A partir de ce schéma, il est difficile de quantifier le phénomène, et surtout de comparer les différentes stations entre elles.

On a donc cumulé les anomalies négatives et reporté ces valeurs cumulées par année en fonction du temps pour 4 stations (fig. 7). Les résultats montrent une diminution des anomalies négatives cumulées dans l'ouest, avec une diminution simultanée de la pente vers l'est. A Assinie, la corrélation n'est plus significative ($r = 0,22$ $n = 8$).

En résumé, quelle que soit la façon dont on traite les mêmes données (sélection de la température inférieure à 23°C, indice d'upwelling sensible au-dessous de 26°C et anomalie thermique qui prend en compte toutes les températures mesurées), on aboutit au même résultat: l'upwelling à Tabou - Grand Drewin a diminué en intensité depuis 1981, tandis qu'il serait plutôt renforcé à Assinie et qu'il ne montre pas de variations sensibles à Abidjan - Port-Bouet.

RÉPARTITION ET ABONDANCE DES SARDINELLES

Avant 1980

Sur le plateau continental ivoirien, l'espèce dominante était *Sardinella maderensis* dont la prise assez stable représentait environ 10 000 tonnes par an (fig. 8). Les captures de *Sardinella aurita* fluctuent plus (fig. 9), tout en se situant à un niveau nettement inférieur. De 1973 à 1980, les prises de *S. aurita* ont été quasiment nulles. La répartition des prises de *Sardinella maderensis* par secteur est et ouest (fig. 10) est à peu près uniforme, avec cependant une tendance à la prédominance des secteurs ouest à partir de 1973. Chez *Sardinella aurita*, les captures dans l'ouest étaient négligeables par rapport à l'est, le «décollement» de 1977 n'étant guère significatif en quantité (fig. 11)

Fig. 4

Variations interannuelles de l'indice d'upwelling de petite saison froide de Tabou à Keta (1978-1987), d'après Arfi *et al.* (présent volume).

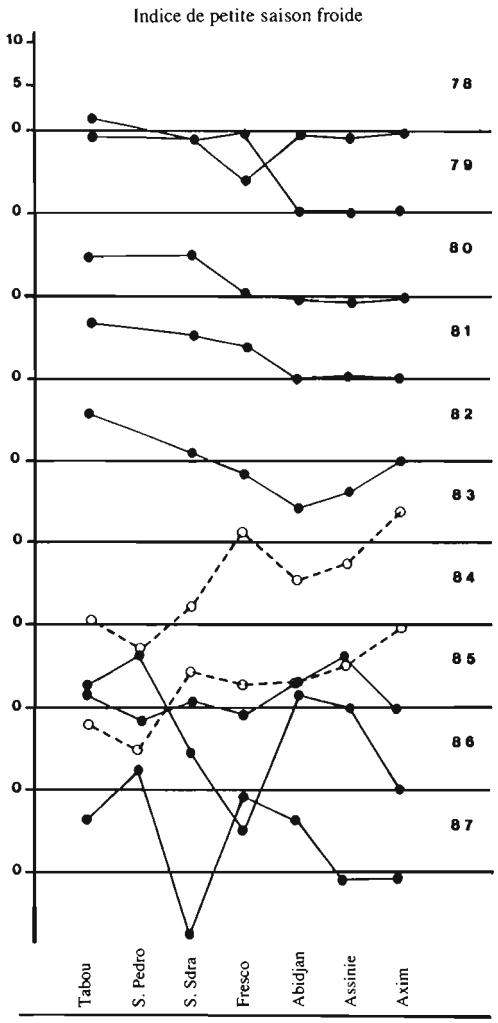


Fig. 5

Variations interannuelles de l'indice d'upwelling de grande saison froide de Tabou à Keta (1978-1987), d'après Arfi *et al.* (présent volume).

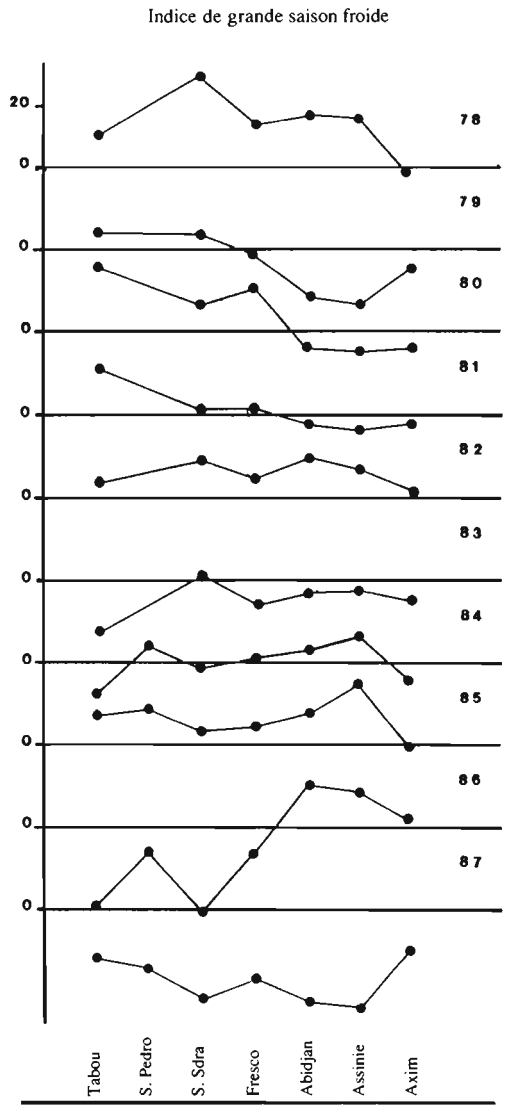


Fig. 6

Evolution des anomalies thermiques à la station côtière de Tabou, entre 1977 et 1984.

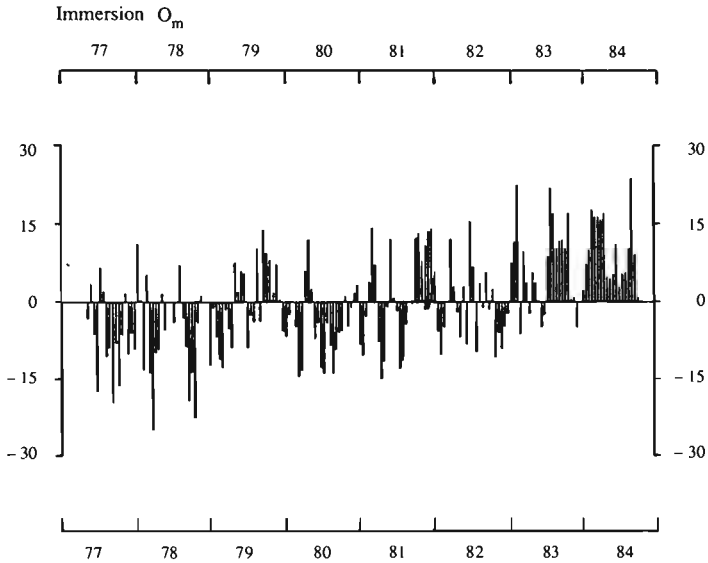


Fig. 7

Evolution de l'anomalie thermique négative cumulée sur une année entre 1977 et 1983 pour 4 stations côtières de Côte-d'Ivoire.

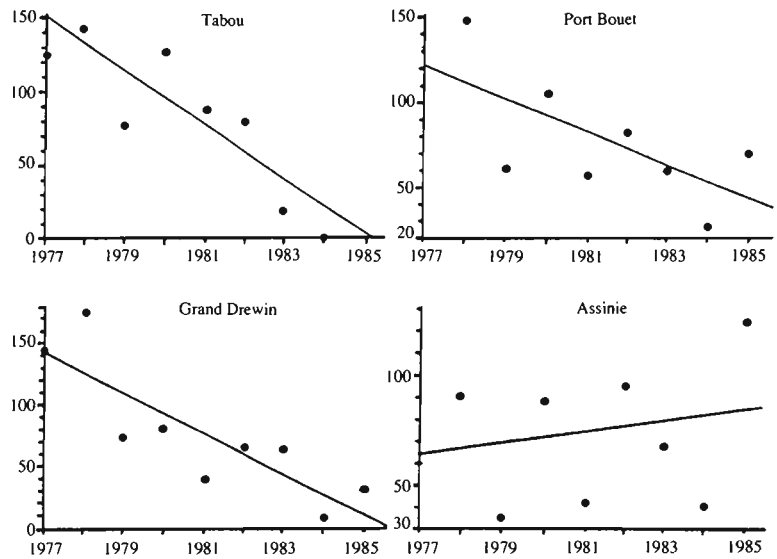


Fig. 8

Evolution des captures de *Sardinella maderensis* dans la zone Côte-d'Ivoire - Bénin de 1966 à 1988 (d'après Pézennec *et al.*, sous presse).

Fig. 9

Evolution des captures de *Sardinella aurita* dans la zone Côte-d'Ivoire - Bénin de 1966 à 1988 (d'après Pézennec *et al.*, sous presse).

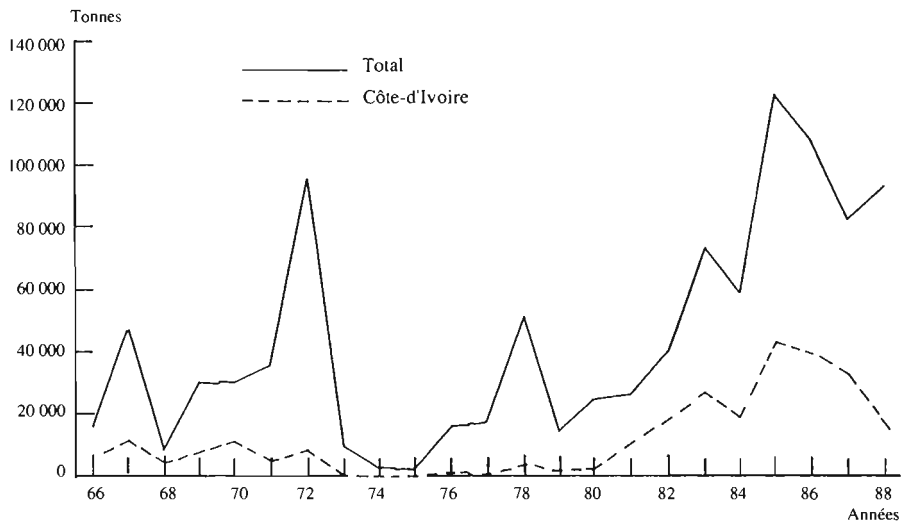


Fig. 10

Part des secteurs est et ouest dans les prises de *Sardinella maderensis* en Côte-d'Ivoire de 1966 à 1988 (d'après Pézennec *et al.*, sous presse).

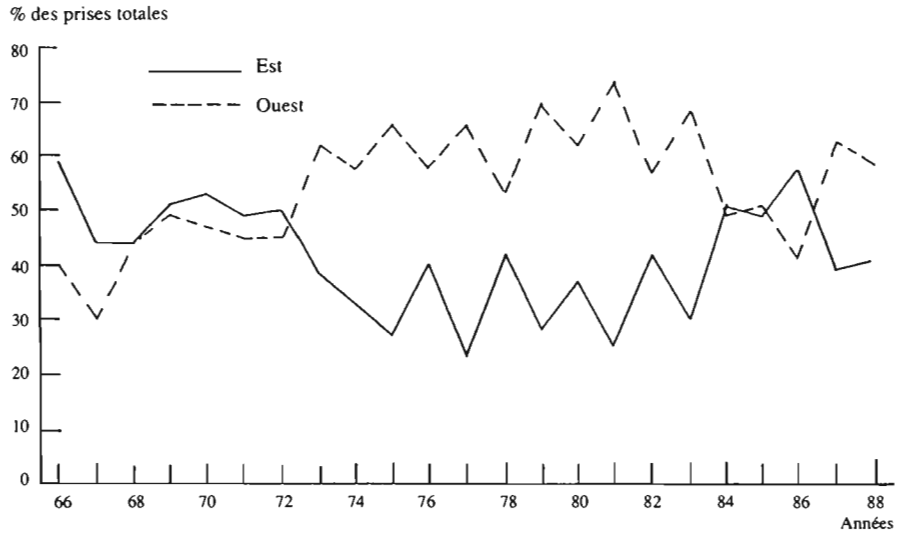


Fig. 11

Part des secteurs est et ouest dans les prises de *Sardinella aurita* en Côte-d'Ivoire de 1966 à 1988 (d'après Pézennec *et al.*, sous presse).

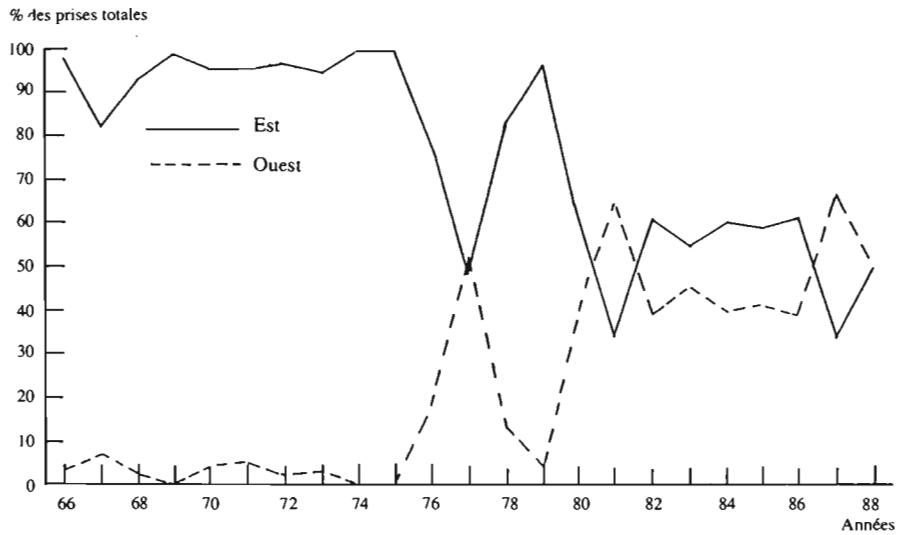
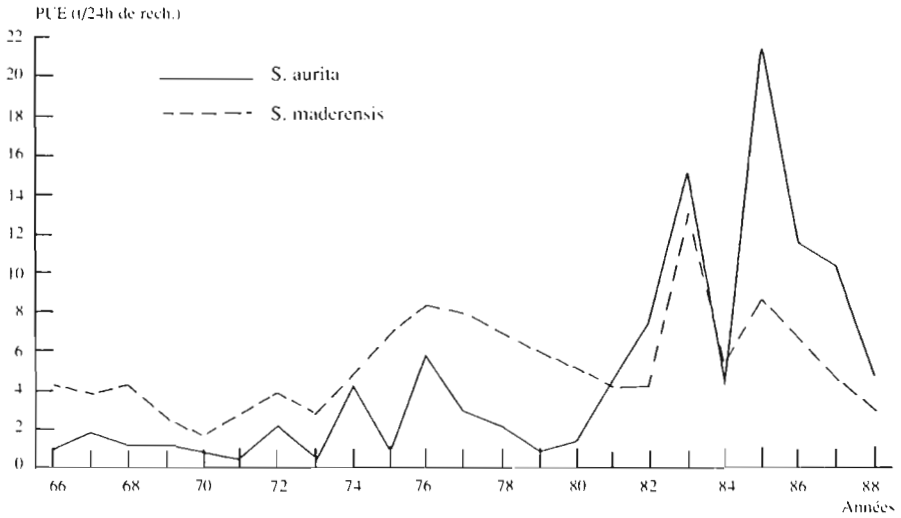


Fig. 12

Prise par unité d'effort (PUE) de *Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis* par les seineurs ivoiriens en Côte-d'Ivoire de 1966 à 1988 (d'après Pézennec *et al.*, sous presse).



Après 1980

La tendance des captures est à la hausse modérée pour *Sardinella maderensis* et à la hausse très forte à partir de 1981, pour *S. aurita*, pour arriver à un «palier» d'un ordre de grandeur supérieur à celui de la décennie précédente. La répartition des prises par secteur est-ouest montre bien l'évolution brusque qui s'est produite à partir de 1980-81 pour *S. aurita* avec un pourcentage de prises à peu près équilibré entre les deux régions. Pour *S. maderensis*, la situation observée en 1973 se perpétue sans tendance marquée si ce n'est un retour à la situation *ante* 1973 à partir de 1984.

DISCUSSION

Evolution spatio-temporelle de l'intensité de l'upwelling

Artefact ou réalité ? Les données de température des différentes stations côtières ont été acquises par des «bénévoles» qui, malgré leur bonne volonté, ne possèdent pas obligatoirement toute la rigueur nécessaire.
Il ne faut donc pas exclure la possibilité d'une dérive lors de la mesure (par exemple, un rapprochement progressif vers le rivage). Cependant, la simultanéité des modifications à deux endroits éloignés (Tabou et Grand Drewin) et la tendance inverse à Assinie permettent d'écarter cette hypothèse. Il serait en effet hautement improbable qu'il y ait une conjonction de trois artefacts (deux dans un sens et un dans l'autre).

Nous aurions tendance à conclure «qu'il s'est passé quelque chose» d'hydrologiquement important sur le plateau continental ivoirien à partir de 1982.
Il n'entre pas dans nos propos d'expliquer ces variations d'autant plus que les causes de l'upwelling ne sont pas encore complètement élucidées: selon Colin *et al.* (sous presse) le déclenchement et le maintien de l'upwelling côtier ivoirien dépendent étroitement de l'action conjuguée du vent local et du courant de Guinée aux abords et au large du plateau continental, alors que Picaut (1983) avance l'hypothèse d'une téléconnection: renforcement des vents dans l'ouest de l'Atlantique équatorial, provoquant une onde piégée à l'équateur qui, à la frontière est du golfe de Guinée se réfléchit sous forme d'ondes côtières déclenchant et entretenant l'upwelling ivoiro-ghanéen.
Binet *et al.* (présent volume) pensent que ces modifications récentes pourraient être reliées à une intensification, matérialisée par des apparitions plus fréquentes en surface, du sous-courant ivoirien qui porte à l'ouest et qui, de ce fait, perturberait le schéma classique de l'upwelling.
Pour valider cette hypothèse, il serait intéressant d'étudier les variations et l'évolution simultanées d'autres indices locaux comme le vent et les courants de surface. De la variation de ces indices locaux par rapport à la situation antérieure dite «normale», il devrait être possible d'en déduire le rôle des forces locales dans l'établissement de l'upwelling et ainsi de mieux apprécier la

validité des deux hypothèses avancées pour expliquer l'upwelling ivoirien.

Abondance des sardinelles et upwellings.

Il y a eu manifestement une augmentation de l'abondance de l'espèce *Sardinella aurita* à partir de 1981: ceci est apparent, non seulement dans les prises totales, mais également dans les prises par unité d'effort (fig.12). Cette tendance s'observe du reste également chez *S. maderensis*. Elle s'accompagne d'une extension très nette de la zone de capture (secteurs ouest) et de la «saison», ce qui est peut-être le phénomène le plus spectaculaire. Peut-on relier ces modifications de l'abondance et de la répartition spatio-temporelle des sardinelles (et plus particulièrement de *S. aurita*) à celles du régime des upwellings telles qu'elles sont apparues depuis 1982 ? Pour le moins, cette liaison n'est pas évidente à établir: en effet il semblerait que l'upwelling se soit renforcé dans l'est et réduit dans l'ouest: or c'est bien dans l'ouest que se sont produits les accroissements considérables d'abondance. De même, si l'augmentation des prises de *S. aurita* dans le secteur est pendant la grande saison froide peut s'expliquer par l'accroissement corrélatif de l'indice d'upwelling, rien de semblable ne permet d'expliquer l'augmentation d'abondance dans le secteur ouest pendant la petite saison froide (pas plus du reste que pendant le dernier trimestre). S'il y a une relation entre les deux phénomènes elle est donc plus subtile et passe probablement par des modifications du recrutement, voire l'émergence d'une population qui rencontrerait des conditions plus favorables.

BIBLIOGRAPHIE

• Arfi R, Pezennec O., Cissoko S. et M. Mensah. Présent volume. Variabilité spatiale et temporelle de la résurgence ivoiro-ghanéenne.

• Binet D., Marchal E. et Pezennzec O. Présent volume. *Sardinella aurita* de Côte-d'Ivoire et du Ghana. Fluctuations halieutiques et changements climatiques.

• Colin C. 1988. Coastal upwelling events in front of the Ivory Coast during the FOCAL program. Oceanologica Acta, 10: 125-138.

• Colin C., Gallardo Y., Chuchla R. et Cissoko S. (sous presse). Environnements climatique et océanographique. *In* : Le Loeuff, Marchal, Amon Kotias (éds.), Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. 1. Le milieu marin. ORSTOM.

• Morlière A 1970. Les saisons marines devant Abidjan. Doc. Sci. Cent. Rech. Oceanogr. Abidjan, 2: 1-15.

• Morlière A. et Rebert J.P. 1972. Etude hydrologique du plateau continental ivoirien. Doc. Sci. Cent. Rech. Oceanogr. Abidjan, 3: 1-30.

• Oudot C. et Morin C. 1987. The distribution of nutrients in the Equatorial Atlantic: relation to physical processes and phytoplankton biomass. Oceanologica Acta, n°SP, 6 121-130

• Pezennec O., Marchal E., Bard F.X., (sous presse). Les espèces pélagiques côtières de Côte-d'Ivoire: Ressources et exploitation. *In :* Le Loeuff, Marchal, Amon Kotias (éds),Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. 1. Le milieu marin. ORSTOM.

• Picaut J. 1983. Propagation of the seasonal upwelling in the eastern equatorial Atlantic. J. Phys. Oceanogr., 13: 18-37.

• Voituriez B. et Herbland A., 1984. Signification de la relation nitrate/température dans l'upwelling équatorial du golfe de Guinée. Oceanologica Acta, 7: 169-174.

28 • L'explosion démographique du baliste (*Balistes carolinensis*) en Afrique de l'Ouest et son évolution en relation avec les tendances climatiques

ALAIN CAVERIVIÈRE
Chercheur ORSTOM, CRODT/ISRA.BP 2241, Dakar, Sénégal

RÉSUMÉ

La biomasse du baliste, espèce semi-pélagique du plateau continental, a considérablement augmenté de 1972 à 1980 entre le Ghana et la Mauritanie, pour dépasser largement le million de tonnes. Une diminution très nette de l'abondance, sans rapport avec l'exploitation, a par la suite été mise en évidence en 1986 dans toute cette vaste zone, alors que les balistes apparaissent en quantités non négligeables plus au sud, devant le Gabon et le Congo. L'étude des variations de l'abondance en relation avec les conditions du milieu suggère que les apports d'eau douce, facteur principal de la dessalure, jouent, par des actions directes ou indirectes, un rôle important dans le déterminisme des variations à courte et longue périodes. En limite de distribution géographique, la température, qui varie avec l'intensité des upwellings, serait un facteur physique limitant pour cette espèce d'eaux chaudes. La stratégie de reproduction de l'espèce, garde et soins donnés aux oeufs, serait un facteur propice à de rapides proliférations quand les conditions du milieu sont favorables à la survie des stades ultérieurs, larves et (ou) juvéniles. L'influence probable des modifications climatiques sur l'abondance et la distribution de plusieurs espèces marines pélagiques et semi-pélagiques de l'Afrique de l'Ouest est discutée.

ABSTRACT

The trigger-fish is a semi-pelagic species of the continental shelf whose biomass has heavily increased during the years 1972 to 1980 in the waters between Ghana and Mauritania, and reached over one million tons. Afterwards, in 1986, a net decrease of the abundance, without any relations to the exploitation, has been noted in the hole of this area, while the trigger-fish has been found in significant quantities further South, in front of Gabon and Congo. The study of the abundance changes in connection with the environmental conditions suggests that the input of fresh water - principal factor of the desalinization - is important, directly or indirectly, for the determination of short and long term changes in abundance. At the edge of the geographical distribution, the temperature - related to the intensity of the upwellings - should be a physical limiting factor for this warm waters species. Reproductive strategy of the trigger-fish, with protection and care provided to the eggs, should be a propitious factor to fast proliferations, when the environmental conditions are favourable to the survival of the later stages, larvae and (or) juveniles. The probable impact of climatic changes on abundance and distribution of several West-African pelagic and semi-pelagic marine species is discussed.

INTRODUCTION

Avant les années soixante dix, *Balistes carolinensis* pouvait être considéré comme une espèce sinon rare, du moins très peu abondante dans l'Atlantique Est

(Caverivière *et al.*, 1981). Par la suite, le baliste s'est développé à un point tel, du Sénégal au Nigéria, qu'en bien des lieux il a pu représenter plus de la moitié de la biomasse en poissons. Une précédente étude (Caverivière, 1982) a montré que la prolifération du baliste à partir de 1972 devant le Ghana et la Côte-d'Ivoire, faisait suite et accompagnait une hausse de la salinité moyenne sur le plateau continental; hausse en rapport avec le déficit des précipitations sur l'Afrique (sécheresse sahélienne). L'hypothèse d'une action directe ou indirecte de changements dans les conditions du milieu était retenue. Depuis, le baliste a montré de nettes variations de son abondance en différentes régions et l'auteur, à l'issue d'une vaste synthèse bibliographique, se propose d'examiner dans quelle mesure ces variations peuvent être mises en relation avec des variations de l'environnement.

Avant de décrire le phénomène et son évolution, puis de tenter de le mettre en rapport avec les tendances climatiques, nous décrirons rapidement, pour une meilleure compréhension, les grands traits de l'écologie et de la biologie de l'espèce.

PRINCIPAUX ASPECTS DE L'ÉCOLOGIE ET DE LA BIOLOGIE DU BALISTE

Balistes carolinensis (Gmelin, 1789), syn. *B. capriscus*, est un des rares représentants de la famille des *Balistidae* sur la côte de l'Afrique de l'Ouest. Sa taille maximale est de 45 cm (longueur à la fourche). Il est parfaitement reconnaissable à sa morphologie et à sa coloration (fig. 1). Le corps, revêtu d'une peau rugueuse, est haut et comprimé latéralement; les fentes branchiales sont réduites, la bouche petite avec une dentition robuste. L'espèce occupe une aire de répartition très vaste: on la trouve des deux côtés de l'Atlantique tropical, dans la mer des Antilles et la Méditerranée. *B. carolinensis* est un poisson semi-pélagique que l'on peut trouver sur le fond aussi bien qu'en pleine eau où se situe le plus souvent l'essentiel de sa biomasse. Les études biologiques et écologiques sur le baliste n'ont été quelque peu développées que dans l'Atlantique Centre-Est en raison de son explosion démographique. Caverivière *et al.* (1981), Caverivière (1982), en présentent les résultats. La croissance des individus est rapide et la longévité relativement faible; la plus grande partie de la biomasse est composée de poissons de 2 ans et moins. La période de reproduction prend place en début de saison chaude et la taille à la première maturité est atteinte entre 14 et 20 cm de longueur à la fourche, soit entre 1 et 2 ans. L'alimentation est variée, les jeunes balistes pélagiques se nourrissent principalement de plancton, le régime alimentaire est à base de benthos pour les balistes capturés sur le fond.

Au niveau du fond, les individus rencontrés sont presque tous des adultes dont la répartition bathymétrique s'étend en général entre 25 et 70 m, avec un pic d'abondance nettement marqué en milieu de distribution. Ces individus, qui forment la composante démersale du stock, semblent éviter les substrats très vaseux et les zones rocheuses; la plupart s'éloignent du fond la nuit, ce qui entraîne une forte baisse de rendement des chaluts traînés à ce niveau.

Les balistes que l'on trouve en pleine eau font généralement partie de bancs assez diffus situés entre la surface et la profondeur de 50 m, plus particulièrement de 10 à 30 m. Les juvéniles sont très proches de la surface et les tailles augmentent avec la profondeur. L'abondance apparente est plus grande de nuit et les concentrations se rencontrent alors au niveau de la thermocline où l'espèce doit trouver une partie de sa nourriture. La limite d'extension vers la côte de la biomasse pélagique se situe vers 20-30 m, soit au même niveau que la biomasse démersale. Par contre, l'extension vers le large est plus grande, les concentrations de balistes pélagiques pouvant dépasser la limite du plateau continental. L'essentiel de cette biomasse se tient en général au dessus des fonds de 40 à 100 m, avec un maximum de 40 à 70 m.

Des variations saisonnières d'abondance du baliste ont été mises en évidence dans les zones à upwellings marqués:

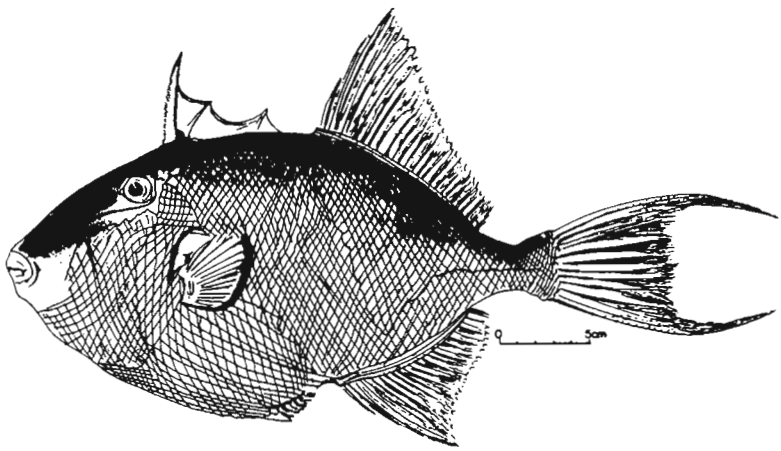
- au niveau du fond, les densités sont maximales en début de période chaude (novembre à janvier) dans le secteur Ghana - Côte-d'Ivoire et décroissent ensuite très rapidement pour atteindre des valeurs très faibles ou nulles en saison froide (juillet à septembre); au Sénégal l'abondance des balistes dans les chaluts de fond est aussi la plus forte en saison chaude (juin à novembre). Cette augmentation saisonnière de l'abondance sur le fond peut être mise en relation avec la période de reproduction qui nécessite le creusement d'un nid de ponte (Garnaud, 1960);
- les balistes pélagiques peuvent également se raréfier en saison froide, mais d'une manière moins marquée que sur le fond. Dans un premier temps et dans les deux cas (balistes pélagiques et balistes de fond), il y aurait un regroupement des poissons restant vers la côte, en deçà des fonds de 70 m. Une émigration parallèle à la côte s'effectuerait ensuite suivant l'importance des remontées d'eaux froides, vers des zones où ces remontées sont moins intenses; elle toucherait plus rapidement les individus de taille relativement élevée que les juvéniles, qui ont une distribution moins profonde.

L'ÉVOLUTION DES INDICES D'ABONDANCE ET PROLIFÉRATION

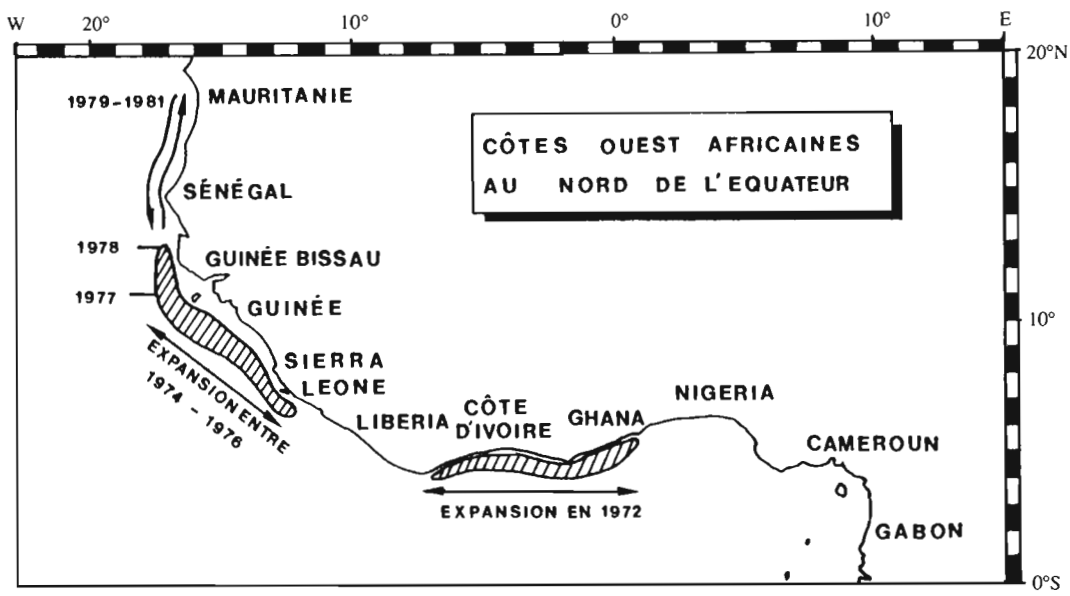
Du Bénin au Sénégal deux grands stocks peuvent être identifiés (fig. 1), que l'on appellera stock ghanéen et stock guinéen. En effet, les balistes ont toujours été absents ou rares lors des campagnes de prospection effectuées au large du Libéria depuis sa prolifération devant les côtes avoisinantes (Stromme, 1983; Mingle *et al.*, 1983; Oliver *et al.*, 1987), peut-être en raison de la nature des fonds (Caverivière, 1982). Du fait de l'inversion des saisons chaudes et froides entre les régions ghanéenne et guinéenne, les populations montrent des caractéristiques biologiques différentes à un moment donné (tailles modales, reproduction). Plus au

Fig. 1

Positions moyennes des deux principaux stocks de *balistes carolinensis* de l'Afrique de l'Ouest et périodes d'expansion.



Balistes carolinensis Gmelin (1789) (d'après Opic)



sud (Gabon, Congo) un petit stock a été récemment mis en évidence (FAO - COPACE, 1986).

Stock ghanéen

A partir de différentes sources de données, Caverivière *et al.* (1981) ont montré que l'accroissement de biomasse des balistes au Ghana aurait eu lieu fin 1971 - début 1972. L'aire de forte abondance se serait ensuite étendue très rapidement de part et d'autre, au Togo - Bénin et à la Côte-d'Ivoire.

Un des meilleurs indices pour suivre l'évolution de l'abondance est fourni par les rendements en baliste des chalutiers côtiers ghanéens (tab. 1 et fig. 2). Les rendements ont chuté à partir de 1980 par rapport à la période 1975-1977 qui présente des indices élevés, surtout si l'on considère que le fort indice de 1984 est peut être biaisé du fait du faible effort indiqué pour cette année. Les prises, qui avaient fortement diminuées, remontent notablement en 1986-1987, mais les rendements ne nous sont pas encore connus.

Pour les évaluations par échoprospection avec chalutages de contrôle, deux campagnes ayant couvert l'ensemble de la région peuvent être utilement comparées (tab. 2). Il s'agit de la campagne du Fritjof Nansen de juin 1981 (FAO-COPACE, 1984) et de celle du Cornide de Saavedra d'août 1986 (Oliver *et al.*, 1986). En effet, dans un but de comparaison, les résultats de la seconde campagne ont été calculés de la même manière que pour la première et avec la même boule de cuivre standard de calibration; les mois sont assez comparables et correspondent dans cette région à la présence minimale du baliste sur le fond, toute la biomasse devant de ce fait être intégrée sans perte due à la mauvaise détection des balistes présents sur ou près du fond. En 1981, la présence de 500 000 tonnes de baliste a été évaluée entre les isobathes 10 et 200 m (incluant toute l'aire de répartition) de la zone ivoiro-ghanéenne, soit 83 % de la biomasse pélagique totale. L'espèce ne représentait plus que 230 000 tonnes en 1986, soit 29 % du total. On notera que lors de cette dernière campagne le baliste n'a pas été décelé dans les eaux togolaises et béninoises, ainsi d'ailleurs que lors de la campagne ECHOSAR 2 du N/O Capricorne en novembre 1981 (Petit et Le Philippe, 1984), alors qu'il était abondant au Togo lors de la prospection du N/O Fiolent en mai 1976 (Robertson, 1977). A partir des données fournies par cet auteur, on peut fixer à la rivière Dodo au Nigéria la limite d'expansion Est de l'espèce à cette époque.

La comparaison des résultats des campagnes de prospection par chalutage au niveau du fond est difficile, même quand elles sont conduites par un même navire car, comme nous l'avons vu plus haut, l'abondance du baliste sur le fond, qui ne représente qu'une partie du stock, est très variable à l'échelle saisonnière et sans doute aussi intrasaisonnière (variations à courte période de l'intensité des upwellings, déplacement du pic de ponte à l'intérieur de la période de reproduction). L'analyse de l'ensemble des données disponibles permet cependant d'écrire (Caverivière, 1988) que devant

Tableau 1

Prises annuelles de balistes (tonnes), rendements (kg/sortie) et efforts des chalutiers côtiers ghanéens (données FRU, Tema). (1) Rendements des petits chalutiers 8-12m. (2) Rendements tous chalutiers côtiers.

Années	Prises chalutiers côtiers (t)	Rendements (kg/sortie) (1)	(2)	Efforts (sorties)
1972	2 996	201	199	15 092
1973	4 846	321	323	14 982
1974	7 549	487	519	14 552
1975	8 562	607	607	14 107
1976	8 106	754	750	10 803
1977	7 092	680	667	10 626
1978	5 727	466	469	12 208
1979	10 159	699	682	14 892
1980	5 668	410	406	13 958
1981	5 372		462	11 639
1982	4 558		497	9 165
1983	3 696		384	9 625
1984	3 923		651	6 023
1985	3 311		388	8 529
1986	7 745			
1987	5 439			

Tableau 2

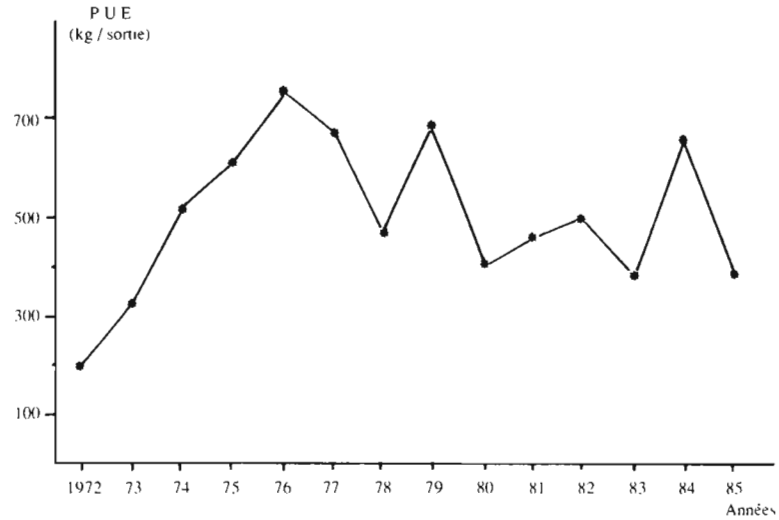
Estimations des biomasses de balistes (10^3 tonnes) par région et pays pour les principales campagnes d'échoprospection.

Campagnes	Liberia	Côte-d'Ivoire	Ghana	Togo Benin	Réf.
F. NANSEN Juin 1981	2	188	314		Stromme (1983)
ECHOBAL 2 Nov. 1981			295	0	Petit et Le Philippe (1984)
C. DE SAAVEDRA Août 1986		36	161	0	Oliver *et al.* (1986)
C. DE SAAVEDRA Juin 1987	0	125			Oliver *et al.* (1987)

Campagnes	Mauritanie	Sene-Gambie	Guinée Bissau	Guinée	Sierra Leone	Réf.
CAPRICORNE Décembre 1978	←			438	→	Marchal *et al* (1979)
CAPRICORNE Mars 1979	←			440	→	Marchal *et al* (1980)
C. DE SAAVEDRA Août 1980		60	←	700	→	Bravo de Laguna (1981)
F.NANSEN						
Mai 1981	0	70	380	510	80	Stromme (1983)
Septembre 1981	2	140	350			
Février-mars 1982	0	40	590	720	10	
F.NANSEN						
Août-sept 1986		0		220		Stromme et Saeterstal (1986)
Nov.-déc. 1986	0	0	45			

Fig. 2

Evolution des rendements en balistes des chalutiers côtiers ghanéens (rendements tous chalutiers côtiers du tableau 1).



le Togo-Bénin les biomasses et les proportions des balistes dans les prises totales sont nettement plus faibles au début des années 1980 que pendant la période antérieure de prolifération, et que l'espèce y disparaît pratiquement en 1985-1986 alors qu'elle est encore relativement abondante devant la Côte-d'Ivoire d'après les résultats des campagnes CHALCI (tab. 3). Au Ghana, seules les campagnes de prospection du N/O Kakadiamaa (Koranteng, 1981 et 1984), portant sur des périodes annuelles (1979-1980 et 1981-1982), peuvent être comparées: on passerait d'une biomasse démersale moyenne de 93 000 tonnes de balistes en 1979-1980, soit 59 % du total, à 79 000 tonnes en 1981-1982, qui ne représenteraient plus que 44 % du total.

Stock guinéen

L'apparition des premières concentrations de balistes est plus tardive pour le stock guinéen. D'après des données de pêche relevées par Zupanovic et Cissé (1977), elle prend place entre mars 1974 et septembre 1976 devant la Guinée, sans que la période puisse être mieux précisée. D'après Gerlotto *et al.* (1980), en avril-mai 1977 la limite nord de la prolifération du baliste n'avait pas dépassé l'archipel des Bissagos (Guinée Bissau). Les côtes du Sénégal sont atteintes en 1978 pour la région Sud-Dakar (Petite-Côte et Casamance), en 1979 pour la région Nord et la Mauritanie (Caverivière *et al.*, 1980). En saison chaude 1979, sur la Petite-Côte du Sénégal (entre Dakar et la Gambie), les captures de balistes lors des campagnes de chalutage de fond du N/O Laurent Amaro ont représenté, suivant les mois, entre 18 et 46 % des captures totales.

En 1978-1979 la biomasse de baliste estimée par échointégration avec chalutage de contrôle par le N/O Capricorne est de l'ordre de 450 000 tonnes entre la Sierra Leone et la Guinée-Bissau (tab. 3). Elle passerait à 700 000 tonnes en 1980 (N/O Cornide de Saavedra), puis à 1 000 000 et 1 300 000 tonnes en 1981-1982 (N/O F. Nansen); l'estimation n'est plus que de 220 000 tonnes par le même navire en 1986.

En Sénégambie, les campagnes ECHOSAR de prospection acoustique et de chalutage (N/O Capricorne et N/O L. Amaro), entreprises à partir de 1980, montrent que les balistes étaient abondants de 1980 à 1982, surtout au large de la Gambie et de la Casamance; en 1983-1984, l'on en trouve apparemment moins et seulement en Casamance. Le N/O F.Nansen n'en détecte pas en août-septembre 1986 et en novembre-décembre de la même année. Le baliste est également absent lors des quatre campagnes de chalutage de fond du N/O L. Sauger de 1986-1987-1988, mis à part une faible biomasse résiduelle située devant Dakar et qui semble-t-il a toujours existé.

Présent en Mauritanie de 1979 à 1981, le baliste n'a plus été détecté de 1982 à 1989 lors des nombreuses campagnes expérimentales qui y ont été réalisées.

Stock Sud (Gabon, Congo)

L'abondance des balistes a quelque peu augmenté au début des années 1980 devant le Gabon et le Congo

Tableau 3

Indices d'abondance du baliste en kg par demi-heure et pourcentage ( ) par rapport à la prise totale, obtenus lors des campagnes de chalutage de fond effectuées par le N/O André Nizery en Côte-d'Ivoire (ensemble du plateau continental) entre 1978 et 1986.

CAMPAGNES	Janv.	Fev.	Mars	Juil. Août Sept.
CHALCI 78.01		56,7		
(30.1 au 12.2)		(28,4)		
CHALCI 79.01			14,5	
(13.3 au 31.3)			(8,2)	
CHALCI 80.01				6,5
(20.8 au 10.9)				(4,7)
CHALCI 83.01	319,5			
(11 au 19.1)	(67,9)			
CHALCI 83.02			31,0	
(10 au 18.3)			(20,4)	
CHALCI 84.01	67,0			
(17 au 25.1)	(25,2)			
CHALCI 84.02				1,2
(03 au 11.7)				(0,6)
CHALCI 85.01		70,2		
(20 au 27.2)		(28,6)		
CHALCI 85.02				6,4
(01 au 10.7)				(3,2)
CHALCI 86.01		42,7		
(05.02 au 23.03)		(26,0)		
CHALCI 8603				7,4
(18 au 26.7)				(4,4)

(comm. non chiffrée du centre ORSTOM de Pointe-Noire), alors qu'ils y étaient antérieurement absents ou rares. Des biomasses de 1 700 et 1 000 tonnes ont été estimées en avril et août 1982 au large de la Guinée Equatoriale et du Gabon, lors de deux campagnes de prospection acoustique et de chalutage (ORSTOM-SGTE, 1982). En mars 1985, une biomasse de 50 000 tonnes a été détectée par le N/O F. Nansen entre la Guinée Equatoriale et Port Gentil au Gabon (FAO-COPACE, 1986); aucune trace n'en a été retrouvée en septembre, alors qu'un stock de l'ordre de 15 000 à 20 000 tonnes a été rencontré dans les eaux congolaises.

Conclusion

A partir de l'ensemble des données concernant les stocks ghanéens et guinéens (tab. 4), on peut raisonnablement admettre qu'il y a eu, depuis leur prolifération, une diminution de la biomasse de baliste dans la région golfe de Guinée Ouest ces dernières années, particulièrement mise en évidence en 1986. Cette diminution aurait commencé par un rétrécissement de la zone de répartition avec la quasi-disparition des balistes au large du Bénin - Togo et de la Mauritanie - Sénégal.

RECHERCHES DES CAUSES À LA PROLIFÉRATION ET À SON ÉVOLUTION

Caverivière *et al.* (1981), Caverivière (1982), se sont

Tableau 4

Représentation chronologique schématique des variations d'abondance du baliste à l'échelle annuelle ou pluri-annuelle en Afrique de l'Ouest.

Pays \ Année	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Benin						Présent 6				Abs. 7				Abs. 8	Abs. 2,8	
Togo	↗ 1				(↘) 5					Abs. 7		(Pres) 9			Abs. 2	
Ghana	↗ 1				↗ 10	Maximum				(↘) 1					↘ 2	
Côte d'Ivoire	↗ 1				?	← Maximum →									↘ 2	(↗) 3
Sierra Leone				↗ 1			↗ 1			Maximum 13					↘ 16	
Guinée				↗ 1			↗ 1		↗ 1	Maximum 13					↘ 16	
Guinée Bissau				↗ 1			↗ 1		↗ 1	Maximum 13					↘ 16	
Sénégal						Abs. 12	↗ 1	↗ 1		Maximum 13,17		↘ 18	↘ 18		Abs. 19	
Mauritanie								← Présent → 11	17	13	← Abs. → 20				Abs. 16	

↗ ↘ : augmentation ou diminution de la biomasse
Pres. = Présence Abs. = Absence
( ): le sens d'évolution de la biomasse n'est pas certain.

1. Caverivière *et al.*, 1981
2. Oliver *et al.*, 1976
3. Oliver *et al.*, 1987
4. Koranteng, 1981 et 1984
5. Chalutiers commerciaux (*in* 6)
6. Caverivière, 1988
7. Petit et Le Philippe, 1984
8. Vendeville, 1986
9. Lhomme, 1985
10. Rendements chalutiers côtiers (*in* 1)
11. Caverivière *et al.*, 1980
12. Stequert *et al.*, 1977
13. Stromme, 1983
14. Marchal *et al.*, 1979
15. Bravo de Laguna, 1981
16. Stromme et Saeterstal, 1986
17. Marchal *et al.*, 1982; Marchal et Josse, 1982; Lévenéz et Lopez, 1982
18. Lévenéz et Lopez, 1983; Lévenéz *et al.*, 1985; Samb et Lévenéz, 1987
19. Rapports CRODT, 1988 (N/O L. Sauger)
20. Rapports CNROP (N/O Ndiago)

interrogés sur les causes possibles de l'apparition massive du baliste dans la région ivoiro-ghanéenne.

Un premier type de cause a été recherché dans les modifications d'abondance d'espèces écologiquement concurrentielles. Il s'agit essentiellement des sardinelles (*Sardinella aurita, S. maderensis)* et du pelon (*Brachydeuterus auritus*), qui sont des espèces pélagiques et semi-pélagique quantitativement beaucoup plus importantes que les espèces démersales en Afrique de l'Ouest. De fortes ou bonnes abondances de sardinelles ayant été observées en même temps que les premières concentrations de balistes, leurs faibles abondances les années suivantes peuvent avoir favorisé l'explosion démographique des balistes mais ne sauraient en être la cause. Pour le pelon, espèce présentant écologiquement le plus de similitude avec le baliste, la compétition directe ou indirecte (nourriture, espace vital,...) est peut-être plus étroite et la vraisemblable surexploitation de cette espèce pourrait être une des causes du premier accroissement de biomasse du baliste, mais cela paraît assez peu probable, d'autant plus que le pelon n'est guère exploité dans les autres régions où le baliste s'est multiplié. Il semble, sans qu'une certitude absolue ne puisse être établie - les campagnes d'échointégration des ressources pélagiques de l'Atlantique Centre Est n'ayant débuté qu'après l'apparition massive du baliste - que la biomasse pélagique du baliste est venue se rajouter à la biomasse des espèces pélagiques déjà existantes. Par contre, pour les espèces démersales, il y aurait eu une diminution de la biomasse après l'apparition du baliste, d'après Caverivière (1979 et 1982) pour la Côte-d'Ivoire (communauté côtière des Sciaenidés, 10-50 m) et Bondar et Zouev (1985) pour la Guinée. En Côte-d'Ivoire, cette diminution correspondrait approximativement à la biomasse de la composante démersale de la population de baliste.

Un deuxième type de cause examiné a été celui d'actions directes ou indirectes de changements dans les conditions du milieu. Il a été noté qu'il y a eu une hausse de la salinité moyenne de 1971 à 1977 à la station côtière d'Abidjan (la salinité moyenne annuelle à 20 m a toujours été inférieure à 35,3 ‰. de 1966 à 1970 et toujours supérieure de 1971 à 1977, avec un minimum de 35,18 ‰. en 1968 et un maximum de 35,48 ‰. en 1972) et que cette évolution serait en rapport avec un déficit global des précipitations sur l'Afrique dont les effets ont été particulièrement ressentis au Sahel. Cette modification du milieu peut avoir favorisé directement ou indirectement le développement du baliste: actions négatives sur d'autres espèces plus ou moins concurrentielles, décharges plus faibles des fleuves agissant sur la transparence de l'eau et la richesse phytoplanctonique (Binet, 1977), etc... Il a également été noté que l'apparition massive du baliste a plus ou moins coïncidé avec une diminution importante des biomasses de zooplancton, plus liée aux déficits du régime pluviométrique et des débits fluviaux qu'aux différences d'intensité des upwellings (Binet, 1983), ainsi qu'à des changements dans sa composition: diminution de l'abondance relative du copépode *Calanoides carinatus* (anon., 1976). Rappelons que la plupart des représentants de la famille des *Balistidae* fréquentent habituellement des régions favorables à la vie corallienne, dont les eaux chaudes sont relativement claires et salées.

Une étude récente (Mahé, 1987 et présent volume) fournit un meilleur indice de mesure de la modification du milieu physique que la salinité relevée en un point (station côtière d'Abidjan) et qui n'est d'ailleurs plus disponible (dans un but de comparaison) depuis 1978 (Caverivière, 1988). Elle porte sur la variabilité des apports hydriques continentaux (hydraulicité) dans le golfe de Guinée, facteur principal de la dessalure, à partir des débits de 13 fleuves se déversant entre la Côte-d'Ivoire et le Congo. Les variations des débits intègrent l'ensemble de la pluviométrie sur les vastes zones que sont les bassins versants. Ces variations, concomitantes à celles des précipitations, ont des répercussions sur la qualité des eaux océaniques de surface (salinité, apports terrigènes) dont l'importance pour les populations phytoplanctoniques de la région a été bien montrée par Dandonneau (1973). Elles influent par ces effets sur le fonctionnement de l'écosystème marin (Binet, 1983).

La figure 3 présente les variations de l'ensemble des débits des fleuves par rapport à la moyenne 1944-1986. La figure 4 présente les mêmes schémas pour les zones: Afrique Occidentale (de la Côte-d'Ivoire au Bénin avec les fleuves Sassandra, Comoé, Mono, Ouémé), Equateur (Ogooué, Nyanga, Kouilou) et Congo. On notera que les variations régionales et d'ensemble sont proches, et même très proches pour la zone Côte-d'Ivoire - Bénin.

L'apparition massive du baliste en 1972 suit une réduction brutale de l'hydraulicité moyenne en 1970 et surtout en 1971. La diminution de son abondance dans la région ivoiro-ghanéenne, qui apparaît en 1986, correspond aux débits supérieurs à la moyenne de 1985 et 1986, le temps de latence biologique paraît cependant assez court si l'on pense à un effet au niveau du recrutement. L'abondance remonte en Côte-d'Ivoire en 1987 (tab. 2), mais elle est quand même nettement inférieure à celle qui avait été estimée pour ce pays à la même période de 1981; on notera de plus que cette dernière campagne n'a couvert qu'une partie de la zone de répartition du stock (qui a pu s'y trouver concentré). Les débits supérieurs et proches de la moyenne de 1979-1980 peuvent, dans une certaine mesure, être mis en relation avec la baisse relative de l'abondance apparente du baliste notée en 1980-1981 dans les rendements des petits chalutiers côtiers ghanéens et en 1981 (par rapport à 1979-1980) dans les rendements en baliste du N/O Kakadiamaa au Ghana. Binet (1982) indique que les biovolumes de zooplancton remontent de 1978 à 1980.

L'influence négative de la dessalure, et/ou des facteurs qui lui sont liés, peuvent être perçus à une échelle saisonnière pour le stock guinéen. La première obser-

Fig. 3

Variations de l'hydraulicité moyenne de 13 fleuves étudiés de 1944 à 1986 entre la Côte-d'Ivoire et le Congo (Mahé, 1987).

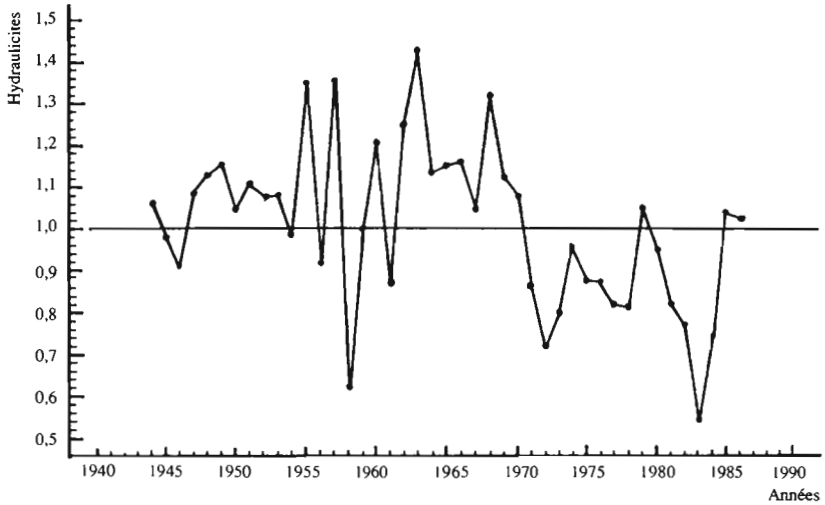
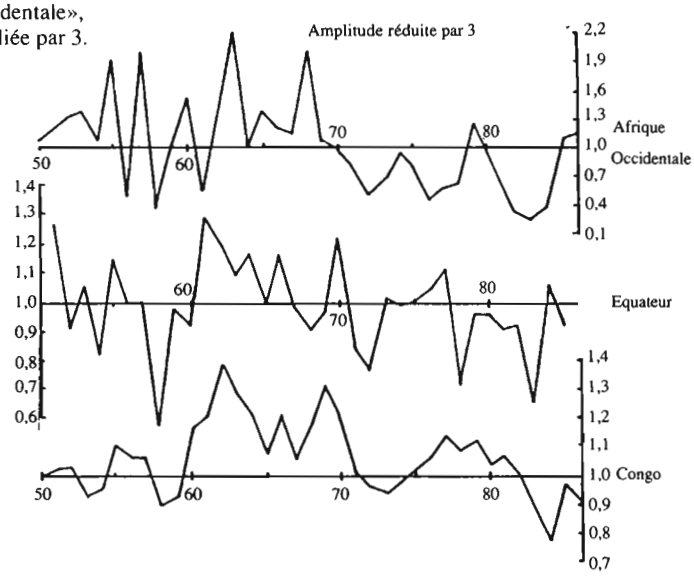


Fig. 4

Variations de l'hydraulicité moyenne de 3 zones (Mahé, 1987). L'hydraulicité du Congo est définie à partir de son débit moyen calculé sur la période 1903-1986. Compte tenu de la très forte variabilité des débits des fleuves de la zone «Afrique Occidentale», l'échelle du premier graphique a été multipliée par 3.



vation concerne la campagne du N/O Capricorne de novembre-décembre 1978 (Marchal *et al.*, 1979): une importante dessalure a été mise en évidence au sud de la Sierra Leone et le tracé en surface de l'isohaline 28 ‰. concorde assez bien avec la limite des faibles densités de balistes observées à l'intérieur d'une zone où les autres conditions du milieu, telles la température et la profondeur, paraissaient favorables à l'espèce. Cette forte dessalure a été retrouvée dans la même zone lors de la campagne du N/O Cornide de Saavedra d'août 1980 (Bravo de Laguna, 1981) et les balistes y étaient absents. Une autre observation est issue de la comparaison des biomasses de balistes estimées par les navires soviétiques en saison des pluies (mai-octobre) et en saison sèche (novembre-avril) devant la Sierra Leone (tab. 5); elle permet à Chaytor *et al.* (1983) d'écrire que les fortes concentrations rencontrées en saison des pluies sont dues à une migration en provenance des eaux guinéennes et que les considérables diminutions d'abondance observées en saison sèche sont dues à une migration de retour. Comme en saison des pluies, les eaux côtières de la Guinée sont généralement plus dessalées que celles situées devant la partie Nord de la Sierra Leone (Bravo de Laguna, 1981 et fig. 5); on peut voir dans ce phénomène un évitement par les balistes des eaux fortement dessalées qui les concentrent dans cette dernière zone. Cependant, d'après les résultats de Marchal *et al.* (1979) et Bravo de Laguna (1981), la migration doit aussi s'effectuer à partir du Sud. L'évitement des eaux dessalées a été observé à nouveau en juin 1984, toujours devant la Sierra Leone, par le N/O Evrika: le rapport de campagne (AtlantNIRO, 1985) indique que les balistes se trouvent en grandes quantités (17 tonnes par 1/2 heure) à la limite extérieure du front des eaux dessalées, où la fuite de ces eaux en expansion (début de saison des pluies) a pu les concentrer.

Nous avons vu que devant le Sénégal et la Mauritanie le baliste est abondant ou pour le moins présent de 1978 à 1982; il disparaît quasiment à partir de 1985-1986. L'apparition, puis la disparition, du baliste au nord de la Casamance peut être reliée avec les phases de relaxation puis d'intensification de l'alizé sur la côte nord-ouest africaine: une période de minimum (1978-1984) fait suite à un maximum (1971 à 1977), on observe une nouvelle intensification en 1985-1986 (Roy, 1989). Le maximum d'abondance observé sur le fond en 1979 correspond aux minima du transport d'Ekman observés la même année dans les régions cap Blanc, Nord Sénégal et Sud Sénégal (fig. 6). Binet (1988) met en relation de manière probante la période d'extension méridionale du stock de sardine (*Sardina pilchardus*) centré sur le Maroc, avec les phases d'intensification de l'alizé. *S. pichardus* tendrait alors à se substituer à la sardinelle *Sardinella aurita*, plus méridionale, dans la zone de transition entre les deux espèces. Ici, l'action de la température semble prépondérante dans l'extension d'espèces à affinités chaudes (baliste, sardinelle) ou tempérées (sardine). Au sud du Sénégal, les variations saisonnières d'abondance du baliste en Casamance peuvent, comme en Sierra Leone, être aussi en relation avec une fuite des eaux dessalées guinéennes.

Tableau 5

Biomasses de balistes (10^3 tonnes) estimées par les navires soviétiques au dessus du plateau continental de la Sierra Leone en saison des pluies et en saison sèche, de 1977 à 1982 (d'après Chaytor *et al.*, 1983). Les données proviennent des campagnes de prospection et de chalutage des navires dont le nom se trouve entre parenthèses.

ANNEE	1977	1978	1979	1980	1981	1982
SAISON						
Saison des pluies (mai-octobre)	5.3 (Prognoz)		245.6 (Langust)	273.3 (Vykhma)	126.5 (Belogorsk)	
Saison sèche (novembre-avril)		1.8 (Vykhma)		20.0 (Prognoz)	12.4 (Belogorsk)	3.0 (Belogorsk)

Pour le stock de baliste du Gabon-Congo, nous remarquerons que sa détection en 1985 correspond à des déficits du fleuve Congo, dont le plus important depuis 1950 a été observé en 1984 (fig. 5). Le Congo présente en moyenne 60 % des apports hydriques fluviaux dans le golfe de Guinée; ces apports sont cependant souvent entraînés en grande partie vers le large (Mahé, 1987) et ne participent que dans une bien moindre mesure aux dessalures côtières observées au nord de l'Equateur.

DISCUSSION

Il ressort de l'étude que les variations des apports d'eau douce seraient à l'origine, au moins en partie, par des actions directes ou indirectes, de l'apparition massive et des variations d'abondance du baliste au large des côtes ouest-africaines, du Congo à la Casamance. En effet, sur une échelle régionale et pluriannuelle, plusieurs périodes d'augmentation ou de diminution de biomasse ont pu être mises en relation avec l'hydraulicité moyenne des fleuves, avec le plus souvent un temps de latence permettant une croissance des jeunes individus issus de l'explosion démographique suffisante à générer une augmentation sensible de la biomasse ou, au contraire, permettant de détecter l'effet de leur raréfaction. Les larves et les très jeunes balistes, qui vivent près de la surface, pourraient être sensibles à la dessalure qui induirait un accroissement de leur mortalité. En outre, il apparaît que les sub-adultes et adultes évitent les eaux saisonnièrement dessalées par des migrations pouvant amener leur concentration près des fronts halins. On peut donc considérer que l'importance de la dessalure dans le fond du golfe de Guinée (fig. 5) est l'obstacle, ou l'un des obstacles, à la présence en quantités significatives du baliste en des lieux où d'autres conditions

Fig. 5

Isohalines de surface dans l'Atlantique intertropical Est (d'après Merle, 1978).

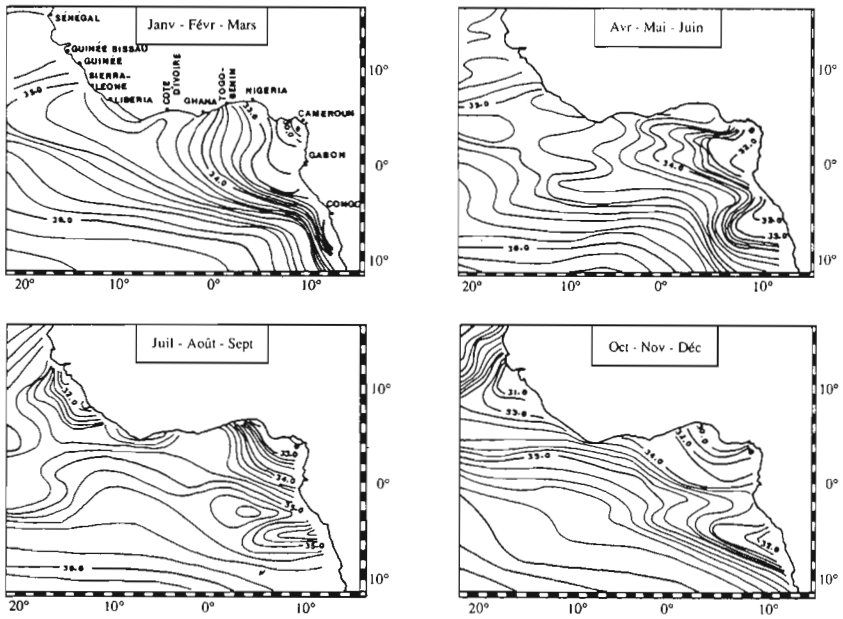
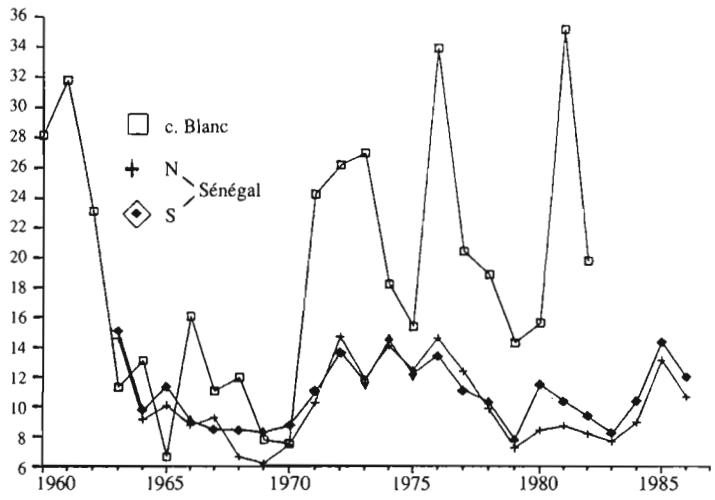


Fig. 6

Variations interannuelles du transport d'Ekman perpendiculaire à la côte, en $m^3.s^{-1}$/10m de côte, calculé d'après la vitesse du vent pendant la saison d'upwelling, à Nouadhibou et à Dakar : cap Blanc (21°N), moyennes d'avril à juillet; Sénégal, moyennes de novembre à mai, calculées de part et d'autre du cap Vert (15°N).
(*in* Binet, 1988).



du milieu (profondeur, nature du substrat) paraissent favorables à son développement. On notera également que la chronologie d'apparition des différents stocks a eu lieu dans le même ordre que l'importance des dessalures régionales.

Dans la zone sénégalo-mauritanienne, là où les conditions de température paraissent limitantes pour une espèce d'eaux chaudes, la relaxation de la force des upwellings paraît avoir joué un rôle dans l'apparition des balistes et leur diminution ultérieure serait en relation avec l'intensification des vents. Force des upwellings et pluviométrie seraient inversement liées. Ainsi, d'après Belvèze (1984, présent volume), les débarquements de sardine au Maroc, entre Tanger et Agadir, sont en relation inverse avec l'importance de la pluviométrie et directe avec la force des upwellings. Binet (1982) pense qu'une telle corrélation existe dans la région Côte-d'Ivoire-Ghana. Il trouve une corrélation multiple élevée reliant les prises de *Sardinella aurita* aux débits et aux indices d'upwelling, alors que les corrélations partielles prise-débit et prise-upwelling, respectivement négative et positive, ne sont pas significatives.

Les modifications du climat à l'échelle pluri-annuelle auraient donc joué un rôle important dans la prolifération et les variations d'abondance du baliste. Cela serait sans doute également le cas pour d'autres espèces des côtes de l'Afrique de l'Ouest et nous avons déjà parlé du rôle possible d'une intensification des alizés sur le changement de répartition des sardines et sardinelles. On peut aussi citer:

- les bécasses de mer *Macrorhamphosus scolopax* et *M. gracilis* primitivement placées dans le genre Balistes, qui apparaissent dans les prises accessoires des sardiniers et des chalutiers marocains au début des années 1970, sont très abondantes en 1974-1976 et disparaissent progressivement par la suite (Brêthes, 1979; Belvèze, 1984);
- le merlan bleu (*Micromesistius poutassou*), particulièrement abondant au Maroc vers 1960 puis complètement disparu par la suite (Brêthes, 1979);
- la poule de mer (*Dactylopterus volitans*), dont une augmentation de biomasse aurait accompagné, dans une moindre mesure, celle du baliste au Ghana (Gulland et Garcia, 1984; d'après Pupyschev, 1982). Il semble, d'après nos propres observations, que cette concordance dans l'augmentation des abondances des deux espèces aurait également eu lieu dans d'autres régions.

On notera que les trois dernières espèces citées sont semi-pélagiques comme le baliste, la poule de mer faisant de plus partie de la même communauté. Bécasses de mer et merlan bleu sont des espèces de la pente continentale à affinités septentrionales dont une augmentation massive de l'abondance au large du Maroc non saharien est apparue après deux périodes d'intensification des alizés se situant elles-mêmes dans une phase plus longue, commencée au début des années 1950, de décroissance de la vitesse des vents dans ce secteur (cette vitesse augmente par contre au large du Sahara). Belvèze (1984), s'appuyant sur les travaux de Lamb (1982), relie cette longue phase, ainsi que la sécheresse au sahel, à un refroidissement général de l'hémisphère Nord qui serait le résultat d'un décalage général des zones climatiques vers le sud.

Crawford et Shannon (1988) montrent pour plusieurs espèces présentes au large de la Namibie et de l'Afrique du Sud des déplacements en latitude de certaines populations: Nord-Sud de la fin des années 1950 au début des années 1970 (*Sardinops ocellata*, *Trachurus trecae*), Sud-Nord du milieu des années 1970 à la première moitié des années 1980 (*S. ocellata*, *T. trecae*, *T. capensis*, *Engraulis japonicus*, *Scomber japonicus*, *Sardinella spp.*, *Dentex macrophthalmus*). Ils relient au niveau régional ces déplacements aux mouvements des masses d'eaux et à la force des upwellings. A une plus grande échelle, ces auteurs notent une concordance dans les déplacements d'espèces au Nord et au Sud de l'Afrique de l'Ouest, qu'ils connectent eux-aussi à de larges phénomènes climatiques.

Pour un autre océan, Larraneta (1988) montre que les variations du recrutement de la morue (*Gadus morhua*) dans une division statistique de l'Atlantique Nord sont très nettement reliées aux variations de la salinité, agissant comme signal hydrologique. Les changements hydrographiques modifient la relation stock-recrutement, mais plus comme le résultat de changements dans la production primaire qu'à travers quelque effet direct de la salinité ou la température sur les pré-recrues. Southward (1980) montre, pour des espèces étudiées dans la Manche, qu'un changement de la température moyenne de quelques dixièmes de degré suffit à inverser la dominance d'une espèce par une autre. Des modifications climatiques de faibles amplitudes peuvent donc avoir des effets considérables sur la répartition et l'abondance des populations.

On indiquera pour terminer la discussion et pour en revenir au baliste que sa stratégie de reproduction est probablement un élément majeur favorable à des explosions démographiques rapides. Le baliste a une fécondité moyenne (ISRA-ORSTOM, 1979) de 100 000 à 700 000 ovocytes au stade préponte (Caverivière *et al.*, 1981), dont plusieurs dizaines de milliers sont pondus en une seule émission (Garnaud, 1960). Ce dernier auteur a observé que les oeufs étaient gardés, nettoyés et ventilés par la femelle jusqu'à l'éclosion de larves pélagiques. Il en résulte que chaque femelle peut donner naissance à un nombre impressionnant de larves viables permettant une prolifération rapide de l'espèce quand les conditions du milieu (environnement physique, nourriture, prédation) sont favorables à leur survie. Une telle stratégie démographique, garde et soins donnés aux oeufs, se rencontre également chez le poulpe *Octopus vulgaris*, or celui-ci a également été le sujet d'explosions démographiques au large des côtes sahariennes il y a une vingtaine d'années et plus récemment devant la Gambie en 1986. Plusieurs auteurs (Garcia-Cabrera, 1968; Pereiro et Bravo de Laguna, 1980; Caddy, 1981; Gulland et Garcia, 1984; Caverivière, 1989) attribuent ces proliférations du poulpe à une diminution impor-

tante par la pêche de la biomasse des prédateurs de larves et juvéniles. Le dernier auteur pense qu'un facteur lié aux conditions hydrologiques, la salinité étant exclue, agirait également.
Pour le baliste, la salinité pourrait être un facteur limitant, ou/et l'indicatrice d'autres facteurs limitants et quelques auteurs ont déjà noté que la présence des larves de certaines espèces pélagiques de l'Atlantique tropical Centre-Est est liée à un intervalle étroit de la salinité, alors que la température et la présence d'adultes matures ne seraient pas en cause. On citera la sardinelle *S. aurita* (Conand, 1977), le thon albacore *Thunnus albacares* et, dans une moindre mesure, le thon obèse *Thunnus obesus* et le listao *Katsuwonus pelamis* (Caverivière *et al.*, 1976; Caverivière et Suisse de Sainte Claire, 1980).

CONCLUSION

Lors de la prolifération du baliste devant le Ghana et la Côte-d'Ivoire à partir de 1972, une relation entre l'augmentation de l'abondance et une hausse de la salinité des eaux superficielles a été établie (Caverivière, 1982). Depuis, plusieurs variations de l'abondance sur une échelle pluriannuelle ont été décelées en différentes régions d'une vaste zone s'étendant du Congo à la Mauritanie.
Dans le golfe de Guinée, ces variations d'abondance ont pu être mises en relation avec les débits des fleuves, qui sont le facteur principal de la dessalure des eaux côtières. La fuite des balistes d'eaux localement et temporairement fortement dessalées, où les autres conditions du milieu physique paraissent favorables à l'espèce, conforte l'hypothèse que les variations des apports d'eaux douces sur une plus longue période sont à l'origine, par des effets directs ou indirects, des variations de l'abondance à plus grande échelle. L'hypothèse d'origine d'une corrélation entre salinité et abondance se montre donc vérifiée par les événements ultérieurs, ce qui est suffisamment rare avec les phénomènes climatiques pour être souligné.
Dans la zone sénégalaise, à eaux plus froides, l'apparition du baliste, suivie de sa disparition, correspond à des périodes de relaxation puis d'intensification de l'alizé, déterminant la force des upwellings sur la côte nord-ouest africaine. On se trouve ici à la limite nord de répartition d'une espèce d'eaux chaudes et la température devient alors le facteur limitant. Le rôle de la température peut également être perçu dans la raréfaction saisonnière de saison froide des balistes, en particulier sur le fond, dans les zones à upwellings marqués du golfe de Guinée (Côte-d'Ivoire, Ghana).
Des modifications du climat auraient donc joué un rôle important dans la prolifération et les variations d'abondance du baliste. Ces modifications sont ressenties sur de très larges étendues géographiques et nous avons donné quelques exemples de leurs effets sur d'autres populations marines.
Comme pour beaucoup d'espèces, c'est la phase larvaire qui paraît la plus critique dans la vie du baliste. Les larves et les juvéniles vivent à la surface, alors que les oeufs sont gardés et soignés par les femelles sur le fond. Une telle stratégie démographique serait propice à des proliférations rapides quand les conditions du milieu sont favorables à la survie des larves et juvéniles. Pour une meilleure compréhension des phénomènes, il sera nécessaire de pousser plus avant les études sur l'écophysiologie de l'espèce, particulièrement au niveau des premiers stades de sa vie.

BIBLIOGRAPHIE

• Anonyme. 1976. Rapport du groupe de travail sur la sardinelle (*S. aurita*) des côtes ivoiro-ghanéennes. FRU/CRO/ORSTOM, Abidjan 28 juin - 3 juillet 1976, 86 p.

• AtlantNIRO.. 1985. Report on the results of fishery investigations conducted by the R/V EVRIKA in the waters of the Republic of Sierra Leone. 8-28 June 1984. FAO, CECAF/TECH/85/65, 24-64

• Belvèze H. 1984. Biologie et dynamique des populations de sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum) peuplant les côtes atlantiques marocaines et propositions pour un aménagement des pêcheries. Thèse Doct. Etat Sciences Nat., Univ. Bretagne Occ., 532 p.

• Binet, D. 1977. Contribution à la connaissance du zooplancton néritique ivoirien. Ecologie descriptive et dynamique. Thèse Dr. Etat Sciences Nat., Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, ORSTOM - Paris, 282 p.

• Binet, D. 1982. Influence des variations climatiques sur la pêcherie des *Sardinella aurita* ivoiro-ghanéennes: relation sécheresse-surpêche. Oceanologica Acta, 5, 4: 443-450.

• Binet, D. 1983. Zooplancton des régions côtières à upwellings saisonniers du golfe de Guinée. Océanogr. trop., 18, 2, 357-380.

• Binet D. 1988. Rôle possible d'une intensification des alizés sur le changement de répartition des sardines et sardinelles le long de la côte ouest africaine. Aquat. Living Resour., 1: 115-132.

• Bondar A. G. Zouev, 1985. Les ressources en poisson de la zone économique exclusive guinéenne et les perspectives de leur exploitation. Nathan International, Paris, 77 p.

• Bravo de Laguna G. 1981. Campana de prospeccion acustica de peces pelagicos en aguas de Sierra Leone, Guinea, Guinea Bissau y sur de Senegal (Pelagos 7909). FAO, CECAF/TECH/81/30, 88-166.

• Brethes J. 1979. Contribution à l'étude des populations de *Macrorhamphosus scolopax* (L. 1758) et *Macrorhamphosus gracilis* (Lowe, 1839), des côtes atlantiques marocaines. Bull. Inst. Pêches Mar. Maroc, 24: 1-62.

• Caddy J. 1981. Quelques caractéristiques de l'aménagement des stocks de céphalopodes au large de l'Afrique de l'Ouest. FAO, COPACE/TECH/81/87, 33 p.

• Caverivière, A. 1979. Estimation des potentiels de pêche des stocks démersaux ivoiriens par les modèles globaux. Effets de la prolifération du baliste (*Balistes capriscus*). Centre Rech. Océanogr. Abidjan, Doc. Scient. 10, 2: 95-164.

• Caverivière A. 1982. Le baliste des côtes africaines, (*Balistes carolinensis*). Biologie, prolifération et possibilités d'exploitation. Oceanologica Acta, 5, 4: 453-459.

• Caverivière A. 1988. Evolution des indices d'abondance du baliste (*Balistes carolinensis*) et de leur taille moyenne dans la zone Côte d'Ivoire Ghana - Togo - Bénin. FAO, COPACE/PACE SERIES 88/ (sous presse).

• Caverivière A. 1990. Etude de la pêche du poulpe (*Octopus vulgaris*) dans les eaux côtières de la Gambie et du Sénégal. L'explosion

démographique de l'été 1986. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, Doc. Scient. 116, 42p.

• Caverivière A. F. Conand, E. Suisse de Sainte Claire, 1976. Distribution et abondance des larves de thonidés dans l'Atlantique tropico-oriental. Etudes des données de 1963 à 1974. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, Doc. Scient. 7, 2: 49-70.

• Caverivière A., F. Gerlotto, B. Stéquert,.1980. *Balistes carolinensis*, nouveau stock africain. La Pêche Maritime, 1229 (août 1980), 466-471.

• Caverivière A. E., Suisse de Sainte Claire. 1980. Recherches des larves de thonidés dans l'Atlantique tropico-oriental. Campagnes effectuées en 1976-1977 par le N/O Capricorne. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, Doc. Scient. 11, 1: 37-72.

• Caverivière A. M., Kulbicki, F. Gerlotto, J. Konan. 1981. Bilan des connaissances actuelles sur *Baliste carolinensis* dans le golfe de Guinée. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, Doc. Scient. 12, 1: 1-78.

• Chaytor D.E.B., L. Domanevsky, A. Ivanov, A. Kozhemyakin, V. Mokrousov, S. Overko, Y. Sazonov. 1983. A preliminary estimate of the biomass of coastal pelagic fishes in the waters of the Republic of Sierra Leone. 25 February-2 March 1982. FAO, CECAF/TECH/83/48, 40-59.

• Crawford R.J.M. L.V. Shannon, 1988. Long term changes in the distribution of fish catches in the Benguela. *In*: : Wyatt and Larraneta ed, Long term changes in marine fish population, Institute de Investigaciones Marinas de Vigo (Spain), p.449-480.

• 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.

• Dandonneau Y. 1973. Etude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte d'Ivoire III- Facteurs dynamiques et variations spatio-temporelles. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr. 11, 4, 431-454.

• FAO-COPACE, 1984. Report on the R/V Dr. Fridjof Nansen fish resource surveys off West Africa: Morocco to Ghana and Cap Verde. FAO, CECAF/ECAF SERIES 84/29, 190 p.

• FAO-COPACE, 1986. Rapport du groupe de travail *ad hoc* sur les ressources démersales et les crevettes du secteur Gabon - Congo. FAO, COPACE/PACE SERIES 86/35, 100 p.

• Garcia-Cabrera C. 1968. Pulpo. Biologia y pesca del pulpo (*Octopus vulgaris*) en aguas del Sahara español. Publ. Tech. Junta Estud. Pesca, Madrid, 7: 161-198.

• Garnaud J. 1960. La ponte, l'éclosion, la larve de baliste, *Balistes capricus* (Linné 1758). Bull. Inst. Océanogr. Monaco, (1169), 6 p.

• Gerlotto F., B. Stequert, M.A. Barbieri. 1980. Premiers résultats d'observations sur la biologie de *Balistes capriscus* (Gmel.) dans la partie occidentale du golfe de Guinée. FAO, COPACE/PACE SERIES 80/21, 30-48

• Gulland J.A., S. Garcia. 1984. Observed patterns in multispecies fisheries. *In*: Exploitation of marine communities, R.M. May ed. Dahlem Konferenzen 1984, p. 155-190.

• ISRA-ORSTOM, 1979. La reproduction des espèces exploitées dans le golfe de Guinée. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, Doc. Scient. 68, 213 p.

• Koranteng K.A. 1981. Preliminary report on a trawling survey of demersal fish stocks in Ghanaian waters, 1979-1980. Fish. Dept. Research and Utilization Branch, Tema, 15 p. miméo.

• Koranteng K.A. 1984. A trawling survey off Ghana, 1981/1982. FAO, CECAF/TECH/84/63, 72 p.

• Lamb H.H. 1982. Climate history and the modern world. Methuen (ed.) London and New York, 386 p.

• Larraneta M.G. 1986. Fish recruitment and environment. *In*: Wyatt and Larraneta (ed),Long term changes in marine fish population, Institute de Investigaciones Marinas de vigo (Spain), p. 21-36.

• Lévenez J.J., J. Lopez, 1982. Résultats de la campagne Echosar IV du N.O. Capricorne. Prospection des stocks de poissons pélagiques côtiers le long des côtes du Sénégal et de la Gambie en saison froide (11 au 24 février 1982). Centre Rech. Océanogr. Dakar Thiaroye, Arch. 119, 51 p.

• Lévenez J.J., J. Lopez. 1983. Résultats de la campagne Echosar V du N.O. Laurent Amaro. Prospection des stocks de poissons pélagiques côtiers le long des côtes du Sénégal et de la Gambie en saison froide. 4 au 17 mars 1983. Centre Rech. Océanogr. Dakar Thiaroye, Arch. 124, 45 p.

• Lévenez J.J., B. Samb, T. Camarena. 1985. Résultats de la campagne Echosar 6 du N.O. Laurent Amaro. Prospection des stocks de poissons pélagiques côtiers le long des côtes du Sénégal et de la Gambie en saison froide. Du 6 au 25 mars 1984. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, Arch. 133, 39 p.

• Lhomme F. 1985. Estimation par chalutage des ressources halieutiques du plateau continental togolais. Mission Française de Coopération - ORSTOM, Lomé, 78 p.

• Mahé G. 1987. Etude de la variabilité des apports hydriques continentaux dans le golfe de Guinée en liaison avec son hydrologie océanique de surface. Mémoire D.E.A. National Hydrologie. Univers. Orsay (Paris XI), 103 p. + ann.

• Mahé G. Présent Volume. La variabilité des apports fluviaux au golfe de Guinée utilisée comme indice climatique.

• Marchal E., J. Burczynski, F. Gerlotto. 1979. Evaluation acoustique des ressources pélagiques le long des côtes de Guinée, Sierra Léone et Guinée Bissau (N/O Capricorne: nov. - déc. 1978). PNUD/FAO/GUI/74/024/2, 95 p.

• Marchal E. J. Burczynski, F. Gerlotto, B. Stequert, F. Varlet, 1980. Evaluation acoustique des ressources pélagiques le long des côtes de Guinée, Sierra Léone et Guinée-Bissau (N/O Capricorne: mars 1979). PNUD/FAO/GUI/74/024/3, 80 p.

• Marchal E., E. Josse, F. Gerlotto, J. Lopez. 1982. Résultats des campagnes Echosar 1 (février 1980) et Echosar 2 (septembre 1980). Prospection des stocks pélagiques le long des côtes du Sénégal, de la Gambie et de la Mauritanie. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, Arch. 114, 106 p.

• Marchal E., E. Josse. 1982. Résultats de la campagne Echosar 3 du N/O Capricorne (mai 1981). Répartition des poissons pélagiques du cap Blanc au cap Roxo (Côte Occidentale de l'Afrique). Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, Rapp. int., 48, 64 p.

• Merle J. 1978. Atlas hydrologique saisonnier de l'Océan Atlantique intertropical. Trav. et Doc. ORSTOM, 82.

• Mingle C.A., P.A. Bukatin, S.M. Overko. 1983. Results of research on the biological resources in the territorial waters of the Republic of Liberia with R/V «Belogorsk». FAO/CECAF/TECH/83/48, p. 100-110.

• Oliver P., J. Miquel, J. Bruno, J. Crespo. 1986. Informe preliminar de la campana realisada por el B/O Cornide de Saavedra en el Golfo de Guinea (Division 34.3.4) en 1986. Instituto Espanol de Oceanografia. Palma de Mallorca, sept. 1986, 74 p.

• Oliver P., J. Miquel, J. Bruno. 1987. Preliminary report of the survey carried out by R/V «Cornide de Saavedra» in Liberia, Côte d'Ivoire and Togo in May-June, 1987. Instituto Espanol de Oceanografia, Palma de Mallorca, June 1987.

• ORSTOM-SGTE. 1982. Evaluation des ressources en poissons pélagiques côtiers dans le golfe de Guinée. Rapport final ORSTOM, Paris, p. 66.

• Pereiro J.A. Bravo de Laguna J. 1980. Dinamica de la poblacion y evaluation de los recursos del pulpo del Atlantico centro oriental. FAO, COPACE/PACE SERIES 80/18, 57 p.

• Petit D. V. Le Philippe, 1984. Evaluation des biomasses en poissons pélagiques des plateaux continentaux de Côte d'Ivoire, Ghana, Togo et Bénin par écho-intégration. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, Doc. Scient. 15: 65-115.

• Pupyschev V.A. 1982. To the increase in the abundance of *Balistes capriscus* (Gmel. 1789) and *Cephalacanthus volitans* in the Gulf of Guinea in VNIRO fisheries investigations in the east tropical Atlantic. Proceedings Iyoghaya I Pishchevayo Promyshlennost, p. 50-60.

• Robertson I.J.B. 1977. Les pêches dans l'Atlantique Centre-Est. Compte-rendu sommaire: Fiolent, 1976. FAO, COPACE/TECH/77/2, 117p.

• Roy, C. 1989. Fluctuations des vents et variabilité de l'upwelling devant les côtes du Sénégal. Oceanologica Acta. 12, (4): 361-369.

• Samb B. J.J. Lévenez. 1987. Résultats de la campagne «Echosar 7». Prospection des stocks de poissons pélagiques côtiers le long des côtes sénégalaises du 22 novembre au 5 décembre 1984. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye. Arch. 158, 13 p.

• Stequert B. F. Gerlotto, V. Le Philippe, 1977. Campagne d'écho-integration ECHOPROC. Résultats d'observations. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, Arch. 51, 90 p.

• Stromme T. 1983. Final report of the R/V Dr. Fridtjof Nansen. Fish resource surveys off West Africa from Agadir to Ghana. May 1981 - March 1982. Institute of Marine Research. Bergen, Norway. Also *in* FAO, CECAF/ECAF SERIES 84/29, p. 1-156.

• Stromme T. G. Saetersdal, 1986. R/V Fridtjof Nansen Fish Resource surveys off West Africa: Morocco to Sierra Léone. August-December 1986. Part I. Final Report. NORAD-FAO/UNDP GLO82/001, 116 p.

• Southward A.J. 1980. The Western English Channel, an inconstant ecosystem ? Nature, 285, 5764: 361-366.

• Vendeville Ph. 1986. Rapport Mission Bénin. Campagnes de chalutage du N/O André Nizery, BENIN 8501 et BENIN 8601. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, 20 février 1986, 13 p. miméo.

• Zupanovic S., M. Cissé. 1977. Quelques observations sur les sardinelles (*S. aurita et S. eba*) et balistes (*B. capriscus*) capturés au large des côtes de Guinée. PNUD/FAO/GUI/74/024, 35 p.

29 • Une approche théorique de l'impact de l'environnement sur la pêche

PHILIPPE CURY
Chercheur ORSTOM, CRODT/ISRA, B.P. 2241, Dakar, Sénégal

RÉSUMÉ

Les difficultés liées à l'analyse des systèmes vivants et leurs relations avec l'environnement physique sont soulignées. L'adaptabilité, les temps de réponse des systèmes biologiques, la sub-optimalité des processus ainsi que les discontinuités et non linéarités sont les principales difficultés identifiées pour modéliser des systèmes complexes. Le temps, fil conducteur des études sur l'impact des fluctuations environnementales sur la dynamique des stocks, peut permettre de définir trois strates (le court, le moyen et le long termes) correspondant à trois problématiques bien définies pour les pêcheries. Des méthodes d'analyse afférentes à ces problématiques sont proposées.

ABSTRACT

Difficulties in analyzing living systems and their relation with the physical environment are emphasized. Adaptiveness, response time of biological systems, suboptimality of processes, discontinuities and non linearities are the principal identified difficulties for modelling complex systems. Time, used as a red thread for studies on the impact of environmental fluctuations on stock dynamics, can permit to identify three scales (short, mean and long terms) corresponding to well defined problems in fisheries. Techniques of study are proposed.

INTRODUCTION

Le déclin récent de nombreuses pêcheries a provoqué une remise en cause profonde de la façon dont les scientifiques abordent la dynamique de ces populations. Les échecs en matière de gestion de ces stocks illustrés par le caractère brutal de leur effondrement incombent très souvent à la non régulation de ces pêcheries, mais aussi à la méconnaissance de certains facteurs de la dynamique de ces stocks. C'est ainsi que la connaissance de l'impact climatique sur la dynamique des stocks demeure aujourd'hui l'un des plus sérieux problèmes à résoudre pour aménager les ressources marines exploitées (Bakun, 1986).

Les écosystèmes d'upwelling très productifs sont colonisés par les espèces pélagiques. L'environnement des zones d'upwelling dans lesquels évoluent les stocks de poissons pélagiques est capricieux. Cette instabilité joue un rôle déterminant sur la dynamique des stocks de poissons pélagiques côtiers. Caractériser les changements qui peuvent apparaître dans les systèmes physiques ou biologiques est relativement aisé. On peut décrire et caractériser à l'aide de variables correctement choisies la variabilité climatique ou les transformations de certaines caractéristiques des systèmes vivants. Cependant identifier sous une forme compréhensible

l'impact des fluctuations climatiques sur les pêcheries soulève de nombreux problèmes qui peuvent se rattacher à deux questions principales:

- Quelle est la nature des relations mises en jeu entre la dynamique des stocks et leur environnement ?
- Quelle est la sensibilité des stocks aux fluctuations climatiques ?

Seul le premier thème sera discuté ici. Certaines réflexions théoriques et méthodes d'approche ainsi que de nombreux exemples sont présentés dans le présent volume. Les quelques éléments de réflexion sur les méthodes d'analyse développées dans le présent texte, permettront peut-être de proposer, dans un cadre mieux défini, des modèles adaptés à de telles études.

COMPLEXITÉ ET ADAPTABILITÉ DES SYSTÈMES VIVANTS.

Les espèces ne sont pas des pièces interchangeables. Comme dans un système physique, les relations de cause à effet existent, mais de par leur capacité d'apprentissage (recueillir de l'information), les systèmes biologiques sont des systèmes adaptables. Les relations de cause à effet peuvent donc se modifier suivant l'état du système: la vie est mouvement. De telles généralités ont leur importance si l'on veut modéliser les relations "pêche-climat". Les systèmes vivants sont des entités complexes qui évoluent. Ils sont caractérisés par des mécanismes de contrôle très élaborés dont la précision et la complexité sont absents de n'importe quel système inanimé. Ernst Mayr (1982b) a montré dans un article intitulé « Biology is not postage stamp collecting» en quoi un système physique et un système biologique étaient différents et par conséquent devaient être perçus différemment. Mayr revendique une approche dynamique de la compréhension des systèmes vivants par nature complexes. Il définit les systèmes complexes comme étant ceux où «l'ensemble est plus que la somme des parties, non pas dans un sens ultime et métaphysique, mais dans le sens pragmatique important qu'étant donné les propriétés des parties et les lois de leurs interactions, il n'est pas facile d'en inférer les propriétés de l'ensemble» (Mayr, 1974). Pour Mayr (1982a), la notion d'archétype ou de modèle qui a longtemps prévalu depuis Platon (eïdos), est une vision non valide en biologie. Les systèmes vivants ne sont pas le reflet d'un modèle (archétype) affecté d'une variabilité, mais ce sont des systèmes en évolution au sens où les paramètres qui les définissent peuvent se transformer au cours du temps selon les contraintes du milieu. Cette vision de la biologie a révolutionné la perception des systèmes complexes (Prigogine et Stengers, 1979). Ainsi, les concepts de base doivent être revisités selon une approche dynamique des écosystèmes (Allen et McGlade, 1986, 1987, 1989). Certains concepts comme la stabilité et la résilience des écosystèmes, sur lesquels sont fondés la plupart des modèles de dynamique des populations, peuvent ainsi être perçus sous un angle différent; ainsi Peterman *et al.* (1979) soulignent que: «Stability, resilience is defined not simply as an ability to absorb unexpected events and variability but, in addition, to *benefit* from such changes».

Les caractéristiques fondamentales des systèmes vivants sont leur complexité et leur adaptabilité: à chaque niveau de leur organisation, ce sont des systèmes complexes qui se transforment en fonction de leur environnement. Un système vivant peut donc réagir différemment à une perturbation du milieu suivant l'état dans lequel il se trouve. Il apparaît clairement que l'étude de la dynamique est de ce fait délicate. La difficulté d'approche résulte aussi dans la nature des outils utilisés (souvent issus de la physique) et qui peuvent structurer de façon incorrecte la pensée ou la nature du modèle. Ceci nous amène naturellement à nous poser la question: comment modéliser un système vivant et son adaptabilité ?

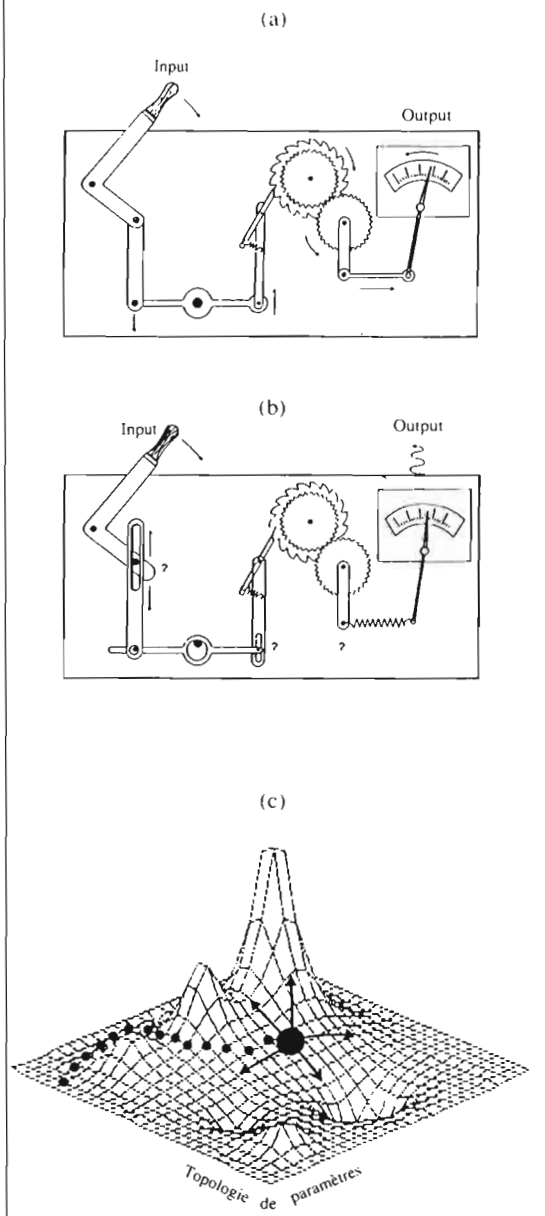
MODÈLES PHYSIQUES ET MODÈLES BIOLOGIQUES

«The ecological Théâtre and the evolutionary Play», l'analogie d'Evelyn Hutchinson (1965) a pour lieu le théâtre où se succèdent les représentations avec des acteurs qui, éternellement, jouent la même pièce mais dont le jeu se transforme au fur et à mesure des représentations. Modéliser un système biologique revient à définir le décor du théâtre mais aussi à suivre les éventuelles modifications du jeu des acteurs.

Avant de modéliser un quelconque système, il est nécessaire d'identifier au préalable les mécanismes qui, pour un signal d'entrée (input), fournissent une réponse du système (output). Le modèle mécaniste de l'ingénieur est simple, même si la mécanique constitutive du système est complexe; il n'en demeure pas moins qu'à une perturbation donnée du système correspond une seule et unique réponse (fig. 1a). Un modèle biologique dérivé de la représentation du modèle mécaniste tente d'introduire la variabilité biologique par un système de perturbations aléatoires (à l'aide par exemple de ressorts et de jeu dans les rouages). A une perturbation donnée, correspond alors un ensemble de réponses possibles (fig. 1b). On peut à l'aide de cette représentation observer une certaine variabilité dans la réponse du système. Cette vision stochastique peut ne paraître que partiellement juste, car elle tend à présenter une certaine indépendance de la variabilité biologique. Elle est aussi limitée car elle néglige la possibilité de transformation du système. Une représentation de l'évolution d'un système vivant complexe serait plutôt celle d'une topologie de paramètres biologiques dans laquelle se déplace volontairement ou non un système biologique matérialisé par une bille (fig. 1c). Cette représentation a l'avantage de montrer qu'une impulsion (input) peut modifier la trajectoire biologique (output), c'est-à-dire modifier la valeur des paramètres qui la caractérise. Diverses réponses du système peuvent être observées selon la position du système sur la topologie au moment

Fig. 1

Modèles de dynamique des populations. a : Modèle mécaniste de l'ingénieur (d'après Mann, 1982); b : Modèle mécaniste du biologiste (d'après Mann, 1982); c : Modèle dynamiste du biologiste.



de l'impulsion. La position du système sur la topologie caractérise donc son état et la trajectoire, matérialisée ici par des pointillés, son évolution.

Pour illustrer cette façon simplifiée de modéliser la dynamique des systèmes, nous prendrons l'exemple de la notion d'équilibre et de stabilité des écosystèmes qui est différente parmi les écologistes et parmi les dynamiciens des populations (Peterman *et al.*, 1979). Pour les uns, les écosystèmes sont globalement stables ou éminemment instables, pour les autres il existe des frontières caractéristiques aux capacités de réponse d'un système. Dans ce dernier cas, les perturbations peuvent être absorbées jusqu'à une certaine limite; au-delà de cette limite, le système change ses caractéristiques. Un point de vue plus récent et plus dynamique émet que ces frontières ou limites de la réponse d'un système se modifient selon les contraintes externes et les changements propres au système (Holling, 1978). Notre compréhension des systèmes dépend des concepts utilisés qui sont divergents dans le sens où la modélisation de leur fonctionnement n'aura pas les mêmes fondements suivant le concept choisi. S'intéresser à la stabilité des systèmes ou à leur instabilité n'implique pas la même démarche, le même type de modèle. On peut ainsi imaginer que les modèles proposés par les figures 1a et 1b répondent mieux à la perception des systèmes capables de retrouver leur état d'équilibre après avoir été perturbés et que la figure 1c peut mieux rendre compte de l'évolution d'un système vers un autre état. Le point de vue sous lequel on se place détermine des visions très différentes de la dynamique des systèmes et de leur modélisation.

TEMPS DE RÉPONSE DES SYSTÈMES BIOLOGIQUES: UNE APPROCHE EN TERME DE PROCESSUS

L'inertie des systèmes biologiques introduit une première difficulté, celle du temps de réponse entre l'effet et la réponse du système. «Il y a deux sources de scandale pour l'esprit observant la nature: l'aléatoire (*i.e.* l'apparemment indéterminé) et le non local» (Thom, 1979). Définir l'état d'un système est un problème non local en biologie, car la nature des interactions dépend aussi du passé du système. Ainsi la réponse des systèmes biologiques n'est pas instantanée, car elle met en cause nombre de processus biologiques induits. Ceux-ci répondent de façon différée, s'opposant en cela aux systèmes physiques simples qui répondent de façon quasi instantanée. La première conséquence immédiate est: corrélations entre données simultanées ne signifient pas causalité. Les réactions étant différées, la «vie» du système se déroule rendant a posteriori nombre d'événements potentiellement responsables de l'effet. Une approche en terme de processus doit donc être privilégiée lorsque l'on veut analyser des systèmes biologiques. Comprendre l'état d'un système et ses trajectoires possibles c'est analyser son histoire, son inertie. La représentation topologique des systèmes que nous avons faite précédemment (fig. 1c) permet d'intégrer le temps (le passé) c'est-à-dire l'évolution des paramètres.

Plus le temps de réponse des systèmes est long, plus l'incertitude sur les causes possibles est grande. On peut ainsi définir, comme le faisait Claude Bernard en 1878 (*in* Mayr, 1974) deux types de causalité, une concerne les causes immédiates et l'autre les causes évolutives: il y aurait en quelque sorte deux biologies.

LES DEUX BIOLOGIES

Nombre d'auteurs (Mayr, 1974; Potts et Wootton, 1984) montrent qu'un problème biologique ne peut être résolu que si l'on a élucidé à la fois les causes immédiates et les causes évolutives. Prenons un exemple: celui des migrations de poissons. Celles-ci sont le fruit d'un ajustement évolutif sur le long terme aux conditions du milieu, mais aussi d'un ajustement à court terme lié à une adaptabilité à des événements environnementaux locaux. La biologie moderne reconnaît ainsi deux catégories de causes correspondant à la biologie écologique, dont le sujet est l'étude des causes immédiates, et à la biologie évolutive, celle des causes lointaines. Les méthodes d'approche diffèrent: la première peut être abordée par les méthodes métriques (approche statistique, modélisation), l'autre par la comparaison des observations et leur interprétation (approche analogique ou interprétative). Une plus grande part de spéculation est introduite dans l'interprétation des changements à long terme pour ces raisons.
Un autre degré de complexification est, dans l'étude des systèmes, la multiplicité des causes.

SUB-OPTIMALITÉ DES PROCESSUS.

Les populations de poissons sont confrontées à divers scénarios climatiques (ou environnementaux dans un sens plus restrictif) dans le milieu. Ceux-ci leur seront bénéfiques, néfastes ou indifférents. Les impératifs d'un individu ou d'une population sont a priori simples: les individus doivent assurer leur croissance et leur reproduction pour ensuite mourir selon une stratégie propre à l'espèce. Les individus d'une population «optimisent» en réalité ces différents critères qui sont parfois antagoniques. Ainsi investir une partie de son énergie pour se reproduire implique le plus souvent un ralentissement ou un arrêt de la croissance. La stratégie démographique adoptée par une espèce peut ainsi être optimale pour l'ensemble des paramètres, par rapport à une stratégie donnée, mais pas pour un paramètre pris isolément. Il y a une hiérarchisation des solutions adaptatives relatives à un problème donné (Meyer, 1981; O'Neill *et al.*, 1986). Il est donc vain, la plupart du temps, de rechercher à identifier un unique facteur explicatif de l'action du milieu sur les stocks de poisson. La nature des relations pouvant exister entre la dynamique d'un système et des variables environnementales est, la plupart du temps, multifactorielle. La réponse à plusieurs facteurs simultanés implique le plus souvent la sub-optimalité lorsque l'on considère un seul de ces facteurs. Il ne faut donc pas toujours s'attendre à trouver une variable simple qui permettra de contrôler toute la dynamique du système. Même s'il existe de nombreux facteurs responsables de la dynamique du stock, il n'en demeure pas moins que l'on peut les hiérarchiser, par une analyse a priori des variables biologiques et écologiques susceptibles de jouer un rôle. Cette façon de procéder permettra en outre d'éviter d'introduire des corrélations non valides biologiquement.
La sub-optimalité soulève aussi le problème des relations de faible intensité entre certaines variables qui peuvent présenter une certaine réalité quant au contrôle de la dynamique des systèmes mais qui sont, d'un point de vue statistique, difficiles à identifier. De ce fait, on a peut-être parfois tendance à incriminer la qualité des données et leur représentativité pour justifier a posteriori des faibles relations trouvées.

DISCONTINUITÉ ET NON-LINÉARITÉ DES INTERACTIONS

L'action des variables environnementales sur la dynamique des stocks n'est pas, le plus souvent, continue et linéaire; on trouvera de nombreuses illustrations dans le présent volume (Fréon, Mendelssohn, Orbi *et al.*). Il est facile d'imaginer que, pour une espèce, un accroissement de 2° C de la température du milieu n'aura pas le même effet sur la dynamique du stock si la température moyenne est de 15° C ou de 27° C. Dans un même ordre d'idée, l'action du climat n'est pas la même au cours du développement d'un individu, qu'il soit sous forme d'oeuf, de larve, de juvénile ou d'adulte. Ainsi, des conditions climatiques favorables à la survie d'une larve (turbulences faibles, stabilité du milieu) peuvent être peu favorables, voire défavorables, à des juvéniles ou à des adultes.
Les non-linéarités et les discontinuités qui existent entre la réponse fonctionnelle de tout organisme vivant et la variabilité climatique sont importantes, mais leur mise en évidence reste le plus souvent délicate.

UNE APPROCHE EMPIRIQUE

Les réflexions théoriques précédentes font ressortir la complexité des systèmes vivants et de leur organisation. Est-ce à dire que leur étude est impossible ? Plutôt que de refuser toute modélisation sous prétexte de cette complexité, essayons de tirer partie des précédentes remarques afin de proposer des méthodes d'approche. «Même s'il existe un monde réel, même s'il existe une vérité, il n'est possible de l'atteindre que dans l'univers du discours, du langage, et notre connaissance de l'univers est celle d'un modèle de l'univers» (Danchin, 1979). il faut donc bâtir une théorie, une proposition de fonctionnement, en attendant qu'elle soit abandonnée au profit d'une meilleure car, comme le souligne Popper (1969), « la vérité ne parle pas».
Les mécanismes d'action d'une variable physique sur une variable biologique ne sont pas simples. L'étude des systèmes écologiques complexes, c'est-à-dire de ceux où il existe des interactions dynamiques entre les différentes composantes, peut être perçue analytiquement ou

de façon empirique. Un paradoxe subsiste. Si la compréhension passe par l'analyse structurale (ou approche analytique), dans laquelle on s'attache à démonter les mécanismes du système, l'esprit est alors satisfait car il peut associer à la «réalité biologique» un modèle «compréhensif». La démarche présente cependant un caractère réductionniste; de plus, en l'état actuel de nos connaissances, il est difficile pour l'étude des relations "climat-pêche" de calibrer ce type de modèles. Les données disponibles sont des données climatiques assez grossières (données de températures, de salinité, de vent...) et les données concernant les stocks sont essentiellement des données de pêche (effort de pêche, prise par unité d'effort). Une autre forme de modélisation peut être faite en abordant le fonctionnement du système de façon globale, c'est-à-dire en ne considérant que sa réponse pour un signal d'entrée et en ne démontant pas la mécanique interne du système. Si la calibration des paramètres est relativement aisée pour ce type de modèle, en substance, leur interprétation demeure spéculative. La démarche est à caractère holistique. De plus, il n'est pas possible d'explorer le comportement du système en dehors des limites de l'étude puisqu'on ne sait pas comment agissent les facteurs clés. Ces modélisations, malgré leurs limitations, restent intéressantes pour diverses raisons:

- elles n'analysent pas les propriétés d'un système à partir des propriétés de ces composantes; elles peuvent intégrer ainsi la diversité et la complexité des interactions entre les éléments du système;
- les études comparatives de mêmes espèces vivant dans des écosystèmes semblables peuvent procurer une plus grande confiance dans les résultats obtenus;
- l'interprétation biologique et écologique de ces modèles faite a posteriori permet de les valider et d'orienter les recherches;
- le faible coût de mise en oeuvre qu'elles nécessitent.

Ces approches empiriques sont par conséquent complémentaires et souvent préalables aux approches analytiques exploratoires et elles répondent, semble-t-il, assez bien aux préoccupations théoriques que nous avons soulevées précédemment.

LES TROIS ÉCHELLES TEMPORELLES DE PERCEPTION

Lorsque l'on veut modéliser la dynamique d'un écosystème d'upwelling côtier, la difficulté est de choisir les variables les plus représentatives d'un phénomène donné et d'estimer correctement leurs fluctuations. La démarche initiale consiste donc à identifier les variables susceptibles d'avoir un rôle significatif sur les mécanismes mis en jeu pour une échelle de temps et d'espace. Les variables connues pour jouer un rôle déterminant ne sont pas mesurées directement dans le milieu. Il peut s'agir par exemple de caractériser un niveau d'enrichissement trophique du milieu: les mesures physiques et biologiques nécessaires à une telle estimation ne sont pas, la plupart du temps, réalisées, car difficiles et coûteuses. On utilise donc des variables plus faciles à mesurer et possédant un certain degré de liaison avec le processus étudié. Ces variables auxiliaires permettent d'appréhender avec plus ou moins de légitimité le fonctionnement du système.

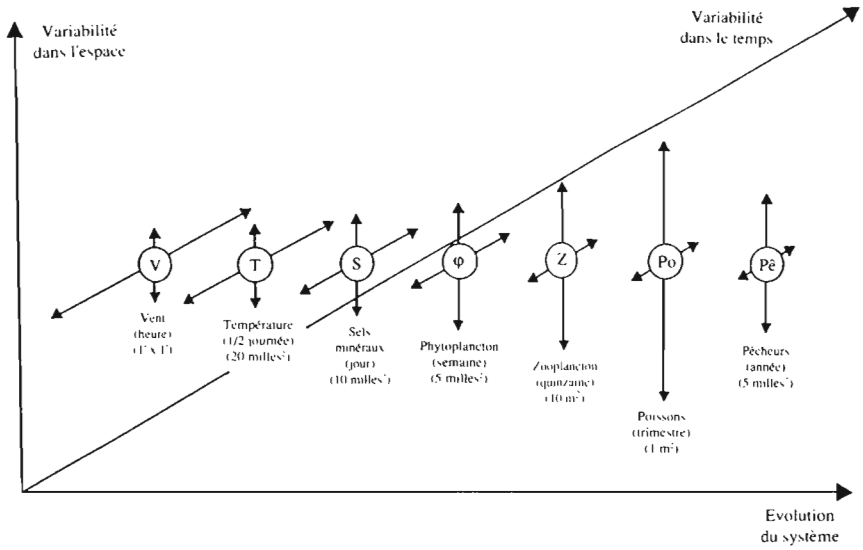
Lorsque l'on progresse dans un système pélagique, les principales variables couramment mesurées sont successivement: la vitesse et la direction des vents, la température de l'eau, les teneurs en sels minéraux, le phytoplancton, le zooplancton et les poissons pélagiques. Au cours de l'évolution de l'écosystème, la variabilité dans l'espace des différents maillons va en augmentant, tandis que la variabilité dans le temps (pour une région donnée) va en diminuant (Fréon, 1988, fig.2). Il est nécessaire d'avoir ce schéma en tête lorsque l'on veut relier la variabilité biologique à une variabilité environnementale. Une difficulté supplémentaire intervient dans l'analyse comparée des processus physiques et biologiques: quelle est la strate spatio-temporelle des variables physiques qu'il faut prendre en compte pour caractériser la variabilité biologique observée ? Il n'y a vraisemblablement pas de réponse satisfaisante à cette question et ce n'est qu'une bonne connaissance des processus mis en jeu qui peut amener à considérer certaines solutions. Les échelles spatio-temporelles des processus physiques et biologiques peuvent être différentes: certains mécanismes physiques à court terme peuvent ainsi avoir une incidence sur les fluctuations des stocks à moyen terme. Trois strates temporelles qui correspondent à des problématiques différentes de la dynamique des stocks sont cependant intéressantes à étudier car elles semblent avoir une réalité en terme de dynamique des populations et un intérêt pour les pêcheries (Cury, 1989).

Le court terme: fonctions descriptives et processus spatio-temporels

Avec une échelle de temps fine, de l'ordre de la semaine ou de la quinzaine, on s'intéresse plus particulièrement à la disponibilité du poisson, c'est-à-dire à sa présence dans une zone de pêche. C'est essentiellement par le jeu des déplacements horizontaux et verticaux des concentrations que le poisson est rendu disponible. La liaison pêche-climat apparaît a priori de façon simple: l'individu recherche dans le milieu certaines conditions (trophiques, hydrologiques ou de reproduction) qui lui conviennent. Il se déplacerait à la recherche de ces conditions favorables. Les enrichissements locaux, si l'on retient ce facteur comme important pour la dynamique à court terme, ne sont pas instantanés: il existe un temps de réponse propre au développement de chacun des niveaux trophiques. Si l'on utilise des variables environnementales pour caractériser la dynamique trophique du système, il est nécessaire d'intégrer dans l'analyse les temps de réponse de ces niveaux intermédiaires: une analyse en terme de processus s'avère importante pour traiter les aspects temporels. Un autre type de difficulté intervient lorsque la dimension spatiale fait partie intégrante de la dynamique du système. En effet, nombre d'événements font que les distribu-

Fig. 2

Schématisation de la variabilité dans le temps et dans l'espace des différents maillons d'un système de production dans une région d'upwelling côtier (d'après Fréon, 1988).



tions locales ne sont pas une fonction simple et directe du biotope et de ses ressources: inertie des réponses, interaction avec d'autres espèces, etc... Les distributions locales ne sont pas indépendantes des conditions environnementales qui peuvent exister dans des zones géographiquement proches. Les fluctuations de disponibilité dépendent d'autres événements que de la seule dynamique de l'environnement dans une zone donnée. La connectivité spatiale et les temps de réponse des systèmes biologiques rendent la démarche en terme de *processus* indispensable.

L'analyse multivariée des séries temporelles peut être l'outil utilisé pour tenter de comprendre spatio-temporellement ces fluctuations à court terme. L'intérêt d'une telle méthode statistique est de pouvoir tenir compte d'une certaine «mémoire» contenue dans les séries chronologiques. On peut ainsi rendre partiellement compte du fait que la disponibilité du poisson peut être due à des événements biologiques ou climatiques éloignés temporellement et spatialement. Cette technique permet d'identifier empiriquement certaines séquences climatiques ou biologiques expliquant une partie de la variabilité contenue dans les séries à expliquer. La notion de cause unique et ponctuelle est ainsi abandonnée et remplacée par celle de *fonction*. Cette relation fonctionnelle pluraliste semble mieux rendre compte du raisonnement en terme de processus développé dans l'introduction. Elle est en cela plus dynamique que la démarche consistant à comparer, à un instant donné, la disponibilité du poisson aux données climatiques concomitantes, pratique courante dans ce type d'étude. Cette notion de fonction introduit une différence fondamentale entre une simple étude de corrélation et l'approche en terme de processus (que l'on décrit par une fonction), dans le sens où il existe plusieurs scénarios pouvant induire une réponse identique du système. Ce raisonnement s'avère a priori plus satisfaisant pour justifier le fait que des disponibilités identiques peuvent être observées pour des situations climatiques différentes. Les fonctions statistiques utilisées peuvent permettre d'identifier, grâce aux modèles autorégressifs, certains processus temporels et spatiaux responsables des fluctuations de disponibilité (Mendelssohn et Roy, 1986; Mendelssohn et Cury, 1987, 1989). Un des facteurs importants pour les déplacements à court terme serait d'ordre trophique et lié à la dynamique des upwellings. Les temps de réponse à un enrichissement local et temporaire peuvent être ainsi quantifiés.

La nature généralement non linéaire de l'impact des fluctuations climatiques sur la dynamique des stocks a été soulignée. La linéarité n'est pas de règle dans le monde du vivant: les systèmes réagissent différemment suivant les situations rencontrées. La nature non linéaire des interactions à court terme peut être abordée grâce à l'utilisation des transformations optimales dans les régressions multiples (Breiman et Friedman, 1985). Cette technique statistique dont l'utilisation en dynamique des populations marines est nouvelle (Mendelssohn et

Cury, 1987, 1989; Mendelssohn et Mendo, 1987) s'avère être d'un grand intérêt pour ce type d'étude. Elle revêt un caractère heuristique en permettant de connaître les domaines de validité des modèles linéaires ainsi que les valeurs des paramètres pour lesquelles on observe des discontinuités.

Le moyen terme: non-linéarité, discontinuité et sub-optimalité des interactions

D'une année sur l'autre, l'abondance du stock est plus ou moins importante et la pêche est plus ou moins bonne. Que le poisson soit abondant une année est essentiellement dû au fait d'un bon recrutement dans la pêcherie, d'un fort taux de survie et d'une bonne croissance des individus. La difficulté de modéliser l'abondance du stock d'adultes résulte ici du choix de mesures environnementales représentatives permettant de caractériser, la plupart du temps, un niveau d'enrichissement du milieu. La notion de capacité biotique variable selon l'intensité des upwellings saisonniers a été le concept écologique clé de cette modélisation. Les modèles non linéaires utilisés pour analyser les fluctuations interannuelles d'abondance des poissons pélagiques sont issus de la dynamique des populations classiques (modèles globaux). On trouvera une présentation détaillée de ces modèles ainsi que des exemples d'application chez Fréon (présent volume). L'introduction de variables environnementales dans les modèles globaux permet de considérer deux facteurs comme responsables des niveaux d'abondance observés: les prélèvements dus à la pêche et l'effet des enrichissements des upwellings. La calibration de ces modèles permet de mieux comprendre l'importance des effets climatiques sur le niveau d'abondance des stocks. La réussite de la pêche une année est fonction de son activité (effort de pêche) mais aussi des conditions qui ont prévalues durant l'année de la pêche et les années précédentes, c'est-à-dire sur le recrutement ainsi que sur la survie et la croissance des individus.

D'autres méthodes d'approche sont possibles. Ainsi, les relations existant entre le succès annuel du recrutement et l'intensité de l'upwelling ont été proposées par Cury et Roy (1989) et Orbi *et al.* (présent volume) en utilisant l'analyse des transformations optimales dans les régressions multiples.

Le long terme: biologie évolutive et modèles qualitatifs

Sur le long terme, les fluctuations d'abondance observées peuvent être le fruit de l'évolution de la stratégie démographique développée par l'espèce en relation avec le milieu. A une approche écologique, se superpose alors une approche évolutionniste lorsque la strate temporelle retenue devient beaucoup plus importante que la durée de vie des espèces.

Les stratégies adaptatives des espèces sont le fruit de pressions sélectives passées et présentes. Comprendre la nature des solutions de survie adoptées par les espèces, leur relation avec le milieu et leurs modifications permet un degré de compréhension supplémentaire à la dynamique de population de ces espèces en y introduisant un aspect qualitatif. La dynamique qualitative comparée des espèces permet de mieux comprendre certains aspects de la dynamique quantitative (Cury et Fontana, 1988).

Les exemples de bouleversements écologiques, avec apparition ou disparition d'une espèce sont fréquents et importants pour les pêcheries. Ce sont très souvent de véritables «catastrophes écologiques» qui peuvent perturber toute la dynamique d'un écosystème (Cury, 1988; Caverivière, présent volume). Comment appréhender de telles fluctuations sur le long terme, c'est-à-dire sur des échelles de temps de l'ordre de décennies ou de siècles ? Une première approche est de considérer les grands changements climatiques qui ont eu lieu dans la zone d'étude et qui sont parfois importants (Roy, présent volume). La confrontation de ces profondes variations climatiques avec les modifications à long terme des populations de poissons ne sont pas souvent reliées. En analysant les séries chronologiques disponibles sur le long terme, il semble difficile d'identifier des facteurs climatiques simples susceptibles d'expliquer les changements à long terme des populations. Les approches statistiques sont souvent inadaptées, car trop d'événements sont potentiellement rendus possibles en terme de causalité. Les extinctions temporaires semblent faire partie de l'histoire naturelle de ces populations. Pourquoi certaines espèces disparaissent-elles sporadiquement d'un milieu et réapparaissent-elles parfois très longtemps après ? L'analyse comparative des stratégies démographiques ainsi qu'une approche en terme de biologie évolutive peut permettre de résoudre certains aspects des fluctuations d'abondance des espèces (Sinclair, 1988; Cury, 1988).

Même si l'approche de la dynamique des populations reste le plus souvent très spéculative, il apparaît capital, comme le souligne Meyer (1982), «d'étudier s'il existe des stratégies adaptatives propres aux populations, aux communautés et aux écosystèmes si l'on espère, d'une part, comprendre comment et pourquoi la structure et le fonctionnement de tels systèmes dépendent de leur passé et conditionnent leur avenir et, d'autre part, modéliser cette structure et ce fonctionnement autrement que sous une forme mécaniste fixe».

DISCUSSION

Les tentatives de quantification des fluctuations de l'environnement sur la dynamique des stocks ou bien celle des pêcheries restent rares, même si elles revêtent une importance capitale (Cushing, 1982; Bakun, 1986). Nous proposons une façon d'appréhender la dynamique, en réduisant la problématique de ces relations, en suivant une stratification temporelle et en proposant certains concepts qui permettent de développer différents types d'approche. Les travaux sur la dynamique des systèmes complexes de Holling (1978), de Allen (1988, présent volume) ou de Allen et McGlade (1986; 1987; 1989), reprenant des modèles analytiques conçus comme des outils exploratoires, proposent d'autres voies originales et novatrices pour résoudre ces problèmes.

DISCUSSION

MILLET: Peut-on hiérarchiser l'importance des difficultés présentées ?

CURY: La difficulté majeure pour analyser un système vivant est peut-être liée à l'adaptabilité des systèmes; les systèmes vivants sont des entités complexes qui se transforment au cours du temps et selon les contraintes du milieu; ainsi, la dynamique des populations peut plus ou moins rapidement se modifier qualitativement. Ce problème est à l'heure actuelle très difficile à aborder. De toute évidence, on peut hiérarchiser l'importance des difficultés de façon plus satisfaisante dans le court terme que dans le long terme où un grand nombre de facteurs et de mécanismes sont potentiellement responsables de l'effet considéré. J'insisterais sur les non-linéarités qui existent entre l'impact des fluctuations environnementales et les réponses des systèmes vivants; ces non-linéarités sont d'une grande difficulté à identifier dans la mesure où elles se heurtent à une insuffisance d'outils et de méthodes d'analyse. Pour terminer et répondre de façon directe à votre question, je dirais que notre principal objectif est de hiérarchiser l'importance des différents facteurs, tout en gardant à l'esprit que le système étudié se transforme ainsi que les relations avec les facteurs extrinsèques.

FRÉON: Le troisième modèle présenté (topologie des paramètres) paraît trop descriptif; ne pourrait-il pas intégrer les deux premiers modèles en y introduisant la variable temps.

CURY: Effectivement le troisième modèle est idéal, mais trop descriptif: on peut cependant s'en approcher en identifiant les modèles mécanistes (les deux premiers modèles) qui pourront fonctionner à un moment donné de l'évolution du système, mais qui ne pourront être utilisés que durant une certaine période de la «vie» du système.

GARCIA: Il s'agit plus de problèmes que de questions; on peut se demander comment cela conduit à l'action.

CURY: L'action ne peut, à mon avis, être dictée que si l'on comprend certains facteurs agissants et la nature de leur action. Je définis un cadre théorique de travail ainsi que les principaux problèmes qui se posent afin de proposer une interprétation de ce que l'on observe. C'est une méthode d'approche, les résultats et les interprétations viennent ensuite et enfin l'action.

FRÉON: Le modèle topologique illustre le fait que le système peut évoluer vers des situations particulières, vers une nouvelle «niche écologique», correspondant à des changements qualitatifs apparus dans la population (cas de la sardinelle dans le système ivoiro-ghanéen). Les deux premiers types de représentations ne peuvent pas décrire un changement de situation.

BIBLIOGRAPHIE

• Allen, P. 1988. Why the whole is greater than the sum of the parts ? *In*: W. Wolf, C.J.Soeder and F.R. Drepper (eds.)Ecodynamics. Springer Verlag. p. 2-30.

• Allen, P. and J.M. McGlade. 1986. Dynamics of discovery and exploitation: the case of the Scotian shelf fisheries. Can. J. Fish Aquat. Sci., 43: 1187-1200.

• Allen, P. and J.M. McGlade. 1987. The modelling of human systems: a fisheries example. European Journal of Operational Research, June.

• Allen, P. and J.M. McGlade. 1989. Optimality, adequacy and the evolution of complexity. *In:* P.L. Christiansen and R.D. Parmentier (eds.) Structure, coherence and chaos in dynamical systems. . Manchester, University Press, p. 3-21.

• Bakun, A. 1986. Definition of environmental variability affecting biological processes in large marine ecosystems. *In* : K. Sherman and L. M. Alexander(eds.). Variability and management of large marine ecosystems. AAAS Selected Symposium, 99: 87-106.

• Breiman, L. and J.H. Friedman. 1985. Estimating optimal transformations for multiple regression and correlation. J. Amer. Stat. Assoc., 80: 580-619.

• Cury, P. 1988. Pressions sélectives et nouveautés évolutives: une hypothèse pour comprendre certains aspects des fluctuations à long terme des poissons pélagiques côtiers. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 45 (6): 1099-1107.

• Cury, P. 1989. Approches modélisatrices des relations à court, moyen et long termes entre la dynamique des stocks de poissons pélagiques côtiers et les fluctuations climatiques. Thèse de Doctorat de Biomathématiques. Université Paris VII, 258p.

• Cury P. et A. Fontana. 1988. Compétition et stratégies démographiques comparées de deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) des côtes ouest-africaines. Aquat. Living. Resour., 1: 165-180.

• Cury, P. and C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 46:670-680.

• Cushing, D. H. 1982. Climate and fisheries. Academic Press, New York and London, 373p.

• Danchin, A. 1979. Placage et modèle totalitaire. *In*: P. Delattre et M. Tellier (eds.), Elaboration et justification des modèles: applications en biologie. Maloine, Paris, p. 39-56.

• Fréon, P. 1988. Réponses et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation: Analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. Etudes et Thèses, ORSTOM, 287 p.

• Holling, C.S. (ed.). 1978. Adaptative Environmental Assessment and Management. John Wiley & Sons, London.

• Hutchinson, G.E. 1965. The ecological theatre and the evolutionary play. Yale University Press, New Haven.

• Mann, K.H. 1982. Ecology of coastal waters: a systems approach. University of Califomia Press. Studies in Ecology, vol. 8. 322p.

• Mayr, E. 1974. Populations, espèces et évolution. Hermann. Paris. 496p.

• Mayr, E. 1982a. The growth of biological thought. Belknap Press of Harvard University Press. 974p.

• Mayr, E. 1982b. Biology is not postage stamp collecting. Science, 216: 718-720.

• Mendelssohn, R. and P. Cury. 1987. Fluctuations of a fortnightly abundance index of the Ivoirian coastal pelagic species and associated environmental conditions. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44: 408-428.

• Mendelssohn, R. and P. Cury. 1989. Temporal and spatial dynamics of a coastal pelagic species *S. maderensis* off the Ivory Coast. Can. J. Fish Aquat. Sci., 46: 1686-1697.

• Mendelssohn, R. and J. Mendo. 1987. Exploratory analysis of anchoveta recruitment off Peru and related environmental series. p. 294-306. *In:* D. Pauly and I. Tsukayama (eds.), The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change. ICLARM studies and Reviews 15, 351p. IMARPE, Callao, Peru; GTZ, Eschborn, Federal Republic of Germany; and ICLARM, Manila, Philippines .

• Mendelssohn, R. and C. Roy. 1986. Environmental influences of the French, Ivory-coast, Senegalese and Moroccan tuna catches in the gulf of Guinea. *In:* Proceedings of the ICCAT Conference on the International Skipjack Program. Comptes-rendus de la Conférence ICCAT sur le Programme de l'Année Internationale du Listao. Actes de la Conferencia ICCAT sobre el Programa de Ano International del listao. Madrid, ICCAT, 170-188.

• Meyer, J.A. 1982. Les modèles de simulation de la dynamique du plancton: nature, utilisation et limites. *In* : R. Pourriot (ed.). Ecologie du plancton des eaux continentales. Masson, Paris, p.147-193.

• Peterman, R.M., W.C. Clark and C.S. Holling. 1979. The dynamics of resilience: shifting stability domains in fish and insect systems. *In:* R.M. Anderson, B.D. Turner and L.R. Taylor (eds.). Population dynamics. Blackwell Scientific Publications, London, p. 321-341.

• Popper, K. 1969. Conjectures and refutations. Routldge and Kegan Paul.

• Potts, G.W. and R.J. Wooton. 1984. Fish reproduction: Strategies and tatics. Academic Press. 410p.

• Prigogine, I. et I. Stengers. 1979. La nouvelle alliance. Gallimard, Folio-essais, Paris, 439p.

• Sinclair, M. 1988. Marine populations: an essay on population regulation and speciation. Washington Sea Grant Program. University of Washington Press, 252p.

• Thom, R. 1979. Modélisation et scientificité. *In:* P. Delattre et M. Tellier (eds.), Elaboration et justification des modèles: applications en biologie. Maloine, Paris, p.21-29.

30 • Fisheries : models of learning and uncertainty

PETER M. ALLEN
International Ecotechnology Research Centre, Cranfield Institute of Technology. Bedford, MK43 OAL, England

ABSTRACT

This paper focuses on the problems of the sustainable exploitation of marine ecosystems by man. In particular it presents new models of the evolutionary process which show how the dialogue between diversity creating mechanisms (sexual reproduction, ignorance and entropic processes in general) and the competitive constrainsts of the material world generates ecological structures. These represent a new domain of organization, beyond the mechanical, where the identities and behaviours of the populations are mutually interdependent, the system has many possible responses to perturbations and in which sustainability is related to the capacity to change, adapt and maintain diverse and varied strategies. For the practical implementation of these ideas a dynamic spatial fishery model has been developed which can be used as the basis for fisheries policy and management.

RÉSUMÉ

Cet article se penche sur les problèmes soulevés par une exploitation soutenue des écosystèmes marins par l'homme. Il présente en particulier de nouveaux modèles sur le processus évolutif qui montre comment le dialogue entre les mécanismes de création de la diversité (reproduction sexuelle, ignorance et processus concernant l'entropie de manière générale) et les contraintes compétitives du monde matériel génère des structures écologiques. Ceci représente, au-delà d'une approche mécaniste, un nouveau domaine d'organisation où les identités et les comportements des populations sont mutuellement dépendants; le système peut répondre de multiples façons à des perturbations et son caractère durable est relié à la faculté de changement, d'adaptation et de maintien de stratégies diverses et variées. Afin de mettre en pratique ces idées, un modèle dynamique spatial des pêcheries a été développé qui peut être utilisé comme base pour une politique de gestion des pêcheries.

INTRODUCTION

This is a contribution to a collection of papers which concern the exploitation of fish stocks off West Africa. However, the point of view and methodology discussed here will, hopefully, be of quite general utility. The problem of fishing off the West African coast, and sustaining the food or hard currency supplies of the onshore populations is a geographically particular example of a the human condition in general. What we shall address here, therefore, are the generic issues that it raises: harvesting of species within an ecology, increased exploitation and sustainability, dynamic instability, the evolution of technology, of societies and of the exploited ecosystem.

The real issues concern the sustainable place of man in nature, and nature's response to our actions. This paper focuses on the need for us to accept, and deal with the real uncertainties of existence and to move our thinking beyond the narrow view which relies simply on the promotion of profit maximization of fleets through the action of competitive forces in a market which is as free as possible, and of a «technological fix» for any problems that may arise. We have to accept that it is the over-reliance on technology and simple economics today that threatens us. In order to see how this can possibly be, we need to reflect a little on the nature of both of these.

TECHNOLOGY AND ECOTECHNOLOGY

Technology is the application of science to «solve» a problem. Traditionally the scientific approach has been one in which complex situations resulting from some long evolutionary process are viewed with a willful «myopia». Through this self-imposed mental «magnifying glass» the system is seen as a series of separate problems or decision areas, requiring for example faster, stronger or cheaper technical solutions. If any part of the system being considered should still seem complex, then the power of the magnification is simply turned up until it reduces to a series of simple mechanisms. This is what is meant by reductionism, and despite the many authors who have tried to dethrone it, it is still very much with us.

An example of such reductionism is the management of fish stocks as single species, ignoring the obvious fact of their interaction with other populations, and with all the factors of their ecosystem. Another related example is when all the complexity of fishermen's behaviour, is looked upon as an «applied fishing effort» - F - an exogenous parameter which «management» is supposed to set or control. Such a simplistic approach would be laughable, were it not so serious.

Of course, such dramatic simplification is quite understandable in the initial phases of study of a complex problem, but this approach has now been with us for several decades, has become entrenched in both the thinking and in the «job descriptions» of fishery scientists, and also has become the system by which it is proposed that all fisheries should be managed.

In summary, the myopic vision of reductionism, which finds its classic expression in decentralised «profit optimizing» behaviour of a «free market», combines technological advance with short term economic calculations, losing entirely from view the system as a whole, and pushing the «costs» of any decision to «improve», outside the boundary of what has been given a price.

What we may call «environmental» problems are an immediate consequence of such an approach, and indeed of any narrow rationality. The basic reason is simple - there is no such thing as the environment. All there is are nested, dynamic, spatio-temporal structures resulting from a continuing evolutionary process. Decisions almost always have consequences which go beyond either the time frame or the situation boundary initially considered by the decision maker.

Separate fishing boats or fleets responding only to their own experience see that increasing their own efforts or technology gives them higher profits. But of course, when they all do it, the effects on fish stocks may be such that catches and profits fall, and very high technology is required just to scrape a living. The very latest trawling or gill netting technology may really be like a herd of goats in an arid landscape. Once you have crashed your system, then nothing can compete with them for survival, but of course their very presence may be the factor which stops the system from ever recovering.

Our present way of making and managing changes guarantees that we shall eventually crash the larger system, and therefore it is imperative that we should find a new approach to our exploitation of both the natural environment, and of ourselves.

Ecotechnology is that new approach. It looks at problems within their wider context, and considers both the effects of change within the narrow system, and also of the response that this will provoke from its surroundings. This new ecotechnological approach requires that we first understand how a system has become what it is, and what maintains or threatens its present condition. Then, with this knowledge, we attempt to estimate the complex response of the system as a whole to different possible actions or policies. From this an image of the longer term, system wide consequences of our possible actions can be obtained, providing a basis for wiser decision making. The proper basis for ecotechnology is therefore a better understanding of evolution. What is it? Where does it come from? And how could we anticipate, guide, encourage or avoid it? Are humans inside or outside its realm ?

EVOLUTIONARY DRIVE

Evolution is about qualitative, structural change. If we are to understand it, then this is its key aspect. It concerns not merely the changing numbers of the initial variables, but the fact that new structures, and states of organization can emerge. Not only does this happen, but in fact it is always in the process of happening. This is because evolution leads to systems which possess the ability to evolve, and the capacity to adapt and change in response to the uncertainties of the real world. This ability resides ultimately in the internal diversity and variability of populations.

Today, we understand that the present was not inevitable, but has been created by its history, a history that is marked by creativity and the emergence of new forms and functionalities. In this light, human survival (or extinction) is related to an ability to cope with uncertainty and change. Instead of trying to manage «equilibria» which are a product of our own particular mythology, we must try to manage unstable, and unpredictable resources.

The basis of scientific understanding has traditionally been the mechanical model (Prigogine and Stengers,

1987; Allen, 1988)). In this view, the behaviour of a system can be understood, and anticipated, by classifying and identifying its components and the causal links, or mechanisms, that act between them. In physical systems, the fundamental laws of nature govern these mechanisms, and determine what must happen.

In isolated or closed systems these restrictions place such limits on the behaviour of the system that we can in fact predict the properties of the final state, thermodynamic equilibrium, quite generally for almost any system, however complex. This was such a triumph for classical science, that it was believed (erroneously) that analogous ideas must apply in the domains of biology, ecology, the human sciences, and particularly of course, economics (Arrow and Debreu, 1954; Debreu, 1959)

But such ideas were misguided. In fact systems encountered in ecology and economics are always evolving and are not at equilibrium. Biological, ecological or human systems are discussed in terms of the typical behaviour of typical elements, or stereotypes, that make up the classification scheme that we have decided to apply. Underneath any such model, however, there will always be the greater particularity and diversity of reality.

In the classical scientific view, the future of a system is predicted by the simple expedient of considering the behaviour of the equations which govern its motion. But while it is easy to write down the equations of mechanics for imaginary point particles, when considering a complex system, it is necessary to make certain approximations in order to arrive at mechanical equations which are supposed to govern its motion. In order to take this step, the assumption that must be made is that the elements making up the variables (individuals within a population, firms in a sector etc.) are all identically that of the average type. In which case, the model reduces to a "machine" which represents the system in terms of a set of differential (perhaps non-linear) equations which govern its variables. And this is the Newtonian vision of the world as a vast and complex clockwork mechanism.

In this view, predictions are made by simply running the model forward in time, and statements about the future, under given conditions, can be made by studying the types of solution that are possible for the equations in the long term. Scientific explanation of this kind is based on the internal functioning of the system. The equilibrium solution of the differential equations are viewed as expressing some maximum or minimum of some potential function, just as in physics, the dissipative forces of friction and viscosity work to lead any mechanical system to a thermodynamic equilibrium expressing maximum entropy.

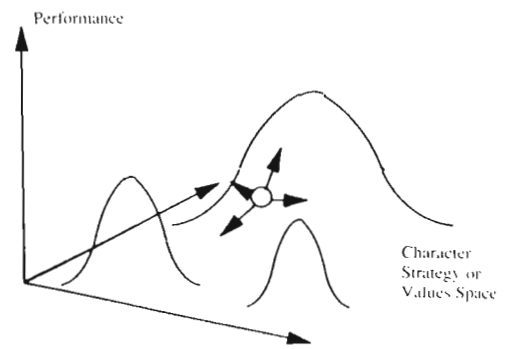
But this is completely false for complex systems.

Even in physical systems, if they are open to flows of energy and matter, there is no longer a unique final state expressing some "optimal" principle. The external experimental conditions no longer suffice to determine a unique future, as such systems can structure in a variety of ways depending on the internal details of their constituent components - details which cannot be controlled from the outside of the system. In other words, there is a single, predictable outcome to experiments on isolated systems - thermodynamic equilibrium, but not for open systems where matter and/or energy can flow through the system (Nicolis and Prigogine, 1977). This changes profoundly both our notion of "explanation", and of scientific understanding. When non-linear mechanisms are present, the system may continue to change indefinitely - either executing a cyclic path of some kind, or possibly even a chaotic movement around a "strange attractor". More importantly, its evolution may involve structural changes of spatial and hierarchical organization, in which qualitatively different characteristics emerge. New problems, satisfactions and issues can be "turned on" spontaneously by the system.

This capacity for structural change is not contained in the dynamical equations. They are capable of functioning but not of evolving. Evolutionary change must result from what has been "removed" in the reduction to the deterministic description that is the non-average. The system is therefore driven by two kinds of terms: deterministic average mechanisms operating between typical components, and non-average local behaviour that in non-linear systems can be amplified and lead to qualitative structural changes in the average mechanisms (fig.1).

Fig. 1

For a single population there exists a kind of «adaptive landscape» of possible advantage, in some character or strategy space.



In some recent papers (Allen and Mc Glade, 1987;1989)) mathematical simulations have been made of this new evolutionary dialogue between "average" processes and "non-average" detail. This has led to the new concept of evolutionary drive. Evolution was shown to select for populations with the ability to learn, rather than for populations with optimal behaviour, a result similar to the «Red Queen Hypothesis» (Van Valen, 1973). This corresponds to the selection of "diversity creating" mechanisms in the behaviour of populations, initially involving genetics, and later cognitive processes. These experiments show that this mixture of exploratory diffusion of individuals in some behaviour space, and their differential successes, makes the difference between what is «organic» and what is merely «mechanical». There is a process of simultaneous «stretching» and «squeezing» of populations in the space of possible behaviours that is the core of our new understanding (fig. 2). This view, of course, bears a striking ressemblance to the ideas of Yin and Yang, and of «dialectics», but in our case we not only have a vision of such a process, we also have mathematical equations which can represent it.

In further computer experiments, it was found that if some characteristic or strategy could exist which would result in self-reinforcement, then once it emerged it could trap the population and block evolution at least for some time (fig. 3). An example of this from biology is the Peacock s tail', where a gene produces the beautiful tail in the male, and makes such a tail attractive to the female. In sexual reproduction, anything which enhances the probability of mating produces a positive feedback on its own population dynamics, and fixes itself. However, it is at the expense of functionality with respect to the external environment. Peacock's tails are not an aid to finding its food better, or escaping predators, but only a characteristic marker of a positive feedback trap.

In human systems, such positive feedback systems abound. Much of culture may well be behaviour which is fixed in this way. In most situations imitative strategies cannot be eliminated by the evolutionary process, and so fashions, styles and indeed cultures rise and decline without necessarily expressing any clear functional advantages. Indeed, "culture" could be viewed not so much as being «the best» way of doing things somewhere, but perhaps as resulting from ignorance of other ways of doing things. Human activities in general, from fishery science to patagonian folk dance, exhibit these properties of autocatalytic, self organization, where ritual and shared ideology emerge and serve as the identity and focus of a social group, irrespective of the precise merits or truth of the ideology itself. So much of human attention is focussed on playing a role in groups where values are generated internally, and the physical world outside is largely irrelevant.

The work above has been further extended to show how "adaptive landscapes" are really generated by the mutual interaction of populations. In the space of «possibilities» closely similar populations are most in competition

Fig. 2

Evolution corresponds to the simultaneous «stretching» and «squeezing» of populations that we show here.

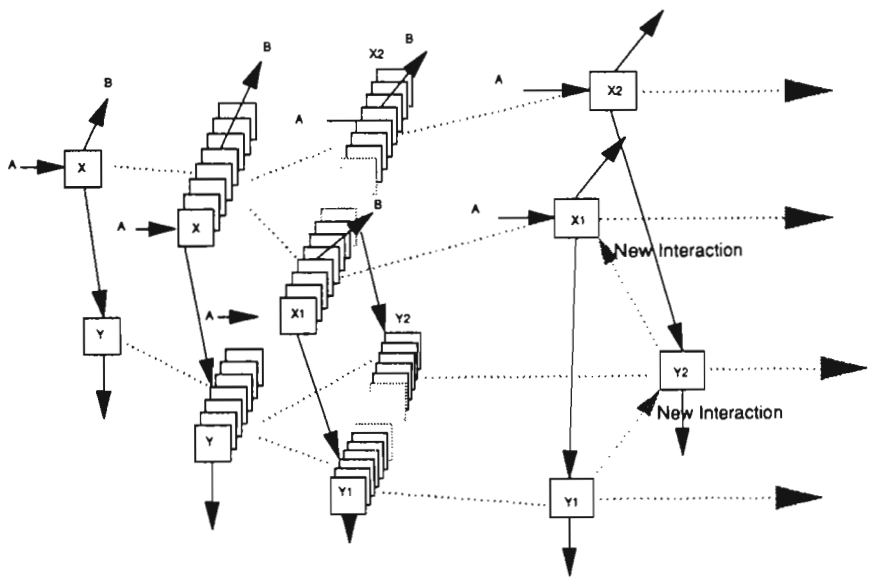
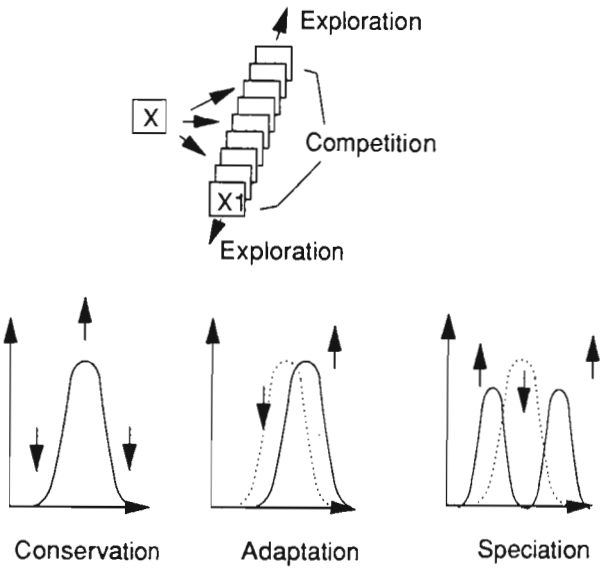


Fig. 3

The explicit presence of «stretching» and «squeezing» generates a latent adaptability.



with each other, since they feed off the same resources, and suffer from the same predators, but there is some «distance» in character space, some level of dissimilarity, at which two populations do not compete with each other.

Initially, a population grows until it reaches the limits set by the competition for underlying resources. At this point, there is a positive pay-off for error makers, who escape somewhat from competition. We could say that although initially there was no «hill» to climb, the population effectively digs a valley for itself, until there is a «hill» to climb on either side of the present character «centroid». However, over some distance in this space the population growth is restricted because of the «competitive shadow» of the original population, and so they diffuse in small numbers up the slope away from the original type. After a certain time, however, small populations arise which are sufficiently different from the original type that they can grow and multiply on the basis of some other resource (fig. 4).

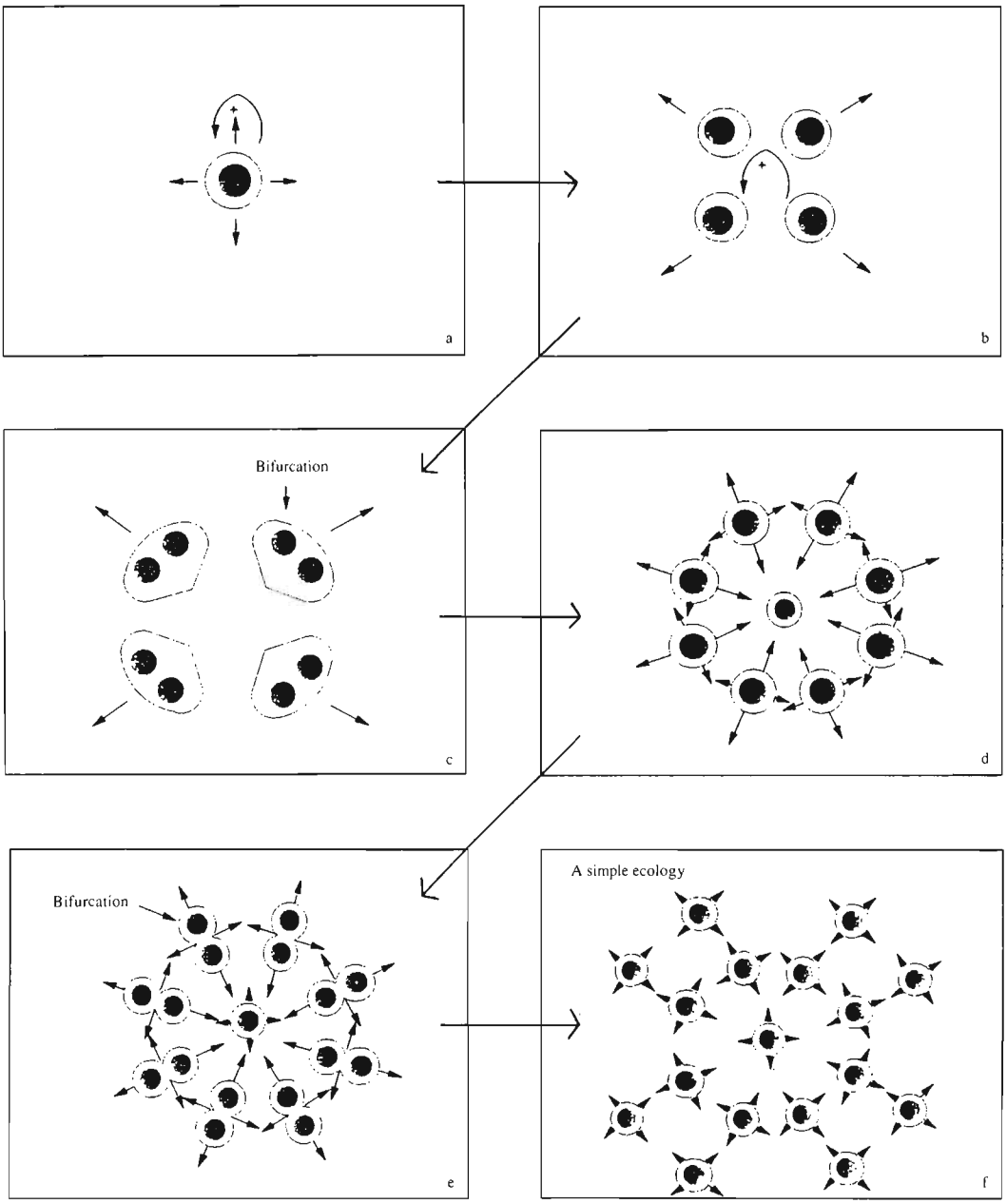
In its turn, this new population increases until it too is limited by internal competition for the limiting resource, and once again there is a pay-off for deviants, particularly for those on the outside of the distribution, as they climb another self-made hill towards unpopulated regions of character space. In this way, well defined populations appear successively, and colonists diffuse out from each of them as they reach a competitive limit, gradually filling character space with a set of populations separated approximately by some distance which is characteristic of the resource diversity which can be tapped.

From a single population our model generates a simple ecology (fig. 4), and a dynamic one since the identity of each population is maintained by the balance between a continual diffusion of deviants outwards into character space, and the differential reproduction and survival that is due to the presence of the other populations. Random events which occur during the "filling" process will affect which populations arise, and so it is not true that the evolution represents the discovery of pre-existing "niches".

Such a system operates beyond the mechanical paradigm, because its response to external interventions can involve changes in structure and of the «identity» of the populations in the system. Harvesting particular populations in such a system, as in fishing for example, will provoke a complex response from the other populations. The identity of each species depends on that of the others, and on the accidents of its particular history. Removing, or severely depleting one or several populations, will therefore set in motion a series of responses, and changes in behaviour of other species which may look very like (and indeed be) a form of learning. Deviant behaviour which hitherto encountered a negative pay-off may instead be reinforced, and in addition the responses may be essentially unpredictable.

Fig. 4

In character space, it is the interaction of populations themselves that creates and constantly changes the «adaptive landscape».



Indeed, events like this may be occuring constantly in the ecosystem, owing to environmental fluctuations of all kinds, and what we need to realize is that we are trying to fish a vast and complex learning system, constantly adapting and responding to all kinds of perturbations, and in the process, itself causing changes in local environments and conditions. Instead of managing equilibria we must manage change.

MODELS OF COMPLEXITY: THE SCOTIAN SHELF FISHERIES

If the preceding sections have helped to clarify why scientific theories about living systems had failed, we need to turn now to the problem of showing that the ideas discussed above can actually help us in a practical way. In order to do this, one of the problems that has been addressed is that of the management of a particular fishery the Scotian Shelf Groundfish fisheries of the Canadian Atlantic coast.

Work was begun in 1985 on building an integrated dynamic model, which would help clarify the issue of sustainability, of potential fleet sizes and technology, and also of management methods. These have been described elsewhere (Mc Glade and Allen, 1985; Allen and Mc Glade, 1986; 1987a)) in some detail, and so we shall only deal very briefly with the model equations. However, here we shall describe the software that was prepared for this application.

Two models were developed. The first was a very simple non-spatial, single species model of the Haddock fisheries of the Scotian Shelf. The interaction diagram is shown in figure 5.

The Single Species Non-Spatial Model

The equations used on the software disk were more complicated than those reported in the previous literature and are given in Appendix 1.

The complex behaviour of these equations have been presented already, but the software package developed for use by management has not. First a parameter changing page appears, so that other data could perfectly well be inserted. Instead of the biological parameters of haddock, otherspecies could be inserted. Similarly, the fleet characteristics could be modified to correspond to the gear technology, speed and hold size of fleets as varied as hand rowed pirogues to deep sea, ocean going industrial trawlers.

When the program is run questions concerning the management strategy to be explored appear on the screen. For example, the imposition of fishing quotas, of licence limitation by fleets and of closure of the fishery can be explored. Effects such as the delay between a stock estimate and the application of a TAC can be tested, as they may be of 2 or 3 years.

As an example of the kind of simulation that is possible, in figure 6 we see two 40 year runs which compare the effects of having no controls, and with quotas imposed corresponding to maximum sustainable yield.

Other policies can be compared to these by using the same random seed so as to give rise to the same sequence of recruitment fluctuations. Clearly, however, the simulation shown in figure 6 must not be considered as a prediction, since a different sequence of random disturbances leads to a different set of results for our 40 year run.

In fact, if the program is run without management for a variety of "seeds", a wide spectrum of results are possible. The average of these can be calculated, and in fact corresponds roughly to the values obtained for the 40 year run shown in figure 6. However, certain stochastic sequences give very different results. The upper extreme gives fleets and stocks about twice that of average, with 3 times the catch, and the lower extreme giving about half average.

A clear idea of the "average" of these dynamics can be obtained by running the model for 1000 years. This merely allows a good exploration of the effects of the environmental noise, and hence gives a good estimate of the average result, but is little help for really making policy for the next 5 or 10 years say.

This simple program can be used for testing the probable effects of other policies, such as fixing prices, subsidising fishermen, restricting technology etc. and for getting a good idea of what kind of effect these policies may have. Similarly, it could equally well be recalibrated for other fisheries such as those of West Africa, and used to explore the policy issues there.

The Multispecies, Multifleet Spatial Model

This more complex model describing the complex behaviour of boat movements, information flows between fleets, and the spatial dynamics of the different fish stocks. The connection with the discussion about evolutionary systems becomes much clearer here. The model has already been described in some detail and so we shall not repeat the details here. The main components are:

- an equation for the stock of each species in each spatial zone. It contains ecological interactions, biological parameters of the species, and the fishing mortalities caused by the different fleets and gear types fishing in the zone;
- an equation for the change in fleet size as a result of profitability, and also the fleet movements between zones based on imperfect information about relative profitabilities, home ports, hold sizes, etc;
- a price equation per fish species based on the imbalance between supply and demand.

One of the important ideas that arose from this model was that successful fishing was impossible over the longer term, if short term behaviour was optimal. In other words, fleets which behaved too rationally, «cartesians», were not successful, and boats with some non-rational strategy, «stochasts», were required in order to generate new information. Fishing, like the rest of life, has too opposing requirements: efficient behaviour and the need to make discoveries.

Let us describe the different options that the program

Fig. 5

The interactions of the single species non-spatial model.

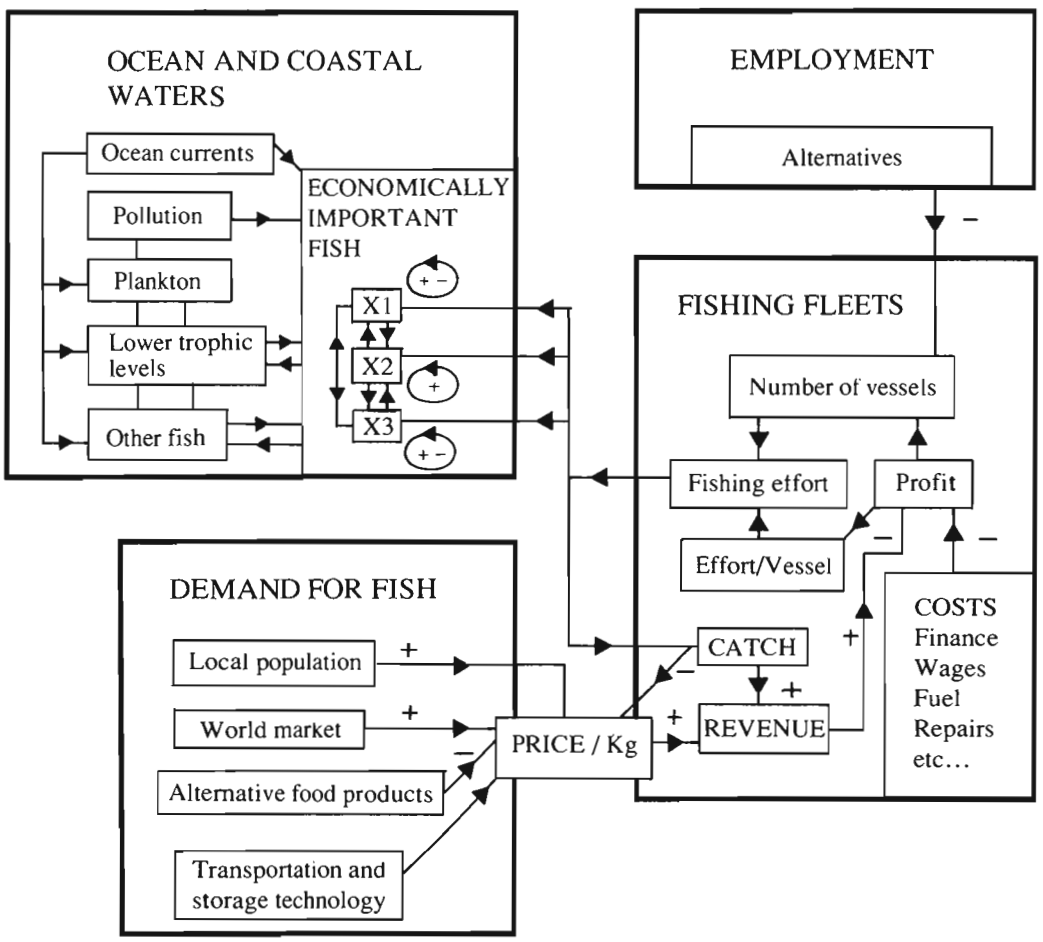
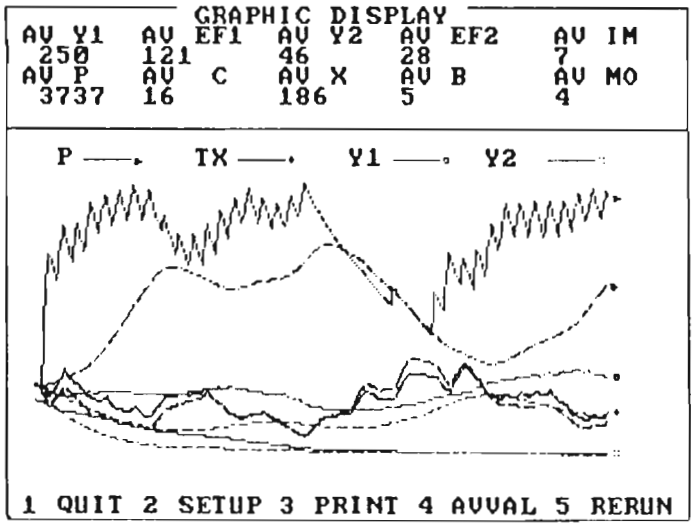


Fig. 6

TAC quotas lead to price rises that put the system in a state of chronic management. Consumers subsidise (in prices) a larger fishing industry, although the boats are tied up for 4 months a year.



offers. Selecting the first option allows a choice of the number of fish species, of the number of fleets, as well as the frequency and detail of numerical and graphic printouts. For each selection, the position of the cursor brings up a line of explanation concerning the parameter in question, as well as limits to its value. For the Random seed, 0 corresponds to no fluctuations in recruitment of the fish, while numbers between 0 and 1 give rise to particular sequences of fluctuations.

The second option allows the biological parameters of the fish stocks to be inserted, or modified, as well as some ecological information concerning the niche-overlap of the species with the others. In addition, the catchability of a species with respect to a particular fleet gear type can be set. By moving the cursor around, changes in biological parameters catchabilities and initial unit price can be made.

The third option allows the different parameters which characterize a fleet to be adjusted. For example, parameters can be set concerning the rate of response of fleet fishing capacity to profit and loss, and also the different fixed and variable costs that characterize the boats. One important point is that while the "cost/unit dist" used in the equations is a real cost, as experienced in fact by the boats, there are also other costs (Interzone, returning to port) which depend on the "estimates" that skippers make of these. Clearly, the spatial strategy actually executed not only depends on reality but on the perceptions and beliefs fishermen have about it. It is interesting therefore to be able to explore the effects of different cognitive maps on the fishery.

Mobility concerns how fast the "migration" between fishing zones can occur, which may be limited by both physical and cognitive factors. Speed, however, is simply related to the speed of the boat and how long it takes to get a full hold of fish back to port, and to turn the boat around. The "home port" locates the place of landings of the fleet and is the focus for the "distance to port" calculations. The model also allows for a variable degree of randomness in the fleet movement.

Another important term which was discussed a great deal in the earlier publications concerns the "rationality" of the boats in a particular fleet. This could either be an average value expressing perhaps the strategy of the fleet owners, or it could be broken down into the different strategies of constituent groups. The "rationality" parameter corresponds to two factors:

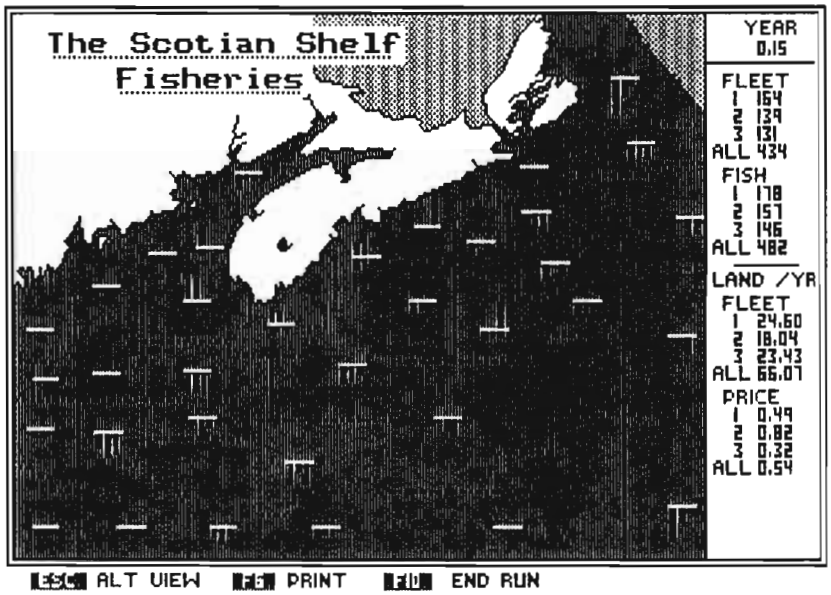
- the degree of unanimity of "response" of the fleet (i.e. its homogeneity);
- the actual weight each member attaches to the information he is receiving concerning "expected revenues" in other zones.

This is an important parameter - and realistic movement seems to correspond to values between 3 and 8 (for Cartesians) and .75 to 3 for Stochasts.

Using the fourth option, the amount of each type of fish, and of each fleet present in a zone can be changed. The "fish" are given in thousands of tons. Also, we can change the "carrying capacity" of the zone, which sets a limit to the total fish population that it can support.

Fig. 7

The graphical output of our dynamic, spatial fishing model.



This maximum population will depend on the degree of niche overlap that has been put into the model, and clearly, if this is total then the carry capacity is the limit on total population. If there is no overlap then each population could attain the carrying capacity separately. At any time, the simulation can be interupted and the parameters of the species, fleets or spatial zones can be modified and the simulation continued. In this way, the effects of increasing fishing effort, pollution accidents, changing marine environment, improved fishing gear, greater/lesser, fixed/variable costs etc. can be explored. Various management options for the simulation can be set, and the complex response of the fishermen and of the ecosystem can be studied. Two basic strategies of management can be applied. Either fishing quotas can be set, or limits can be imposed on fleet size through licenses.

The model described here has parameter values corresponding to those of cod, haddock and pollock, being fished by fleets of trawlers and longliners - which have the costs, mobility and fishing power based on the real data taken from the 1984 overcapacity study carried out by Fisheries and Ocean, Canada.

A typical black and white rendering of a colour screen is shown in figure 7. As the simulation proceeds, the longliners are gradually eliminated by the trawlers, as the process of locating and exploiting successive fish aggregates continues. Between about 5 and 12 years fleet landings fall to a very low value (20ktons) but they recover after that. After 20 years the fishery is as healthy as it was initially, except that the Longliners have been eliminated.

The program can be used to study the effects of different fleet strategies, and of cooperation, information sharing, or of pure competition.

Fleets of "cartesian" trawlers, with a rationality of 5, can be ranged against fleets of «stochasts», and information exchange can be allowed or disallowed. Composite fleets made of «cartesian» troops and «stochastic» scouts can be run against each other, and successful strategies revealed.

If the ESC button is pressed during a simulation, a second screen appears showing the aggregate values of fish stocks, fleet numbers and catch. It is interesting to note that this tells us that catch and stock size are not simply proportional, but instead obey a complex relationship reflecting the state of knowledge and communication among fishermen. Pressing ESC again brings back the map.

The program allows, using the input/output option, previously stored files containing parameter/initial condition sets to be loaded, and also for saving existing situations and parameter values.

The essential point that emerged form the fishing model was that success in fishing, as in life, requires two almost contradictory facets of behaviour. First, the ability to organize one's behaviour so as to exploit the information available concerning "net benefits" (to be rational) which we have called "Cartesian" behaviour. More surprisingly, however, a second ability is required,

that is to be able to ignore present information and to "explore" beyond present knowledge. We have called these kinds of fishermen "Stochasts". The first makes good use of information, but the second generates it! At the root of creativity is always this second type.
In the short term it is always true that the more "rational" actor must outperform the less, and therefore that for example taking steps to maximise present profits must, by that yardstick, be better than not doing so. Nevertheless, over a longer period the best performance will not come from the most rational but instead from behaviour which is some complex compromise.
For example, a fleet of Cartesians which goes where available information indicates highest profits will in fact lock into zones for much too long, remaining in ignorance of the existence of other, more profitable zones simply because there is no information available concerning "other zones": "You don't know what it is you don't know".
New information can only come from boats which have "chosen" not to fish in the "best" zones, or who do not share the concensus values, technology or behaviour, and hence who generate information. They behave like risk takers, but may or may not see themselves as such. They may act as they do through ignorance, or through a belief in some myth or legend. Whatever the reason, or lack of it, they are vital to the success of the fishing endeavour as a whole. It is their exploration that probes the value of the existing pattern of fishing effort, and lays the foundations for a new one.
As information is generated concerning the existence of new, rich fishing grounds, so the value of this starts to fall as the news spreads, and exploitation rates increase there. We see a cyclic pattern in the discovery of value in a zone, the spread of information and with it the saturation or exhaustion of the discovery, calling for fresh explorations (Allen and Mc Glade, 1987b). The model can be used either as an overall management tool, linking ecosystem, fleet technology and behaviour, and the market, or for the benefit of any particular fleet wishing to improve its performance.

LEARNING HOW TO FISH

The approach described above can in fact be completely inverted. Instead of supposing that we know, from observation, the parameters which characterize the fishing strategies of different fleets, we can use the model to discover robust fishing strategies for us.
To do this, we can run many fleets simultaneously (our current software will run up to 8) from identical initial conditions. The fleets differ, however, in the values of the parameters governing their fishing strategy, and whether or not they spy on, and copy some other fleets. A slightly modified version of the model will reinforce the more effective strategies, and gradually eliminate the others, and by including a stochastic change in strategies for losing fleets, our model will gradually evolve sets of compatible behaviours. Each of these will be effective in the context of the others, not objectively optimal. In addition, such a system can adapt to changed external circumstances, and could be used to show us "robust heuristics" for the exploitation of renewable natural resource. This is clearly similar in aim to the work on "learning algorithms"(Holland, 1986; Miller, 1988)).
The software which we have developed has several potential areas of application. The first is certainly in understanding and teaching how complex systems involving humans really operate. The pattern of fishing effort at any time cannot be "explained" as being optimal in any way, but instead is just one particular moment in an unending, imperfect learning process involving the ocean, the natural ecosystem and the fishermen.
Many interesting ideas can be explored using the model, by for example, comparing the evolution of two fleets which are identical in all but one respect. In this way strategies can be studied, and the real complexity of the system glimpsed, as the mutual interdependence of human behaviour is made clear. The model is instructive on many levels, revealing the weakness of our oversimplistic intuitions concerning what is good and what is bad, and how to intervene in a complex, evolving system.
In practical terms, the software is proposed as a prototype version showing for the Scotian Shelf fisheries, what could be developed more generally for any others. It provides the basis for a policy exploration tool which allows the consequences of different regulations on policy options to be estimated, taking into account the response both of the human participants of the system as well as of the ecological environment.
In this way, the further, practical extensions of the work developed here will provide a real improvement in the management of fisheries, and in maintaining and improving their sustainable long term exploitation.

DISCUSSION

Instead of viewing evolutionary dynamics as the progress of a population up a given (if complex) landscape, our models show how the landscape itself is produced by the populations in interaction, and how the detailed history of the exploration process itself affects the outcome. Paradoxically, uncertainty is therefore inevitable, and we must face up to this.
Long term success is not just about the solving of optimization problems, but also about the optimization problems posed to the other parts of the system. An ecology consists of selfconsistant "sets" of populations, both posing and solving the problems and opportunities of their mutual existence.
Innovation occurs because of non average individuals and initiatives, and whenever this leads to an exploration into an area where positive feedback outweighs negative, then growth will occur. We assign "value" afterwards. It is only when we wish to rationalize what we see that we insist that there was some pre-existing "niche" which was revealed by the supply. The future,

then, is not contained in the shape of the hills, since they are fashioned by the explorations of climbers.

Does this mean that there is no overall effect of evolution? Is no function (thermodynamic?) maximised or minimised by it, which would characterize climax ecosystems and mature societies? Indeed, do «climax» ecosystems and «mature» societies really exist or is evolution actually continuing under an apparently stable envelope?

The answer suggested by our work is that stability is a mask that hides evolutionary potential. Only if deviant behaviour is constantly suppressed by selection do the existing structure and organization appear to be stable. But, in fact, there is a pool of hidden adaptability in the system, which allows the ecosystem to adjust and restructure in an organic and non-mechanical way. Sustainability is linked to these properties of hidden adaptability rather than to the attainment of some stationary, stable optimal. Evolution gives rise to a nested hierarchy of spatio-temporal structures, from microbes to Gaia, which continue to evolve.

In human systems, at the microscopic level, decisions reflect the different expectations of individuals, based on their past experience. The interaction of these decisions actually creates the future, and in so doing fails to fulfill the expectations of many of the actors. This may either lead them to modify their (mis) understanding of the world, or, alternatively simply leave them perplexed. Evolution in human systems is therefore a continual, imperfect learning process, spurred by the difference between expectation and experience, but rarely providing enough information for acomplete understanding. It is this very "ignorance", or multiple misunderstanding, that allows exploration, and hence learning. In turn the changes in behaviour that are the external sign of that "learning" induce fresh uncertainties in the behaviour of the system, and therefore new ignorances. This offers a much more realistic picture of the complex game that is being played in the world, and one which our models can begin to quantify and explore.

Instead of the classical view of science eliminating uncertainty, the new scientific paradigm reveals a world of inevitable uncertainty. But, rather than viewing this with dismay, our new understanding of evolutionary processes tells us that this is quite natural and normal. Evolution is not necessarily progress and the future is not preordained, it is created from our differing beliefs about it. This is why it will always be full of surprises, and in this situation the first step towards wisdom is the recognition that this is so, and the second is to develop and make use of mathematical models which capture this truth.

REFERENCES

• P.M. Allen. 1988. «Evolution: Why the Whole is greater than the sum of its parts», *in* Ecodynamics, Springer-Verlag, Berlin.

• P.M.Allen and J.M.McGlade. 1987. «Evolutionary Drive: The Effect of Microscopic Diversity, Error Making and Noise», Foundations of Physics, Vol.17, N°.7, July.

• P.M.Allen and J.M.McGlade. 1989. «Optimality, Adequacy and the Evolution of Complexity», *in* «Structure, Coherence and Chaos in Dynamical Systems», Eds. Christiansen and Parmentier, Manchester University Press, Manchester.

• P.M.Allen and J.M.McGlade. 1986. «Dynamics of Discovery and Exploitation: the Scotian Shelf Fisheries», Can. J. of Fish. and Aquat. Sci. Vol.43, N°.6.

• P.M.Allen and J.M.McGlade. 1987a. «Modelling Complex Human Systems: a Fisheries Example», European Journal of Operations Research, 30: p147-167

• P.M.Allen and J.M.McGlade. 1987b. «Managing Complexity a Fisheries Example», Report to the United Nations University, Tokyo.

• K.Arrow and G.Debreu.1954. «Existence of an equilibrium for a competitive economy», Econometrica.

• G.Debreu. 1959. «Theory of Value», John Wiley and sons.

• J.Holland. 1986. «Escaping Brittleness: The possibilities of General Purpose Machine Learning Algorithms Applied to Parallel Rule Based Systems», *in* Michalski *et al.*, «Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach», Vol 2. Los Altos, California, Kauffmann.

• J.M.McGlade and P.M.Allen. 1985. «The Fishing Industry as a Complex System», Can. Tech. Fish and Aquat. Sci. No 1347, Fisheries and Oceans, Ottawa.

• J.H.Miller. 1988. «The Evolution of Automata in the Repeated Prisoner's Dilemma».

• G.Nicolis and I.Prigogine. 1977. «Self-Organization in Non-Equilibrium Systems», Wiley Interscience, New York.

• I.Prigogine and I.Stengers. 1987. «Order out of Chaos», Bantam Books, New York

• L. Van Valen. 1973. «A New Evolutionary Law», Evolutionary theory, Vol 1, p1-30.

APPENDIX 1

The fish equations are:

$$dx_1/dt = bx_3*(1 - B/C.C.) - m_1*x_1 - x_1/\tau - x_1*s_{1i}*e_i*y_i/(1+s_{1i}tau_iB)$$

$$dx_2/dt = x_1/\tau - x_2/\tau - m_2*x_2 - x_2*s_{2i}*e_i*y_i/(1+s_{2i}tau_iB)$$

$$dx_3/dt = x_2/\tau - m_3*x_3 - x_3*s_{3i}*e_i*y_i/(1+s_{3i}tau_iB)$$

where:
x_j (j= 1,2,3) are the 3 age cohorts of the haddock stock - 0 to 2yrs; 2 to4 yrs and 5+ yrs.
τ = time of cohort span
B = total haddock biomass
C.C. = total haddock «carrying capacity», which was put equal to the largest amount ever observed.
m_j (j=1,2,3) = the mortality rate for each age class.
s_{ji} = intersection rate between haddock j and fleet i. (Catchability)
tau_i = the time for 1 boat to deal with 1 unit (1000 tons) of haddock.
e_i = effort per boat i. ($0< e_i <1$)

The equations governing the behaviour of the fishing fleets involved not only the numbers of boats fishing for haddock, but also the effort per boat. In fact, we know that if necessary, fishermen can and do double their effort, and therefore management that does not take this into consideration could misjudge the effective fishing effort by 100%.

The number of boats of fleet i is changed by the profitability of fishing.

$$dy_i/dt = r_i*y_j*(Rev_i/costs_i - 1)$$

where:
y_i is the number of boats of fleet i fishing for haddock
r_i is a rate of response to profit or loss.
Rev_i = the fishing revenue of fleet i (catch rate for i * price/ton).
Catch rate for $i = s_{ji}*e_i*x_j/(1 + s_{ji}*tau_i*B)$
$Costs_i$ = the costs incurred by fleet i (fixed + variable).
Fixed costs are boat repayments, docking, insurance etc.
Variable, are crew, fuel, maintenance etc.

$$de_i/dt = eps_i*e_i*(costs_i/Rev_i - 1) + eta_i*(.5 - e_i)$$

where eps_i and eta_i are rate parameters for i.

Revenue depends on the price of haddock, and this depends in turn on the balance of supply and demand.

$$dp/dt = al*p*(Demand/supply - 1)$$

where:
Demand = market at price $p = MA*(p/p_o + eps*(p/p_o)^4)^{el}$
MA = the initial market
p_o = the initial price
el = the elasticity of demand
eps is a parameter linked to the rate of fall of demand with price.
Supply = total catch rate for all fleets.

31 • Relations entre sels nutritifs et chlorophylle : une approche exploratoire

CLAUDE ROY
Chercheur ORSTOM, CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal

RÉSUMÉ

A partir de prélèvements hebdomadaires en un point du littoral de la presqu'île du cap Vert (Sénégal), les relations entre la température, le nitrate et la chlorophylle sont analysées en période d'upwelling. Une analyse statistique exploratoire montre que la relation entre les sels nutritifs et la biomasse phytoplanctonique n'est pas linéaire, mais présente un seuil. Pour des biomasses phytoplanctoniques faibles, les teneurs en sels nutritifs sont peu affectées par le phytoplancton. Au-delà d'un seuil estimé à 1 $\mu g.l^{-1}$, un accroissement de la biomasse phytoplanctonique entraîne une chute des teneurs en sels nutritifs. Une régression non linéaire est utilisée pour transformer la variable chlorophylle, afin de linéariser la relation entre nitrate et chlorophylle. La prise en compte de cette variable transformée dans un modèle de régression multiple montre que les fluctuations de la biomasse phytoplanctonique permettent d'expliquer une part de la variance observée dans les relations NO_3/T.

ABSTRACT

From weekly sampling of the coastal waters in an upwelling area (Cape-Verde peninsula, Senegal), the relationships between nitrate, temperature and chlorophyll are investigated. An exploratory statistical analysis shows that the relation between the nitrate concentration and the phytoplankton biomass is not linear, there is a threshold value for chlorophyll values around 1 $\mu g.l^{-1}$. Above this threshold, nitrate concentration and chlorophyll are negatively correlated. To linearize the relation between chlorophyll and nitrate, a transformed chlorophyll variable is calculated using a non linear regression. The used of the transformed chlorophyll variable in a multiple linear regression shows that the fluctuations of the phytoplankton biomass are able to explain a part of the variance observed in the nitrate/temperature relationships.

INTRODUCTION

Oudot et Roy (présent volume) et Roy et Oudot (présent volume) ont étudié la variabilité saisonnière et interannuelle de la dynamique de quelques paramètres physico-chimiques et biologiques dans l'upwelling sénégalais de 1985 à 1989. Dans cet écosystème, la relation entre nitrate et température est linéaire pour les températures inférieures à 21 °C. La pente et la dispersion des points autour de la droite de régression NO_3/T sont variables d'une année à l'autre. Différentes hypothèses ont été proposées pour tenter de rendre compte de cette variabilité. Parmi ces hypothèses, l'effet des fluctuations d'abondance de la biomasse phytoplanctonique a été envisagé comme facteur explicatif. En effet, le cycle

saisonnier de la chlorophylle (biomasse phytoplanctonique) présente une structure bimodale avec des maxima en début et en fin de saison d'upwelling, mais d'intensité variable d'une année à l'autre (Oudot et Roy, présent volume). Dans une masse d'eau, à une température donnée, la quantité de sels nutritifs dépend en partie de la biomasse phytoplanctonique, des fluctuations d'abondance de cette biomasse se traduisent par une dispersion des points autour de la droite de régression NO_3/T.

MÉTHODOLOGIE: UNE ANALYSE EMPIRIQUE

Dans une masse d'eau issue d'un upwelling, nitrate et chlorophylle sont en général deux paramètres inversement corrélés: le développement de la biomasse phytoplanctonique se fait au détriment des sels nutritifs présents dans cette masse d'eau. De nombreux travaux ont décrit la dynamique du plancton suite à un enrichissement dans les zones d'upwelling (Dugdale, 1976; Herbland et Voituriez, 1974; Barber et Smith, 1981; Minas *et al.*, 1982; Kokkinakis et Wheeler, 1987). Cependant, rien ne permet d'affirmer que la relation entre nitrate et chlorophylle soit linéaire et monotone. Des outils exploratoires comme celui développé par Breiman et Friedman (1985) s'avèrent ici particulièrement utiles car, contrairement aux outils classiques, cette méthode permet d'explorer les relations existant entre un jeu de variables, sans émettre d'hypothèse restrictive sur la forme de ces relations.

L'algorithme proposé par Breiman et Friedman (1985) calcule, par itérations successives et de façon empirique, les transformations à appliquer à une variable dépendante et à des variables explicatives, de façon à maximiser le coefficient de corrélation entre ces variables. L'unicité de ces transformations a été démontrée. L'algorithme converge vers une solution optimale et produit, non pas une équation, mais une transformation empirique lissée de chacun des points et pour chacune des variables. Les formes de ces transformations sont ensuite visualisées en traçant chacune des variables transformées en fonction des variables originelles. Cet algorithme diffère de ceux utilisés traditionnellement en statistique par le fait qu'aucune hypothèse restrictive n'est émise au préalable sur la forme, l'appartenance à une famille connue ou la monotonie de la transformation. Une estimation du pourcentage de variance expliquée par ces transformations est donnée par l'algorithme, elle permet d'évaluer la pertinence du choix du modèle.

Cette méthode exploratoire a été utilisée dans le domaine des pêches par Mendelsshon et Cury (1987, 1989), Mendelssohn et Mendo (1987) et Cury et Roy (1989). Comme dans toute analyse empirique, l'interprétation des transformations obtenues doit être effectuée avec précaution; les formes obtenues doivent impérativement être validées par une interprétation correspondant à un processus connu ou réaliste. Des tests complémentaires sont réalisés en observant la stabilité des transformations obtenues en supprimant une ou plusieurs variables explicatives.

Dans le cas où les transformations obtenues ne sont pas linéaires mais appartiennent à une famille de courbes connue, les paramètres de l'équation de la transformation de ces variables peuvent être estimés à l'aide d'une régression non-linéaire entre les données transformées et les données originelles. Ensuite, un modèle de régression linéaire multiple peut être construit à partir des variables ainsi transformées.

ESTIMATION ET MODÉLISATION DES RELATIONS ENTRE NITRATE, TEMPÉRATURE ET CHLOROPHYLLE

Une approche exploratoire

Les données de nitrate, température et chlorophylle proviennent des observations hebdomadaires réalisées en période d'upwelling à la station côtière de Yoff (presqu'île du cap Vert, Sénégal) entre 1985 et 1989 (Oudot et Roy, présent volume). Seules les températures inférieures à 21°C ont été prises en compte, cette valeur correspondant à un seuil de température au-delà duquel les concentrations de nitrate deviennent proches de zéro. La relation entre nitrate et température est linéaire avec cependant une dispersion importante des points (fig. 1). La relation entre nitrate et chlorophylle est difficilement interprétable; une décroissance progressive du nitrate pour des valeurs de chlorophylle supérieures à 2 $\mu g.l^{-1}$ semble cependant apparaître (fig. 1).

Cette analyse diffère de celles réalisées à l'aide des modèles de régression classiques (Voituriez et Herbland, 1984; Oudot et Morin, 1987; Roy et Oudot, présent volume) où une relation linéaire entre les paramètres est fixée a priori. L'algorithme utilisé ne faisant au préalable aucune hypothèse sur la forme des relations entre les variables, l'existence éventuelle d'un seuil et/ou d'une non-linéarité peut être mis en évidence.

Les transformations optimales des variables nitrate et température calculées pour la relation NO_3=f(T, CHL) ont une forme linéaire, croissante pour le nitrate et décroissante pour la température (fig. 2). L'interprétation de ces transformations est la suivante:

- il n'y a pas lieu de transformer la variable dépendante (NO_3) pour maximiser la corrélation entre les variables,
- les teneurs en nitrate sont inversement corrélées avec la température. C'est la relation classique entre les sels nutritifs et la température.

La forme de la transformée de la chlorophylle présente un point d'inflexion pour des valeurs de chlorophylle d'environ 1,0 $\mu g.l^{-1}$ (fig. 2). Entre 0 $\mu g.l^{-1}$ et ce point d'inflexion, la relation entre la variable transformée et la variable originelle est schématisée par une relation linéaire croissante. Pour des valeurs de chlorophylle supérieures à 1 $\mu g.l^{-1}$, la forme de la transformée est linéaire décroissante. L'interprétation d'une telle transformation est la suivante:

- pour des valeurs de chlorophylle entre 0 et 1 $\mu g.l^{-1}$, il y a une corrélation positive entre nitrate et chlorophylle, l'amplitude de la variabilité de la transformée est faible.
- pour des valeurs de chlorophylle supérieures à 1 $\mu g.l^{-1}$, chlorophylle et nitrate sont inversement

Fig. 1

Relation entre: (a) nitrate (µmol l^{-1}) et température (°C)
(b) nitrate et chlorophylle (µg l^{-1}) à la station de Yoff.

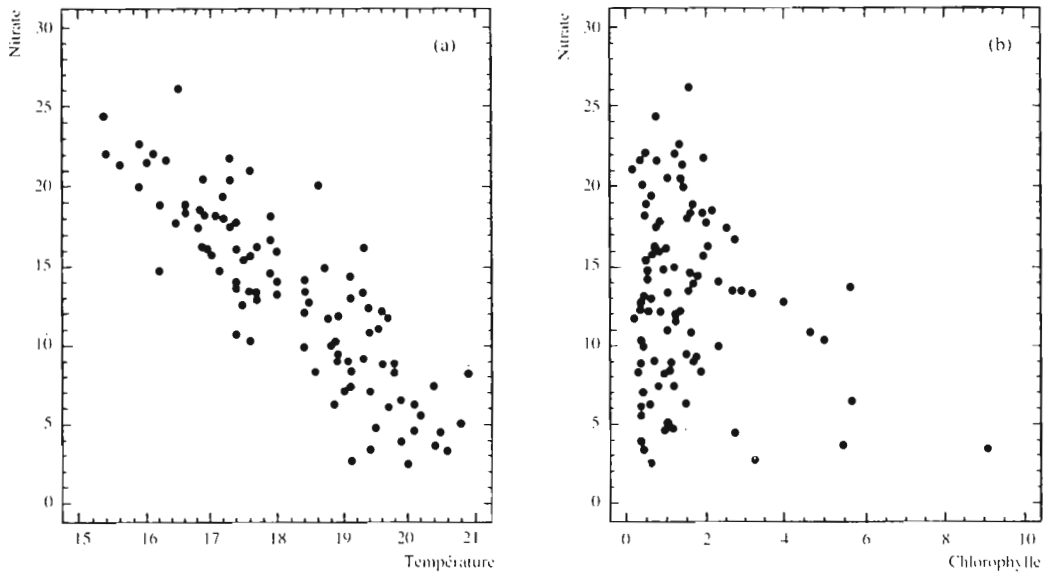
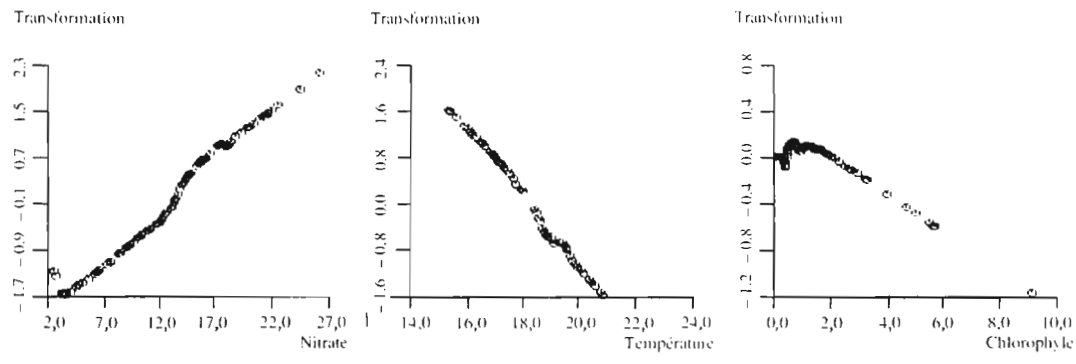


Fig. 2

Transformations optimales pour le nitrate, la température et la chlorophylle à Yoff.



corrélées. Plus la chlorophylle est abondante, plus la consommation de nitrate est élevée. Un accroissement de la biomasse phytoplanctonique entraîne une chute des teneurs en sels nutritifs.
Une estimation de la contribution des variables explicatives est obtenue en comparant l'amplitude de chacune des transformées. Celle de la température est de 3,2, celle de la chlorophylle est de 1,4. La contribution de la variable température pour expliquer la variabilité des nitrates est donc supérieure, dans un rapport de 2,3, à la contribution de la variable chlorophylle. Supprimer la variable température dans le calcul des transformations ne modifie pas la forme de la transformée de la chlorophylle et de la valeur du seuil, ce qui renforce la validité de la transformation obtenue.

Estimation de l'équation de la transformée de la chlorophylle.

Une recherche empirique à partir de différentes équation montre qu'une équation du type:

$$y = [a*\log(x+b)]*[1-\log(x+b)]$$

a une forme proche de celle de la transformée de la chlorophylle. Les paramètres de l'équation sont alors estimés (tab. 1) à l'aide de la méthode de Marquardt; l'ajustement permet d'expliquer 96 % de la variance et est présenté sur la figure 3. Les données de chlorophylle transformées (notées CHLt) sont estimées à partir de cette régression non linéaire.

Modélisation

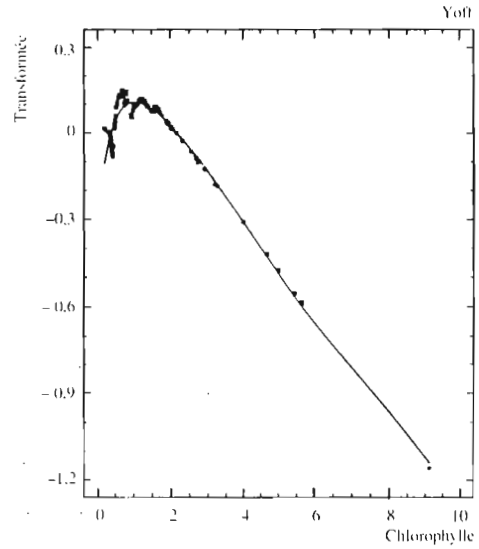
La transformation de la variable chlorophylle permet d'utiliser une régression linéaire multiple, prenant en compte les données de température originelles et celles de chlorophylle transformées, pour modéliser la variabilité des nitrates à la station côtière de Yoff. Un modèle «pas à pas» $NO_3 = f(T, CHLt)$ montre que l'apport de la variable chlorophylle permet d'accroître de 3 % le pourcentage de variance expliquée. La régression multiple $NO_3 = f(T, CHLt)$ explique 76 % de la variance (tab. 2). Les valeurs des estimateurs des paramètres de cette régression sont tous significatifs ($p<0,01$).

DISCUSSION

Dans la bordure littorale, échantillonnée à partir des données de la station côtière de Yoff, les fluctuations de la biomasse phytoplanctonique permettent d'expliquer une part de la variance observée dans les relations NO_3/T. La relation entre les sels nutritifs et la biomasse phytoplanctonique n'est pas linéaire et présente un seuil. Pour des biomasses phytoplanctoniques faibles, les teneurs en sels nutritifs sont peu affectées par le phytoplancton. Au-delà d'un seuil estimé à 1 $\mu g.l^{-1}$, un accroissement de la biomasse phytoplanctonique entraîne une chute des teneurs en sels nutritifs.
Après avoir transformé la variable chlorophylle afin de linéariser la relation entre cette variable et la variable nitrate, la prise en compte de cette variable dans un modèle de régression linéaire multiple $NO_3=f(T, CHLt)$ entraîne un accroissement du pourcentage de la variance expliquée (R^2) de 3 %. Le pourcentage total des observations, où la teneur en chlorophylle est supérieure à 2 $\mu g.l^{-1}$, ne dépasse pas 17 %. Ce faible pourcentage de données, pour lesquelles la teneur en chlorophylle est suffisamment importante pour entraîner une chute des teneurs en sels minéraux, explique le faible accroissement du R^2 obtenu en utilisant le modèle $NO_3 = f(T, CHLt)$. En 1985, 88% des observations de chlorophylle sont supérieures à 1 $\mu g.l^{-1}$; la prise en compte dans le modèle de la variable chlorophylle transformée entraîne cette fois un accroissement du R^2 proche de 10% (tab. 3). La biomasse phytoplanctonique est un des facteurs pouvant entraîner une dispersion des points autour de la relation NO_3/T. Cependant, l'importance de la contribution de ce processus semble dépendre du niveau de la biomasse phytoplanctonique.

Fig. 3

Ajustement entre chlorophylle et chlorophylle transformée à partir du modèle:
$CHLt = |0.39*\log(CHL+0.62)| * [1-\log(CHL+0.62)]$



CONCLUSION

La mise en évidence d'un seuil, au-delà duquel il est nécessaire d'intégrer les fluctuations de la biomasse phytoplanctonique pour rendre compte de la relation entre température et nitrate, n'est pas un résultat surprenant. L'existence de non-linéarité, de seuil constitue sans doute les caractéristiques élémentaires des interactions entre les composantes d'un système vivant. Bien que ces

résultats n'apportent pas d'informations nouvelles sur la dynamique du plancton, ils permettent d'illustrer, de manière empirique, les effets de cette dynamique sur les sels nutritifs. La dispersion des points sur un diagramme nitrate/température peut être, dans certains cas, expliquée par la biomasse phytoplanctonique, cependant ce n'est pas le seul facteur pouvant modifier la dynamique des sels nutritifs au sein d'une masse d'eau. De nombreuses questions restent encore sans réponse: quelle est la signification écologique de ce seuil ? Retrouve-t-on cette relation entre nitrate et chlorophylle à partir d'autres types de données (structure verticale ou spatiale), dans d'autres écosystèmes ?

Tableau 1

Valeurs des paramètres de l'ajustement non linéaire entre la variable chlorophylle transformée et les valeurs originelles de chlorophylle.

modèle	$CHLt=[a*(\log(CHL+b)]*[1-\log(CHL+b)]$	
	ddl=96 $R^2 = 0,96$	
valeurs des paramètres	a = 0,39 (±0,016)	p<0,01
	b = 0,62 (±0,036)	p<0,01

Tableau 2

Valeurs des paramètres de la régression linéaire entre nitrate, température et chlorophylle transformée.

$NO_3 = 75,0(\pm7,40) - 3,39(\pm0,40)*T + 5,58(\pm2,90)*CHLt$

ddl=96 $R^2 = 0,77$

Tableau 3

Valeurs des paramètres des régressions linéaires, en 1985, entre: (a) nitrate et température; (b) nitrate, température et chlorophylle transformée

(a) $NO_3 = 65,5(\pm11,4) - 2,8(\pm0,6)*T$

ddl=16 $R^2 = 84\%$

(b)
$NO_3 = 68,50(\pm7,40) - 3,03(\pm0,40)*T + 11,37(\pm4,82)*CHLt$

ddl=15 $R^2 = 93\%$

BIBLIOGRAPHIE

• Barber, R.T. and R.L. Smith. 1981. Coastal upwelling ecosystems. *In*: Analysis of marine ecosystems, A. Longhurst(ed.), Academic Press, p. 31-68.

• Breiman, L. and J.H. Friedman. 1985. Estimating optimal transformations for multiple regression and correlation. J. Amer. Stat. Assoc., 80: 580-619.

• Cury, P. and C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 46: 670-680.

• Dugdale R.C. 1976. Nutrients cycle. *In* D.H. Cushing et J.J. Walsh, (eds), The ecology of the sea. Blackwell Scient. Publ., Oxford, p. 141-172.

• Herbland, A. et B. Voituriez. 1974. La production primaire dans l'upwelling mauritanien en mars 1973. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr. 12 (3): 187-201.

• Kokkinakis S.A. et P.A. Wheeler. 1987. Nitrogen uptake and phytoplancton growth in coastal upwelling regions. Limnol. Oceanogr., 32, 5: 1112-1123.

• Mendelssohn, R. and J. Mendo. 1987. Exploratory analysis of anchoveta recruitment off Peru and related environmental series.: 294-306. *In* D. Pauly and I. Tsukayama (eds.). The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change. ICLARM studies and Reviews 15, 351p. IMARPE, Callao, Peru; GTZ, Eschborn, Federal Republic of Germany; and ICLARM, Manila, Philippines.

• Mendelssohn, R. and P. Cury. 1987. Fluctuations of a fortnightly abundance index of the Ivoirian coastal pelagic species and associated environmental conditions. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44:408-428.

• Mendelssohn, R. and P. Cury. 1989. Temporal and spatial dynamics of a coastal pelagic species *S. maderensis* off the Ivory Coast. Can. J. Fish Aquat. Sci., 46: 1686-1697.

• Minas, H.J., L.A. Codiposti et R.C. Dugdale. 1982. Nutrients and primary production in the upwelling region off Northwest Africa. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 148-183.

• Oudot, C. et P. Morin. 1987. The distribution of nutrients in the equatorial Atlantic: relation to physical processes and phytoplancton biomass. Oceanol. Acta, vol. Sp., 6: 121-130.

• Oudot C. et C. Roy. Présent volume. Les sels nutritifs au voisinage de Dakar: cycle annuel moyen et variabilité interannuelle.

• Roy C. et Oudot C. Présent volume. La variabilité des relations nitrate-température et nitrate-phosphate dans l'upwelling sénégalais.

• Voituriez, B. et A. Herbland. 1984. Signification de la relation nitrate-température dans l'upwelling équatorial du golfe de Guinée. Océanol. Acta, 7 (2): 169-174.

32 • L'introduction d'une variable climatique dans les modèles globaux de production

PIERRE FRÉON
ORSTOM, Pôle Caraïbe, BP. 81, 97256 Fort de France Cedex, Martinique, France

RÉSUMÉ

Il est reconnu que certains stocks se prêtent mal à l'utilisation traditionnelle des modèles globaux de production, car les variations de l'effort de pêche n'expliquent qu'une trop faible partie de la variabilité totale des captures annuelles. La variabilité résiduelle provient souvent de l'influence d'un phénomène climatique qui viendra perturber soit l'abondance, soit la capturabilité moyenne du stock d'une année à l'autre. On a donc introduit dans ces modèles traditionnels une (parfois deux) variable climatique explicative supplémentaire, afin d'améliorer leur précision. Cette variable apparaît dans les formules, soit au niveau de l'abondance du stock, soit au niveau de sa capturabilité, soit au niveau de ces deux entités à la fois. On a développé ces modèles d'abord à partir du modèle linéaire de Schaefer, ensuite à partir du modèle exponentiel de Fox. Le modèle généralisé de Pella et Tomlinson n'a été utilisé comme point de départ que dans un seul cas. Les limites de ces types de modèles ont été envisagées, en particulier celles liées à la diminution du nombre de degrés de liberté et au risque d'obtenir de bons ajustements dus seulement au hasard, s'ils sont sélectionnés après une recherche exhaustive et totalement empirique parmi plusieurs variables et formules explicatives. Lorsque le stock n'est pas en équilibre (situations de transition), les cas les plus favorables à ces types de modèles sont fournis par les espèces à vie courte, ou dont la phase critique d'influence de l'environnement est relativement brève. De plus, les fluctuations inter-annuelles de l'environnement devront présenter une période de durée moyenne (suffisamment courte par rapport à la série de données, suffisamment longue par rapport à la durée de la phase critique et à celle de la phase exploitée). Dans ces conditions, les modèles permettent d'interpréter correctement le passé d'une pêcherie et, en particulier, les effondrements du stock pouvant survenir sans augmentation sensible de l'effort de pêche nominal. Parfois, cet outil peut permettre de gérer efficacement la pêcherie, pour peu que le phénomène climatique agisse uniquement au cours des années précédant l'exploitation, ou que l'on soit capable de le prévoir à moyen terme.

ABSTRACT

Conventional surplus production models are not suitable for certain stocks, because the fishing effort variations explain only a small part of the total variability of annual catches. Often the residual variability originates from the influence of climatic phenomenon, which affects either the abundance, or the catchability of the stock from one year to the next. Therefore, in this paper one (sometimes two) additional environmental variables has been inserted into the conventional models in order to improve their accuracy. This variable appears in simple formulae, either at the level of the stock abundance, or at the level of the catchability coefficient, or at both levels. These models have been developed from Schaefer's linear production model, and from Fox's exponential model. The generalised

production model (Pella and Tomlinson) has been used as a starting point only in one case. The limitations of these kinds of models have been considered, especially those related first to the decrease in number of degrees of freedom and secondly in getting good fittings between predicted and observed values due only to chance if they are selected after an exhaustive and fully empirical procedure of research, among many variables and formulas. When the stock is not under equilibrium (transitional state), the most favourable cases are obtained with the short-life species, or when the critical period of the environmental influence is relatively short. In addition its inter-annual fluctuations should show a mean time period (short enough according to the data set length, long enough according to the critical period length and to the length of the exploited stage). Under these conditions, the models allow for 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.

INTRODUCTION

On distingue classiquement deux grandes familles de modèles de production permettant de décrire, et si possible de prévoir, l'évolution des captures d'un stock exploité: les modèles globaux (ou synthétiques) et les modèles structuraux (ou analytiques). Les premiers ne prennent en compte qu'une seule variable explicative: l'effort de pêche exercé sur le stock. Il s'agit du modèle de base linéaire, dit de Schaefer (Graham, 1935; Schaefer, 1954), duquel sont dérivés deux autres modèles très connus: le modèle exponentiel (Garrod, 1969 ; Fox, 1970) et le modèle généralisé de Pella et Tomlinson (1969). Ces modèles ont fait l'objet de nombreuses critiques et adaptations afin d'améliorer les ajustements, particulièrement en situation de non-équilibre de la pêcherie ou lors d'existence de délais de réponse du stock (Schaefer, 1957; Gulland, 1969; Fox, 1975; Walter, 1973, 1975, 1986; Schnute, 1977; Fletcher, 1978; Rivard et Bledsoe, 1978; Uhler, 1979; Walter, 1986).

Dans ces modèles, la variabilité non liée à la pêche est considérée comme un bruit de fond, que l'on suppose aléatoire. Certains modèles élaborés plus récemment comportent une variable aléatoire qui a pour but de simuler ce bruit de fond. Ces modèles sont alors dits stochastiques (voir par exemple Doubleday, 1976).

Par ailleurs, des relations entre les fluctuations de l'environnement et l'abondance ou la disponibilité des stocks ont été mises en évidence dans de nombreuses occasions, et ont parfois été quantifiées. On en trouvera des exemples dans les travaux de synthèse tels que ceux publiés ou édités par Saville (1980), Le Guen et Chevallier (1983), Sharp et Csirke (1983) ou Csirke et Sharp (1983).

Nous n'avons cependant pas relevé dans la littérature l'utilisation de modèles de production synthétiques et déterministes prenant en considération, à la fois l'effet de l'effort de pêche f, et celui d'une variable V liée à l'environnement. Bien que cette approche ait été suggérée depuis longtemps (Dickie, 1973), seuls Griffin *et al.* (1976) ont, à notre connaissance, utilisé une relation empirique reliant les captures Y de crevettes à l'effort de pêche et au débit des fleuves, du type:

$$Y = aV^b (1-c^f)$$

où a, b et c sont des constantes. Ce type de relation ne peut s'appliquer que sur un court intervalle de variation de l'effort, en-deçà de l'optimum (ou pour un recrutement indépendant de f), puisque Y est une fonction croissante et asymptotique selon f. Pourtant, comme nous le verrons, les bases théoriques de tels modèles figurent implicitement dans bon nombre de travaux d'écologie terrestre ou aquatique, où sont étudiés les effets des changements d'habitat sur une population donnée. Dans le cadre de l'approche analytique, en revanche, divers auteurs (Nelson *et al.*, 1977; Loucks et Sutcliffe, 1978; Parrish et Mac Call, 1978) ont introduit des variables hydroclimatiques dans les modèles de production structuraux usuels, mais ceux-ci nécessitent toujours des connaissances fines et quantitatives sur la totalité, ou partie, du cycle biologique de la population étudiée (mortalité naturelle, recrutement, structures démographiques, croissance, reproduction). On rencontre le même type de difficulté lorsque l'on utilise les modèles de simulation portant sur l'ensemble des biomasses de l'écosystème (Laevastu et Larkins, 1981).

Dans un article antérieur, nous avions effectué une modélisation de la pêcherie de sardinelles du Sénégal, en appliquant empiriquement un modèle de production global exponentiel, auquel nous avions intégré un indice d'upwelling (Fréon, 1983). L'objectif de cet article est de développer les bases théoriques de ce type de modèle. On distinguera deux modalités d'action de l'environnement, que l'on attribuera ici à des variations hydroclimatiques: effet sur la production du stock, ou sur la capturabilité des individus qui le constituent. Dans chacun de ces deux cas, on étudiera les trois grands groupes de modèles globaux: linéaire, exponentiel et généralisé. On envisagera ensuite le cas où l'action du phénomène hydroclimatique se situe à la fois sur la production et sur la capturabilité.

MODALITÉ D'ACTION D'UNE VARIABLE CLIMATIQUE SUR UN STOCK

Définitions

On entendra ici par variable climatique un quelconque élément de l'environnement capable de fournir un in-

dice, direct ou indirect, sur un phénomène naturel influençant les captures réalisables sur un stock. Il peut s'agir, pour ne citer que quelques exemples, de la température (de l'air ou de l'eau), la salinité, la force des vents, la turbidité, l'intensité et la direction des courants, l'ensoleillement, la pluviométrie, le débit des fleuves, etc. On remarquera que, dans certains cas, une même variable climatologique pourra avoir des incidences à divers niveaux, parfois d'effets opposés. Le cas du vent est exemplaire à ce sujet: il peut être un indice d'upwelling (on utilisera alors le carré d'une composante directionnelle) et aura un effet bénéfique sur l'abondance, mais il est aussi un indice de turbulence (on utilisera alors le cube des vecteurs de vents, indépendamment de leur direction) et peut avoir, à d'autres périodes ou sur d'autres stocks, un effet négatif sur la reproduction (Sharp, 1980; Fréon, 1984; Parrish *et al.*, 1984), ainsi qu'un effet négatif sur la capturabilité.
Notons enfin que, dans certains cas, la variable climatique pourra être observée dans un lieu géographique très éloigné de l'aire de répartition du stock étudié, en raison de l'existence d'interactions (certains diront de caprices) hydroclimatiques complexes (Wyrtki, 1973). Dans le même ordre d'idée, des décalages temporels, voire spatio-temporels, peuvent être observés entre les fluctuations de la variable climatique et ses effets directs ou indirects sur le stock.
Les termes de capturabilité, accessibilité, vulnérabilité et disponibilité recouvrent des significations sensiblement différentes selon les auteurs. Nous retiendrons ici les définitions données par Laurec et Le Guen (1981):

- l'accessibilité correspond à la présence physique des animaux sur les lieux de pêche,
- la vulnérabilité dépend des interactions in situ entre engin et animaux ; elle est souvent liée à des problèmes de comportement,
- la disponibilité est la conjugaison des deux phénomènes précédents,
- la capturabilité q est la probabilité, pour un individu pris au hasard dans un ensemble, d'être capturé par une unité de pêche. C'est donc une mesure de la disponibilité.

La production et l'abondance d'un stock seront ici implicitement exprimées en poids, ce qui sous-entend qu'elles seront fonction du nombre d'individus et de leur poids moyen. Pour les autres éléments 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 années
- F : mortalité instantanée par pêche
- f : effort de pêche annuel, standardisé pour être proportionnel à F: $F = qf$
- 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 (ou PUE 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 : résidu d'un ajustement
- e : base des logarithmes naturels

Relations retenues

Modèle linéaire. 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:

$$\frac{dB}{dt}\frac{1}{B} = k\frac{B_\infty - B}{B_\infty} = k\left(1 - \frac{B}{B_\infty}\right) \qquad (1)$$

Divers auteurs, travaillant sur le milieu terrestre, ont envisagé l'effet d'un changement du type d'habitat, dans le temps ou dans l'espace, sur cette relation. On en trouvera une synthèse dans les travaux de Mac Call (1984). L'effet du changement d'habitat peut être traduit de trois façons théoriques distinctes au niveau de la relation (1): soit un effet sur B_∞ uniquement (fig. 1a), soit sur k uniquement (fig. 1b), soit sur ces deux paramètres à la fois. Bien que les modèles globaux se résument à une «boîte noire» dans laquelle ne sont pas discernables les effets des différents facteurs à divers stades du cycle de vie, on notera que, de façon très schématique, les variations de B_∞ peuvent être reliées à celles du recrutement, et celles de k à des variations de croissance et de la mortalité après le recrutement. 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 (1), qui peut alors s'écrire (fig. 1c):

$$\frac{dB}{dt}\frac{1}{B} = k - hB \qquad (2)$$

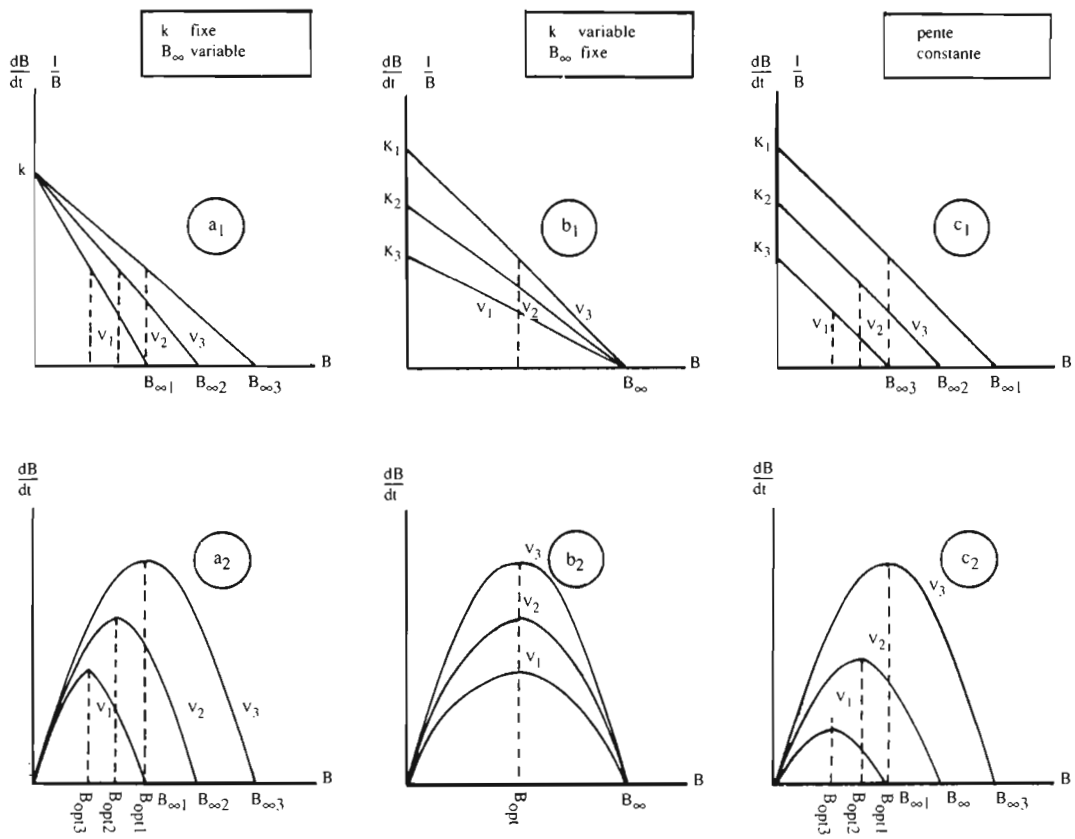
où k garde sa signification, h étant la pente constante du taux relatif d'accroissement instantané. Dans ces conditions, on remarquera que pour retrouver l'expression (1), on doit avoir: $h = k/B_\infty = cte$, et que h correspond au k de Schaefer (1954), que cet auteur considérait déjà comme une constante.
En suivant le raisonnement habituel, qui consiste à considérer que les variations de la biomasse exploitée résultent de la conjugaison des variations naturelles et du prélèvement qfB lié à la pêche, on obtient l'équation de base du modèle dit de Schaefer:

$$\frac{dB}{dt} = kB - hB^2 - qfB = hB(B_\infty - B) - qfB \qquad (3)$$

Les phénomènes hydroclimatiques, selon cette formulation, ne peuvent intervenir qu'à deux niveaux: sur q si

Fig. 1

Comparaison graphique de trois types d'effets de l'environnement sur la relation entre le taux d'accroissement de la biomasse (relatif = a_1, b_1, c_1 et absolu = a_2, b_2, c_2) et la biomasse dans les modèles linéaires pour trois valeurs (V_1, V_2 et V_3) d'une variable climatique V.



capturabilité varie, ou bien sur le couple k-B_∞ (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. Mais on gardera à l'esprit qu'à toute variation de B_∞ correspond une variation simultanée de k, et qu'un choix opposé aurait conduit à des formules équivalentes. On notera g(V) la fonction mathématique reliant une variable climatique V à B_∞ et y(V) celle reliant q à V.

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 (3) si:

$$B_e = B_\infty - qf/h = g(V) - y(V)f/h \qquad (4)$$

d'où l'on obtient:

$$U_e = qB_e = qB_\infty - q^2 f/h = y(V)\, g(V) - y^2(V)\, f/h \qquad (5)$$

$$Y_e = fU_e = qB_\infty f - q^2 f^2/h = y(V)\, g(V)\, f - y^2(V)\, f^2/h \qquad (6)$$

On obtient f_{opt} en cherchant la valeur de f qui annule la dérivée de cette dernière équation. Soit:

$$f_{opt} = B_\infty\, h/2q = g(V)\, h/2\, y(V) \qquad (7)$$

d'où $$U_{opt} = qB_\infty/2 = y(V)\, g(V)/2 \qquad (8)$$

et $$Y_{max} = B_\infty^{\,2}\, h/4 = g^2(V)\, h/4 \qquad (9)$$

Modèle exponentiel. Le modèle exponentiel décrit par Garrod (1969) et Fox (1970) suppose que:

$$\frac{dB}{dt}\,\frac{1}{B} = k\,(\log_e B_\infty - \log_e B) \qquad (10)$$

Dans cette formulation, qui n'est pas directement comparable à l'équation (1), si l'on veut obtenir comme précédemment une pente constante, on doit fixer k et supposer que $B_\infty = g(V)$. Si l'on veut appliquer une formulation similaire à celle des modèles linéaires (et compatible avec celle du modèle généralisé), on doit écrire:

$$\frac{dB}{dt}\,\frac{1}{B} = \frac{k(\log_e B_\infty - \log_e B)}{\log_e B_\infty} = k - h\log_e B = h(\log_e B_\infty - \log_e B) \qquad (11)$$

et supposer que h est une constante telle que:

$$h = k/\log_e B_\infty$$

En suivant les développements de Fox (1970), on obtient alors à l'équilibre (fig. 3b):

$$U_e = qB_\infty\, e^{-qf/h} = y(V)\, g(V)\, e^{-y(V)f/h} \qquad (12)$$

$$f_{opt} = h/q = h/y(V) \qquad (13)$$

$$U_{opt} = qB_\infty/e = y(V)\, g(V)/e \qquad (14)$$

$$Y_{max} = B_\infty h/e = g(V)\, h/e \qquad (15)$$

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. Ils sont en fait comparables au cas où, dans la relation linéaire (1), k serait fixe et seul B_∞ varierait. On obtiendrait ici aussi des valeurs uniques pour f_{opt} et pour le point d'extinction. Ceci nous a amené à développer d'autres formulations pour palier cet inconvénient.

Modèle généralisé. L'équation de base du modèle généralisé (Pella et Tomlinson, 1969) peut s'écrire (Ricker, 1975):

$$B_e = \left(B_\infty^{m-1} + \frac{qf}{h}\right)^{1/(m-1)} \qquad (16)$$

si l'on pose: $B_\infty^{m-1} = k/h$

En suivant la méthode appliquée dans le cas du modèle linéaire on obtient:

$$U_e = [((gV)\; y(V))^{m-1} + \frac{y(V)^m}{h}\, f\,]^{1/(m-1)} \qquad (17)$$

Fonctions g(V) et y(V)

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:

$$g(V) \text{ ou } y(V) = a + b\, V^c \qquad (18)$$

Les quatre relations dérivées sont les cas particuliers où:

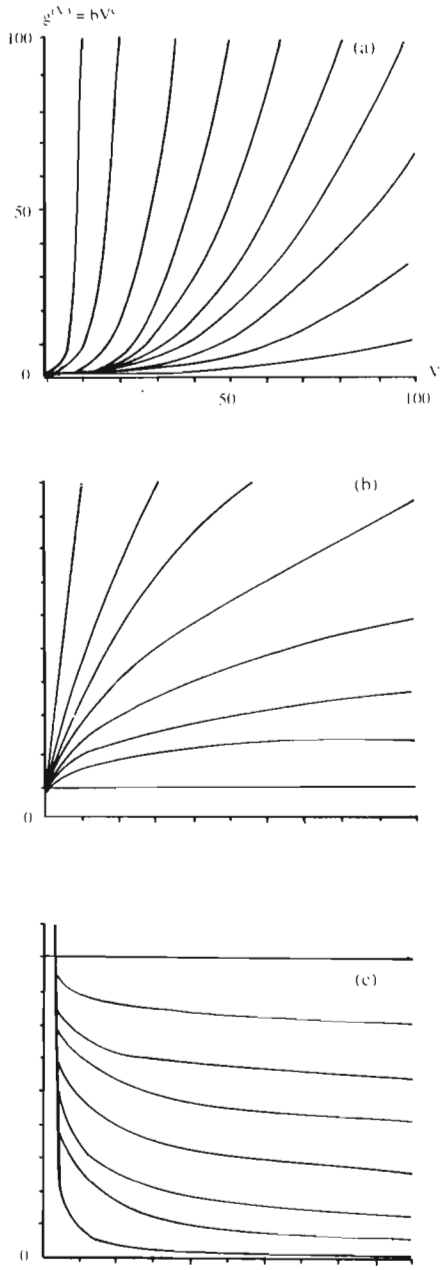
- $a = 0$; $b = 0$ et $c = 1$ soit: bV (18.I)
- $a = 0$; $b = 1$; $c \neq 0$ et $c \neq 1$ soit: V^c (18.II)
- $a \neq 0$; $b \neq 0$ et $c = 1$ soit: $a + bV$ (18.III)
- $a = 0$; $b \neq 0$ et $c \neq 1$ soit: bV^c (18.IV)

Cette dernière relation (18.IV) reste très flexible et permet de couvrir de façon satisfaisante la plupart des cas, lorsque l'on ne s'intéresse qu'au domaine où g(V) est positive et monotone (fig. 2). Mac Call (in: Fox, 1974) l'avait proposée le premier pour relier q à la biomasse. On notera cependant que cette fonction présente l'inconvénient de s'annuler lorsque $V = 0$. Si l'on utilise une variable hydroclimatique susceptible de prendre en pratique une valeur moyenne annuelle proche de zéro, on utilisera donc de préférence la relation linéaire (18.III), ou l'on transformera V au préalable par une translation linéaire. Il est en effet difficile de concevoir que B_∞ ou q puissent être nuls dans des conditions naturelles. Par ailleurs, il est des cas où g(V) n'est plus monotone et 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

Fig. 2

Exemples de domaines couverts par la fonction $g(V) + bV^c$ pour V et $g(V) > 0$.

a) $b = 0.001$ et $C > 1$;
b) $b = 10$ et $0 \leqslant C \leqslant 1$;
c) $b = 90$ et $C \leqslant 0$:



fonction parabolique:

$$g(V) \text{ ou } y(V) = aV - bV^2 \qquad (19)$$

ou la fonction utilisée par Ricker pour la relation stock-recrutement:

$$g(V) \text{ ou } y(V) = aVe^{-bV}$$

Ces cas plus complexes ne seront envisagés que pour certains modèles.

Les valeurs des paramètres a, b et c (ou de paramètres globaux p_i, les regroupant avec d'autres paramètres) seront déterminées par ajustement des modèles aux données observées. Tous les modèles présentés peuvent bien sûr s'utiliser en employant une transformation mathématique préalable de la variable V, à condition que cela se justifie par des connaissances reliant cette variable (vitesse du vent par exemple) au phénomène responsable des variations d'abondance ou de capturabilité (upwelling, turbulence). Rappelons que, comme le soulignent Bakun et Parrish (1980), le choix de la variable à incorporer dans un modèle doit être autant que possible effectué sur des critères déterministes et non empiriques. Ajoutons qu'il en est de même pour les transformations mathématiques autre que la translation linéaire (puissance, logarithme, exponentielle, etc.) que l'on choisira d'effectuer sur la variable hydroclimatique, et qu'il serait même souhaitable de pouvoir choisir objectivement la fonction g(V) ou y(V) s'adaptant le mieux au cas traité.

Nos connaissances des phénomènes biologiques et hydroclimatiques nous empêchent généralement d'aller aussi loin et l'on sera contraint, dans la plupart des cas, à adopter un ajustement global, les données, ne permettant généralement pas de séparer de visu l'effet de l'effort de pêche de celui du phénomène hydroclimatique. On voit cependant l'intérêt immédiat qu'offre le simple fait de décider si, dans la relation (18), l'ordonnée à l'origine doit ou non être nulle ou si l'exposant c peut être considéré égal à 1: cela permet de réduire le nombre de paramètres et donc de diminuer l'intervalle de confiance de ceux-ci. Les modèles conduisant à un nombre total de paramètres supérieur à quatre ne seront pas développés car, appliqués à un nombre d'années d'observation toujours réduit, le nombre de degrés de liberté serait trop faible.

PHÉNOMÈNE HYDROCLIMATIQUE AFFECTANT L'ABONDANCE DU STOCK

Modèle linéaire

Considérons un stock dans des conditions d'équilibre, non seulement avec la pêcherie, mais aussi avec l'environnement. Si l'on suppose que la capturabilité q est constante et si l'on retient l'expression (18.IV) pour exprimer g(V), l'équation (5) sera de la forme:

$$U_e = bqV^c - q^2f/h$$

soit, en regroupant les facteurs constants:

$$U_e = p_1 V^{p_2} - p_3 f \qquad (20)$$

où p_1, p_2 et p_3 sont des paramètres fixes pour un stock et

une pêcherie donnée. A partir des relations (7), (8) et (9), on peut obtenir les valeurs de f_{opt}, U_{opt} et Y_{max}. On en déduira aussi les cas correspondant à d'autres expressions de g(V), y compris le cas où cette fonction est non monotone (tab. 1). On remarquera que pour g(V) linéaire, on retrouve la formulation de l'un des modèles proposés pour la pêcherie sardinière sénégalaise (Fréon, 1983).

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 des fonctions de la variable hydroclimatique V (fig. 3a).

Modèle exponentiel

En appliquant le même raisonnement que précédemment, on obtient à partir des relations (12) à (15) divers modèles exposés au tableau 1. On voit que dans tous les cas f_{opt} est indépendant de g(V). Aussi, bien que ce type de modèle multiplicatif ait été envisagé pour la pêcherie sardinière sénégalaise (Fréon, 1983), nous lui avions préféré un autre modèle, de type exponentiel additif (fig. 4a):

$$U_e = a\, e^{-a'f} + bV + c \qquad (21)$$

qui est de la forme: $U_e = U_\infty + a - a\, e^{-a'f}$

si l'on considère que $U_\infty = bV + c - a$ (ceci afin que, lorsque f = 0, on obtienne bien: $U_e = U_\infty$).

Les valeurs f_{opt}, Y_{max} et U_{opt} n'ont pas de solution analytique, mais on peut les déterminer facilement par itération ou par méthode graphique. On vérifie qu'ici Y_{max} est toujours une fonction de V.

Si l'on considère le même type de modèle avec $U_\infty = bV^c - a$, on obtient à l'équilibre:

$$U_e = p_1\, V^{p_2} - p_3\, e^{-p_4 f} \qquad (22)$$

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, dans l'expression (10). Si l'on retient le cas simple où:

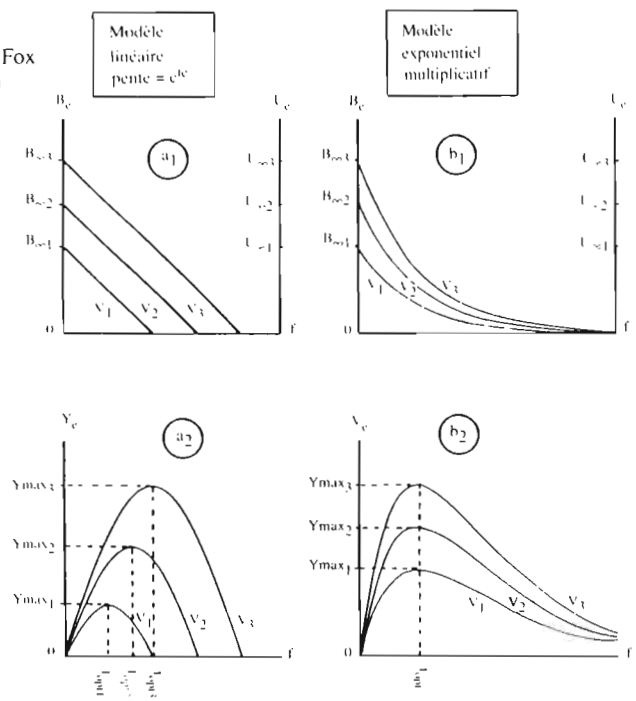
$$B_\infty = g(V) = bV^c \text{ et } k = g'(V) = b'V^{c'}$$

on obtient: $U_e = qbV^c\, e^{-qfV^{-c}/b'}$

qui est de la forme: $U_e = p_1\, V^{p_2}\, e^{-p_4 f V^{p_3}}$ (23)

Fig. 3

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 ($B_\infty = g(V)$).



d'où: $f_{opt} = 1 / p_4 V^{p_3}$

$U_{opt} = p_1 V^{p_2} / e$

$Y_{max} = p_1 V^{p_2 - p_3} / p_4 e$

Si l'on veut voir ce modèle conserver des propriétés comparables à celles du modèle linéaire (20), on doit obtenir des valeurs de p_2 et p_3 de signes opposés et différentes de zéro lors de l'ajustement (fig. 4b). 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 (tels que (21) ou (22)), soit encore d'autres types de modèles exposés ci-dessous si l'on suppose que les valeurs d'ajustement obtenues traduisent une action du phénomène climatique à la fois sur l'abondance et sur la capturabilité, ou seulement sur la capturabilité.

Modèle généralisé

On n'envisage ici que le cas ou $B_\infty = bV^c$, afin de limiter à quatre le nombre de paramètres du modèle. En suivant la méthode appliquée dans le cas du modèle linéaire on obtient:

$$U_e = [(bV^c q)^{m-1} + \frac{q^m}{h} f)]^{1/(m-1)}$$

En conservant la même notation pour m (qui gardera la même signification que dans le modèle de base), on peut écrire:

$$U_e = [(p_1 V^{p_2}) + p_3 f]^{1/(m-1)} \quad (24)$$

Si m = 2, on retrouve l'équation du modèle linéaire correspondant. Les valeurs de f_{opt} Y_{max} et U_{opt} sont indiquées au tableau 1.

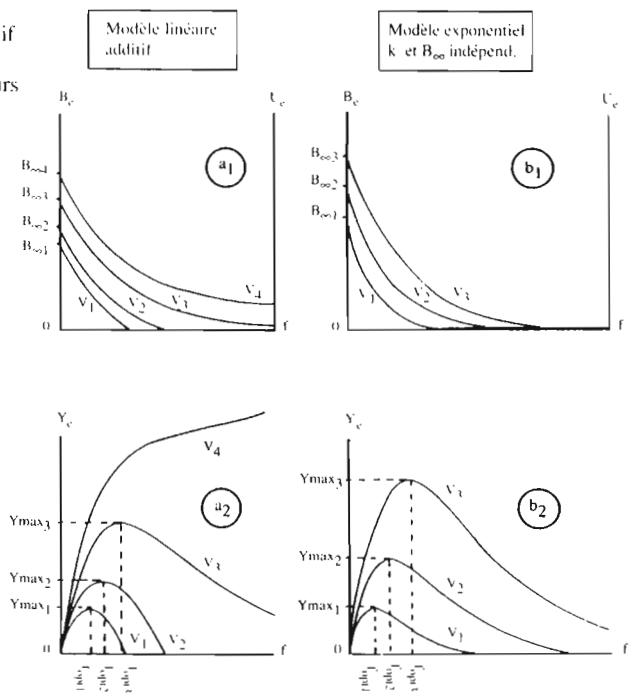
PHÉNOMÈNES HYDROCLIMATIQUES AFFECTANT LA CAPTURABILITÉ

Généralités

La capturabilité q peut être affectée par les phénomènes hydroclimatiques au niveau de l'une ou l'autre de ses deux composantes: l'accessibilité ou la vulnérabilité. Ainsi, pour ne citer que quelques exemples, dans une pêcherie donnée, les déplacements des masses d'eau peuvent induire des migrations parallèles ou perpendiculaires à la côte, qui affecteront l'accessibilité du stock, particulièrement si l'on est en présence d'embarcations à faible rayon d'action. Par ailleurs, la turbidité de l'eau pourra augmenter la vulnérabilité du poisson à certains types d'engins de pêche (filets maillants, chaluts) ou, au contraire, la diminuer (pêche au lamparo). L'état de la mer (houle, clapot) peut, dans le cas de la pêche à la senne tournante, diminuer la vulnérabilité (détection à vue des bancs difficile, manoeuvres du filet plus lentes, etc.). Rappelons que le cas où q varie en fonction de l'abondance du stock a déjà fait l'objet d'une adaptation du modèle généralisé (Fox, 1974). On

Fig. 4

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)).



soulignera enfin le risque de voir q diminuer lorsque f augmente, en raison de la compétition locale entre unités de pêche.

Modèle linéaire

Si, dans l'équation (5) du modèle de Schaefer, on suppose que B_∞ est constant et que l'on remplace q par l'expression (18.IV), on obtient à l'équilibre (fig. 5a):

$$U_e = bV^c B_\infty - b^2 V^{2c} f/h$$

soit, en regroupant les facteurs constants:

$$U_e = p_1 V^{p_2} - p_3 V^{2p_2} f \qquad (25)$$

A partir des relations (7) à (9) on obtiendra les valeurs correspondant à U_{opt} f_{opt} et Y_{max}. De même, d'autre expressions de y(V) peuvent être envisagées (tab. 2). Dans tous les cas on vérifie bien que Y_{max} est indépendant de V (fig. 5a).

Modèle exponentiel

La procédure précédente a été appliquée également au modèle exponentiel (tab. 2; fig. 5b). Dans le cas où y(V) est représenté par l'expression (18.IV), on obtient:

$$U_e = p_1 V^{p_2}\ e^{-p_3 V^{p_2} f} \qquad (26)$$

On remarque de nouveau que Y_{max} est toujours indépendant de V. Le modèle généralisé ne sera pas développé dans ce cas, compte tenu du trop grand nombre de paramètres qu'il comporterait.

PHÉNOMÈNES HYDROCLIMATIQUES AFFECTANT À LA FOIS L'ABONDANCE ET LA CAPTURABILITÉ

Généralités

Il est des cas où il est vraisemblable que le phénomène hydroclimatique affecte à la fois l'abondance du stock et sa capturabilité. Ainsi, dans le cas du stock de *Sardinella aurita* de Côte-d'Ivoire, il semble que l'upwelling assure non seulement une plus grande abondance (densité et surtout aire de répartition du stock) mais augmente également la disponibilité (ORSTOM, 1976; COPACE, 1980 b). On est alors en droit d'introduire la variable hydroclimatique à deux niveaux dans les modèles: celui de B_∞ et celui de q.

Seul le cas de la relation (18.IV), appliquée à la fois à g(V) et à y(V), 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 (18.IV), mais qu'en théorie rien ne permet de supposer que g(V) et y(V) soient 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).

Modèle linéaire : g(V) et $y(V) = bV^c$

Si l'on considère d'un part que: $B_\infty = g(V) = bV^c$

et d'autre part que: $q = y(V) = b'V^{c'}$

en suivant la procédure habituelle on obtient (fig. 6):

$$U_e = bb'\ V^{c+c'} - b'^2 V^{2c'} f/h$$

qui est la forme: $U_e = p_1\ V^{p_2+p_3} - p_4 V^{2p_3} f \qquad (27)$

Les valeurs caractéristiques de ce modèle et des modèles dérivés sont présentées au tableau 3. On remarque que si $p_3 = 0$, on retrouve le cas où V n'agit que sur B_∞ (modèle de base (20); tab. 1), et si $p_2 = 0$ on retrouve bien le modèle (25) où V n'agit que sur q.

A titre d'exemple, si g(V) est de type parabolique (équation 19) on obtient:

$$U_e = (p_1 V^{1+p_2} - p_3 V^{2+p_2}) - p_4 V^{2p_2} f \qquad (29)$$

Modèle exponentiel : g(V) et $y(V) = bV^c$

Si, dans la formulation du modèle exponentiel de Fox (1970), on considère que $B_\infty = g(V) = bV^c$ et $q = y(V) = b'V^{c'}$, on obtient:

$$U_e = bb'V^{c+c'}\ e^{-b'V^{c'} f/k}$$

qui, après regroupement des facteurs constants, peut s'exprimer sous la même forme que l'expression (23). Il s'agit d'un modèle exponentiel multiplicatif en ce qui concerne l'effet de la variable hydroclimatique sur l'abondance. On ne développera pas ici de modèle additif, qui offrirait dans ce cas peu d'intérêt supplémentaire, compte tenu des larges possibilités d'ajustement du modèle présenté ci-dessus (fig. 7). On voit en particulier 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 $p_2 = p_3$ (ce qui revient à considérer que c=0), on retrouve une expression équivalente à celle obtenue lorsque l'on considère que V n'agit que sur la capturabilité (modèle (26); tab. 2). En définitive, on voit que le modèle exponentiel (23), tout comme le modèle linéaire (27), permet bien de répondre aux trois possibilités d'intervention de la variable V:

- sur l'abondance (B_∞ et k) uniquement si p_2 et p_3 sont de signes opposés et différents de zéro,
- sur la capturabilité uniquement si $p_2 = p_3$,
- sur l'abondance et sur la capturabilité lorsque p_2 et p_3 sont seulement différents de zéro.

Ceci montre que 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. 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 (étude du recrutement ou des variations spatio-temporelles de la capturabilité en fonction de V, à une échelle fine par analyse multivariée de séries chronologiques).

Le modèle généralisé correspondant au cas présent (action de V sur B_∞ et sur q) n'a pas été développé car il comporte six paramètres.

Fig. 5

Modèles de production linéaire (a_1....a_4) et exponentiel (b_1...b_4) pour trois valeurs (V_1, V_2 et V_3) d'une variable climatique V agissant sur la capturabilité (q = y(V)).

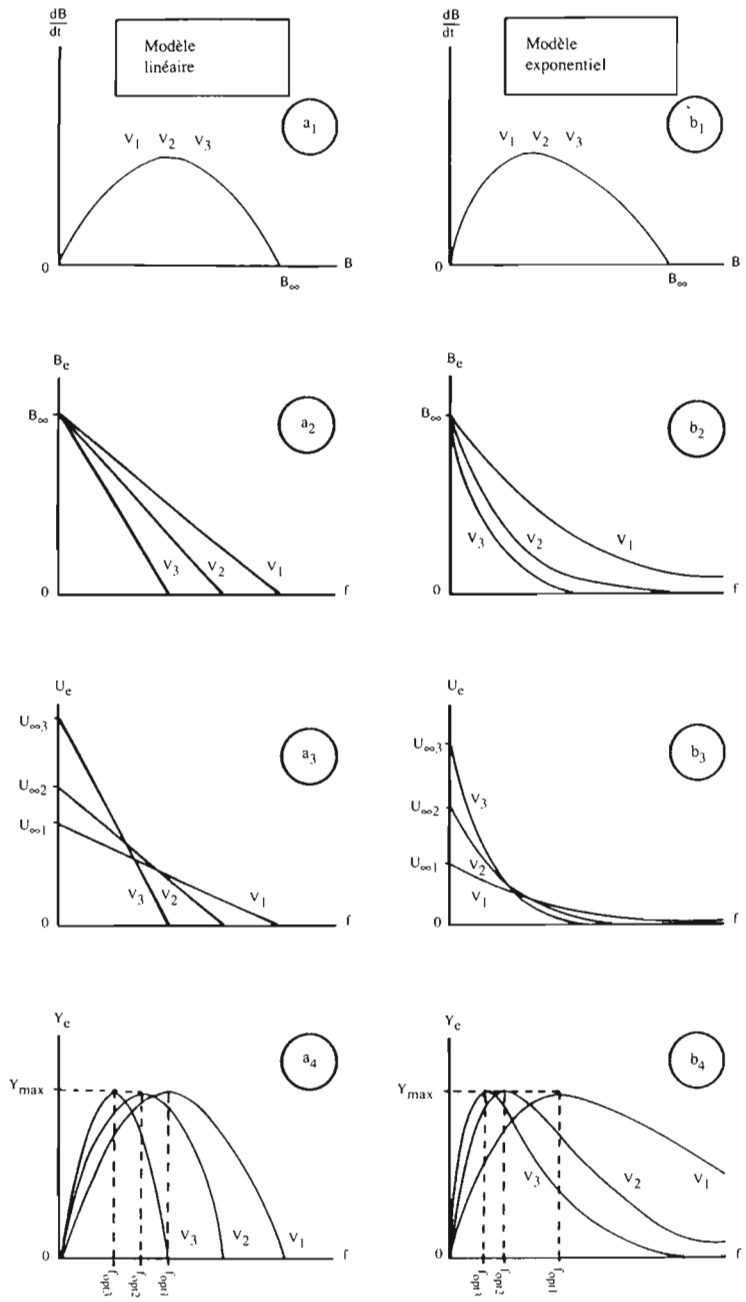


Fig. 6

Modèle de production linéaire 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, a_2 et a_3) ou en sens inverse (b_1, b_2 et b_3).

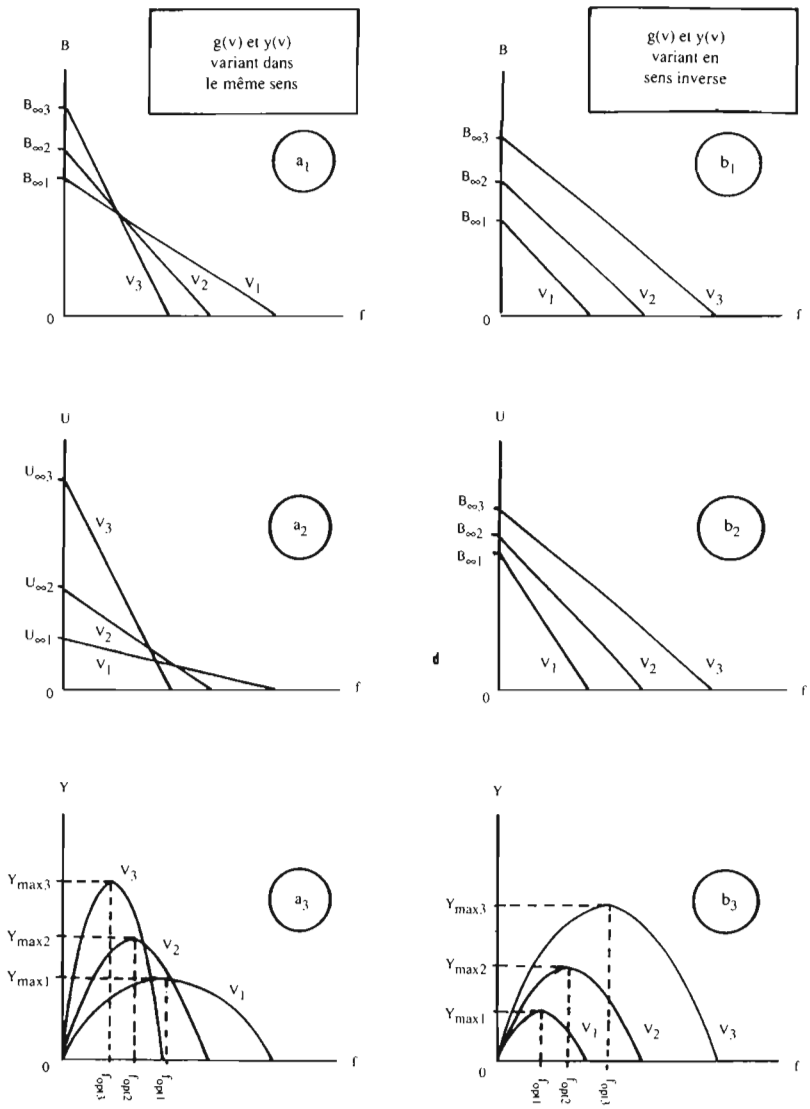
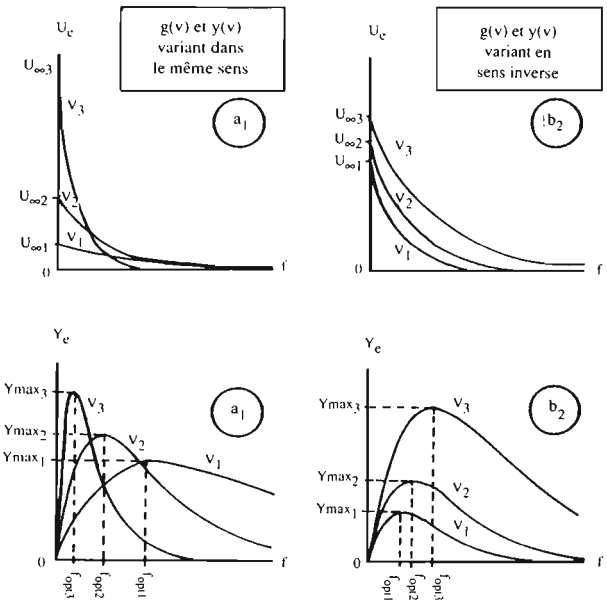


Fig. 7

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).



UTILISATION DES MODÈLES EN SITUATION DE TRANSITION

Généralités

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 l'un de ces modèles aux données observées, on peut avoir recours à l'un des trois procédés habituels pour les modèles classiques (Fox, 1974), 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 PUE 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,
- employer la méthode du calcul intégral pour prédire les situations de transition dues aux fluctuations de l'effort (Schaefer, 1957; Pella et Tomlinson, 1969; Rivard et Bledsoe, 1978) ou aux variations hydroclimatiques.

La première méthode est séduisante, mais elle est rarement utilisable, 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. Dans le cas des modèles linéaires ou exponentiels classiques, deux points suffisent théoriquement pour déterminer les paramètres de la droite caractérisant la relation entre PUE et effort. Dans le cas des modèles incorporant une variable climatique, il est théoriquement nécessaire de disposer d'un minimum de trois à quatre points où l'effort de pêche et l'environnement soient stables. En pratique, compte tenu des incertitudes qui pèsent sur la formulation des modèles, un nombre de points plus élevé est fortement souhaitable. Cela n'exclut pas pour autant l'emploi de cette méthode, particulièrement en milieu tropical où beaucoup d'espèces ont une durée de vie relativement courte. L'exemple de la pêcherie sardinière sénégalaise est un cas extrême où l'on peut considérer que les sardinelles sont exploitées essentiellement entre les âges 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 des moyennes pluri-annuelles) peuvent être utilisés pour l'ajustement (Fréon, 1983a et 1983b) et l'on pourrait concevoir de n'utiliser aussi que les indices annuels d'upwelling, bien qu'une moyenne bi-annuelle semble plus indiquée dans cet exemple précis.

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'artefact lié à l'exis-

tence d'une corrélation intrinsèque entre les séries de PUE 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. Bien que cette méthode soit inapplicable aux cas où g(V) et/ou y(V) ne sont plus des fonctions monotones (fonction (19) par exemple), ou encore très éloignées de la linéarité, c'est celle que nous proposons d'adapter aux cas des modèles précédents, pour des raisons pragmatiques. En effet, la troisième méthode devient excessivement complexe dans le cadre de l'introduction d'une variable hydroclimatique, spécialement lorsque l'on considère une action sur la capturabilité. 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 de paramètres à estimer. Cela a permis ensuite à Rivard et Bledsoe (1978) de proposer une nouvelle méthode d'estimation des paramètres en imposant des contraintes au modèle, en fonction de 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 Walter (1975), Schnute (1977) et Uhler (1980), les travaux de ce dernier auteur montrent que la meilleure estimation des paramètres au niveau statistique ne fournit pas nécessairement les meilleures estimations des valeurs de Y_{max} et f_{opt}, qui représentent pourtant les principaux objectifs des modèles globaux.

Situation de transition lorsque le phénomène hydroclimatique intervient sur l'abondance

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:

- avant la naissance de la cohorte par action sur la fécondité du stock reproducteur;
- sur les premiers stades de vie, par action sur la fécondation, et/ou sur la mortalité naturelle des oeufs et larves;
- 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;
- sur la phase du post-recrutement, par action sur la mortalité naturelle 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 qui sont similaires, et il sera souvent difficile de savoir lequel d'entre eux est prépondérant. Si l'on raisonne en terme d'importance relative potentielle, il est certain que les effets sur la vitesse de croissance individuelle et sur le facteur de condition seront toujours limités (inférieur à un ordre de magnitude), tandis que les effets au niveau du nombre de recrues (phases I et II) pourront être beaucoup plus importants (plusieurs ordres de magnitude), ce qui explique les nombreux efforts déployés pour étudier les déterminismes du recrutement. Cependant, pour un stock mal connu, ces considérations ne permettent pas de tirer des conclusions qui seraient hâtives, car la part de variabilité de l'abondance totale, explicable par l'environnement uniquement, sera souvent inférieure à un ordre de magnitude. Par ailleurs, on ne devra pas oublier que la mortalité naturelle après le recrutement - que l'on suppose habituellement constante, faute de pouvoir l'estimer- peut aussi jouer un rôle prépondérant.

Si l'on admet que l'effet d'une éventuelle relation stock-recrutement est déjà prise en compte par la formulation intrinsèque des modèles globaux, on peut supposer que, dans le premier cas, l'action des variations de l'environnement aura lieu essentiellement au cours des mois précédant la ponte. Si $U_{i,j}$ est la PUE de la dernière classe d'âge j entrant dans la pêcherie au cours de l'année i, et si la capturabilité est supposée constante d'une classe d'âge à l'autre, on aura pour n classes d'âge exploitées:

$$U_i = U_{i,j} + U_{i,j-1} + U_{i,j-2} + \ldots + U_{i,j-n+1}$$

Dans le premier cas envisagé, on peut donc considérer que U_i sera fonction de la moyenne V_i des observations hydroclimatiques saisonnières au cours des années correspondant à la maturation sexuelle des stocks parentaux de chacune des principales cohortes représentées dans la pêcherie, ceci afin de pallier la situation de non équilibre. Si, pour simplifier la notation, on considère que la maturation sexuelle a lieu au cours de la même année que la ponte, on aura simplement (fig. 8a):

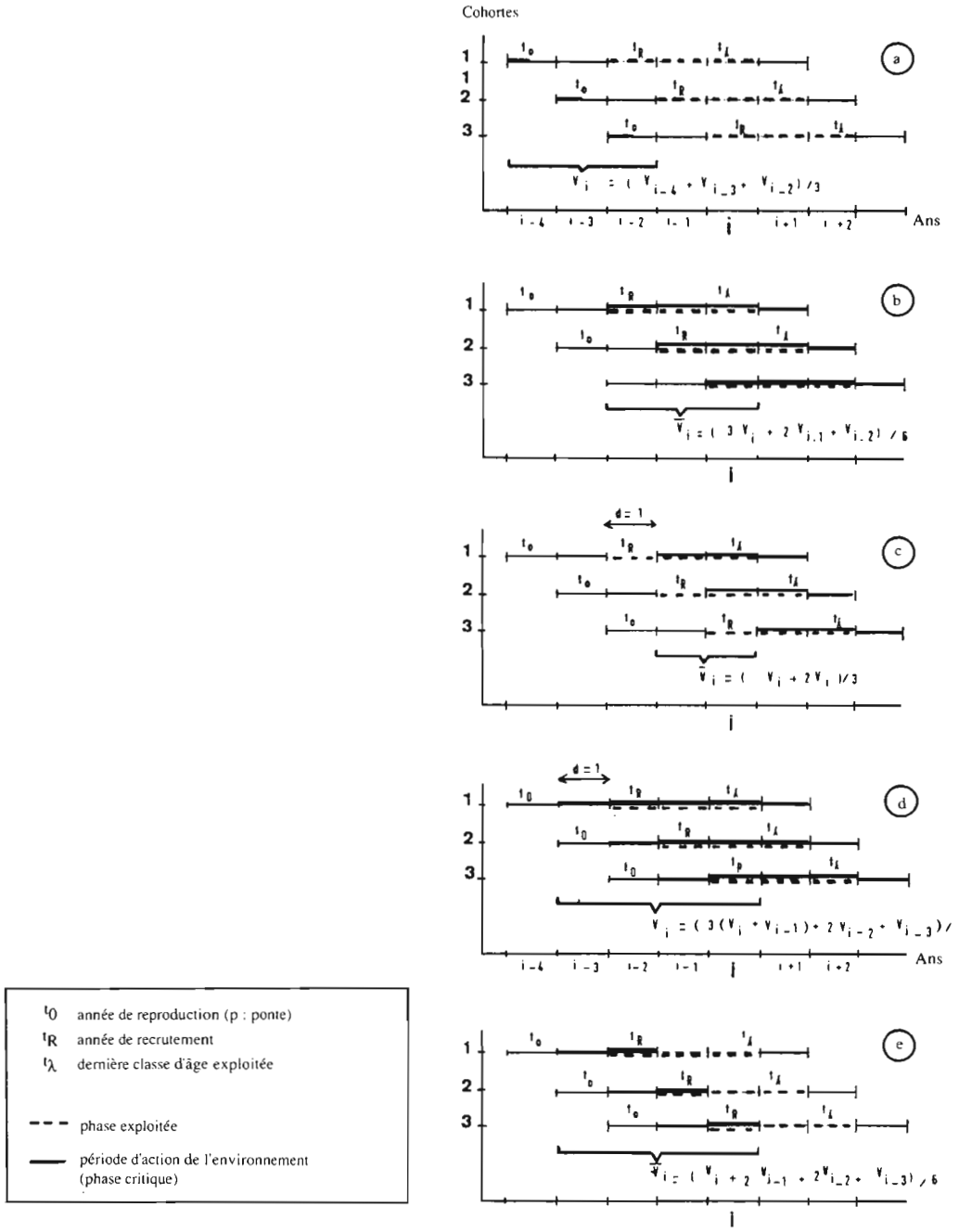
$$\bar{V}_i = \frac{V_{i-t_R} + V_{i-t_R+1} + \ldots\ldots V_i}{t - t_R + 1} \qquad (30)$$

où t_R est l'âge moyen au recrutement et t l'âge moyen de la dernière classe d'âge exploitée de façon significative. L'idéal serait de pouvoir effectuer une pondération en fonction de l'importance relative moyenne de chacune des classes d'âge, mais l'information n'est pas toujours disponible (en particulier lorsque les données contraignent à l'utilisation des modèles globaux).

Le deuxième cas est similaire au premier: on utilisera ici les données climatique V_i de la période de reproduction.

Fig. 8

Schémas permettant de calculer la moyenne pondérée V des années où l'environnement influe sur les rendements U_i de l'année i, en fonction de diverses localisations temporelles (a, b,...e) de la phase critique (voir texte).



Les deux derniers cas demandent un traitement distinct des précédents, dans la mesure où l'action de l'environnement peut s'exercer sur plusieurs années, ce qui suggère d'effectuer des pondérations. On peut alors appliquer un raisonnement analogue à celui de Fox (1975) concernant la pondération des efforts de pêche. Envisageons le cas le plus simple où l'effet de l'environnement se fait sentir tout au long de la phase du post-recrutement, en supposant que le recrutement a lieu au début de chaque saison de pêche annuelle (cas IV). Dans cette hypothèse, les rendements de la classe entrante $U_{i,j}$ dépendront de la valeur de la variable V_i au cours de la même année; les rendements de la classe d'âge antérieure, $U_{i,j-1}$, dépendront de V_i et de V_{i-1} et ainsi de suite (fig. 8b). Aussi, on peut écrire:

$$U_{i,j} \sim g\,(V_i + V_{i+1} + \ldots + V_{i-t_R})$$

et $$U_i \sim g\,(nV_i + (n-1)\,V_{i-1} + (n-2)V_{i-2} + \ldots + V_{i-n+1})$$

On appliquera donc à V_i la pondération suivante:

$$Vi = \frac{nV_i + (n-1)V_{i-1} + \ldots\ldots + V_{i-n+1}}{n + (n-1) + \ldots + 1} \qquad (31)$$

Il est aisé de modifier cette formule pour l'appliquer au cas où l'effet de l'environnement débute d années après le recrutement. Il suffit, dans ce cas, de remplacer n par n-d dans la formule (31) (fig. 8c).

Dans le cas où l'effet de l'environnement débute d années avant le recrutement (fig. 8d), on démontre facilement que:

$$Vi = \frac{n(V_i + V_{i-1} + \ldots + V_{i-d}) + (n-1)V_i + V_{i-d-1} + \ldots + V_{i-n-d+1}}{n(d+1) + (n-1) + (n-2) + \ldots + 1} \qquad (32)$$

Dans le cas 3, si l'action de l'environnement se fait sentir durant plusieurs années puis s'interrompt, la pondération est tout aussi facile à calculer que dans les cas précédents, en particulier à l'aide d'un graphique (fig. 8e), mais elle se prête mal à une formulation générale simple. On retiendra donc la solution graphique.

Faute de connaître avec précision les périodes d'action des conditions hydroclimatiques sur la production, on utilisera une pondération empirique, en restant conscient des risques que cela comporte, en particulier lorsque l'on veut utiliser les modèles à des fins prévisionnelles.

Le calcul de l'effort moyen $\bar{f}_i$ s'effectuera dans tous les cas précédents indépendamment de celui des V_i, en utilisant la méthode de Gulland, de préférence avec la pondération proposée par Fox (1975), afin de conserver une homogénéité de raisonnement face aux situations de transition.

Situations de transition lorsque le phénomène hydroclimatique intervient sur la capturabilité

Pour les modèles où l'on considère que les variations hydroclimatiques agissent sur la capturabilité (ou sur la capturabilité et sur la production) on devra effectuer une reformulation en commençant par remplacer qf par une mortalité moyenne F_i résultant des divers efforts de pêche f et des capturabilités q observées au cours de l'année i et des années antérieures. Ainsi, si l'on retient la méthode de Gulland (moyenne non pondérée), on aura pour l'année i:

$$\bar{F}i = \frac{q_i f_i + q_{i-1} f_{i-1} + \ldots + q_{i-(n/2)} + f_{i-(n/2)}}{n/2} \qquad (33)$$

(n/2 est ici un nombre entier représentant le nombre d'années que passent, en moyenne, les individus dans la phase exploitée).

Si l'on préfère la pondération préconisée par Fox (1975), on retiendra l'expression:

$$\bar{F}i = \frac{nq_i f_i + (n-1)\,q_{i-1} f_{i-1} + \ldots + q_{i-n+1} f_{i-n+1}}{n + (n-1) + (n-2) + \ldots + 1} \qquad (34)$$

Une fois cette substitution opérée, les q restant dans les formules correspondront à la relation $Ui = q_i B_i$, et seront donc remplacés par la capturabilité de l'année i. Il suffira ensuite de substituer les différents q par les y(V) correspondants, en appliquant à V le même indice que celui de q. Rappelons que l'on ne cherche pas ici à obtenir une estimation de la valeur de q, mais simplement la prise en compte de sa variabilité dans le modèle.

Conclusion sur les situations de transition

Les méthodes proposées ci-dessus 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 (poissons pélagiques côtiers et crevettes des régions tropicales par exemple), 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 la courte tranche de vie ou que, dans le cas contraire, les conditions hydro-climatiques fluctueront lentement d'une année à l'autre (séries fortement autocorrélées). Pour simplifier l'exposé, on supposera que ces variations inter-annuelles sont cycliques et présentent une «période» T, bien qu'en pratique on observe très rarement une vraie périodicité régulière. Il s'agit plutôt d'alternances de séries d'anomalies positives et négatives n'ayant pas nécessairement la même durée.

Passons sur le cas où la longueur de la série de données est négligeable par rapport à T, ce qui ne permet pas de quantifier l'effet des fluctuations climatiques à très long terme, telles que celles qui sont probablement responsables des oscillations d'abondance de basse fréquence mises en évidence en Californie par l'étude de la sédimentation des écailles en milieu anaérobie au cours des deux derniers siècles (Soutar et Isaacs, 1974). Dans pareil cas, on peut faire appel à des modèles stochastiques

qui font intervenir une composante périodique, dont la fréquence est variable et déterminée empiriquement (Steele et Henderson, 1984). Cependant, on remarquera que si l'on a la chance d'être en possession de données situées en quasi-totalité sur l'une des branches -montante ou descendante- du cycle climatique, il suffira que celles-ci couvrent au moins un quart de la période pour obtenir une gamme d'indices climatiques suffisamment étalée pour permettre de tenter une modélisation (sans pouvoir en extrapoler valablement les résultats, bien entendu).

Si la durée ø de la phase critique est supérieure ou égale à T, il sera difficile de mettre en évidence les effets climatiques, en raison du phénomène de lissage ayant lieu au niveau de l'abondance d'une même classe d'âge. Il est évident que cette situation prévaudra dans les cas d'environnement très instable (faible T), et/ou d'une absence de véritable phase critique, laissant place à une action quasi permanente de l'environnement chez une espèce à vie longue (ø élevé).

Si ø est inférieur à T, et surtout s'il est inférieur à la demi période T/2, on ne pourra mettre en évidence la part de la variabilité due à l'environnement qu'à la condition que la durée de la phase exploitée ne soit elle aussi inférieure à T/2, faute de quoi un effet d'amortissement apparaîtrait, dû au mélange de différentes classes d'âge dans les captures annuelles.

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. Kawasaki (1983) a proposé une classification en trois groupes, dérivée de la précédente et mieux adaptée au cas des téléostéens. Schématiquement, cette classification revient à subdiviser le type r en deux sous-groupes IA et IB, le groupe 2 correspondant pratiquement au groupe K.

Les espèces du sous-groupe IA ont une durée de vie courte et se rencontrent dans un environnement très instable (type lançons). Elles se prêteront sans doute bien à la modélisation dans un but descriptif des séries historiques, mais non prévisionnel car les variations de l'environnement sont ici impossibles à prévoir et leur influence est à très court terme.

Les espèces du sous-groupe IB vivent dans un environnement tout aussi variable que les précédentes, mais dont les fluctuations sont de plus grande période; elles ont une durée de vie plus longue (sardines, harengs). On peut ici tenter d'appliquer des modèles dans un but de gestion des stocks si un certain décalage temporel existe entre les variations du facteur climatique et ses effets sur les captures, ou si l'on peut prévoir à court terme les modifications de l'environnement (grâce à des connexions à distance par exemple), même si ces dernières sont réputées imprévisibles dans cette catégorie.

Pour les espèces du groupe 2, à vie longue et rencontrées dans un milieu plus stable, il ne sera possible de détecter l'incidence de l'environnement que si les variations de celui-ci sont suffisamment lentes et progressives (ce qui suppose également des séries de données relativement longues). Dans le cas contraire, on devra avoir recours à un modèle de type structural, modifié afin de faire intervenir l'effet du climat sur chaque classe d'âge distinctement, et sur le(s) paramètre(s) biologique(s) adéquat(s) (du recrutement, de la croissance, mortalité, fécondité, etc.), comme l'ont fait par exemple Parrish et Mac Call (1978) pour le recrutement du maquereau du Pacifique.

CONSÉQUENCES EN MATIÈRE D'AMÉNAGEMENT

Phénomène climatique agissant sur l'abondance

Nous avons vu que si la «période» T du phénomène climatique n'était 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 n, on pouvait 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.

Cette régulation sera facilitée si l'environnement n'agit que sur les premiers stades du cycle de vie puisque l'on bénéficie ainsi d'un certain délai d'intervention. Si l'action de l'environnement n'a lieu que sur les derniers stades de vie, on devra alors disposer d'une méthode de prévision climatique à moyen terme et relativement précise, afin de gérer efficacement le stock. La situation intermédiaire, où l'action de l'environnement se fait sentir tout au long du cycle de vie, nécessite moins de précision dans les prévisions climatiques, du fait de l'influence limitée du climat de l'année i en cours sur la biomasse exploitée.

Dans les situations où la prévision 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. 9a) 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 (Fréon, 1983 et 1984). 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 (Fréon et Weber, 1985). On trouvera une analyse de cette situation et les diverses solutions envisageables dans le rapport du groupe de travail édité par Csirke et Sharp (1983). La régulation de la pêcherie peut alors se réaliser en fixant soit des quotas variables dans le temps, soit des plafonds d'efforts variables. On remarquera que si l'on retenait l'hypothèse d'une action de l'environnement sur B_∞ et

non sur k dans le modèle linéaire ou, ce qui reviendraient pratiquement au même, un modèle exponentiel multiplicatif avec action de V sur B_∞ et non sur k (modèle (12); fig. 3b), le stock serait peu sujet aux risques d'effondrement liés aux variations climatiques. Une gestion habituelle, fixant un effort optimum unique, suffirait alors à assurer sa pérennité. Cette éventualité est peut être envisageable pour certains stocks, mais elle constitue probablement une exception.

Phénomène climatique 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. 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 flottille et/ou améliorations technologiques), afin d'arriver à un niveau de capture proche de Y_{max} (fig. 9b). 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 pêcherie aura probablement intérêt à se baser sur l'application d'un quota constant plutôt que sur des plafonds d'effort variables, lesquels seront plus imprécis et souvent plus difficiles à faire respecter.

Phénomène climatique agissant sur l'abondance et sur la capturabilité

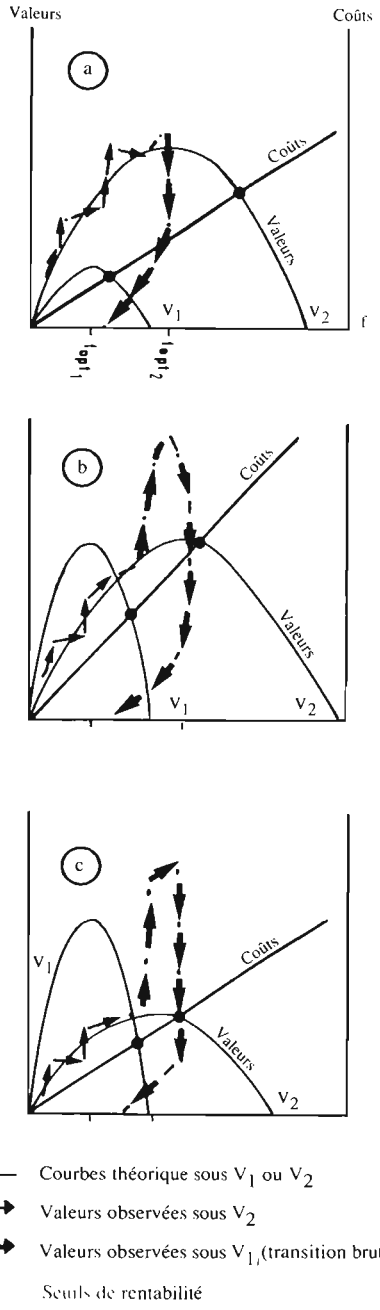
Selon que l'environnement agira sur B_∞ et sur q dans le même sens ou dans des sens opposés, g(V) et y(V) seront des fonctions présentant le même sens de variation ou un sens inverse, et les figures résultantes seront alors très différentes (fig. 6b et 6a où $p_2 > p_3$ dans la formulation 27). On étudiera ici les deux cas extrêmes, sachant qu'il existe de nombreux cas intermédiaires, 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. 9c). 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. 6b). Cette situation est comparable au cas où l'action de l'environnement n'a lieu que sur l'abondance (fig. 9a), avec ici une sensibilité accrue aux risques d'effondrement.

Fig. 9

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.



MÉTHODE ET CRITÈRES D'AJUSTEMENT

La plupart des modèles proposés ne permettent pas l'emploi d'une régression linéaire multiple, même après transformation linéarisante des variables. On aura donc recours à des méthodes d'ajustement non linéaire, telles que celles dérivées de l'algorithme de Marquardt (1963) ou de la méthode de Gauss-Newton modifiée (Dixon et Brown, 1979; GENSTAT, 1980). Ces procédures itératives minimisent généralement la somme des carrés des résidus (méthode des moindres carrés). L'ajustement peut s'effectuer soit à partir des équations de p.u.e. (U_i), soit à partir des équations de prises (Y_i). Cette dernière procédure évite d'obtenir un coefficient de régression multiple biaisé par la corrélation intrinsèque existant entre p.u.e. et effort, ceci à condition que l'estimation des captures totales soit indépendante de celle des p.u.e. (ce qui n'est généralement pas le cas pour les pêches artisanales).

On peut sophistiquer la procédure en effectuant diverses pondérations sur les résidus. Fox (1971) a analysé les différentes possibilités, et conclut que la meilleure solution est de considérer que ε_i est une erreur proportionnelle aux captures estimées $\hat{Y}_i$, telle que:

$$Y_i = \hat{Y}_i + \hat{Y}_i \varepsilon_i$$

ce qui revient à retenir un critère d'ajustement S où les résidus sont pondérés par $1/Y_i$, soit pour n' années d'observation:

$$S = \sum_{i=1}^{n'} [(Y_i - \hat{Y}_i)/Y_i]^2$$

Cette solution procure le comportement des modèles le plus raisonnable au plan biologique, tout en satisfaisant aux principales hypothèses requises pour tester les résultats obtenus par la méthode des moindres carrés.

Ces procédures ont pour point commun la nécessité de fournir des estimations de départ pour les valeurs des paramètres, afin d'initialiser les itérations. Dans le but d'éviter des convergences vers des minimum locaux ou vers des solutions irrationnelles au plan biologique, on s'attachera à estimer au mieux ces valeurs initiales. Pour ce faire, on reviendra à la formule de base du modèle retenu, ce qui permet de faire apparaître la valeur facilement estimable de B_∞ ou de U_∞ (on peut utiliser par exemple le double des captures maximales observées, ou de la p.u.e. maximale). Les exposants supérieurs à zéro des fonctions g(V) ou y(V) pourront être initialisés à 1.

Si les valeurs initiales sont correctement déterminées, et si l'emploi du modèle est justifié, la procédure retenue aura peu d'incidence sur la précision de l'ajustement. Nous souscrivons entièrement à la remarque de Laurec et Le Guen (1981) au sujet des sophistications des méthodes d'ajustement qui dépassent souvent la qualité des données, et surtout la précision de la méthode globale.

CHOIX D'UN MODÈLE

Devant la profusion de formules présentées ici, le chercheur non familiarisé aux modèles globaux peut rester perplexe sur le meilleur choix à effectuer. Il convient de préciser que, même si les critères de choix objectif sont limités, il faut absolument proscrire la méthode de choix empirique qui consisterait à essayer exhaustivement toutes les formules, afin de ne retenir que celle qui procurerait le meilleur ajustement. En effet, compte tenu du faible nombre d'observations généralement disponibles et du nombre relativement élevé de paramètres à déterminer, les ajustements offrent peu de degrés de liberté. Par ailleurs, il est des cas, tel que celui du stock de sardinelles de Côte-d'Ivoire qui -en l'espace d'un an- est passé de la surproduction à l'effondrement total, où il est certain que les données ne peuvent pas s'ajuster parfaitement au modèle, puisque l'on se trouve parfois en situation de déséquilibre extrême.

Les critères de choix peuvent se subdiviser en deux catégories. On doit tout d'abord décider si le phénomène hydroclimatique 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. L'analyse des séries temporelles, ayant un pas de temps de quelques semaines, peut permettre de distinguer les effets immédiats de l'environnement sur la capturabilité, de ceux à plus long terme sur l'abondance (dans ce dernier cas, le délai peut être estimé). 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 modèle 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 le même ordre d'idée, on remarquera dans bien des cas que, pour un modèle donné, les valeurs des paramètres présentent de larges intervalles de confiance et donc une grande instabilité lors de l'ajustement à des données légèrement modifiées (adjonction d'une nouvelle année d'observation par exemple). On observe généralement que des changements importants de valeur des paramètres n'entraînent pas de modifications notables de la qualité de l'ajustement, ni du tracé des courbes de captures équilibrées dans le domaine d'observation. En revanche, il est fréquent ici aussi d'observer de fortes divergences de ces courbes au-delà des valeurs observées, et plus particulièrement au-delà des «efforts optima», si ceux-ci n'ont pas été largement dépassés dans l'histoire de la pêcherie. Cela montre encore les difficultés d'utilisation de ces modèles à des fins prévisionnelles, et se rattache à la nécessité d'imposer parfois une valeur fixe et «raisonnable» à l'un des paramètres du modèle, comme nous l'avons vu pour les modèles exponentiels additifs.

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, réserves naturelles 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.

CRITIQUE 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 de 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). La littérature offre de nombreux exemples de bons modèles descriptifs des données historiques qui se sont avérés totalement inaptes à prédire l'avenir.

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 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. Afin d'estimer la stabilité du modèle et d'obtenir des ellipses de confiance fournissant des estimations moins biaisées de ses paramètres, on aura utilement recours aux méthodes de jackknife et de cross-validation (Ducan, 1978; Efron et Gong, 1983).

Une autre limitation de ces modèles apparaît lorsque l'on s'adresse à des espèces à vie longue, en particulier si l'environnement agit à la fois au niveau de l'abondance et à celui de la capturabilité. Les formules adéquates peuvent alors faire apparaître un nombre de paramètres et de variables beaucoup trop grand, de telle sorte que le modèle ne méritera pas d'être ajusté.

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, ce qui a 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, et d'autre part ces phénomènes de régulation peuvent imposer de modéliser séparément divers sous-stocks géographiques, qui correspondront chacun à une zone de reproduction déterminée, et qui 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 dans l'exemple ci-dessous concernant les sardinelles du Sénégal.

On remarquera que ces modèles peuvent sembler en contradiction avec les résultats de travaux récents sur les relations entre l'environnement et l'abondance, dans le cas de deux espèces en compétition. En effet, selon Skud (1982), si les deux espèces sont intrinsèquement sensibles aux mêmes facteurs climatiques, l'espèce dominante, à un instant donné, présentera une réponse positive aux facteurs augmentant sa survie, tandis que l'espèce dominée répondra négativement aux mêmes facteurs. Ceci indique que l'abondance de l'espèce dominée est totalement contrôlée par celle de l'espèce dominante. Si ce cas est généralisable, nos modèles, appliqués à l'une ou à l'autre des deux espèces prises séparément, resteront fonctionnels tant que l'espèce dominante restera la même, mais ils seront totalement invalides en cas d'inversion de la dominance.

Un palliatif de ce problème peut être trouvé si les 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 sur-investissement 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 rapidement 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 prendre le risque de tarir une source de protéines aussi importante que le poisson. Par ailleurs, on sait que les effondrements de stocks ne sont pas toujours irréversibles et peuvent laisser place à d'autres espèces, pas nécessairement appréciées du consommateur. 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 relevés au cours de l'histoire de la pêcherie, on pourra parfois en tirer des leçons, optimistes ou pessimistes selon les cas. Notons aussi que la plupart des variables climatiques présentant une forte autocorrélation dans le temps, un minimum de prévision à court terme est envisageable. Enfin, on a vu que certaines méthodes statistiques permettent de vérifier que les modèles ne sont pas structurés par seulement un ou deux points.

EXEMPLES D'APPLICATION

On a choisi trois exemples portant sur des stocks de clupéidés à vie courte, répartis sur les côtes ouest-africaines, dans des régions d'upwelling. On a vérifié que, dans chacun des cas, les principales hypothèses de base nécessaires à l'application des modèles étaient respectées. Cependant, compte tenu du faible nombre d'observations, des estimations qui ont dû être pratiquées sur les données, et de la corrélation intrinsèque existant entre effort et PUE, on ne devra attribuer qu'une valeur indicative aux écarts type des paramètres estimés et aux coefficients de régression multiple r.

Le stock de sardinelles de la petite côte du Sénégal

Sous certaines hypothèses, on peut considérer que les juvéniles et les jeunes reproducteurs de *Sardinella aurita* et de *Sardinella maderensis*, présents au niveau de la Petite Côte du Sénégal, constituent un sous-stock qui peut être modélisé indépendamment du sous-stock d'adultes de chacune des deux espèces. L'abondance du sous-stock de la Petite Côte semble dépendre de l'importance de l'upwelling côtier; aussi, un modèle de production exponentiel additif (formulation 21) a-t-il été établi (Fréon, 1983). Les captures portent essentiellement sur des individus âgés de 8 à 18 mois, aussi a-t-on inclus dans le modèle l'effort de pêche de l'année i et la vitesse moyenne pondérée des vents d'alizés au cours des années i et i-1 ($V_i=(2V_i + V_{i-1})/3$). On a complété la série de données jusqu'en 1983 et retenu comme indice d'abondance les PUE des senneurs semi-industriels uniquement, celles des pirogues paraissant moins représentative de l'abondance ces dernières années (Anonyme, 1985).

Le stock n'a jamais été fortement surexploité et l'ajustement est satisfaisant pour l'ensemble de la période 1966-1983 (tab. 4 et 5; fig. 10). Le modèle explique 94 % de la variance des captures annuelles et il présente une stabilité satisfaisante lorsque l'on utilise la méthode de cross-validation (Fréon, 1986). Les résidus les plus élevés peuvent s'interpréter à partir de données concrètes (changements partiels d'espèce cible) ou d'hypothèse (influence des pêches étrangères dont on méconnaissait la zone d'action avant 1973), seul le fort résidu de 1982 reste difficile à interpréter. On rappellera toutefois que l'hypothèse d'un effet du vent sur l'abondance uniquement n'est pas encore totalement étayée, et qu'une action sur la capturabilité n'est pas à exclure, en particulier pour les individus les plus âgés.

Le stock de sardine du nord Sahara

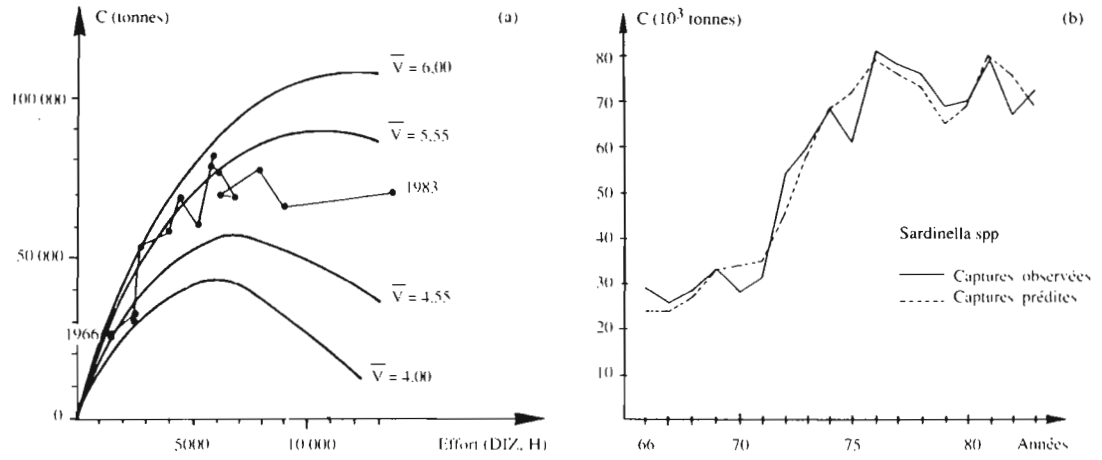
La population de *Sardina pilchardus* vivant entre Safi et El Ayoun constitue un stock unique, et qui peut se subdiviser saisonnièrement en deux sous-stocks correspondant à deux pêcheries bien individualisées jusqu'en 1980. Le premier était exploité par la pêcherie marocaine d'Agadir, Essaouira et Safi 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. 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 (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 de prises totales dans les deux zones. A partir des diverses sources d'information mentionnées ci-dessus, on a pu calculer un effort de pêche annuel pour chacune des deux zones (Fréon, 1986), (tab. 6).

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. Le meilleur indice utilisable serait la racine carrée du produit de la moyenne des carrés des vitesses hebdomadaires, par la

Fig. 10

Captures totales (C) observées et prédites par un modèle de production exponentiel additif (formulation 2!) où l'upwelling agit sur l'abondance pour le stock de sardinelles de la Petite Côte du Sénégal, de 1966 à 1983.



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; Belveze, présent volume).

Des modèles de production structuraux ont déjà été appliqués à ce stock, mais jamais un modèle global n'a été utilisé. A cela deux raison: d'une part, les PUE. marocaines sont fortement corrélées à l'intensité de l'upwelling dans la zone A, et faiblement corrélées à l'effort de pêche (en particulier si l'on ne considère que la période postérieure à 1968, où l'effort total a peu varié) et, d'autre part, les efforts dans les deux zones de pêche n'ont jamais pu être standardisés entre eux, en raison de ce qui précède. 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 B jusqu'en 1980 sont en moyenne plus vieux de deux ans que ceux de la zone A, on peut alors supposer que, en dépit des fluctuations interannuelles de capturabilité liées à l'upwelling dans la zone A, le coefficient moyen de standardisations sera égal au rapport des PUE moyennes de 1965 à 1980 dans la zone B, aux PUE de 1963 à 1978 dans la zone A, soit s = 0,12.

A partir de ce coefficient moyen, on peut, dans un deuxième temps appliquer un coefficient de capturabilité standard annuel q à l'effort marocain, en pondérant celui-ci par l'indice d'upwelling V. Si q' est la capturabilité pour la flotte espagnole, on aura ainsi:

$$q_i = q' b V_i^c$$

La capturabilité étant en moyenne identique pour les deux flottes, bV doit être en moyenne égale à 1. On doit en effet satisfaire à:

$$\overline{q}' = \overline{q} = \frac{\sum_{i=1}^{n} q' b V_i^c}{n} = q' \frac{b \sum_{i=1}^{n} V_i^c}{n}$$

d'où: $\frac{b \sum_{i=1}^{n} V_i}{n} = 1$ soit: $b = \frac{n}{\sum_{i=1}^{n} V_i^c}$

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, car 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, comte tenu des difficultés de standardisation de l'effort de pêche des bateaux espagnols entre eux).

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 supposant que l'effort dans la zone B ne s'exerce que sur le stock d'adultes et que, cet effort étant modéré, 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 variance des PUE. Nous avons cependant préféré prendre également en compte l'effort de pêche moyen (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). Si l'on retient un modèle exponentiel (le stock paraissant robuste), on peut écrire:

$$B_e = B_\infty e^{-\left(\frac{q'}{k}\bar{sf'}+\frac{q}{k}f\right)}$$

Les PUE équilibrées de la flotte marocaine seront donc égales à:

$$U_e = q\,B_e = B_\infty q' b V_i^c e^{-\left(\frac{q'}{k}\bar{sf'}+\frac{q'bV_i^c}{k}f\right)}$$

Soit, en regroupant les paramètres constants:

$$U_e = p_1 V_i^{p_2} e^{-\left(p_3\bar{sf'}+p_3 b v_i^{p_2} f\right)}$$

Les captures marocaines portant principalement sur trois classes d'âge, en situation de transition, nous aurons:

$$U_i = p_1 V_i^{p_2} e^{-\left(p_3\bar{sf'}+\frac{3}{6}p_3 b V_i f_i+\frac{2}{6}p_3 b V_{i-1} f_{i-1}+\frac{1}{6}p_3 b V_{i-2} f_{i-2}\right)}$$

Ce modèle explique 72 % de la variabilité des PUE (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 (tab. 5; fig. 11). Il s'agit du paramètre p_2 appliqué aux efforts de pêche. En conséquence, les valeurs de f_{opt}, et dans une certaine mesure de Y_{max} sont peu fiables, ce qui s'explique par le fait que la mortalité par pêche subie par le stock n'a pas énormément fluctuée au cours de la période d'observation, l'augmentation de l'effort nominal étant compensée 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 PUE. 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 bateaux extrêmement 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.

Le stock ivoiro-ghanéen de Sardinella aurita

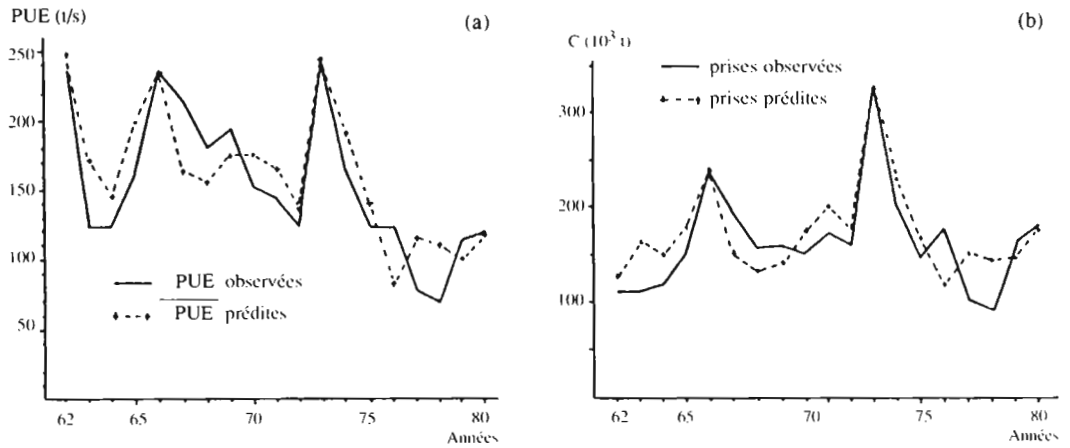
Il s'agit d'un stock de sardinelles exploité principalement par les pêcheurs artisans du Ghana (63 % des captures totales de 1963 à 1982), secondairement par les flottilles semi-industrielles ghanéennes et ivoiriennes (18% et 17% des captures respectivement). Les premiers exploitent le plateau continental ghanéen, les seconds celui de Côte-d'Ivoire et, certaines années du Ghana (tab. 7). Accessoirement, les artisans du Togo (statistiques disponibles depuis 1976) et de la Côte-d'Ivoire exploitent également ce stock (les captures artisanales ivoiriennes, non disponibles, étaient probablement négligeables pour cette espèce avant 1980). 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, 1980 b, 1982; Cury, com. pers.).

Ces différents indices d'abondance présentent la même évolution générale, avec cependant de fortes divergences certaines années. Les données de pêche piroguière sont jugées moins représentatives de l'abondance, compte tenu de l'évolution des engins et des embarcations. 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 leurs rendements saisonniers étaient environ dix fois supérieurs aux rendements moyens annuels en Côte-d'Ivoire, jusqu'à ce qu'ils soient interdit de pêche dans le pays voisin, en 1979). Les travaux antérieurs ont montré que les PUE étaient très instables et corrélées à l'intensité de l'upwelling, probablement par un double mécanisme d'action sur l'enrichissement du milieu et sur la disponibilité. L'indice d'upwelling retenu est le produit du nombre de quinzaines où la température de surface est inférieure à 26°C, par l'écart moyen de ces températures à 26°C (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.

Nous avons retenu un modèle où le phénomène

Fig. 11

Prises par unité d'effort (PUE) et prises (C) 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.



hydroclimatique agit à la fois sur la productivité du stock et sur sa capturabilité. On a choisi un modèle linéaire en raison de la fragilité de ce stock qui s'est effondré en 1973. Compte tenu de l'âge moyen d'exploitation des individus, on a estimé que les PUE de l'année i étaient fonction, d'une part de l'effort moyen au cours des années i et i-1, d'autre part 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:

$$B_i = B_\infty - \left(\frac{2}{3} q_i f_i + \frac{1}{3} q_{i-1} f_{i-1}\right) / h$$

$$U_i = q_i B_e = q_i B_\infty - \left(\frac{2}{3} q_i f_i + \frac{1}{3} q_i q_{i-1} f_{i-1}\right) / h$$

Si: $B_\infty = b \left(\frac{2V_i + V_{i-1}}{3}\right)^c = b \overline{V_i^c}$

et $q_i = b' V_i^{c'}$; $\qquad q_{i-1} = b' V_{i-1}^{c'}$

on aura:

$$U_i = bb' \overline{V_i^c} V_i^{c'} - \left(\frac{2b'^2}{3h} V_i^{2c'} f_i + \frac{b'^2}{3h} V_i^{c'} V_{i-1}^{c'} f_{i-1}\right)$$

qui est de la forme:

$$U_i = p_1 \overline{V}_i^{p_2} V_i^{p_3} - \frac{2}{3} p_4 V_i^{2p_3} f_i - \frac{1}{3} p_4 V_i^{p_3} V_{i-1}^{p_3} f_{i-1}$$

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 contre-partie, 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, une autre espèce (*Balistes capriscus*) a présenté une explosion démographique (Caverivière, présent volume) 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 (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 PUE étaient pratiquement nulles. Le modèle résultant pré-

Fig. 12

Prises par unité d'effort (PUE) observées et prédites (a) par le modèle de production linéaire (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.

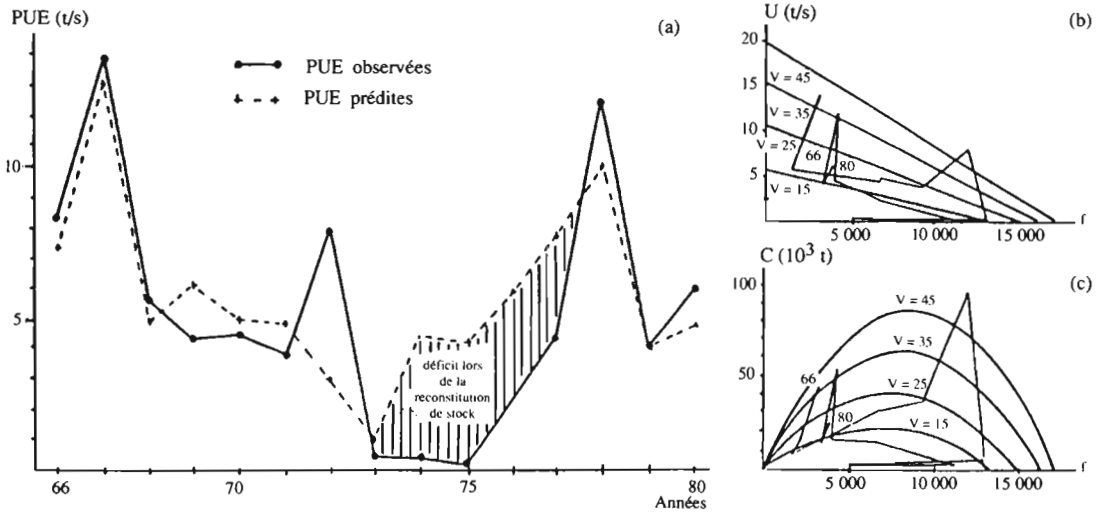
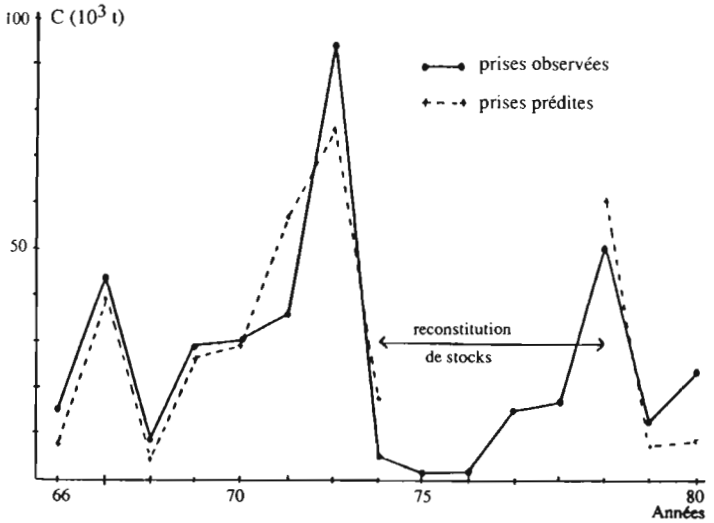


Fig. 13

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.



sente 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. 12). En retirant également ces deux années, le modèle explique 82 % de la variabilité des PUE 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 % (tab. 5).

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':

$$B_\infty = b\bar{V}_i^{c}; \qquad q_i = b'V'^{c'}_i \; ; \qquad q_{i-1} = b'V'^{c'}_{i-1}$$

d'où:

$$U_i = p_i V_i^{p_2} V'^{p_3}_i - \frac{2}{3} p_4 V_i^{2p_3} f_i - \frac{1}{3} p_4 V'^{p_3}_i V^{p_3}_{i-1} f_{i-1}$$

En utilisant la même série de 11 années de données, le modèle explique 78 % de la variance des prises et 83 % de celle des PUE, mais aucun des paramètres n'est significativement différent de zéro, à l'exception de p_2 (tab. 5), 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 1972-1973 (fig. 13), 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 PUE 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 ainsi que de la colinéarité des variables (action seuil ? synergie avec l'upwelling?). Dans tout 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 représente la mesure de sauvegarde minimum la moins difficile à mettre en oeuvre dans l'immédiat.

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: 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 les versions modifiées proposées ici, résultera du meilleur compromis.

Cependant, il n'en reste pas moins vrai que ces modèles demeurent synthétiques et représentent une approche empirique et «aveugle» pour estimer la réponse des stocks à l'effort et à l'environnement, 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 (en particulier stabilité de la vulnérabilité);
- stabilité de la capturabilité relative des différentes classes d'âge;
- obtention d'une PUE qui soit un indice représentatif de l'abondance (pour le moins locale) et dépourvu de biais;
- unité de stock (sinon des aménagements ou des limitations doivent être apportés au modèle);
- absence de délais dans la réponse du stock à l'exploitation, aussi bien au niveau de la composition des classes d'âge qu'à celui de la dynamique du stock (recrutement, croissance, mortalité, reproduction).

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 délicates, coûteuses et de surcroît nécessaires en très grand nombre du fait de la forte variabilité des tailles à l'intérieur des cohortes, associée au mode d'agrégation dans le cas des espèces pélagiques (Fréon, 1985). De ce fait, les méthodes analytiques traditionnelles sont 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.

Tout comme dans le cas des modèles synthétiques traditionnels, on est tenté d'utiliser les modèles ici décrits à des fins prévisionnelles, ce qui n'est pas dépourvu de risques. En effet, on doit pour cela être en mesure de prévoir plusieurs mois à l'avance non seulement le niveau de l'effort de pêche, mais dans certains cas les conditions climatiques également, ce qui relève

parfois de la boule de cristal autant que de la science. Par ailleurs, 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 des 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, com. pers.).

Larkin (1977) a écrit il y a déjà 13 ans une brillante épitaphe pour le MSY (prise maximale équilibrée). Le présent article n'a pas pour prétention de vouloir ressusciter un concept qui, au demeurant, n'est jamais vraiment mort (nécessité oblige!), mais de procurer au concept moribond un second souffle en l'utilisant au pluriel, puisqu'ici, 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.

NOTES

Un logiciel CLIMPROD est disponible, FAO Fisheries technical paper (sous presse) : Computer programs for fish stock assessment. CLIMPROD experimental interactive software for choosing and fitting surplus production models including environmental variables on IBM PC and compatibles.

Cet article a fait l'objet d'une publication en anglais au symposium de Vigo (Fréon, 1988).

REMERCIEMENTS

Je remercie vivement Messieurs F. Laloë, E. Cadima et A. Laurec pour les critiques constructives qu'ils ont apportées à cet article

BIBLIOGRAPHIE

• 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 (rapporteur). Workshop on the effects of environmental variation on the survival of larval pelagic fishes. Intergovernmental Oceanographic Commission. Rep. 28, 323 p.

• Csirke J. and Sharp G.D. 1983. Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neretic fish ressources. San José, Costa Rica, 18-19 april 1983. FAO Fish. Rep., 291(1), 102 p.

• Cole L.C. 1954. The population consequences of life history phenomenons. Quart. Rev. Biol. 29, 103-137.

• Dickie L.M. 1973. Interaction between management and environmental protection. J. Fish. Res. Board Can., 30: 2496-2506.

• Dixon W.J. and Brown M.R. 1979. BMDP-79: biomedical programs. P. series. University of California Press, Berkeley, 880 p.

• Doubleday W.G. 1976. Environmental fluctuations and fisheries management. ICNAF selected papers, 1, 141-150.

• Ducan G.T. 1978. An empirical study of jackknife-constructed confidence regions in non linear regression. Technometrics, 20 (2): 123-129.

• Efron B. et Gong G. 1983. A leisurely look at the Bootstrap, the Jackknife and Cross-validation. The American Statistician, 37 (1): 36-48.

• Fletcher R.I. 1978. On the restructuring the Pella-Tomlinson system. Fish. Bull. U.S. 76 (3), 515-521.

• Fox W.W. 1970. An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. Trans. Am. Fish. Soc, 99 (1): 80-68.

• 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. 1974. An overwiew of production modeling. ICCAT workshop on tuna population dynamics, Nantes, France 1974, Rec. Doc. Scient. CICTA, 3: 142-156.

• Fox W.W. 1975. Fitting the generalized stock production model by least squares and equilibrium approximation. Fish. Bull., 73 (1): 23-36.

• Fréon P. 1983. Production models as applied to sub-stock depending on upwelling fluctuations p. 1047-1064. *In*: G.D. Sharp and Csirke J. (eds), Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neretic fish resources. FAO Fish. Rep. 291 (3): 557-1224.

• Fréon 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.

• Fréon P. 1985. La variabilité des tailles à l'intérieur des cohortes et des bancs de poissons. II: application à la biologie des pêches. Oceanologica Acta 8 (1): 87-99.

• Fréon P. 1988. Introduction of environmental variable into global production models. *In:* Wyatt and M.G. Larrañeta (eds) Long Term Changes in Marine Fishes Populations. Vigo, 18-21 novembre 1986, p. 481-526.

• Fréon P. et Wéber J. 1985. Djifère au Sénégal, la pêche artisanale en mutation dans un contexte industriel. Rev. Trav. Inst. Pêches marit. 47 (3-4), 1983: 261-304.

• Garrod D.J. 1969. «Schaeffer-type» assessment of catch/effort relationships in North Atlantic cod stocks. Int. Comm. Northwest Atl. Fish., Res. Doc. 68/51, 17 p.

• GENSTAT, 1980. Logiciels statistiques. Lawes Agricultural Trust Rothanstep experimental station.

• Graham M. 1935. Modern theory of exploiting a fishery and application to North Sea Trawling. J. Cons. Int. Explor. Mer 10, 264-274.

• Griffin W.L. Lacewell R.D. et Nichols J.P. 1976. Optimum effort and rent distribution in the Gulf of Mexico shrimp fishery. Am. J. Agric. Econ., 1976 (2): 645-652.

• Gulland J.A. 1969. Manual of methods for fish stock assessment. Part I: Fish populations analysis. FAO Man. Fish. Sci., 4, 154 p.

• Kawasaki T. 1983. Why do some pelagic fishes have wide fluctuation from the view point of evolutionary ecology? p.1065-1080. *In*: G.D. Sharp and Csirke J. (eds), Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neretic fish resources. FAO Fish. Rep., 291 (3): 557-1224.

• Laevastu T. and Larkins H.A. 1981. Marine fisheries ecosystem, its simulation and managment. Fishing News Book Ltd. Famham, Surrey, England, 162 p.

• Larkin P.A. 1977. An epitaph of the concept of maximum sustained yield. Trans. An. Fish. Soc., 106 (1), 1-11.

• Laurec A. et Le Guen J.C. 1981. Dynamique des populations marines exploitées. I: Concepts et modèles. CNEXO, Rapp. Sci. et tech., 45, 117 p.

• Laurec A. Fonteneau A. et Champagnat C. 1980. Etude de la stabilité des modèles autorégénérants: 423-438.- *In*: A. Saville (Eds), The assessment and managment of pelagic fish stocks. Aberdeen 3-7/7/ 1978. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer., 177, 517 p.

• Le Guen J.C. et Chevallier R. 1983. Etude des pêcheries; réflexions sur l'environnement et la gestion multispécifique. Rev. Trav. Inst. Pêches mart., 46 (1): 9-70.

• Loucks R.H. and Sutcliffe W.H. 1978. A simple fish-population model including environmental influence, for two western Atlantic shelf stock. J. Fish. Res. Board Can., 35 (3): 279-285.

• 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.

• Mac Arthur A.H. and Wilson E.O. 1967. The theory of island biogeography. Princeton Univ. Press, Princeton, 203 p.

• Marquardt D.W. 1963. An algorithm of least-square estimation of non linear parameters. J. Soc. Ind. Appli. Math. 11: 431-441.

• Nelson W.R. Ingham M.C. and Schaaf W.E. 1977. Larval transport and year-class strength of atlantic menhaden, Brevoortia tyrannus. Fish. Bull. (U.S.), 75 (1): 23-41.

• Parrish R.A. Bakun A. Husby D.M. and Nelson C.S. 1983. Comparative climatology for selected environmental processes in relation to eastern boundary current pelagic fish reproduction P. 731-777. *In*: G.D. Sharp and Csirke (eds), Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neretic fish resources. FAO Fish. Rep., 291 (3): 557-1224.

• Parrish R.H. and Mac Call A. 1978. Climatic variation and exploitation in the pacific mackerel fishery. Calif. Dept. Fish and Game, Fish Bull., 167: 110 p.

• Pella J.J. and Tomlinson P.K. 1969. A generalized stock production model. IATTC Bull., 13 (3): 419-496.

• Rivard D. et Bledsoe L.J. 1978. Parameters estimation for the Pella-Tomlinson stock production model under nonequilibrium conditions. Fish. Bull. U.S., 76: 523-534.

• Ricker W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Board., Can., 191, 382 p.

• 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.

• Saville A. 1980. The assessment and managment of pelagic fish stocks. A Symposium hold 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 managment of the commercial marine fisheries. Bull. IATTC, 1 (2): 27-56.

• Schaefer M.B. 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the Eastern tropical Pacific ocean Bull. IATTC, 2 (6): 245-285.

• Schnute J. 1977. Improved estimates from the Schaefer production model: theoretical considerations. J. Fish. Res. Board Can., 34: 583-603.

• 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 Workshop report 28, 323 p.

• Sharp G.D. and Csirke J. 1983. Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neretic fish resources. San Jose, Costa Rica, 18-29 April 1983. FAO Fish. Rep. 291 (2) and (3), 553 p et 557-1224.

• Skud B. 1982. Dominance in fishes: the relation between environment and abundance. Science, 216 (9): 144-149.

• Soutard A. and Isaacs J.D. 1974. Abundance of pelagic fish during the 19th and 20th centuries as recorded in anaerobic sediment off the california. Fish. Bull. U.S., 72 (2): 257-273.

• Steele J.H. and Henderson E.W. 1984. Modeling long-term fluctuations in fish stocks. Science, 224: 985-987.

• Uhler R.S. 1979. Least square regression estimates of the Schaefer production model: some Monte Carlo simulation results. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37: 1284-1294.

• Walter G.G. 1973. Delay-differential equation models for fisheries. J. Fish. Res. Board Can., 30: 939-945.

• Walter G.G. 1975. Nonequilibrium regulation of fisheries. ICNAF Res. Doc. 75/IX/131.

• Walter G.G. 1986. A robust approach to equilibrium yield curves. Can J. Fish Aquat. Sci., 43: 1232-1239

• Walters C.J. 1987. Nonstationarity of production relationships in exploited populations. Can. J. Fish. Aqu. Sci., 44 (Supp. 2): 156-165

• Wirtki K. 1973. Teleconnections in the equatorial Pacific ocean. Science, 180: 66-80.

Tableau 1

Modèles linéaires et exponentiels multiplicatifs où la variable climatique V intervient sur l'abondance du stock uniquement.

	$B_\infty = g(V)$	$Y_e = q\,g(V)\,f - q^2f^2/h$	$f_{opt} = g(V)h/2q$	$Y_{max} = g^2(V)\,h/4$	$U_{opt} = q\,g(V)/2$
Linéaires	bV^c	$p_1 V^{p2} f - p_3 f^2$	$p_1 V^{p2}/2p_3$	$p_1^2 V^{2p2}/4p_3$	$p_1 V p_2/2$
	$a + bV$	$p_1 f + p_2 V f - p_3 f^2$	$(p_1 + p_2 V)/2p_3$	$(p_1 + p_2 V)^2/4p_3$	$(p_1 + p_2 V)/2$
	bV	$p_1 V f - p_2 f^2$	$p_1 V/2p_2$	$p_1 V^2/4p_2$	$p_1 V/2$
	$aV - bV^2$	$p_1 V f - p_1 V^2 f - p_3 f^2$	$(p_1 V + p_2 V^2)/2\,p_3$	$(p_1 V + p_2 V^2)^2/4\,p_3$	$(p_1 V + p_2 V^2)/2$
	$B_\infty = g(V)$	$Y_e = q\,g(V)\,e^{-qf/hf}$	$f_{opt} = h/q$	$Y_{max} = g(V)\,h/e$	$U_{opt} = q\,g(V)/e$
Exponentiels	bV^c	$p_1 V^{p2} e^{-p_3 f} f$	$1/p_3$	$p_1^2 V^{p2}/p_3 e$	$p_1 V^{p2}/e$
Multiplicatifs	$a + bV$	$(p_1 + p_2 V)\,e^{-p_3 f} f$	$1/p_3$	$p_1 + p_2 V/p_3 e$	$p_1 + p_2 V/e$
	bV	$p_1 V e^{-p2 f} f$	$1/p_2$	$p_1 V/p_2 e$	$p_1 V/e$

Tableau 2

Modèles linéaires et exponentiels où la variable climatique V intervient sur la capturabilité uniquement.

	$q = y(V)$	$Y_e = y(V)B_\infty f - y(V)^2 f^2 h$	$f_{opt} = B_\infty h/2y(V)$	$Y_{max} = B^2_\infty h/4$	$U_{opt} = y(V)\,B_\infty/2$
Linéaires	$a + bV$	$p_1 p_2 f + p_2 p_3 V f - (p_1 + p_3 V)^2 f^2/p_4$	$p_2 p_4/2(p_1 + p_3 V)$	$p_2^2 p_4/4$	$(p_1 p_2 + p_2 p_3 V)/2$
	bV^c ou V^c	$p_1 V^{p2} f - p_3 V^2 p_2 f^2$	$p_1 V/2p_3 V^{p2}$	$p_1^2/4p_3$	$p_1 V^{p2}/2$
	bV	$p_1 V f - p_2 V^2 f^2$	$p_1 V/2p_2 V$	$p_1^2/4p_2$	$p_1 V/2$
	$q = y(V)$	$Y_e = y(V)B_\infty e^{-y(V)f/hf}$	$f_{opt} = h/y(V)$	$Y_{max} = B_\infty h/e$	$U_{opt} = y(V)\,B_\infty/e$
Exponentiels	bV^c (identique à Vc après regroupement)	$p_1 V^{p2} e^{-p_3 V p_2 f} f$	$1/(p_3 V^{p2})$	$p_1/(p_3 e)$	$p_1 V^{p2}/e$
Multiplicatifs	$a + bV$	$(p_1 + p_2 V)\,e^{-(p_4 V f)} f$	$1/(p_4 V)$	$(p_1 + p_2 V)/(p_4 V)e$	$(p_1 + p_2 V)/e$
	bV	$p_1 V e^{-p_2 V f} f$	$1/p_2 V$	$p_1/(p_2 e)$	$p_1 V/e$

Tableau 3

Modèles linéaires et exponentiels multiplicatifs où la variable climatique V intervient sur l'abondance et sur la capturabilité

	$B_\infty = g(V)$ $q = y(V)$	$Y_e = y(V)\,g(V)\,f - y^2(V)\,f^2/h$	$f_{opt} = g(V)h/2y(V)$	$Y_{max} = g^2(V)\,h^2/4$	$U_{opt} = g(V)\,y(V)/2$
Linéaires	bV^c	$p_1 V^{p2+p3} f - p_4 V^{2p3} f^2$	$p_1 V^{p2+p3}/2p_4 V^{2p3}$	$p_1^2 V^{2p2}/4p_4$	$p_1 V^{p2+p3}/2$
Exponentiels	bVc	$Y_e = y(V)\,g(V)\,e^{-y(V)f/kf}$	$f_{opt} = k/y(V)$	$Y_{max} = k\,g(V)/e$	$U_{opt} = y(V)\,g(V)/e$
		$p_1 V p_2 e - p_4 f V^{p3} f$	$1/p_4 V^{p3}$	$p_1 V^{p2-p3}/p_4 e$	$p_1 V^{p2}/e$

ANS	PRISES	EFFORTS	P.U.E.	INDICE UPWELLING Moy. 2 ans
66	29 290	1 443	20.3	4.93
67	26 370	1 490	17.7	4.74
68	28 550	1 808	15.8	4.53
69	33 240	2 324	14.3	4.40
70	28 250	2 498	11.3	4.32
71	30 670	2 324	13.2	4.70
72	53 720	2 570	20.9	5.63
73	59 940	3 678	16.3	5.53
74	69 250	4 356	15.9	5.76
75	61 290	4 903	12.5	5.66
76	80 940	5 506	14.7	5.79
77	77 600	5 243	14.8	5.72
78	76 400	6 016	12.7	5.21
79	69 470	6 493	10.7	4.68
80	70 240	6 003	11.7	4.98
81	78 870	7 809	10.1	5.09
82	66 800	10 437	6.4	4.86
83	71 970	13 840	5.2	4.60

Tableau 4 : Statistiques de pêche du sous-stock de Sardinella spp de la Petite Côte du Sénégal (toutes pêcheries confondues) de 1966 à 1982, et indice d'upwelling moyen au cours des saisons d'alizés de l'année en cours et de l'année antérieure.

Tableau 5
Résultats des régressions multiples non linéaires correspondant aux exemples d'application de différents modèles (entre parenthèse, coefficient de régression pour le même modèle n'incluant que l'effort de pêche).

Pays	Sénégal		Maroc		Côte-d'Ivoire - Ghana (11 années)			
Modèles	$Y_i = f\left(p_1 e^{-p_2 f} + p_3 \overline{V}_i + p_4 \right)$		$U_i = p_1 V_i^{p_2} e^{-\left(p_3 s f + \frac{3}{6} p_3 V_i f_i^{p_2} + \frac{2}{6} p_3 V_{i-1}^{p_2} f_{i-1} + \frac{1}{6} p_3 V_{i-2}^{p_2} f_{i-2}\right)}$		$U_i = p_i \overline{V}_i^{p_2} V_i^{p_3} - \frac{2}{3} p_4 V_i^{2p_2} f_i - \frac{1}{3} p_4 V_i^{p_3} V_{i-1}^{p_3} f_{i-1}$		$Y_i = f\left(p_1 \overline{V}_i^{p_2} V_{i'}^{p_3} - \frac{1}{3} p_4 V_{i'}^{2p_3} f_i - \frac{1}{3} p_4 V_{i'}^{p_3} V_{i'-1}^{p_3} f_{i-1}\right)$	
Paramètres	Estimation	σ	Estimation	σ	Estimation	σ	Estimation	σ
p_1	17,84	1,69	57,41	15,63	0,235	0,222	0,158	0,708
p_2	1,0 E– 4*	-	0,996	0,21	1,107	0,431	1,866	0,933
p_3	3,049	0,66	2,56 E–5	1,7 E–5	0,097	0,302	– 0,343	0,332
p_4	–13,51	2,86	-	-	3,21 E– 4	5,93 E– 4	0,016	0,063
r^2	94%	(86%)	72%	(27%)	82%	(22%)	78%	(22%)

ANS	EFFORTS		PRISES			P.U.E.	INDICE
	MAROC (A)	ESPAGNE (B)	MAROC (A)	ESPAGNE (B)	TOTAL	MAROC (A)	UPWELLING
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	1090	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 6. 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.

ANS	PRISES PAR UNITE D'EFFORT STANRARDISE						PRISES PAR Z.E.E.			EFFORT TOTAL STANDARD.	INDICE UPWELLING Ci + Gh. / 2	DEBITS FLEUVES Bandama, Comoé
	Pirogues Gh.		Senneurs									
	Poll/Ali	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 7 : 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.

33 • Approche modélisatrice des fluctuations d'abondance des sardines sur la côte nord-atlantique marocaine

ABDELLATIF ORBI
Institut Scientifique des Pêches Maritimes, 2 rue de Tiznit, Casablanca, Maroc
ALI AGOUMI
GHAZI BEN JANNET
SAIDA TAZI
Ecole Hassania des Travaux Publics. B.P.8108, Oasis, Casablanca, Maroc

RÉSUMÉ

D'importantes fluctuations de CPUE (Captures Par Unité d'Effort) de sardines (*Sardina pilchardus*) sont observées depuis les années soixante sur la côte nord atlantique marocaine. Les upwelling ou résurgences d'eaux froides riches en sels nutritifs sont caractéristiques de cette zone. Ils ont un impact important sur la productivité des milieux et leur intensité est variable d'une année à l'autre. La première partie de cette étude est consacrée à l'analyse de l'évolution saisonnière de ce phénomène, en relation avec celle des CPUE mensuelles de sardines de la zone A (Safi, Essaouira et Agadir). La deuxième partie porte sur la réponse du stock à l'échelle annuelle entre 1968 et 1981 à la variabilité de l'upwelling. Un modèle simulant les fluctuations annuelles de la pêcherie sardinière en fonction des conditions climatiques et des efforts de pêche est élaboré. Ce modèle permet de décrire les fluctuations des CPUE annuelles, tout en soulevant un certain nombre de questions quant aux mécanismes de régulation des populations mis en jeu.

ABSTRACT

Considerable fluctuations of CPUE (Catch per Unit of Effort) of sardines (Sardina pilchardus) are observed since the sixties off the Northern part of the Moroccan Atlantic coast. Upwellings of cold and nutrient rich subsurface waters characterize the oceanographic regime of this area. They have a significant effect on the biological productivity of this area and are variable from one year to another. The first part of this study considers the seasonality of the upwelling and its effect on the monthly CPUE of sardines in the coastal zone A (Safi, Essaouira and Agadir). The second part analyses the response of the stock to the annual upwelling intensity from 1968 to 1981. A simulation model is developed to study the relation between the annual fluctuations in the sardine fisheries and the changes in oceanographic conditions and fishing effort. This model explains rather well the fluctuations of CPUE but it rises many questions dealing with fish population regulation.

INTRODUCTION

Le littoral marocain s'étend sur plus de 3 500 kilomètres avec un potentiel halieutique considérable. Ces ressources sont amenées à prendre de plus en plus d'importance dans un proche futur. Par ailleurs, le recours à ces ressources au niveau des échanges économiques internationaux va s'accentuer. Le secteur de la pêche se présente aujourd'hui comme l'un des piliers de l'éco-

nomie marocaine. Mieux valoriser les ressources halieutiques nécessite une bonne connaissance des phénomènes climatiques et biologiques qui interagissent et qui parfois gouvernent la dynamique des populations de poisson, notamment celle des poissons pélagiques fortement instable.

La sardine (*Sardina pilchardus*) est l'espèce la plus abondante le long des côtes marocaines de l'Atlantique. Elle constitue en grande partie les captures de la pêche traditionnelle le long de ce littoral. De fortes fluctuations de la pêcherie sardinière ont été constatées à partir des données rassemblées et traitées par l'ISPM (Institut Scientifique des Pêches Maritimes) pour la période 1968-1988. Une première analyse indique une baisse des rendements de cette pêcherie dans la région Safi-Essaouira-Agadir entre les années 1960 et 1980. La question posée alors est la suivante: cette diminution est-elle due à une surpêche locale du stock ou à une évolution climatique régionale ?

Divers travaux de recherche ont été menés sur la sardine marocaine (Furnestin 1953, 1957, 1959, 1970; Belvèze et Erzini,1983; Belvèze, 1984; Fréon, 1988). Ils ont confirmé que cette ressource était concentrée dans les régions d'upwelling. C'est le cas de la zone A (Safi, Essaouira et Agadir) (fig. 1). Dans cette zone, Belvèze (1984) a analysé la réponse annuelle des populations de sardine à la variabilité de l'upwelling entre 1968 et 1982. Dans cette approche, l'upwelling a été caractérisé par une estimation moyenne annuelle de la vitesse du vent de la région d'Essaouira.

Afin d'améliorer notre connaissance de la dynamique des populations de sardine du Maroc en interaction avec leur environnement marin, nous avons fixé trois objectifs:

- étudier la réponse à l'échelle mensuelle des différentes populations de sardines de la zone A au phénomène d'upwelling, l'indicateur du niveau de ce phénomène ne se limitant plus, comme dans l'étude de Belvèze (1984), à la vitesse du vent mais intégrant cette fois un indice de l'intensité de l'upwelling estimé à partir du transport d'Ekman;
- étudier l'interaction entre ce phénomène physique et la pêche au niveau annuel (1968-1981);
- établir un modèle permettant de mieux appréhender la dynamique des stocks.

DONNÉES UTILISÉES

Les données relatives à la zone A ont été utilisées pour plusieurs raisons:

- existence d'une base de données météorologiques continue depuis 1952 à Essaouira (source: Météorologie Nationale);
- connaissance préalable des phénomènes d'upwelling dans cette zone (Grall *et al.*, 1974; Tréguer et Le Corre, 1979; Grall *et al.* ,1982; Minas *et al.*, 1982)
- existence d'une base de données sur la pêche à partir des statistiques des trois principaux ports du Maroc: Safi, Essaouira et Agadir (source: ISPM).

Les données utilisées sont de deux types (tab.1):

- données de vent en intensité ($m.s^{-1}$) et en direction (degré), ce sont des enregistrements relevés à la station d'Essaouira toutes les 6 heures (8h, 12h, 18h) de 1952 à 1988;
- données de pêche indiquant l'évolution moyenne mensuelle des CPUE (captures par unité d'effort) des sardines dans la zone A de 1968 à 1982. Par ailleurs, nous disposons aussi des captures de 1963 à 1987, ces dernières mesures restent cependant difficilement utilisables car elles n'intègrent pas comme c'est le cas des CPUE la variation possible de l'effort de pêche (nombre de bateaux, capacité, performance...).

A l'aide des mesures de vents relevées à la station d'Essaouira de 1952 à 1988, un indice d'upwelling moyen journalier (en tonne par mètre et par seconde) a été calculé en faisant le rapport du module de la composante de la tension du vent parallèle à la côte au paramètre de Coriolis (Ben Jannet et Tazi, 1989). Le calcul est limité aux valeurs positives qui intègrent l'effet de l'upwelling. Cet indice permet d'analyser les évolutions journalières ou d'étudier, à partir de moyennes, des strates temporelles plus étendues, saisonnières ou annuelles.

VARIABILITÉ SAISONNIÈRE

Le calcul du cycle moyen de l'indice d'upwelling par jour a permis de tracer l'évolution climatique moyenne (fig. 2).

Tableau 1

Effort de pêche (en nombre de sorties * tjb), captures (en tonnes), CPUE (tonnes par unité d'effort), indice d'upwelling: IU ($t.m^{-1}.s^{-1}$) et pluviométrie: PLUV(mm)

Année	Effort	Captures	CPUE	IU	PLUV
1966		237657		0,50	383
1967		286595		0,42	917
1968	932,5	155397	166,65	0,42	799
1969	876,8	157169	179,25	0,32	961
1970	1140,4	150095	131,62	0,43	698
1971	1466,7	172976	117,94	0,40	748
1972	1469,7	159202	108,32	0,36	815
1973	1633,5	331261	202,79	0,56	462
1974	1441,0	204267	141,75	0,57	419
1975	1463,9	146614	100,15	0,32	440
1976	1545,0	176162	114,02	0,10	724
1977	1487,7	101877	68,48	0,23	748
1978	1522,0	91141	59,88	0,23	458
1979	1762,6	163442	92,73	0,19	454
1980	1914,9	181198	94,63	0,24	469
1981	1959,5	200395	102,27	0,31	276
1982	1547,2	104738	67,70	0,39	

Fig. 1

Situation géographique de la côte nord-ouest africaine.

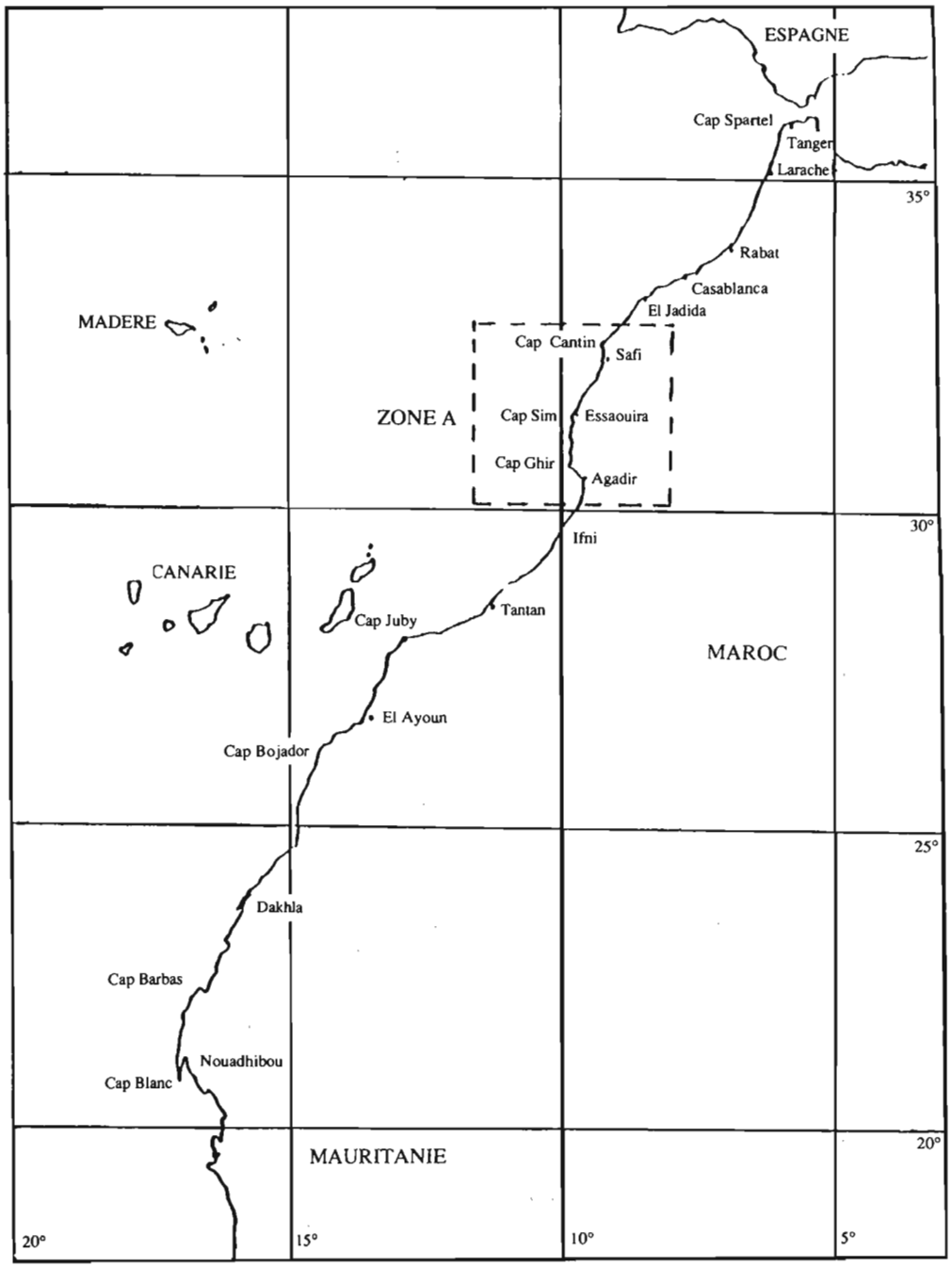
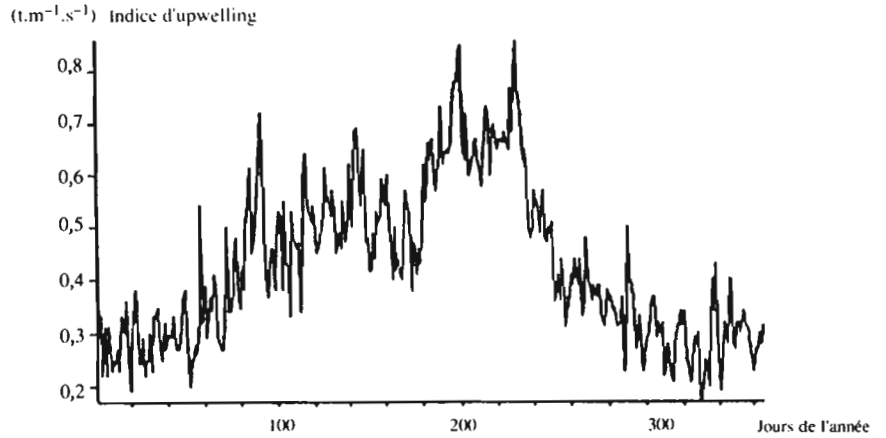


Fig. 2

Cycle annuel moyen par jour de l'indice d'upwelling à Essaouira ($t.m^{-1}.s^{-1}$).



L'ordre de grandeur de l'indice d'upwelling est de 0,2 à 0,3 $t.m^{-1}.s^{-1}$ pendant l'été. L'upwelling débute vers le mois de mars (autour du 60ème jour) pour atteindre son niveau le plus élevé durant les mois de juillet-août (180 à 260ème jour); à partir de septembre l'upwelling s'affaiblit.

On constate cependant que certaines années s'écartent fortement de cette évolution moyenne (fig. 3a). En 1973, le niveau de cet indice est de l'ordre de 3 à 4 $t.m^{-1}.s^{-1}$ plusieurs fois dans l'année. En 1976, cet indice reste nul entre mai et début août avec des maxima inférieurs à 0,6 (fig. 3b). En 1984, l'installation de l'upwelling n'a débuté qu'à partir de fin juin; l'indice est resté compris entre 0,5 et 1,5 pendant une période assez courte (fig. 3c). Cette première analyse montre que l'évolution saisonnière de l'upwelling présente une grande variabilité d'une année à l'autre. Cette variabilité peut affecter la pêcherie tant au niveau du calendrier de la pêche qu'au niveau de l'abondance de la ressource.

La dynamique des populations de sardines telle qu'elle a été étudiée par Belvèze (1984, présent volume) indique une répartition régionale assez large. Un même stock serait réparti dans la zone A (Safi, Essaouira et Agadir). D'autre part, les flottilles de chacun des ports ne semblent pas se limiter uniquement aux ressources proches du port d'attache. Ce sont là deux arguments qui autorisent une comparaison entre les indices moyens mensuels d'upwelling et les CPUE calculées dans les trois ports.

Les CPUE connaissent un niveau élevé un à deux mois après l'accroissement de l'IU (Indice d'Upwelling) (fig. 4a). L'année 1970 est représentative de ce phénomène: on y distingue un premier pic d'upwelling en février, suivi d'un pic des CPUE en mars; un second pic d'upwelling en avril, suivi d'un pic de pêche en juillet. Le décalage entre le processus physique qui apporte les nutriments à l'écosystème et la présence de poisson indiquée par une forte CPUE semble être de l'ordre de un à trois mois. Cet intervalle de temps intègre une augmentation de la production primaire, de la production secondaire et enfin un accroissement apparent de l'abondance du poisson. Cet ordre de grandeur semble correspondre à la période nécessaire pour passer au stade zooplancton, à partir d'un accroissement de nutriments (Agoumi, 1985). Ce décalage est vraisemblablement variable selon les périodes de l'année; il dépend des conditions de lumière, de la température de l'eau, de la maturité biologique du système au moment où l'upwelling apparaît.

Les effets sur la pêche des années contrastées au niveau climatique sont mis en évidence en considérant les années 1973 et 1976 (fig. 4b et 4c). En 1973, l'indice d'upwelling est fort pendant une grande partie de l'année. La pêche a connu un développement progressif et important du mois de février au mois de novembre avec des CPUE entre 120 et 280 tonnes/unité d'effort. En 1976, on trouve ce décalage de 1 à 2 mois entre les pics d'IU et les pics de CPUE. Par ailleurs, cette année de très faible upwelling est associée avec une pêche d'un niveau très bas jusqu'au mois de juillet, avec des maxima de CPUE de l'ordre de 150 tonnes/unité d'effort.

Fig. 3

Indice d'upwelling journalier à Essaouira, en 1973 (a), en 1976 (b) et en 1984 (c).

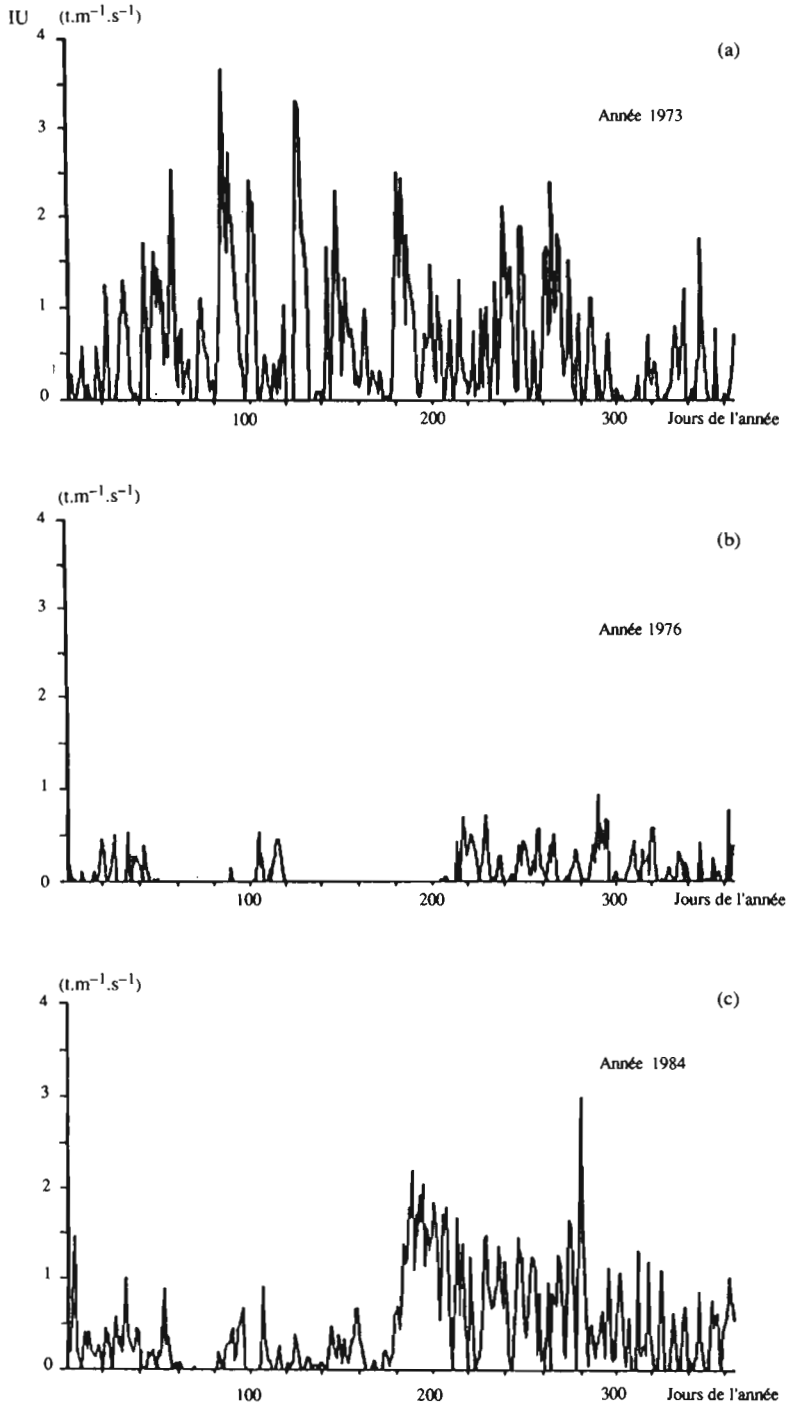
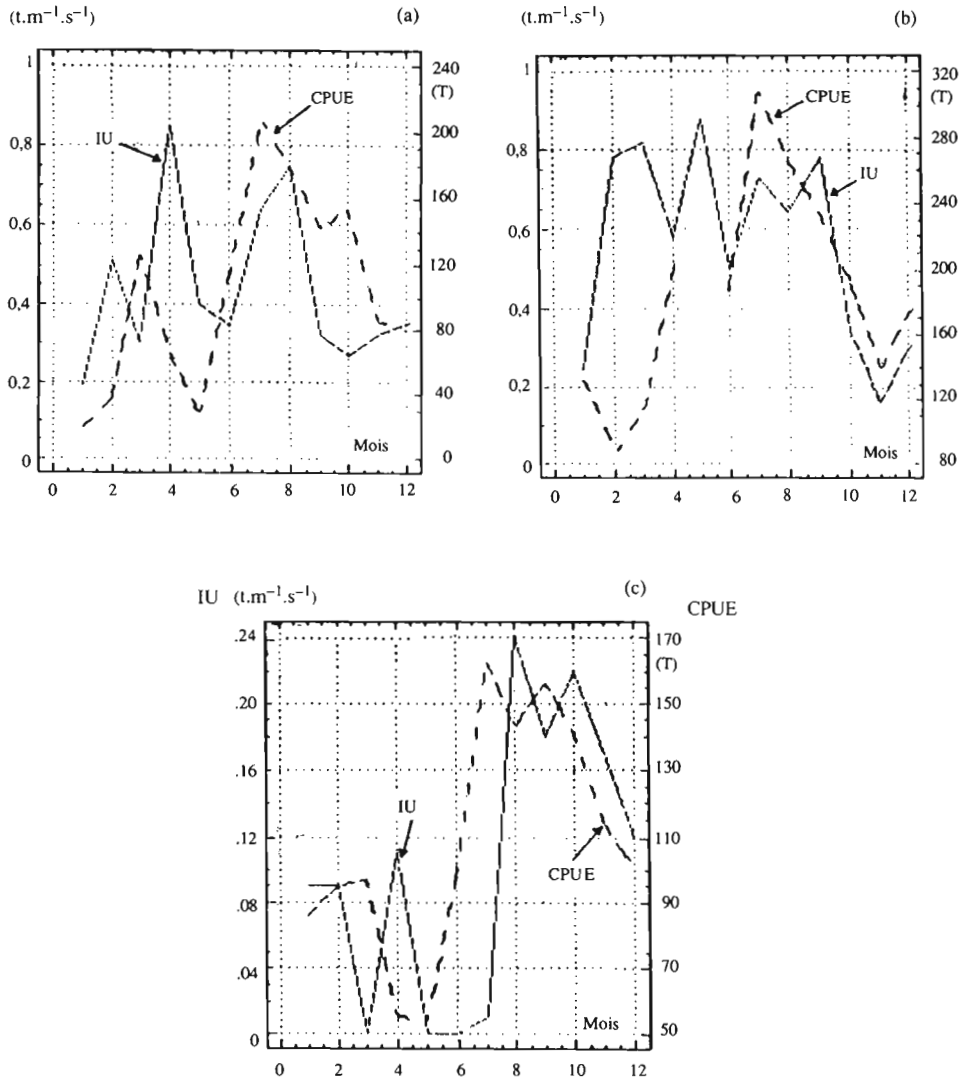


Fig. 4

Indice d'upwelling à Essaouira et CPUE dans la zone
A par mois en 1970 (a), en 1973 (b) et en 1976 (c).



VARIABILITÉ ANNUELLE

Les données de vent relevées à la station d'Essaouira couvrent la période 1952-1988. Le calcul de l'indice d'upwelling à l'aide de ces données a permis d'associer à chacune de ces années un indice moyen annuel (fig. 5). Pour les 37 années considérées, la moyenne annuelle est de l'ordre de 0,43 $t.m^{-1}.s^{-1}$. Avant 1975, le niveau de l'upwelling est souvent supérieur à la moyenne; après 1976 l'activité de l'upwelling est généralement faible sauf en 1985 et 1986. On peut ainsi séparer au niveau climatique la période 1952-1988 en deux: 1952-1975 avec un indice d'upwelling moyen de l'ordre de 0,49 $t.m^{-1}.s^{-1}$ et 1976-1988 avec un indice d'upwelling moyen plus faible de l'ordre de 0,32 $t.m^{-1}.s^{-1}$. Cette évolution se retrouve sur la figure 6 présentant les modules des vitesses moyennes annuelles. Durant la première période, ce module est pratiquement toujours supérieur à 4,5 $m.s^{-1}$, alors qu'il est très souvent inférieur à cette valeur par la suite

La direction moyenne annuelle du vent (fig. 7) montre que durant toute la période d'étude la direction des vents reste stable avec des vents du Nord. Par contre, l'évolution de l'indice d'upwelling et celle du module du vecteur vitesse sont similaires (fig. 8). Une droite de régression calculée entre ces deux séries donne un coefficient de corrélation de 0,93 (fig. 9).

Les fluctuations annuelles de l'indice d'upwelling ont été comparées à un autre facteur climatique qui est la pluviométrie enregistrée à Essaouira et Safi (fig. 10). Les années de sécheresse à faible pluviométrie correspondent systématiquement à des indices d'upwelling élevés: de 1957 à 1961, en 1966 et de 1973 à 1976, la pluviométrie est de l'ordre de 700 mm et l'indice d'upwelling de l'ordre de 0,55 $t.m^{-1}.s^{-1}$. Inversement, les années pluvieuses sont des années où l'upwelling est faible, notamment la période 1962-64, 66-71 et 74-80. Ceci vient confirmer la dépendance de l'évolution climatique des côtes marocaines envers l'anticyclone des Açores. Les années de sécheresse sont des années à fort upwelling pendant lesquelles l'anticyclone s'est maintenu longtemps au nord, engendrant des alizés sur une plus longue période de l'année et, de ce fait, empêchant le développement des vents du secteur sud-ouest chargés de pluies. Inversement, pendant les années pluvieuses, l'anticyclone se stabilise au niveau des îles Canaries, la période d'alizés est réduite et l'intensité de l'upwelling est faible.

Sur la figure 11 sont présentées les variations des CPUE (zone A) et de l'indice d'upwelling calculées pendant la période 1968-1981. Les tendances des fluctuations de l'indice d'upwelling annuel et des CPUE semblent évoluer de façon similaire. Une première période de décroissance allant de 1969 jusqu'à 1972 est suivie par un accroissement entre 1972 et 1973, avec un niveau maximum de l'upwelling et des CPUE en 1973. Une baisse des deux variables est constatée de 1973 et jusqu'en 1978 et enfin un léger redressement pendant les années 1979-1980-1981. Le coefficient de corré-

Fig. 5

Indice d'upwelling moyen annuel de 1952 à 1988 à Essaouira.

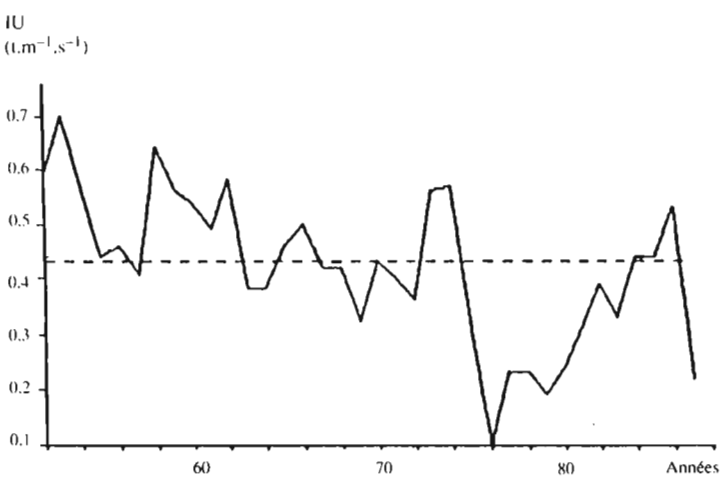


Fig. 6
Vitesse moyenne annuelle du vent de 1952 à 1988 à Essaouira

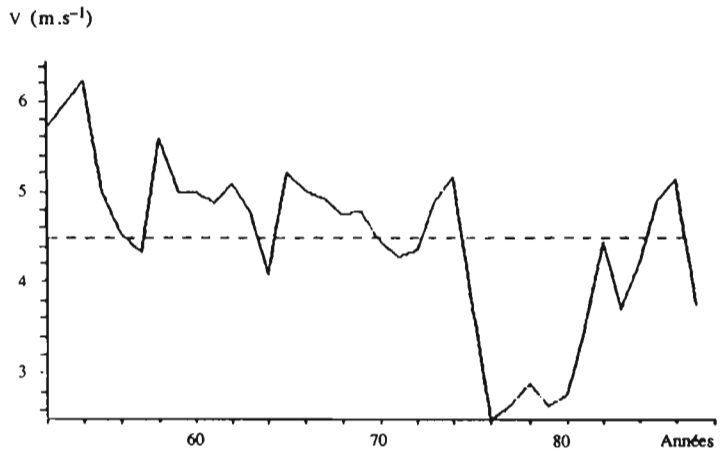


Fig. 7
Direction du vent (moyenne annuelle) de 1952 à 1988 à Essaouira.

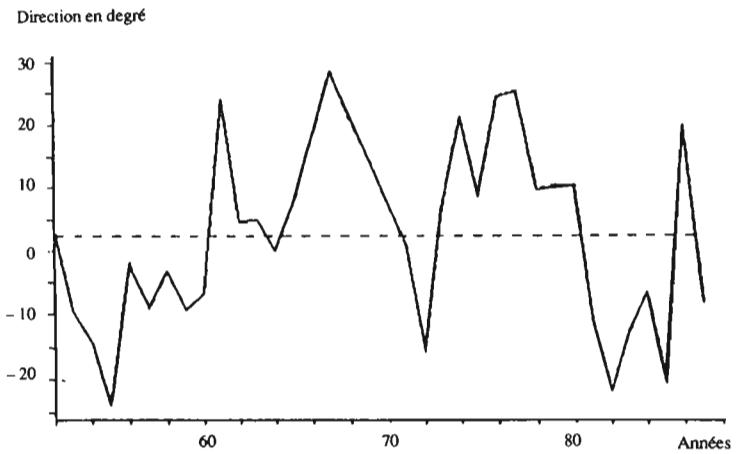


Fig. 8

Vitesse et indice d'upwelling (moyennes annuelles) de 1952 à 1988 à Essaouira.

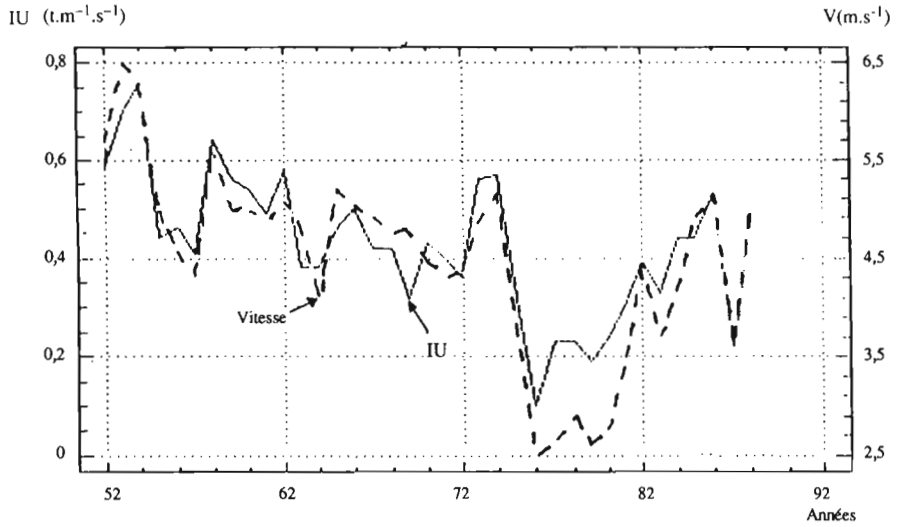


Fig. 9

Régression linéaire entre l'indice d'upwelling et la vitesse du vent (moyennes annuelles) de 1952 à 1988 à Essaouira.

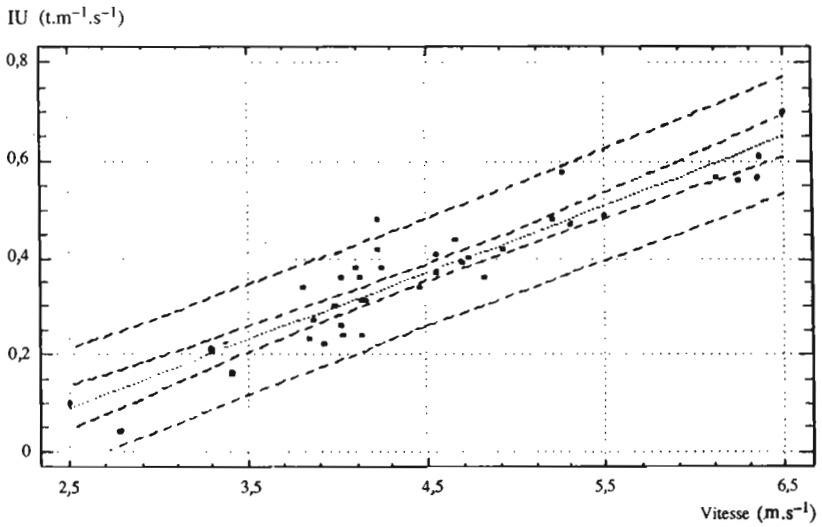


Fig. 10

Indice d'upwelling à Essaouira et pluviométrie à Essaouira et Safi (moyennes annuelles) de 1952 à 1981.

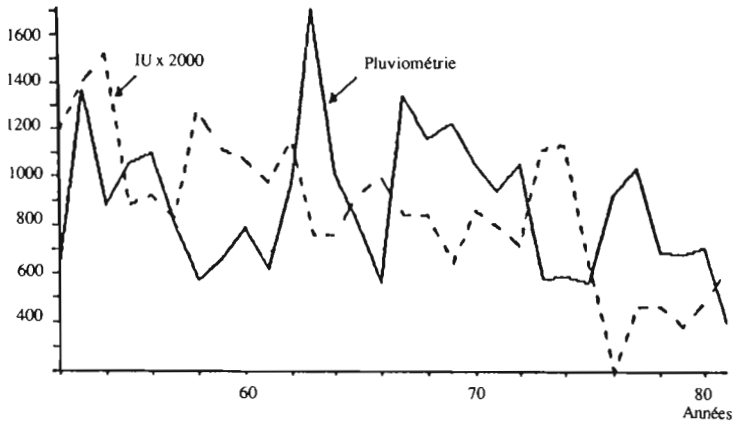


Fig. 11

CPUE dans la zone A et indice d'upwelling à Essaouira (moyennes annuelles) de 1968 à 1981.

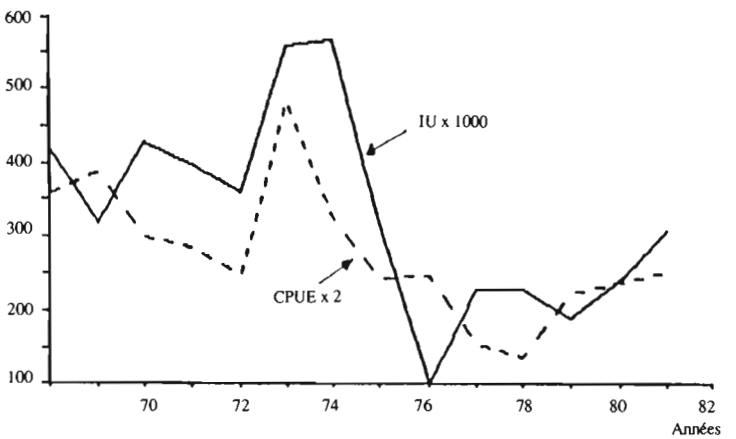
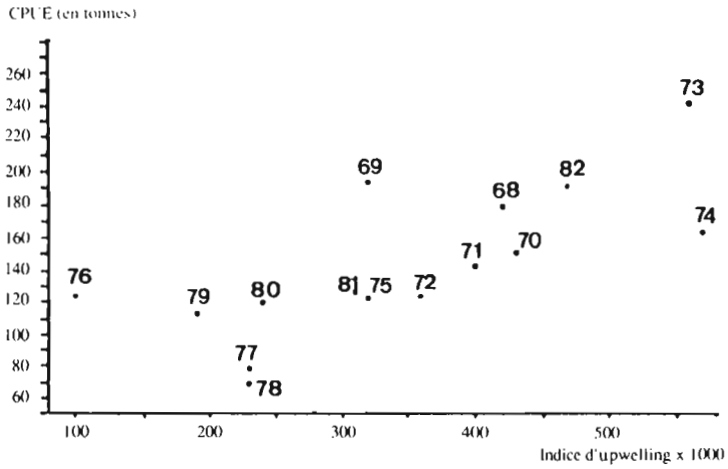


Fig. 12

Relation entre CPUE dans la zone A et indice d'upwelling à Essaouira (moyennes annuelles) de 1968 à 1982.



lation obtenu entre les deux séries reste faible (0,64) (fig. 12). Ce résultat peut être justifié, étant donné que les CPUE d'une année devraient logiquement dépendre des conditions climatiques ayant prévalues l'année en question mais aussi les années précédentes (Fréon, 1988; Cury et Roy, 1987)

Ce constat nous a amené à nous orienter vers une recherche d'une relation (pas nécessairement linéaire) permettant d'estimer les CPUE à partir de différents facteurs hydroclimatiques et de pêche.

APPROCHE MODÉLISATRICE

L'objectif visé par cette tentative de modélisation a été de mettre au point un modèle représentant pour une année donnée les CPUE en fonction de paramètres caractérisant l'évolution climatique et celle de la pêche. La mise au point de ce modèle a été faite de façon progressive en tenant compte de notre connaissance des interactions entre les éléments précités.

Effort de pêche

L'effort de pêche d'une année donnée doit conditionner les CPUE de celle-ci en réduisant les biomasses exploitables. Pour cette interaction, nous avons opté pour une loi exponentielle (Fréon, 1988) qui semble assez bien traduire l'évolution d'une biomasse exploitée. Sous cette hypothèse, les CPUE s'écrivent:

$$CPUE_i = a \exp^{(b * (E - Ei / E))}$$

$CPUE_i$: CPUE de l'année i

E : effort de pêche moyen pour la période 1968-81

E_i : effort de pêche de l'année i

a,b : constantes

Une relation de ce type a été ajustée sur la période 1968-1981 (13 ans). Une comparaison entre CPUE ajustées et observées est présentée sur la figure 13. La tendance générale à la baisse des CPUE pendant la période considérée est décrite mais cette configuration ne peut pas expliquer les fluctuations importantes.

Indice d'upwelling de l'année i

L'abondance apparente du stock de sardines l'année i, en particulier l'été, sera liée à l'intensité de l'upwelling de l'année en cours, par l'intermédiaire de deux facteurs:

- température: ce paramètre conditionne l'ensemble des cinétiques de transfert d'un stade à un autre (croissance, fécondité...) et les migrations de la population;
- nutriments: ces éléments favorisent la production primaire, secondaire et donc la mise à disposition de nourriture pour les sardines.

Cette relation entre $CPUE_i$ en fonction de l'indice d'upwelling peut être exprimée par une relation linéaire simple. La forme retenue est la suivante:

$$CPUE_i = a(b + I_i * CPUE/I) \exp^{(c(E - Ei/E))}$$

$CPUE_i$: CPUE de l'année i
I_i : indice d'upwelling de l'année i
E_i : effort de pêche de l'année i
CPUE : CPUE moyen de la période 1968-81
E : effort moyen de la période 1968-81
I : indice d'upwelling moyen calculé sur la période 1968-81
a,b,c : constantes

Les valeurs calculées par la formule précédente ne permettent pas de décrire de façon satisfaisante les pics de CPUE observés (fig. 14).

Indice d'upwelling de l'année i-1

Les conditions hydroclimatiques de l'année précédant celle de la pêche (année i-1) ont un impact sur la croissance de la population mais aussi sur le recrutement. Il est donc logique d'insérer dans cette relation un facteur permettant de tenir compte de l'upwelling pour l'année i-1. La formule retenue est de type:

$$CPUE_i = a(b + (I_i + d*I_{i-1})* CPUE / I) \exp^{(c\,(E-Ei/E))}$$

I_i : indice d'upwelling de l'année i
E_i : effort de pêche de l'année i
I_{i-1} : indice d'upwelling de l'année i-1
I : indice d'upwelling moyen calculé sur la période 1968-81
CPUE : CPUE moyen sur la période 1968-81
E : effort de pêche moyen sur la période 1968-81
a,b,c,d : constantes

La formulation suivante peut être retenue:

$$CPUE_i=3{,}2\ (12+ (0{,}2I_i + 0{,}1\ I_{i-1})*CPUE/I)\ \exp^{(0{,}21\ (E\ -\ Ei/E))}$$

La comparaison entre les valeurs calculées et observées (fig. 15) montre un déphasage entre les deux séries qui rend le résidu important certaines années.

DISCUSSION

Cette étude nous a permis de confirmer le comportement saisonnier de l'upwelling dans cette zone, avec un début d'upwelling au printemps et un niveau maximum pendant l'été. L'importance des fluctuations observées certaines années a été soulignée: des écarts importants par rapport à une année «moyenne» ont été constatés pour des années particulières telles 1973, 1976 ou 1984. Une comparaison a été effectuée entre l'indice d'upwelling mensuel et les CPUE mensuelles sur la période 68-81. Cette confrontation a mis en évidence l'existence d'une réponse biologique systématique du milieu (pêche) au forcing climatique (upwelling), avec

Fig. 13
Modèle intégrant uniquement l'effort de pêche.

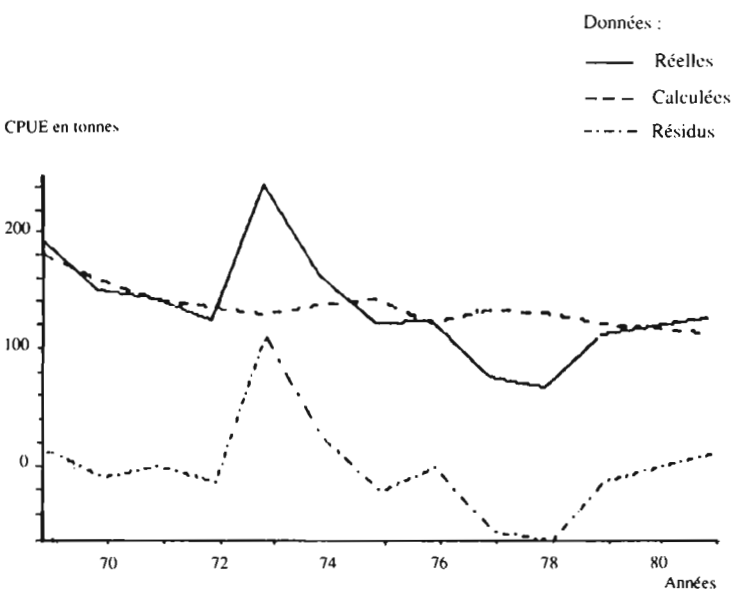


Fig. 14

Modèle intégrant l'effort de pêche et l'indice d'upwelling de l'année en cours.

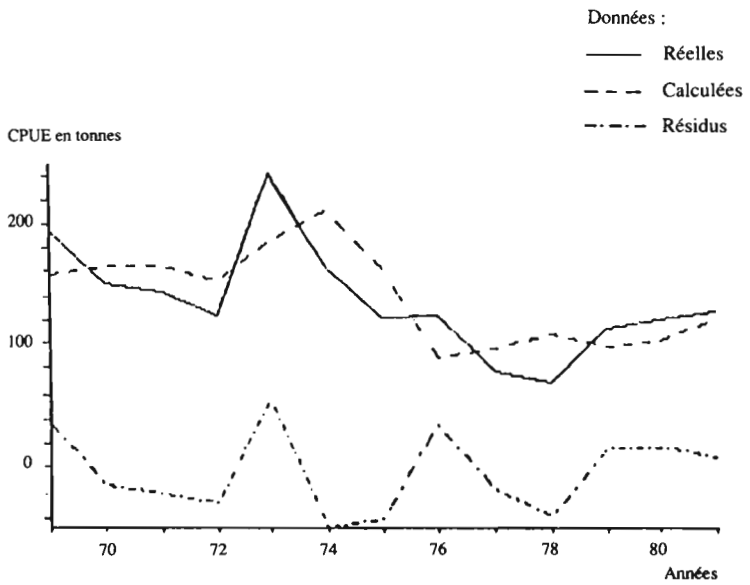
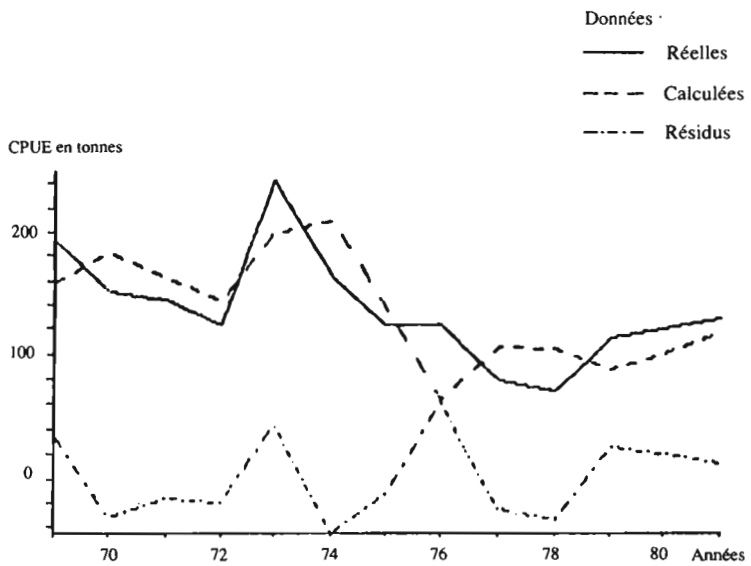


Fig. 15

Modèle intégrant l'effort de pêche, l'indice d'upwelling de l'année en cours et celui de l'année précédente.



un décalage moyen de l'ordre de quelques mois (un à trois mois). Ce décalage pourrait intégrer l'intervalle de temps nécessaire pour le transfert des nutriments à travers les différents niveaux trophiques.

L'étude globale de l'évolution interannuelle du vent pour la période 1952-1988 montre une baisse d'intensité à partir de 1975 des vents du nord, dominants dans la zone A. L'intensité de l'upwelling est tributaire de la position de l'anticyclone des Açores. Lorsque cet anticyclone se maintient au niveau des îles Canaries, il engendre des vents de secteur sud (chargés de pluies) et par là même empêche le développement de l'upwelling. La situation inverse est aussi rencontrée: les années de sécheresse sont dominées par des vents de secteur nord, favorables à l'upwelling et bénéfiques pour la pêche.

Par ailleurs, nous avons cherché à établir une corrélation linéaire entre les CPUE de la zone A de 1968 à 1981 et le transport d'Ekman de la même année calculé à Essaouira. La confrontation de ces deux séries a montré que les grandes tendances de l'évolution du niveau de la pêche sont retrouvées dans les fluctuations de l'intensité de l'upwelling. La diminution des rendements de la pêche sardinière constatée au cours de la période semble être expliquée en partie par la diminution du niveau des alizés.

Les conditions hydroclimatiques de l'année en cours ne peuvent expliquer à elles seules les variations de CPUE. Les conditions hydroclimatiques des années précédentes doivent jouer aussi un rôle, sur le recrutement notamment. Un modèle tenant compte de ces différents paramètres a permis de décrire les fluctuations observées sur les CPUE de la zone A sans pour autant améliorer les estimations certaines années. L'ajustement de ce modèle a été fait sur la période 1968-1981. Une validation de celui-ci sur une autre période serait souhaitable, en particulier pour la période 1982-1988. De même, la validité de ce modèle est limitée car un nombre assez grand de paramètres par rapport au nombre d'années d'observation a été utilisé.

BIBLIOGRAPHIE

• Agoumi A. 1985. Modélisation de l'écosystème pélagique en Manche. Etude de l'influence des phénomènes physiques sur le système planctonique. thèse de Doct. Univ. Pierre et Marie Curie. Paris VI.

• Ben Jannet G.et Tazi S. 1989. Pêche-climat en zone d'upwelling (côte atlantique marocaine). Projet de fin d'étude. Ecole Hassania de Travaux publics, 140p.

• Belvèze H. and Erzini K. 1983. Influence of hydroclimatic factors in the availability of sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) in the Moroccan fisheries in the Atlantic. *In* Sharp G. and J. Csirke (eds). Expert consultation to examine changes in abondance and species composition of neretic stocks, paper n°25, San Jose, Costa Rica.

• Belvèze H. 1984. Biologie et dynamique des populations de sardine, *Sardina pilchardus* Walb., peuplant les côtes atlantiques marocaines et proposition pour un aménagement des pêcheries. Thèse Université de Bretagne Occidentale, Brest, France, 532p.

• Cury P. et Roy C. 1987. Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de côte d'Ivoire: une approche globale. Oceanol. Acta. Vol. 10 (3): 347-357.

• Fréon P. 1988. Réponses et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'Ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation: Analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. Etudes et Thèses ORSTOM, Paris.

• Furnestin J. 1953. Ultra-sons et pêche de la sardine au Maroc. Bull. Inst. sci. Pêches. Maroc. N°1.

• Furnestin J., Furnestin M.L. 1970. La sardine marocaine et sa pêche. Migration trophique et génétique en relation avec l'hydrologie et le plancton. Rapp. P-v.Réun. Cons. int. Explor. Mer, 159: 165-175.

• Furnestin J. 1957. Le milieu. Revue. Trav. Inst. Pech. marit., 21: (1 et 2): 19-38.

• Furnestin J. 1959. Hydrologie du Maroc Atlantique. Revue Trav. Inst. Pech. marit., 23: (1) 5-77.

• Grall J.R, Le Corre P. et Tréguer P., 1982. Short term variability off primary production in costal upwelling off Morocco. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 221-227.

• Grall J. R. P. Laborde, P. Le Corre, J. Neveux, P. Tréguer et A. Thiriot, 1974. Caractéristiques trophiques et production planctonique dans la région Sud de l'Atlantique marocain. Résultats des campagnes CINECA-CHARCOT I et III. TETHYS 6, (1-12): 11-28.

• Minas H.J., L.A. Codiposti and R.C. Dugdale. 1982. Nutrients and primary production in the upwelling region off Northwest Africa. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 148-183.

• Tréguer P. and Le Corre P. 1979, The ratios of nitrates, phosphates and silicates during uptake and regeneration phases of the Moroccan upwelling regime. Deep Sea Res. 26: 163-184.

34 • Abondance apparente des sardines marocaines de la zone A et variabilité du recrutement

ABDELLATIF ORBI,
Chercheur ISPM. 2, rue de Tiznit Casablanca. Maroc
CLAUDE ROY,
Chercheur ORSTOM, CRODT/ISRA B.P. 2241 Dakar. Sénégal
PHILIPPE CURY,
Chercheur ORSTOM, CRODT/ISRA B.P. 2241 Dakar. Sénégal
SALAH BENCHERIFI
Chercheur ISPM. 2, rue de Tiznit Casablanca. Maroc

RÉSUMÉ

Les relations entre CPUE (Capture Par Unité d'Effort), l'effort de pêche et l'intensité de l'upwelling sont étudiées dans la zone A du Maroc. Aucune relation simple n'apparaît entre ces facteurs caractérisant l'évolution de l'activité de pêche ou celle de l'intensité de l'upwelling entre 1966 et 1987. Cependant, une relation en forme de dôme existe entre les CPUE et les indices d'upwelling calculés durant la période de reproduction une et deux années antérieures à celle de la pêche. Un modèle simple utilisant une relation de type polynomial décrit ces relations et permet de les comparer avec les précédents résultats obtenus sur cette pêcherie.

ABSTRACT

Relations between CPUE (Catch Per Unit of Effort), fishing effort and upwelling intensity are investigated in zone A of Morocco. No simple relationship appears between these factors which characterize the evolution of the fishing activity or the upwelling intensity between 1966 and 1987. However a dome shape relationship exists between CPUE and upwelling indices during the reproductive period one and two years before the fishing year. A simple model, which utilizes a polynomial regression for describing these relations, allows a comparison with previous results obtained on this fishery.

INTRODUCTION

Au Maroc, l'évolution des prises de sardine (*Sardina pilchardus*) depuis 1966 jusqu'à nos jours a connu, dans la zone A, des fluctuations de grande ampleur (fig.1). Certaines années, les débarquements furent très importants (331 000 tonnes en 1973), d'autres années, ils furent très faibles (64 000 tonnes en 1985) (tab. 1). Nous proposons dans cette note de reconsidérer les hypothèses faites jusqu'à présent sur la nature des liens existant entre les fluctuations environnementales et les variations des prises de sardines dans la zone A. Les longues séries temporelles de données environnementales et de pêche ainsi que des hypothèses récentes sur les relations entre l'intensité de l'upwelling et le succès du recrutement (Cury et Roy, 1989) permettent de considérer sous un jour nouveau la dynamique des populations de sardine des côtes marocaines.

RELATIONS ENTRE CPUE, EFFORT DE PÊCHE ET INDICES D'UPWELLING

Si la pêcherie a connu un accroissement important de l'effort de pêche entre 1969 et 1971, celui-ci est resté relativement stable après cette date (fig. 2). Une tendance à la baisse se dessine pour les CPUE (Capture Par Unité d'Effort) qui sont classiquement considérées comme des indices d'abondance apparente (fig. 3). Des variations importantes des CPUE sont observées, même

Tableau 1

Effort de pêche (en nombre de sorties * tjb), captures (en tonnes), CPUE (tonnes par unité d'effort) et indices d'upwelling (t. m^{-1}. s^{-1})

Année	Effort	Captures	CPUE	IUC	IUCREP
1966		237 657		0,50	0,41
1967		286 595		0,42	0,35
1968	932,5	155 397	166,65	0,42	0,33
1969	876,8	157 169	179,25	0,32	0,24
1970	1140,4	150 095	131,62	0,43	0,36
1971	1466,7	172 976	117,94	0,40	0,30
1972	1469,7	159 202	108,32	0,36	0,29
1973	1633,5	331 261	202,79	0,56	0,43
1974	1441,0	204 267	141,75	0,57	0,41
1975	1463,9	146 614	100,15	0,32	0,45
1976	1545,0	176 162	114,02	0,10	0,11
1979	1487,7	101 877	68,48	0,23	0,16
1978	1522,0	91 141	59,88	0,23	0,22
1979	1762,6	163 442	92,73	0,19	0,12
1980	1914,9	181 198	94,63	0,24	0,13
1981	1959,5	200 395	102,27	0,31	0,33
1982	1547,2	104 738	67,70	0,39	0,21
1983	1801,2	174 430	96,84	0,33	0,37
1984	1609,0	69 535	43,22	0,44	0,17
1985	1473,7	63 924	43,38	0,44	0,39
1986	1570,5	110 228	70,19	0,53	0,43
1987	1663,0	118 221	71,09	0,22	0,23

Fig. 1

Evolution des captures totales (en tonnes) dans la zone A entre 1966 et 1987 (Cf. tab.1).

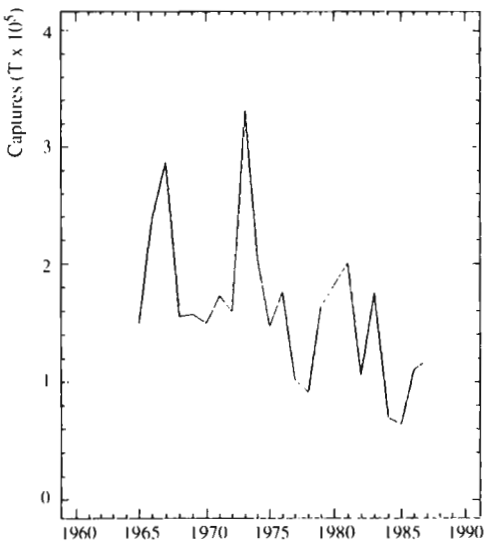


Fig. 2

Evolution des efforts de pêche totaux (en tonnes par tjb * nombre de sorties) dans la zone A entre 1968 et 1987 (Cf. tab.1).

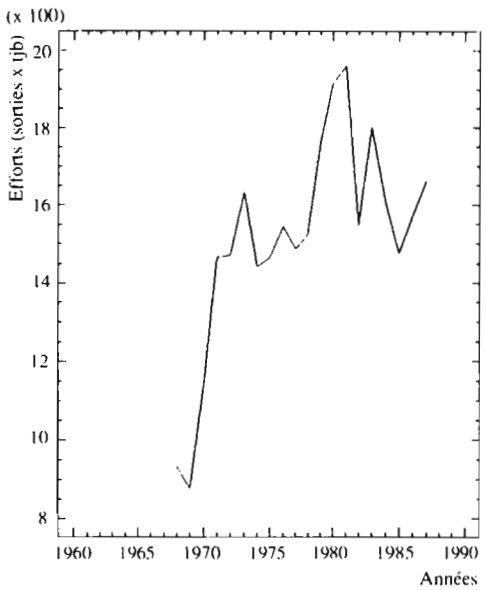


Fig. 3

Evolution des CPUE (en tonnes par unité d'effort) dans la zone A entre 1968 et 1987 (Cf. tab.1).

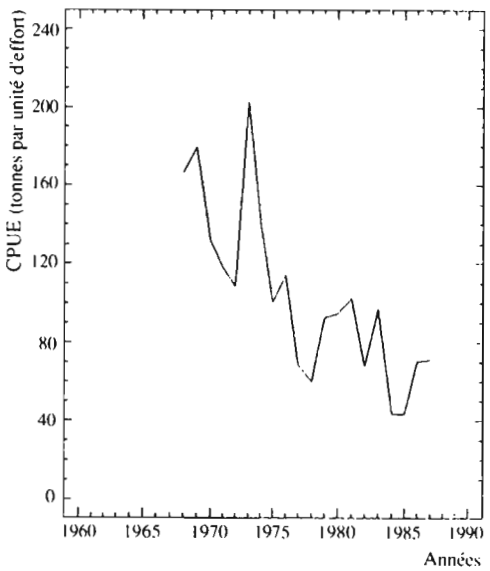


Fig. 4

CPUE dans la zone A en fonction de l'effort de pêche.

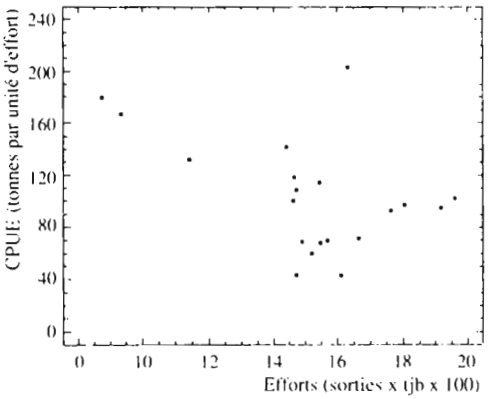


Fig. 5

Capture dans la zone A en fonction de l'effort de pêche.

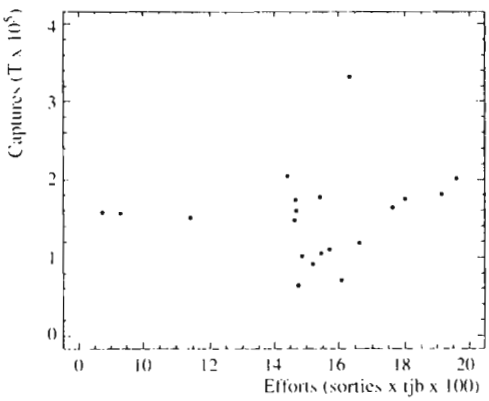
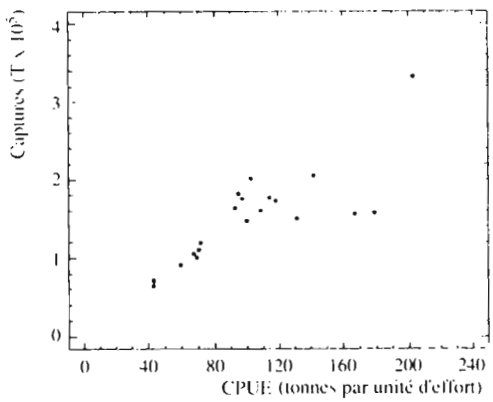


Fig. 6

Capture dans la zone A en fonction des CPUE.



dans la période récente où l'effort de pêche n'a guère fluctué. La diminution de la CPUE en fonction d'un accroissement de l'effort de pêche ne présente pas la forme classique d'une décroissance exponentielle ou linéaire (fig. 4). On peut seulement noter que les CPUE sont relativement élevées en 1968, 1969 et 1970, périodes durant lesquelles l'effort était à son minimum. De même, il ne semble pas exister de liens entre les captures totales réalisées dans la zone et les efforts de pêche développés simultanément (fig. 5). Cependant, une relation quasi linéaire apparaît entre les captures et les CPUE (fig. 6), relation qui, pour des pêcheries pélagiques indique généralement que le volume des captures dépend de l'abondance du stock, elle-même contrôlée par des facteurs du milieu.

Les nombreux travaux menés ces dix dernières années sur la dynamique des stocks pélagiques côtiers au Maroc soulignent la grande sensibilité du recrutement aux facteurs environnementaux et la variabilité de l'intensité des upwellings dans la région marocaine a été maintes fois quantifiée (Belvèze et Erzini, 1983; Belvèze, 1984, présent volume; Orbi *et al.*, présent volume).

Les fluctuations interannuelles de l'upwelling sont estimées à partir de la composante du transport d'Ekman parallèle à la côte (Bakun, 1973). Cet indice est calculé à partir des données de vent tri-horaires recueillies à Essaouira (tab. 1). Un premier calcul d'un indice journalier ne tenant compte que des valeurs positives du transport d'Ekman est réalisé, ensuite ces données sont moyennées sur la période annuelle. Les fluctuations de cet indice d'upwelling (IUC) sont présentées sur la figure 7. Un calcul analogue (IUCREP), mais réduit à la période durant laquelle a lieu la reproduction des sardines (fig. 8), permet de tenir compte d'un éventuel impact du vent durant la période «critique» du stade larvaire (Peterman et Bradford, 1987).

Les relations entre les CPUE et des événements climatiques (intensité de l'upwelling) concomitants ou antérieurs d'une année ou de deux années sont complexes. La relation entre CPUE et indice d'upwelling de la même année indique que l'enrichissement dû à l'upwelling ne peut à lui seul expliquer les variations d'abondance apparente observées (fig. 9). Si cette relation trouvait une certaine validité durant la période 1968-1981 (Belvèze, présent volume; Orbi *et al.*, présent volume), on peut s'interroger sur sa robustesse sur le long terme, elle pourrait être le reflet de tendances similaires des indices considérés et non pas celui d'un lien de causalité direct entre CPUE et intensité de l'upwelling. Les fluctuations récentes des CPUE et de l'indice d'upwelling montrent que cette corrélation n'avait peut-être pas une action continue dans le temps. Un décalage d'une ou de deux années ne permet pas non plus de faire ressortir les relations simples entre l'abondance et l'intensité de l'upwelling (fig. 10 et 11). A ce stade de l'analyse, nous pouvons dire qu'il n'y a pas de relations linéaires entre les CPUE et un des facteurs climatiques pris en compte. Cependant, les

Fig. 7

Indice d'upwelling moyen annuel de 1966 à 1987 à Essaouira.

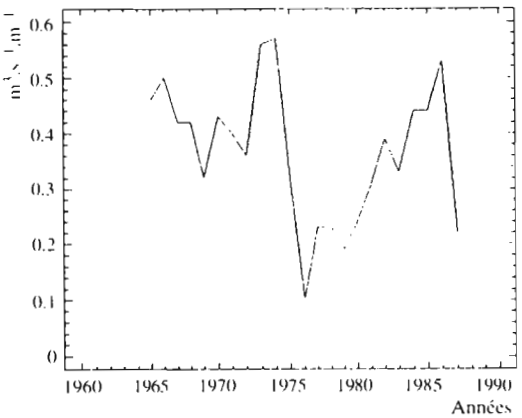
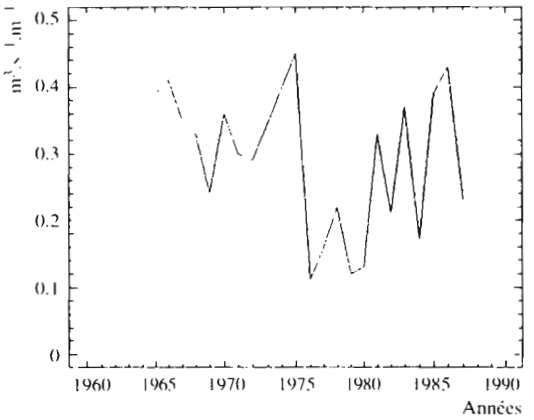


Fig. 8

Indice d'upwelling moyen durant la période de reproduction (octobre à avril) de 1966 à 1987 à Essaouira.



relations entre CPUE et l'indice de l'upwelling durant la saison de reproduction une ou deux années auparavant suggèrent une relation en forme de dôme (fig. 10 et 11), en accord avec les résultats obtenus sur la relation existant entre le recrutement des poissons pélagiques côtiers et l'intensité de l'upwelling (Cury et Roy, 1989).

Il est possible d'aborder ces problèmes de non-linéarité en utilisant une technique statistique développée par Breiman et Friedman (1985) qui permet de calculer les transformations optimales dans les régressions multiples. Cette analyse exploratoire des données dans le domaine non linéaire a été décrite et utilisée dans le domaine des pêches par Mendelssohn et Cury (1987), Mendelssohn et Mendo (1987), Cury et Roy (1989) et Roy (présent volume). Elle permet de trouver les transformations des variables qui maximisent le coefficient de corrélation tout en permettant d'identifier la forme des relations existant entre les différentes variables analysées.

Les sardines sont exploitées sur sept classes d'âge. Ce sont essentiellement les classes d'âge de un et deux ans qui constituent la majeure partie des prises dans la zone située entre Safi et Agadir (Belvèze 1984). L'hypothèse classiquement retenue aujourd'hui pour les pélagiques côtiers est que le succès de la pêche dépend en grande partie du succès du recrutement (Lasker, 1985; Lasker et MacCall, 1983). le recrutement constitue en effet «un goulot d'étranglement» au niveau de la population et il

Fig. 9

CPUE dans la zone A en fonction de l'indice d'upwelling à Essaouira (moyennes annuelles) de 1968 à 1987.

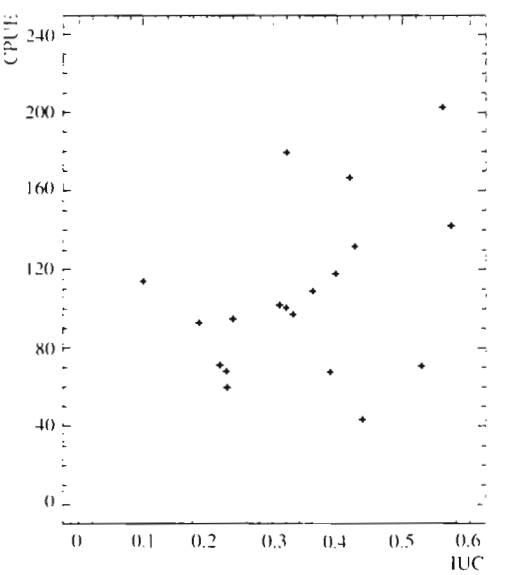


Fig. 10

CPUE dans la zone A en fonction de l'indice d'upwelling durant la période de reproduction une année auparavant.

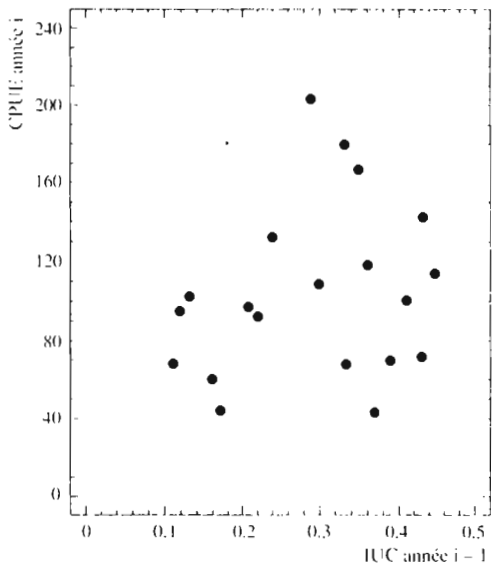
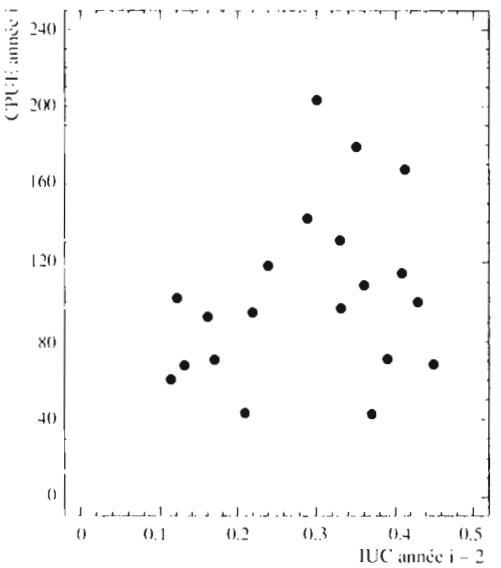


Fig. 11

CPUE dans la zone A en fonction de l'indice d'upwelling durant la période de reproduction deux années auparavant.



semble que tout se joue durant une période très courte de la durée de vie des larves («période critique») durant laquelle les mortalités peuvent être considérables (Peterman et Bradford, 1987). Les CPUE d'une année seraient en partie fonction du succès du recrutement des années précédentes; nous avons donc été amenés à étudier la relation entre l'abondance annuelle et les indices d'upwelling durant la saison de reproduction. Les transformations obtenues sont présentées sur la figure 12. La transformation de la CPUE est quasiment linéaire, avec toutefois une légère incurvation pour les deux plus bas niveaux de CPUE. Les transformations des indices d'upwelling une et deux années auparavant sont toutes deux en forme de dôme avec un point d'inflexion situé autour de 0,3 et 0,35 $t.m^{-1}.s^{-1}$. En tenant compte de ces transformations, le pourcentage de variance expliquée par cette régression est de 47 %. Ceci apparaît comme un chiffre raisonnable comparé aux pourcentages très faibles de variance expliquée, obtenus lorsque l'on utilise l'effort de pêche ou l'indice d'upwelling annuel.

Ces valeurs (0,3 et 0,35) de l'indice d'upwelling durant la reproduction représentent des valeurs de vent voisines de 4 $m.s^{-1}$. Il est bon de noter que cette vitesse correspond à la composante moyenne sur plusieurs mois du vent parallèle à la côte; elle sous-estime par conséquent la vitesse réelle du vent. Cette valeur «seuil» possède une réalité physique et biologique (Cury et Roy, 1989).

Suite à ces différents résultats, on peut modéliser aisément les relations entre CPUE et l'indice d'upwelling durant la reproduction de l'année précédente et de deux années auparavant en utilisant une relation de type polynomial:

$$CPUE = a * xi^2 - b * xi^3$$

Si x1 est l'indice d'upwelling durant la reproduction de l'année précédente:

$$a = 3674{,}7\ (\pm 606{,}9)$$
$$b = -7391{,}6\ (\pm 1544)$$

Si x2 est l'indice d'upwelling durant la reproduction deux années auparavant:

$$a = 3817{,}1\ (\pm 565{,}9)$$
$$b = -7772{,}8\ (\pm 1452{,}2)$$

Les résultats obtenus grâce aux transformations optimales suggèrent qu'il y a une relation entre CPUE et indice d'upwelling, on peut reprendre ces deux descriptions mathématiques en forme de dôme afin de connaître leurs contributions relatives pour expliquer les variations de CPUE.

La régression linéaire entre CPUE et les deux formulations des indices d'upwelling durant la saison de reproduction trouvées précédemment est de la forme:

$$CPUE = 0{,}41377\ (3674{,}7 * x1^2 - 7391{,}6 * x1^3) + 0{,}61903\ (3817{,}1 * x2^2 - 7772{,}8 * x2^3)$$

Fig. 12

Transformations optimales empiriques des CPUE, de l'indice d'upwelling durant la période de reproduction une année auparavant et deux années auparavant.

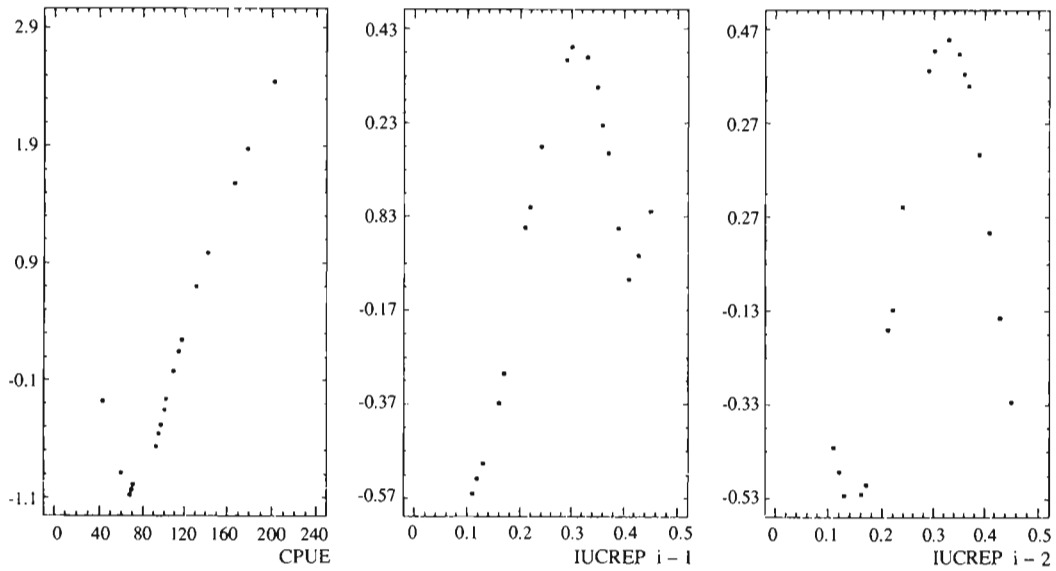


Fig. 13

Valeurs des CPUE observées et prédites par le modèle tenant compte de l'indice d'upwelling durant la période de reproduction une année et deux années auparavant.

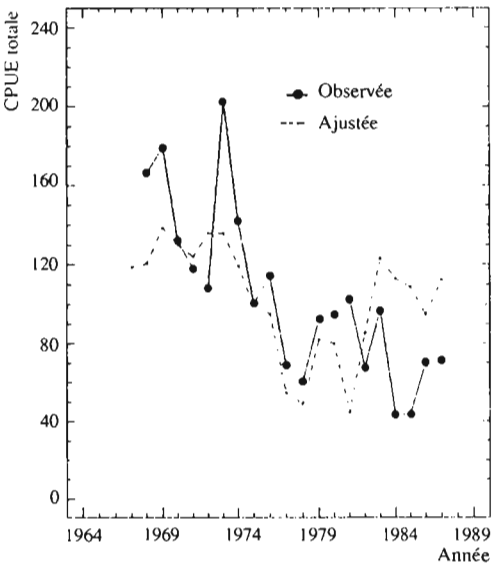
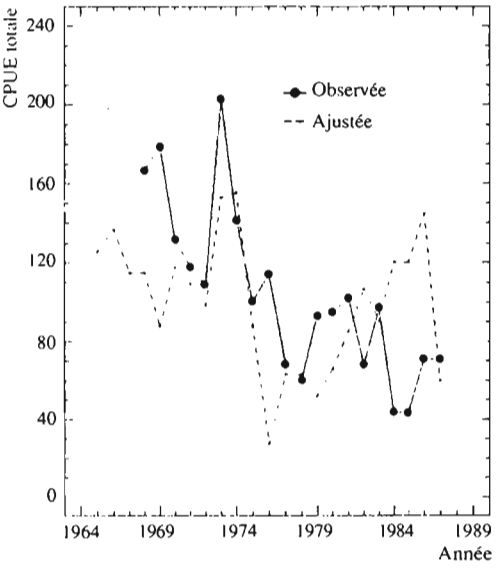


Fig. 14

Valeurs des CPUE observées et prédites par le modèle tenant compte de l'indice moyen annuel d'upwelling de l'année en cours.



Ce modèle permet d'expliquer 89 % de la variance des CPUE. Les valeurs calculées à l'aide de cette équation ainsi que les valeurs observées sont présentées sur la figure 13. L'ajustement apparaît sur l'ensemble de la série comme satisfaisant. Il est intéressant de comparer ce résultat avec celui produit par une régression linéaire simple entre CPUE et indice d'upwelling annuel, comme cela avait été avancé dans les travaux par Belvèze (1984) qui proposait une relation linéaire entre CPUE et intensité moyenne du carré de la vitesse des vents de l'année en cours. L'ajustement obtenu (fig. 14) ne permet pas de décrire après 1975 les fluctuations de CPUE observées, il produit des ajustements moins bons que ceux proposés sur la figure 13. L'ajustement produit sur la figure 14 souligne la nécessité d'utiliser des facteurs autres que l'indice d'upwelling de l'année de la pêche. Le modèle intégrant les indices d'upwelling calculés durant la période de reproduction permet d'avoir une description entre les années 1967 et 1984 assez bonne; les années récentes (1984 et 1985) sont assez mal prises en compte. Ce problème soulevé par les deux années de plus faibles CPUE était souligné dans les transformations (fig.12) qui présentaient une pente négative pour les très faibles valeurs de CPUE.

CONCLUSION

Il ressort plusieurs points importants en terme de dynamique des populations de sardines de la zone A. L'effort de pêche, tel qu'il a été calculé jusqu'à présent et pour les ordres de grandeurs observés, ne permet pas de rendre compte des variations d'abondance et de prises observées. Les fluctuations de l'indice d'upwelling annuel n'ont pas non plus de relation avec celles des CPUE observées la même année. La disponibilité, en relation avec la dynamique de l'upwelling, ne serait pas un des facteurs clés assurant le succès ou l'échec de la pêche. Les relations obtenues entre l'abondance annuelle et le succès du recrutement une et deux années auparavant semblent cependant être prises en compte. Belvèze (1984) soulignait déjà que le succès de la pêche dépendait en grande partie du recrutement produit les années précédentes. En 1984, il n'était pas encore possible de réaliser des corrélations entre ces facteurs qui n'avaient pas varié avec suffisamment d'ampleur. Les longues séries temporelles nous autorisent aujourd'hui à identifier un des facteurs clés du succès de la pêche et à analyser son lien avec un facteur climatique. Les résultats obtenus sur la sardine de Californie, l'anchois du Pérou, les sardinelles du Sénégal et de Côte d'Ivoire convergent (Cury et Roy, 1989) et montrent l'importance du lien entre le succès du recrutement et l'intensité de l'upwelling durant les phases larvaires. Ce schéma semble être général pour nombre de pêcheries pélagiques comme celle de la sardine du Maroc. Toutefois, il semble qu'il existe d'autres facteurs écologiques qui peuvent, à un moment donné, modifier la dynamique de ces stocks, comme en témoignent les travaux sur la sardinelle de Côte d'Ivoire présentés dans le présent volume.

BIBLIOGRAPHIE

• Bakun, A. 1973. Daily and weekly upwelling indices, West Coast of north America 1946-71. U.S. Dep. Comm., NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-671, 103p.

• Belvèze, H. 1984. Biologie et dynamique des populations de sardine (*Sardina pilchardus*) peuplant les côtes Atlantiques marocaines et propositions pour un aménagement des pêcheries. Thèse de Doctorat d'Etat. Université de Bretagne Occidentale, 532p.

• Belvèze, H. and K. Erzini. 1983. The influence of hydroclimatic factors on the availability of the sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum) in the Moroccan atlantic fishery. *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, Fish. Rep. 291 (2): 285-327.

• Breiman, L. and J.H. Friedman. 1985. Estimating optimal transformations for multiple regression and correlation. J. Amer. Stat. Assoc. 80: 580-619.

• Cury, P. and C. Roy, 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:670-680.

• Lasker, R. 1985. What limits clupeoid production ? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42 (Suppl. 1): 31-38.

• Lasker, R. and A. MacCall. 1983. New ideas on the fluctuations of the clupeoid stocks off California. In: Proceedings of the Joint Oceanographic Assembly 1982; General Symposia. Canadian National Committee Scientific Committee on Oceanic Research. Ottawa. Ont: 110-117.

• Mendelssohn, R. and J. Mendo. 1987. Exploratory analysis of anchoveta recruitment off Peru and related environmental series: 294-306. *In* D. Pauly and I. Tsukayama (eds.). The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change. ICLARM studies and Reviews 15, 351p. IMARPE, Callao, Peru; GTZ, Eschborn, Federal Republic of Germany; and ICLARM, Manila, Philippines.

• Mendelssohn, R. and P. Cury. 1987. Fluctuations of a fortnightly abundance index of the Ivoirian coastal pelagic species and associated environmental conditions. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44: 408-428.

• Mendelssohn, R. and P. Cury. 1989. Temporal and spatial dynamics of a coastal pelagic species *S. maderensis* off the Ivory Coast. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 46: 1686-1697.

• Peterman, M.R. and M.J. Bradford. 1987. Wind speed and mortality rate of a marine fish, the northern anchovy (*Engraulis mordax*). Science (Wash.) 235: 354-356.

35· Relating Fisheries to the Environment in the Gulf of Guinea: Information, Causality and Long-Term Memory

ROY MENDELSSOHN

Pacific Fisheries Environmental Group,
Southwest Fisheries Center, NMFS, NOAA,
P.O. Box 831, Monterey, CA 93942, USA.

Abstract

"Optimal transformations" are new statistical methods that greatly improve our understanding of non-linear relationships that may exist between environmental and ecological data. The effect of "optimal transformations" of environmental data is examined for tuna catches, and for the small pelagic fishery in the Gulf of Guinea. In the frequency domain it is shown that the "optimal transformation" changes the spectrum of the environmental variable so that it is more similar to the spectrum of CPUE (Catch Per Unit of Effort). When there is more than one environmental variable, methods are presented for determining the unique information in each variable that is relevant to the analysis, and for determining if the environmental variables carry information that is not contained in the CPUE series itself. The analysis makes clear why for tuna in some areas wind is most important, while in other areas wind and SST are important. For the small pelagics, the analysis explains why only SST (Sea Surface Temperature) is important for predicting the combined species CPUE, but SST and salinity are both important in predicting the CPUE for *S. maderensis* only. Evidence is presented that the environmental variables important to the fisheries in the Gulf of Guinea have "long-term memory". This has implications for our ability to accurately predict into the future the consequences of our management actions.

Résumé

Les «transformations optimales» sont de nouvelles méthodes statistiques qui améliorent beaucoup notre compréhension des relations non-linéaires qui peuvent exister entre des données environnementales et écologiques. L'effet des «transformations optimales» des données environnementales est examiné pour les captures de thons et de petits pélagiques dans le Golfe de Guinée. Dans le domaine fréquentiel les transformations optimales changent le spectre de la variable environnementale de telle façon qu'il apparaît plus semblable à celui des CPUE (Capture Par Unité d'Effort). Quand plus d'une seule variable environnementale est considérée, des méthodes sont présentées pour déterminer l'information, pertinente pour l'analyse, contenue dans chacune des variables et pour déterminer si les variables environnementales apportent de l'information par rapport aux séries de CPUE. L'analyse révèle pourquoi, pour le thon, le vent est la variable la plus importante dans certaines zones, tandis que pour d'autres il s'agit du vent et de la SST (température de surface de la mer). Pour les petits poissons pélagiques, l'analyse montre pourquoi la SST est importante pour expliquer les CPUE toutes espèces confondues alors que c'est la SST et la salinité qui permettent de prédire la CPUE de *S. maderensis*. On montre enfin que les variables environnementales importantes pour les pêcheries, dans le Golfe de Guinée, possèdent une «mémoire à long terme». Ceci a des implications pour notre faculté à prédire les conséquences des actions d'aménagement.

Introduction

Fisheries management models traditionally have concentrated on the equilibrium behavior of catch and effort in isolation from the environment in which the fish live. In the Gulf of Guinea, as elsewhere, there is mounting evidence that the ocean environment plays a key role in the observed dynamics of fish stocks. A list of references documenting this statement can be found throughout the papers in this volume. I mention in particular Mendelssohn and Roy (1986), and Mendelssohn and Cury (1987, 1989), because the techniques and results of those papers are directly relevant to the concerns of this paper.

Studies of the ocean environment's effects on fish dynamics have occurred at several levels. At the lowest level, studies attempt to determine the direct mechanisms that cause mortality, reproductive success, or growth in a fish. For example, Lasker's work (1978) on the survival of larvae suggests that the concentration of food sources within the first several days of life are essential for survival of the larvae. Such information, if true, provides understanding of the mechanisms by which the ocean affects the fish, and thereby possible limitations of any higher level models. To make practical use of this information, however, would require knowing where the larvae are located and measuring the food concentrations right after birth, a formidable and expensive task.

The next level of study has traditionally looked at contemporaneous environmental conditions in relation to fish catch or fish recruitment. (This approach has been extended, for example, in the papers cited above, by considering the dynamics of both the environment and the fish in space and time). In most of these studies, cross-correlations between variables, such as cross-correlations between sea surface temperature (SST) and catch-per-unit effort (CPUE), have been used to explore the relationships between fish populations and the ocean environment.

It is clear that at this "higher" level, the variables being used no longer directly affect the fish. Rather, they act as surrogates for other variables, or for processes in the ocean, that do directly act on the fish. This is a subtle and a seemingly insignificant distinction, but it is one that will be important for the statistical discussion that follows. For, if the environmental variables being used are not causal, then it makes sense to view the modeling process, particularly in terms of forecasts, as deciding if a variable to be included in the model contains any additional, unique information about the future of the fishery dynamics over and above the information contained in the series itself or in other series to be included in the model.

The cross-correlation between two series at a given lag is not independent of the cross-correlations at other lags nor of the auto-correlations of either series. The most extreme example of this is if each series has an independent deterministic sinusoidal component. Then there is a sinusoid in the cross-correlation function. As a less extreme example, two independent series, each with a large lag-one autocorrelation, over a short period of observation will often have a significant sample cross-correlation at lag-one. This will particularly be true if the underlying series have been time aggregated (Granger 1980).

In the examples above, pre-filtering would have removed some of this spurious correlation. The effect of pre-filtering is to remove some of the information that a series carries about itself. When this removes the cross-correlations, it is tantamount to saying that there is no additional information in the new series. Pre-filtering has its own dangers, but similar characteristics can be searched for in a true multivariate setting. There has been resistance in fisheries to such an approach, because "regressing" CPUE, for example, against lagged values of itself, does not have a clear, causal explanation. If we drop the idea that our models are causal, then it is clear why some such approach makes sense: if lagged values of CPUE can predict future values just about as well as a new variable, then the past history of the CPUE series has integrated into itself any information the new series might have. The past history is not necessary causal, but in terms of information content, it is sufficient.

As I will show, it is possible to resolve some of these issues if we assume that all relationships between CPUE and its own history or between CPUE and the environment is linear. Unfortunately, dating back to some of the earliest Japanese work on fish and the ocean, and to the earlier work on tuna (see Sund et al. 1981 and refences therein for example) the evidence is that the environment affects fish in a nonlinear fashion. The tuna work, based on short term conditions around concentrations of catch, suggests a "window-like" relationship between the environment and tuna CPUE. More recently, using long time-series of data and empirically derived techniques, Mendelssohn and Mendo (1987) have shown the nonlinearities between the environment and recruitment for anchoveta off Peru. Mendelssohn and Cury (1987, 1989) using similar techniques, have shown the nonlinearities in the relationships between CPUE for small pelagics off the Ivory Coast and environmental variables. Cury and Roy (1989) have shown "window-like" relationships between recruitment for eastern boundary current pelagics and transport or turbulence in the particular region.

Such nonlinearites affect the analysis greatly. An environmental variable may not show unique information because it is being examined on the wrong scale. For example, on a linear scale, a window-like relationship will show lack of fit. While I suggest some methods for circumventing this problem, they are ad hoc solutions at best. Using fisheries from the Gulf of Guinea, I will examine ways to determine which variables will be important to include in models, and I will show in specific examples how the analysis changes due to finding a more appropriate scale for the variables.

If the environment is important in fisheries dynamics, then it is to be expected that some of the properties of the ocean's dynamics may be inherited by the fishery dynamics. Recent years has seen a boom in the literature on "chaos" and the related ideas of fractals and fractal dimensions. Probably a more accurate nomenclature is "sensitivity to initial conditions." There is, however, a feature of these concepts that is more relevant to fisheries science. The analyses in this paper assume stationarity (or more exactly joint stationarity) in the series to be studied. Or else it is assumed that the nonstationarity is of a form that can be easily removed, such as a deterministic trend. The physical motivation for these assumptions is that the effect of anything that happens now dies off relatively rapidly. Hurst (1951) noticed that riverflows appeared to have the opposite characteristic - there appeared to be long-term memory in the system. This "Hurst effect", and achieving stationarity by fractional differencing, are closely related to the concepts of chaos and fractals (see for example Mandelbrodt 1983). If the ocean's dynamics exhibit long-term memory, this can have significant implications for how far in the future we can ever expect to accurately forecast fish catches. At the end of this paper I briefly examine the question of long-term memory in the environmental series from the Gulf of Guinea.

Methods

In this section I briefly review some of the relevant literature on "causality" in time-series, and on empirical methods for determining nonlinear transformations of variables in the form of "optimal" additive models. I also discuss in more detail the specific computational techniques used in the next section.

Information between two or more time series

Pierce (1979) developed a time-series analogue to the R^2 statistic of regression analysis for the case of bivariate time series with no feedback. Pierce's statistic measures how much better a second series helps predict a given series over that available from the past history of the series. Parzen (see discussion section of Geweke 1982) pointed out that this amounted to studying the "innovations of the innovation series", a comment which will be made more concrete below. Geweke (1982, 1984) extended these concepts to the true multivariate case with feedback. Other related papers are Gelfand and Yaglom (1959), Caines and Chan (1975), Gustafson, Ljung and Soderstrom (1977) and Anderson and Gevers (1982).

In this paper I follow Gersch (1986), and the presentation closely follows the discussion of that paper. The background for developing a quantitative measure of the information in one time series about another time series (Gelfand and Yaglom 1959) is the measure of the amount of information between two continuously distributed vector random variables X and Y (Shannon 1948, Woodward 1953),

$$I_{x,y} = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} f_{X,Y}(x,y)\ln[f_{X,Y}(x,y)/f_X(x)f_Y(y)]\,dx\,dy \tag{1}$$

where $f_{X,Y}(x,y)$ is the joint probability distribution function of X and Y, and $f_X(x)$, $f_Y(y)$ are the marginal probability distributions of X and Y. Equation (1) is the negative entropy of the "true" distribution $f_{X,Y}$ with respect to the assumed distribution $f_X f_Y$. More formally, equation (1) is the amount of information, on the average, per observation, to reject the null hypothesis that the random vectors X, Y are independent.

In order to use equation (1) simplifying assumptions are necessary. Gelfand and Yaglom (1959) assume that the time series are stationary and jointly normally distributed. Let $w(t)$ be an $(r+q)$ vector-valued time series that consists of an r-vectored time series $x(t)$ and a q-vectored time series $y(t)$, that is $w(t) = (x(t), y(t))^\tau$, and the notation z^τ denotes the transpose of the vector z. Then the spectral density matrix of $w(t)$ at a frequency λ can be partitioned as

$$S_{ww}(\lambda) = \begin{bmatrix} S_{xx}(\lambda) & S_{xy}(\lambda) \\ S_{yx}(\lambda) & S_{yy}(\lambda) \end{bmatrix}$$

Then the Shannon-Gelfand-Yaglom (SGY) measure of information is

$$I_{x,y} = \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \ln \frac{|S_{ww}(\lambda)|}{|S_{xx}(\lambda)||S_{yy}(\lambda)|}\,d\lambda \tag{2}$$

$$= \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \ln \frac{|S_{xx}(\lambda)|}{|S_{xx}(\lambda) - S_{xy}(\lambda)S_{yy}^{-1}(\lambda)S_{xy}^{*}(\lambda)|}\, d\lambda \tag{3}$$

$$= -\int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \ln[1 - W_{xy}^{2}(\lambda)]\, d\lambda \tag{4}$$

where S^* denotes the conjugate transpose of the matrix S, and W^2 is the multiple coherence at the frequency λ. In equation (3), if X and Y are independent, then the denominator and numerator are identical and the integral is zero, as would be expected. Equation (4) expresses the information in terms of the extension of the coherence between two series, the multiple coherence.

For arbitrary time series, the SGY measure partitions into

$$I_{x,y} = I_{x \to y} + I_{y \to x} + I_{x.y} \tag{5}$$

where $I_{x \to y}$ is the amount of feedback between the series $x(t)$ and $y(t)$, and $I_{x.y}$ is the amount of instantaneous feedback between the two series (Geweke 1982). The measures in equation (5) can be expressed in terms of linear regressions. Let $|W$ denote conditioning on the present and past of a series, $|W^-$ denote conditioning on the past of a series. Then the series $w(t)$ can be written in equivalent moving average (MA) and autoregressive (AR) forms

$$w(t) = \sum_{i=0}^{\infty} A(i)\epsilon_{t-i}; \qquad Var\{\epsilon_t\} = \Sigma(W|W^-) \tag{6}$$

$$w(t) = \sum_{i=1}^{\infty} B(i)w(t-i) + \epsilon_t. \tag{7}$$

The component series $x(t)$ and $y(t)$ have AR representations

$$x(t) = \sum_{i=1}^{\infty} E_{1i}x(t-1) + u_{1t}; \qquad Var\{u_{1t}\} = \Sigma(X|X^-) \tag{8}$$

$$y(t) = \sum_{i=1}^{\infty} G_{1i}x(t-1) + v_{1t}; \qquad Var\{v_{1t}\} = \Sigma(Y|Y^-) \tag{9}$$

The component series can also be expressed in terms of two different ARMAX models that depend on different present and past information

$$x(t) = \sum_{i=1}^{\infty} E_{2i}x(t-i) + \sum_{i=1}^{\infty} F_{2i}y(t-i) + u_{2t}; \qquad Var\{u_{2t}\} = \Sigma(X|X^-, Y^-) \tag{10}$$

$$y(t) = \sum_{i=1}^{\infty} H_{2i}x(t-i) + \sum_{i=1}^{\infty} G_{2i}y(t-i) + v_{2t}; \qquad Var\{v_{2t}\} = \Sigma(Y|X^-, Y^-) \tag{11}$$

$$x(t) = \sum_{i=1}^{\infty} E_{3i}x(t-i) + \sum_{i=0}^{\infty} F_{3i}y(t-i) + u_{3t}; \qquad Var\{u_{3t}\} = \Sigma(X|X^-, Y) \tag{12}$$

$$y(t) = \sum_{i=0}^{\infty} H_{3i}x(t-i) + \sum_{i=1}^{\infty} G_{3i}y(t-i) + v_{3t}; \qquad Var\{v_{3t}\} = \Sigma(Y|X, Y^-) \tag{13}$$

Then the information measures in equation (5) can be written in terms of the innovations of these ARMAX models (Geweke 1982) as

$$I_{x,y} = \ln \frac{|\Sigma(X|X^-)||\Sigma(Y|Y^-)|}{|\Sigma(W|W^-)|} \tag{14}$$

$$I_{x \to y} = \ln \frac{|\Sigma(Y|Y^-)|}{|\Sigma(Y|X^-, Y^-)|} \tag{15}$$

$$I_{y \to x} = \ln \frac{|\Sigma(X|X^-)|}{|\Sigma(X|X^-, Y^-)|} \tag{16}$$

$$I_{x.y} = \ln \frac{|\Sigma(X|X^-, Y^-)|}{|\Sigma(W|W^-)|} \tag{17}$$

This is the innovations of the innovation series mentioned above.

The amount of information and feedback can be computed in either the time domain or the frequency domain. An important additive decomposition is (Geweke 1982)

$$I_{y\to x} \geq \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} I_{y\to x}(\lambda)\, d\lambda \tag{18}$$

with similar relationships for the other measures. (The frequency domain representation is useful for examining environment influences on CPUE, as estimates at different frequencies asymptotically are independent. In the time-domain, it is necessary to adjust for the past history of CPUE. In the frequency domain, only the relationships between CPUE and the environment need be examined).

Model the time series $x(t)$ in two ways - regress it on its own past and on its own past and the past of the series $y(t)$. Let $S_x(\lambda)$ be the power spectrum of $x(t)$ from the regression on its own past, and let $S_{x|x,y}(\lambda)$ be the contribution to the power spectrum of x from its own past when it has been regressed on both x and y. Then

$$I_{y\to x}(\lambda) = \ln \frac{|S_x(\lambda)|}{|S_{x|x,y}(\lambda)|} \tag{19}$$

If, for example, $y(t)$ does not influence or feedback on $x(t)$ then the inner term in equation (19) is one, and the measure is zero as expected. Geweke (1984) shows that these results continue to hold under conditioning or partial regression on another time series $z(t)$.

To practically implement this, suppose we observe three univariate time series $x(t), y(t)$ and $z(t)$. Assume that there is pairwise linear dependence between the series, that is

$$I_{x,y} \neq 0, \qquad I_{x,z} \neq 0, \qquad I_{y,z} \neq 0. \tag{20}$$

Assume also that each pair of time series is conditioned on the excluded third time series, with the following results,

$$I_{x,y|z} \neq 0, \qquad I_{x,z|y} \neq 0, \qquad I_{y,z|x} = 0. \tag{21}$$

This implies that the the $x(t)$ series uniquely explains the linear relationships between the three series.

Suppose spectral density matrices have been estimated at each frequency and are partitioned as above. Then the coherence between x and y is,

$$W^2_{xy}(\lambda) = \frac{|S_{xy}(\lambda)|}{S_{xx}(\lambda)S_{yy}(\lambda)} \tag{22}$$

The partial spectral densities (conditioned on the excluded variables) are (Brillinger 1981)

$$S_{xx|z}(\lambda) = S_{xx}(\lambda)(1 - W^2_{xz}(\lambda)) \tag{23}$$

$$S_{yy|z}(\lambda) = S_{yy}(\lambda)(1 - W^2_{yz}(\lambda)) \tag{24}$$

$$S_{xy|z}(\lambda) = S_{xy}(\lambda) - \frac{S_{xz}(\lambda)S_{zy}(\lambda)}{S_{zz}(\lambda)} \tag{25}$$

Then the partial coherence between x and y after removing the effects of z is

$$W^2_{xy|z}(\lambda) = \frac{|S_{xy|z}(\lambda)|^2}{S_{xx|z}(\lambda)} \tag{26}$$

Brillinger (1981) gives multivariate extensions for each of these terms. The partial coherences are the frequency domain analogues of partial correlations in regression theory.

The conditions in equations (20, 21) for x to be "causal" can be estimated by

$$W^2_{xy}(\lambda) \neq 0, \quad W^2_{xz}(\lambda) \neq 0, \quad W^2_{yz}(\lambda) \neq 0 \tag{27}$$

$$W^2_{xy|z}(\lambda) \neq 0, \quad W^2_{xz|y}(\lambda) \neq 0, \quad W^2_{yz|x}(\lambda) = 0 \tag{28}$$

Gersch (1986) and Brillinger (1981) give significance tests for each of these quantities. There are a variety of methods for estimating spectral density matrices. In this paper, I have used the autoregressive estimates of Akaike (1980). There is a close connection between AR spectral estimates and Maximum Entropy Spectral Estimation (Ulrych and Bishop 1975).

The AR spectral estimate is calculated by fitting multivariate autoregressive models to the data up to a maximum lag. Akaike's AIC criterion is used to pick the "best" model. Assume this "best" model has m lags, and that the estimated coefficient matrices are given by A_i at lag i. Also let the innovations covariance matrix be denoted by U. Then the spectral density matrix at frequency λ is given by,

$$S(\lambda) = A(\lambda)^{-1} U A^*(\lambda)^{-1} \tag{29}$$

and $A(\lambda) = I - \sum_j^m A_j \exp(-2\iota\lambda j)$ is the Fourier transform of the coefficient matrices.

Estimating nonlinear transformations

The standard linear regression model estimates a function of the form

$$y(i) = a + \sum_j b(j)x_j(i). \tag{30}$$

If it is believed that the relationship between the y's and the x's is nonlinear but of an unknown form, then an acceptable first approximation might be the additive model

$$T(y(i)) = \tilde{a} + \sum_j b(j)s_j(x_j(i)) \tag{31}$$

where $T(\cdot)$ and the $s_j(\cdot)$ are unknown functions. Breiman and Friedman (1985) have derived an algorithm, the "Alternating Conditional Expectations" algorithm, or ACE, to estimate models of the form of equation (31).

Briefly, for one independent variable, they show this problem is equivalent to finding the transformations that have the highest possible correlation. The quantities that need to be solved for can be written in terms of conditional expectations. The algorithm proceeds by alternately estimating the conditional expectation after removing the influence of the other variables. The conditional expectations are estimated using scatterplot smoothers. The result, therefore, is not a function that can be written down, but rather an empirical transformation of each observed point. The transformation can be observed by plotting the transformed values against the original values. There is a close connection between the ACE algorithm and the power method of calculating the maximum eigenvalue of a matrix (see discussion section of the article).

The ACE algorithm has been used in a fisheries context by Mendelssohn and Cury (1987, 1989), by Mendelssohn and Mendo (1987), Mendelssohn and Husby (1992), and Cury and Roy (1989). What is noted in each of these papers is that the overall form of the transformations generally have close, obvious physical interpretations. Transformations of CPUE, as would be expected from the ratio of two seperate series, tends to be close to a log scale.

Fractional differencing and long-term memory

My discussion follows Porter-Hudak (1982). Hurst (1951) examined the flows of rivers. Let $x_1, x_2, \ldots, x_T$ be the historical sequence of flows. Then the cumulative flows up to time t are

$$Su_t = \sum_{j=1}^{t} x_j, \qquad t = 1, 2, \ldots, T. \tag{32}$$

Related to reservoir construction is the sequential range

$$R = \max_t Su_t - \min_t Su_t. \tag{33}$$

Hurst looked at the normalized sequential range (or "rescaled adjusted range") where Su_t has the mean flow removed and the quantity is divided by the standard deviation of the flows. If the flows are independent over large time scales then one would expect that $R/S \sim (T/2)^{\frac{1}{2}}$. However, Hurst found that for a wide range of river flows $R/S \sim (T/2)^H$ where H is in the range $(.6, .8)$. Mandelbrot (Mandelbrot and Van Ness 1968, Mandelbrot 1971) explained this in terms of fractional Gaussian noise (fGn). Let $B(s)$ be Brownian motion, a stochastic process such that $B(s+u) - B(s)$ are $N(0,1)$ and independent. Then fractional Brownian motion takes the form

$$B_H(t) = \int_{-\infty}^{t} (t-a)^{H-\frac{1}{2}}\, dB(s) \qquad -\infty < t < \infty \tag{34}$$

or

$$B_H(t) - B_H(0) = \int_{-\infty}^{t} (t-s)^{H-\frac{1}{2}}\, dB(s) - \int_{-\infty}^{0} (-s)^{H-\frac{1}{2}}\, dB(s). \tag{35}$$

Discretizing the equation yields

$$b_t(H) = B_H(t) - B_H(t-1). \tag{36}$$

Fractional Gaussian noise can be described by its autocorrelation function

$$C(s) = (\frac{1}{2})(|s-1|^{2H} - 2|s|^{2H} + |s+1|^{2H}). \tag{37}$$

Fractional Gaussian noise also exhibits the self-similarity property, that is

$$X(t\lambda) \sim (\lambda)^a X(t). \tag{38}$$

A related concept is fractional differencing (Granger and Joyeux 1980, Hosking 1981)

$$(1-B)^d X_t = \epsilon_t \tag{39}$$

where d is possibly nonintegral, B is the backshift operator, and ϵ_t are independently distributed as $N(0, \sigma^2)$. Note that this is not a nonintegral lag operator, but rather an infinitely lagged polynomial in B whose weights die out at a rate given in the autoregressive representation equation (41). The spectral density of this model is

$$f(\lambda) = \frac{\sigma_\epsilon^2}{2\pi}(2(1-cos(\lambda))^{-d} \qquad \lambda \neq 0. \tag{40}$$

Granger and Joyeux (1980) derive the following autoregressive representation of a fractionally differenced process

$$\sum a_j X_{t-j} = \epsilon_t; \qquad a_j = \frac{\Gamma(j-d)}{\Gamma(1-d)\Gamma(j+1)} \qquad j > 1. \tag{41}$$

Porter-Hudak (1982) and Geweke and Porter-Hudak (1983) show that the power spectrums of the error term from an fGn process and a fractionally differenced process only differ by a short-memory component. Thus both models are estimating essentially the same long-term memory component. Porter-Hudak (1982) and Kashyap and Eom (1988) give methods for estimating the fractional differencing parameter d, based on regressions between the log of the periodogram of the observed series and the log of the theoretical spectrum of a fractionally differenced series. The most important property is that long-term memory models have a value of d in the range $(0, \frac{1}{2})$; processes such that $d \geq 1/2$ have infinite variance, and those with $d \leq 0$ are short-term memory models (Granger and Joyeux 1980, Hosking 1981).

Yellowfin Tuna in the Gulf of Guinea

In this section and the next one I make real some of the ideas in the last section, using yellowfin tuna catches in the Gulf of Guinea and catches of small pelagics off the Ivory Coast. Mendelssohn and Roy (1986) studied the space-time dynamics of yellowfin CPUE in the Gulf of Guinea in relation to SST and wind. They divided the northern part of the Gulf of Guinea into 11 areas (fig. 1).

Within each area a local model was estimated that also estimated the missing data (in this instance, whenever there was no fishing in the area there was missing data), using an extension of the EM algorithm (Dempster, Laird and Rubin 1977) suggested by Shumway and Stoffer (1982). Frequency domain principal components and canonical correlations were used to examine phase relationships between the different areas at given frequencies. Mendelssohn and Roy (1986) suggest that yellowfin CPUE follows the propogation of SST in what appears to be a remotely-forced, Kelvin wave type behavior.

The local models suggested that the onset of upwelling previous to fishing was an important key to fishing success. The combined local and global results suggested that SST and wind were surrogate variables for an oceanic process that probably tended to concentrate food for the predatory tunas. There was evidence that the actual relationships were nonlinear, but this was not explored in the paper. The question of which variables in each area were most important in the local models was addressed in at best an ad hoc manner. It is these last two questions that I explore here.

I restrict myself to the coastal areas, areas 7 through 11, where the bulk of the fishing effort has been. It is worth emphasizing that the spectral results given here are average results - at any given time period a variable may be having much more influence on the system than represented in the average statistics.

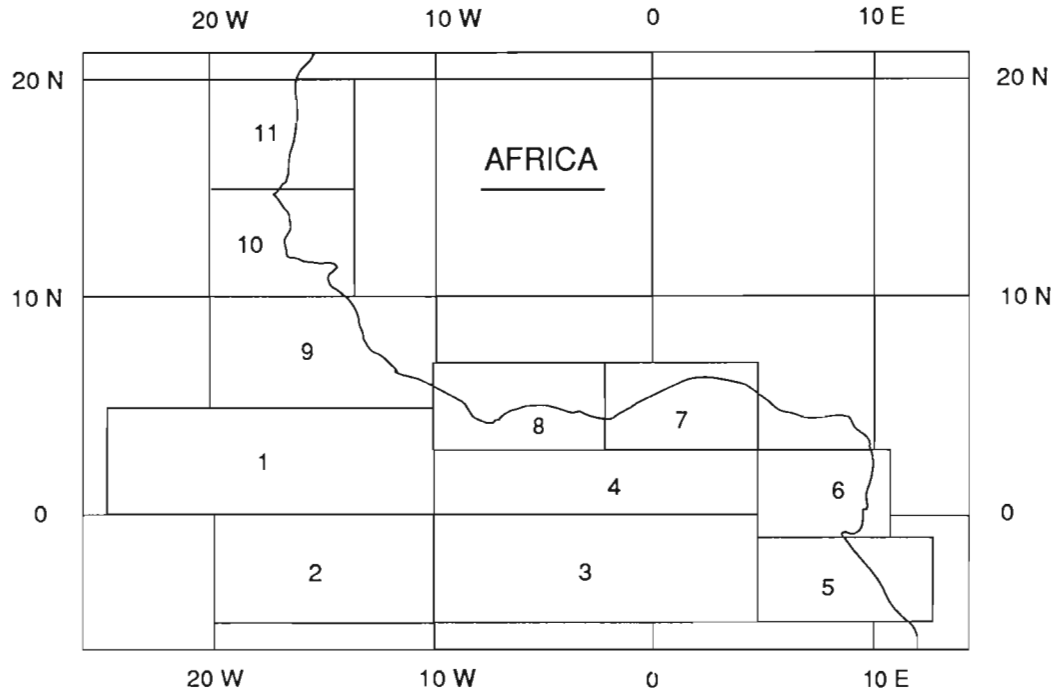


Figure 1: Areas of study for Yellowfin Tuna CPUE.

Area 7

The optimal transformations were estimated arbitrarily up to a lag of two fortnights. The estimated transformation for any variable can be different at each lag, so that ideally each variable at each lag could be treated as a separate variable in the analysis. However, I have arbitrarily used LNCPUE = ln(CPUE + 1.) as the transformation of CPUE, and the estimated transformation at a lag of 1 fortnight for all the environmental variables.

A simple, convenient method for determining the effect of the transformations on a variable is to compare the power spectra of the original and transformed series. This is particularly useful in this situation as it relates nicely to the suggested measures of information in section 2.1 (fig. 2). The LNCPUE series has a smoother spectrum than does CPUE with the peak moved from roughly a period of 7 weeks to a period of 5 weeks.

The estimated transformation for SST (fig. 3) is nearly linear at a lag of one fortnight, but shows a window-like structure with a peak around $27^{o} - 28^{o}$ C. Despite the near linearity of the transformation at a lag of 1 fortnight, it has a pronounced effect on the spectrum (fig. 4). The peak in the spectrum has been shifted from a period of roughly two months to a period of almost 5 weeks, much closer to the period of LNCPUE.

The estimated tranformation of the north-south wind component is highly nonlinear (not shown), but the effect of the transformation on the spectrum is almost identical to that of SST. The spectrum of the transformed variable is smoother with a peak identical to that of SST. Both the SST series and the north-south wind series have low coherences with CPUE at all frequencies (fig.5-6) while the transformed variables have significant and significantly higher coherences. However, while the coherences and partial coherences for the north-south wind are essentially identical, the partial coherences for SST are greatly lower then the coherences. Carrying out the full analysis in the last section suggests that the significant environmental variable in area 7 is the north-south wind, and that the coherence with SST is due to coherence and feedback between SST and the wind.

Area 8

As in area 7, the spectrum of LNCPUE is shifted over to the higher frequencies with a period of about 5 weeks, but in this case the peak is also much narrower (fig. 7). The estimated transformation for the east-west wind (not shown) is hyperbolic in shape, and its affect on the power spectrum is almost identical to that of CPUE. The estimated

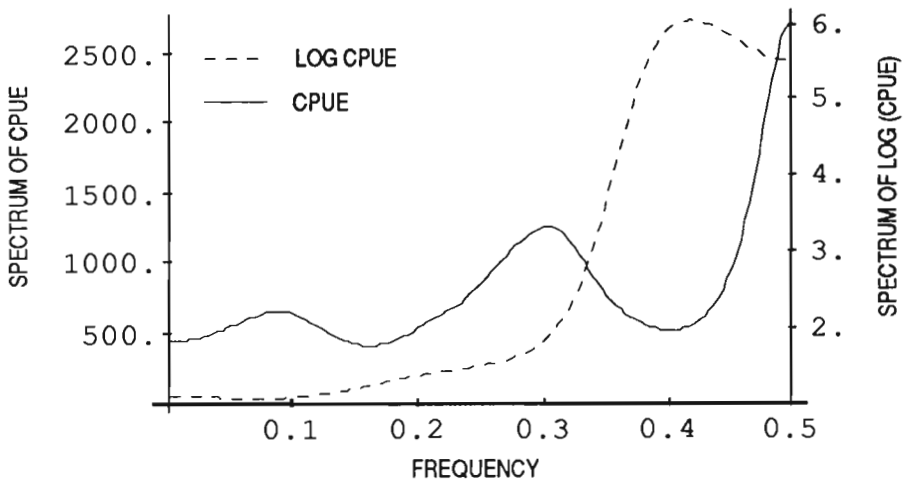


Figure 2: Power Spectrum of CPUE and LNCPUE in area 7.

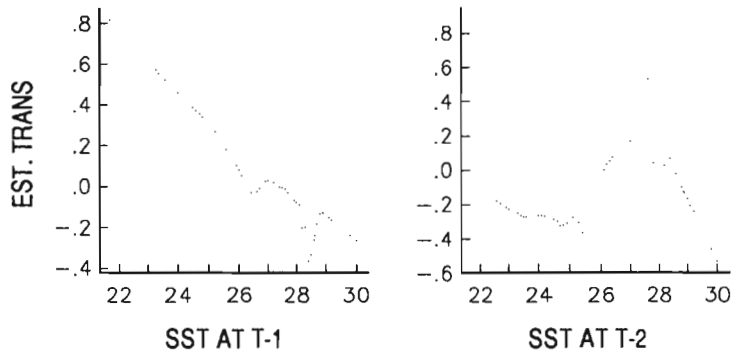


Figure 3: Estimated transformation of SST in area 7 from the ACE algorithm at lags of one and two fortnights.

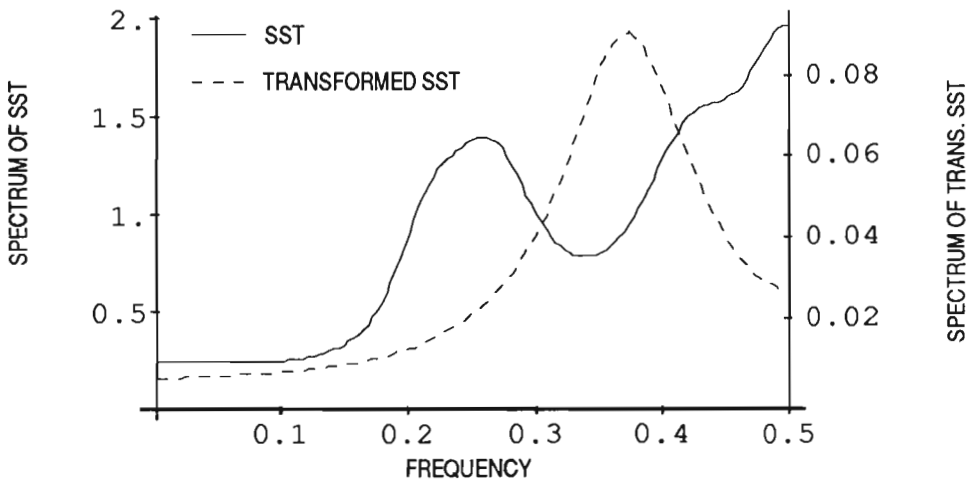


Figure 4: Estimated power spectrum of raw and transformed SST in area 7.

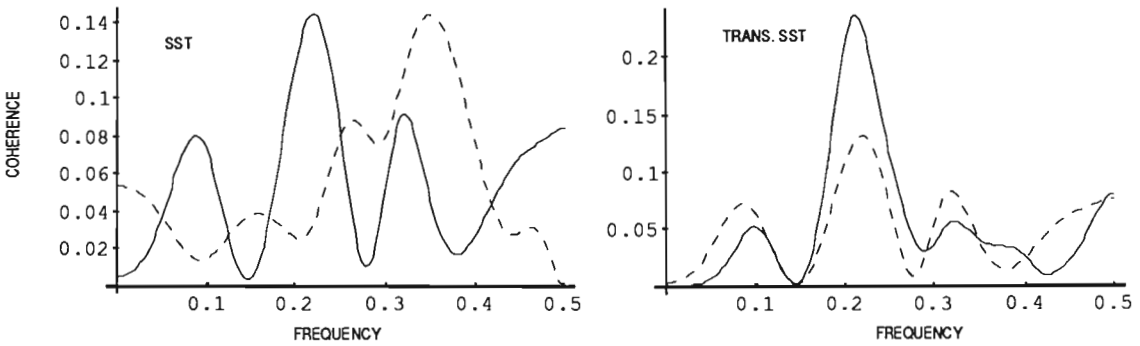


Figure 5: Coherences (solid lines) and partial coherences (dashed lines) for CPUE with SST and LNCPUE with transformed SST in area 7.

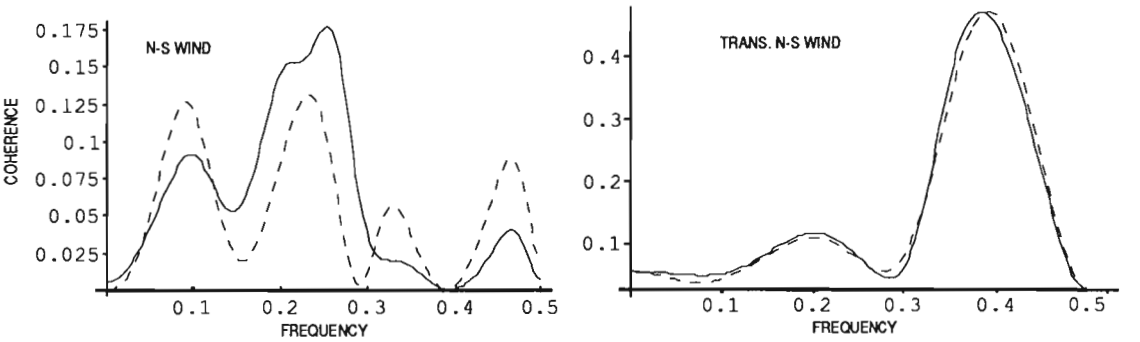


Figure 6: Coherences (solid lines) and partial coherences (dashed lines) for CPUE with north-south wind and LNCPUE with tranformed north-south wind in area 7.

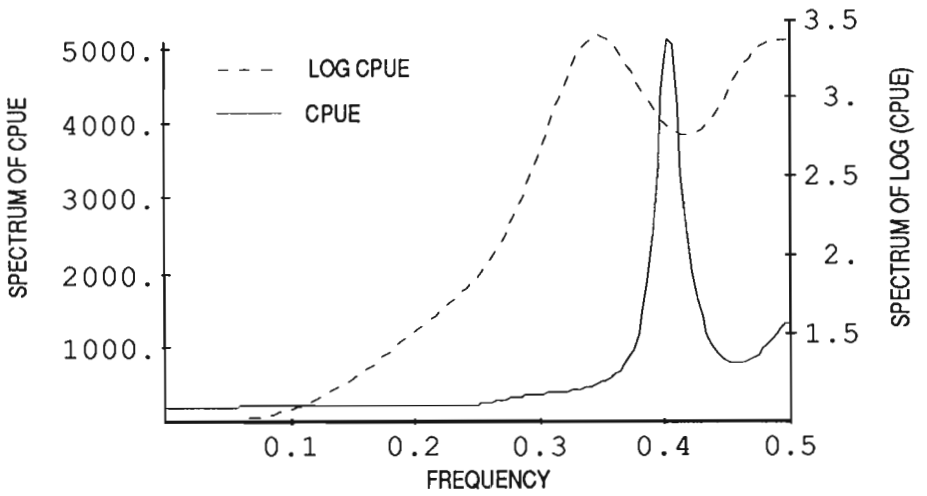


Figure 7: Power spectrum of CPUE and LNCPUE in area 8.

transformation of the north-south wind is again highly non-linear (not shown), and the power spectrum is transformed much as with CPUE and the east-west wind.

The transformation of SST at a lag of 1 fortnight is almost window-shaped (fig. 8) The transformation smooths the power spectrum shifting the power into the highest frequencies at a period of around 1 month. While the coherences of both raw and untransformed east-west wind are high, the partial coherences of both at all frequencies are non-significant. (This is true for areas 9 through 11 also, so this variable will not be examined further). The coherence between CPUE and SST, particularly with the raw series, is particularly significant at a period of roughly 5 weeks (fig. 9). The partial coherences between CPUE and SST are essentially insignificant. The partial coherences between LNCPUE and SST are insignificant except at a period of 1 month.

The coherences and partial coherences between CPUE and north-south wind are almost identical (fig.10), while with the transformed data, one peak at a period of 1.5 months is sharply reduced. However, the overall results are the same as with area 7 - north-south wind is the predominant environmental variable, working at relatively high frequencies, and with an additional effect due to SST on the transformed scale at a period of one month. The transformed data has in effect separated out the frequencies at which the wind and SST contain important information about CPUE. However, at most frequencies, the observed coherence between SST and CPUE appears to be due to feedback and coherence between SST and the wind.

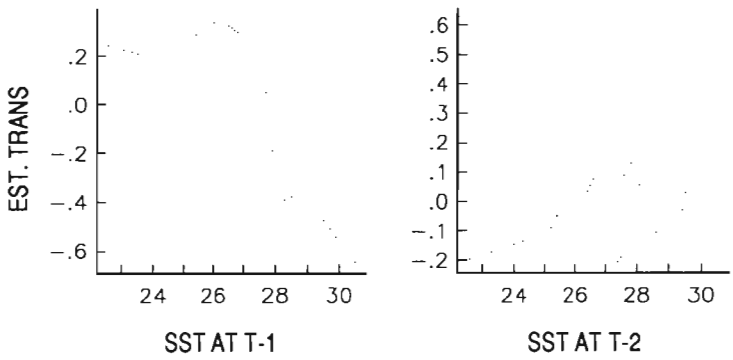


Figure 8: Estimated optimal transformation of SST at a lag of one and two fortnights in area 8.

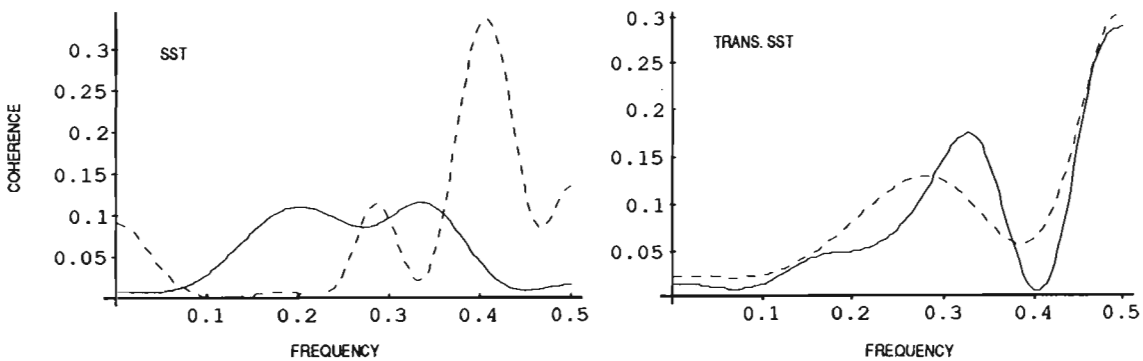


Figure 9: Coherences (solid lines) and partial coherences (dashed lines) for CPUE with SST and LNCPUE with transformed SST in area 8.

Area 9

The spectra for CPUE and LNCPUE in this area are nearly identical with a sharp peak at a period of slightly greater than one month (not shown). The transformation of the north-south wind (fig. 11) is window-shaped, and transforms the power spectrum to a single peak at the same frequency as that of CPUE (fig. 12).

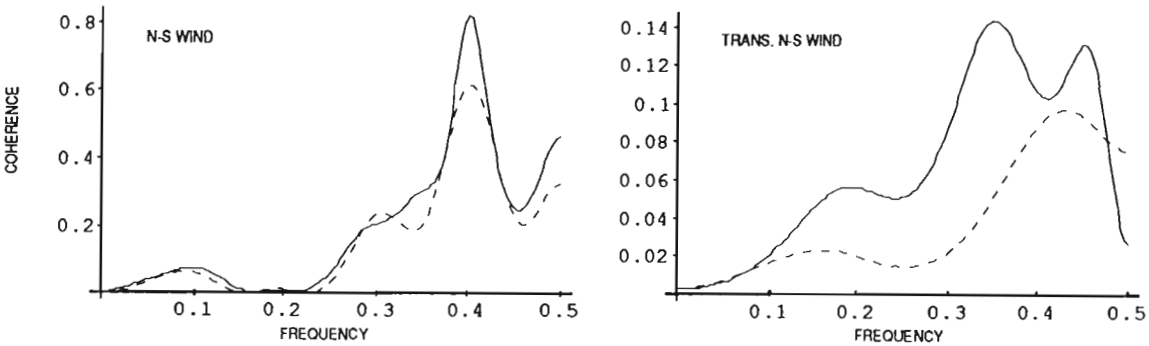


Figure 10: Coherences (solid lines) and partial coherences (dashed lines) for CPUE with north-south wind and LNCPUE with transformed north-south in area 8.

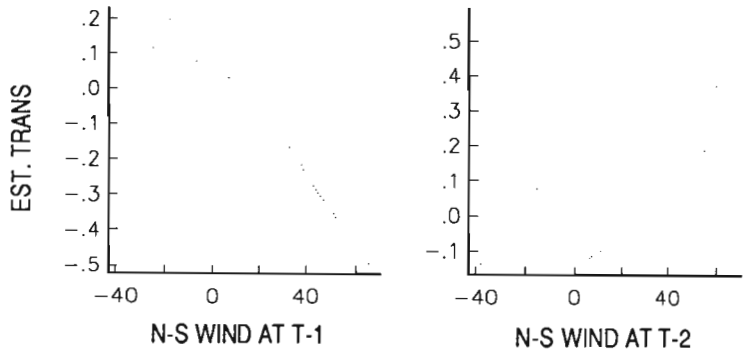


Figure 11: Estimated transformation for north-south wind in area 9.

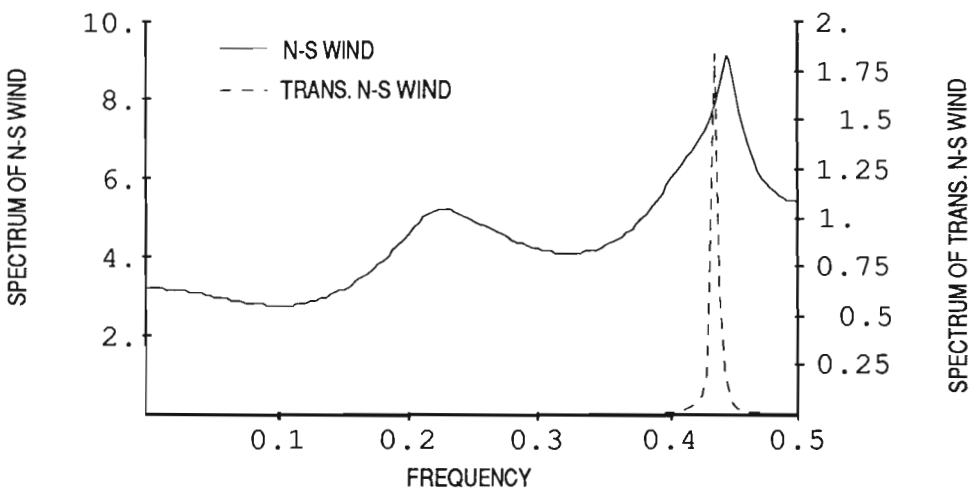


Figure 12: Estimated spectra of raw and transformed north-south wind in area 9.

The coherences and partial coherences between CPUE and north-south wind are similar (fig. 13), but with the transformed data a very significant peak in the coherence disappears in the partial coherence. A similar result can be seen for SST (fig. 14). Here the high-frequency peak in the coherence disappears, while a lower frequency peak remains. This is evidence that at the peak frequency, SST and the north-south wind contain nearly identical information about the environment.

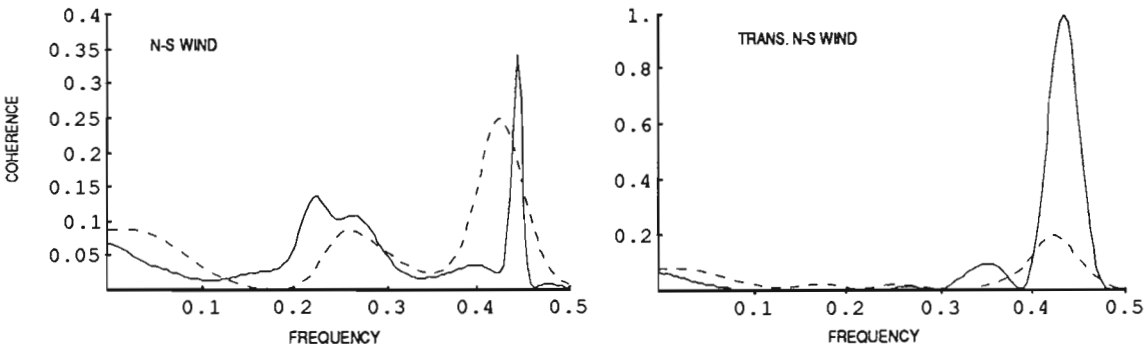


Figure 13: Coherences (solid lines) and partial coherences (dashed lines) for CPUE with north-south wind and LNCPUE with transformed north-south wind in area 9.

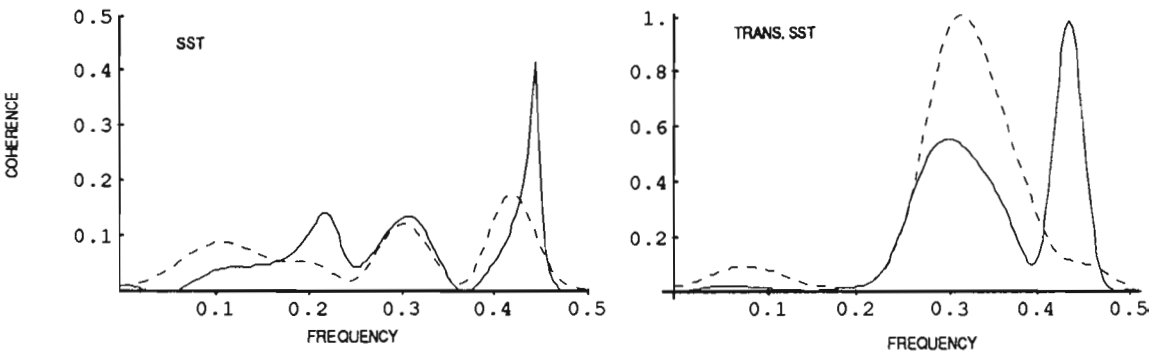


Figure 14: Coherences (solid lines) and partial coherences (dashed lines) for CPUE with SST and LNCPUE with tranformed SST in area 9.

Areas 10 and 11

In area 10, the estimated transformations for both the north-south wind and SST are nearly linear (not shown). For both variables, however, the effect on the estimated power spectrum is to shift a single peaked spectrum from a frequency of .45 to a frequency of .4 (not shown). For the raw data, the peaks in the coherences with either environmental variable disappear in the partial coherences (fig. 15 and 16). As these peaks occur at the same frequencies for both SST and the north-south wind, this implies that both variables contain similar information about the ocean in terms of CPUE for yellowfin. On the transformed scale, the coherences and partial coherences for LNCPUE with transformed SST are nearly identical, while those with the north-south wind are reduced at the peak frequency. However, at this peak frequency the partial coherence with the north-south wind is still significant, so that both wind and SST contain unique information when the data are appropriately transformed.

The situation is very similar in area 11, where SST and north-south wind both are significant at a period of roughly 2 months. Each variable contains some overlapping information at this frequency, but the partial coherences are also significant though smaller than the coherences.

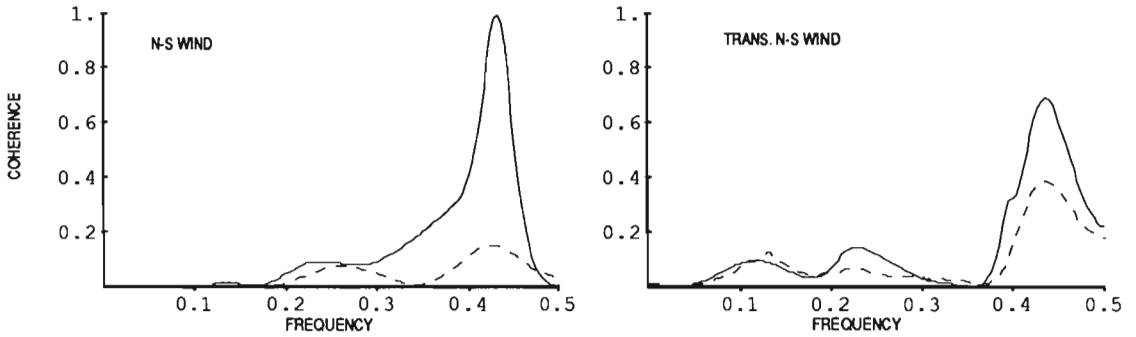


Figure 15: Coherences (solid lines) and partial coherences (dashed lines) for CPUE with north-south wind and LNCPUE with transformed north-south wind in area 10.

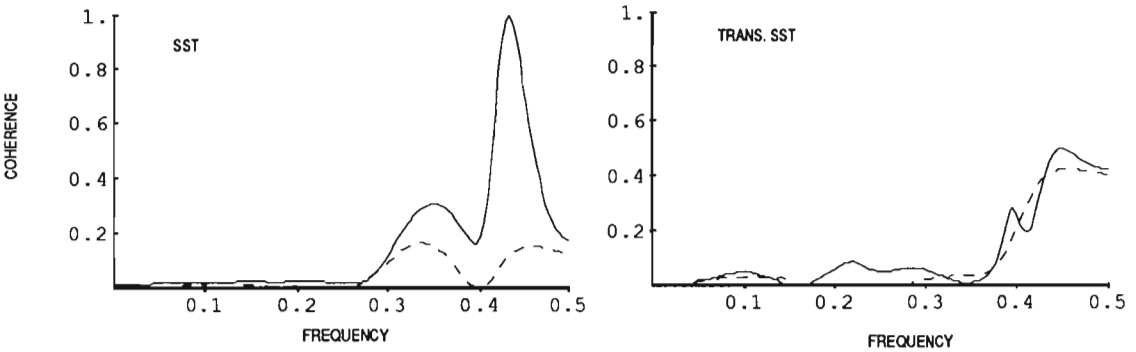


Figure 16: Coherences (solid lines) and partial coherences (dashed lines) for CPUE with SST and LNCPUE with transformed SST in area 10.

Small pelagics off the Ivory Coast

Mendelssohn and Cury (1988) estimate forecasting models and nonlinear transformations for the explanatory variables for modeling the CPUE of small pelagics off the Ivory Coast. Mendelsson and Cury (1989) also study the dominant species in the catch, *Sardinella maderensis*, in time, as well as in space and time. Their results suggests that the factors affecting the aggregate CPUE are not the same as those affecting *S. maderensis* by itself. In this section I reexamine this question using the techniques of this paper.

I have arbitrarily estimated the optimal transformations for the explanatory variables from a model which includes lags up to 4 fortnights. Thus, each model contains lagged values of CPUE, lagged values of SST at 5 meters depth from a shore station (SST5M) and salinity at 5 meters depth (SAL5M) from the same station.

Log of CPUE again is used as the transformation for CPUE. LNCPUE shifts the spectrum from a peak at around a period of 1 month to a peak centered around 5 weeks (fig. 17). The estimated transformations for SST5M and SAL5M (fig. 18,19) shift their power spectra in a similar manner so that all three series have a peak in their spectrum at a period of roughly 5 weeks (fig. 20,21).

The coherences and partial coherences for SST5M with CPUE are nearly identical (fig. 22). The coherences make clear how the transformation has shifted the spectrum so that it is closely aligned with LNCPUE.

The coherences for CPUE with SAL5M show a strong coherence at a period of 1 month, but this disappears in the partial coherence (fig. 23). On the transformed scale, while the coherences and partial coherences are similar, they are not particularly significant. This supports the claim in Mendelssohn and Cury (1987) that for combined CPUE, SST5M was sufficient for prediction and that no extra information was contained in the SAL5M series.

When examining CPUE for *S. maderensis* only, the picture is different. The coherences and partial coherences for SST5M with CPUE are nearly identical, with a significant peak at a period of roughly 2 months (fig. 24,25). For SAL5M, the coherences and partial coherences are identical expect at this frequency, where a significant peak in the coherence is eliminated. The most significant coherence for CPUE with SAL5M is now at a period of roughly a month.

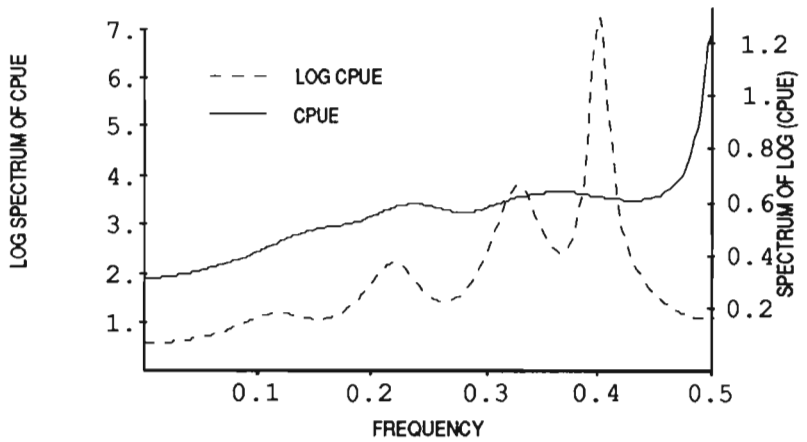


Figure 17: Estimated power spectrum for CPUE and LNCPUE for small pelagics off the Ivory Coast.

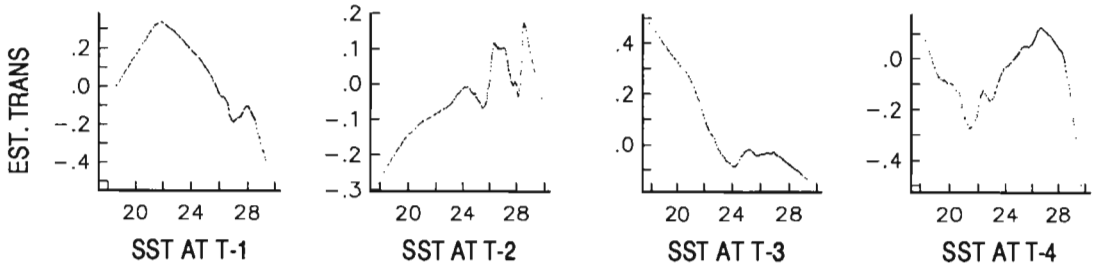


Figure 18: Estimated transformations for SST5M off the Ivory Coast.

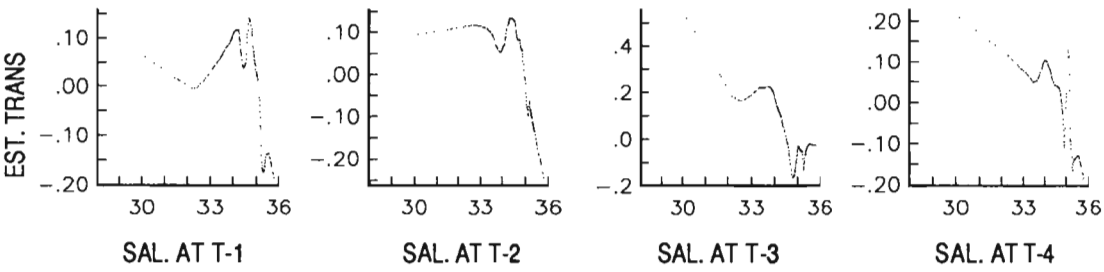


Figure 19: Estimated transformations for SAL5M off the Ivory Coast.

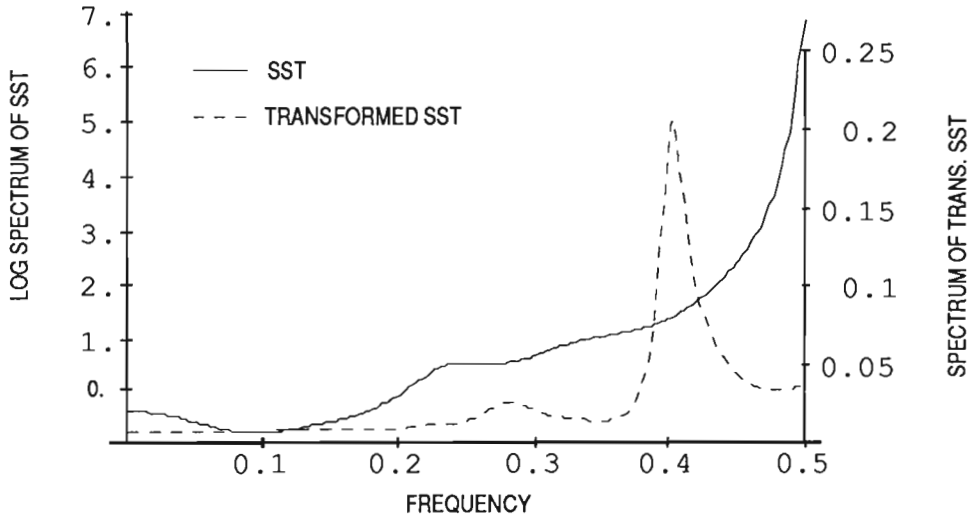


Figure 20: Estimated power spectrum for SAL5M off the Ivory Coast.

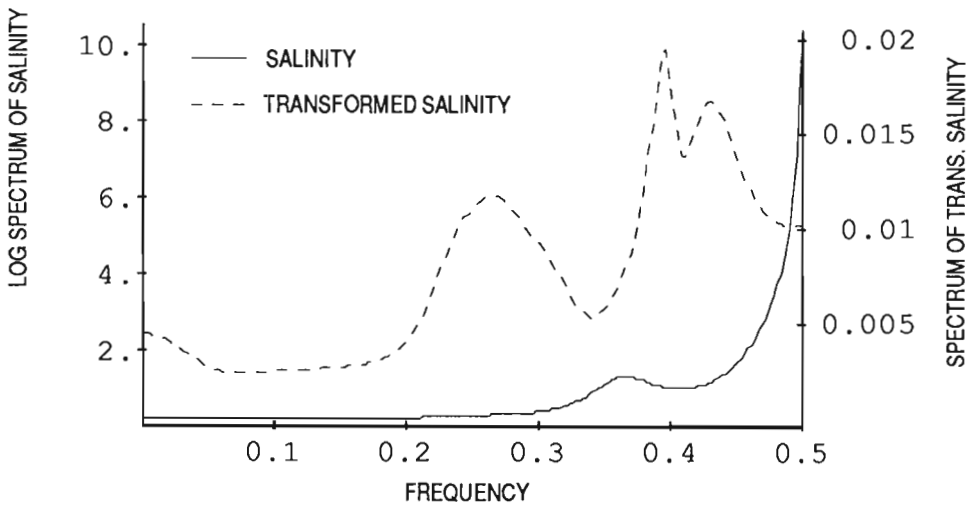


Figure 21: Estimated power spectrum for SAL5M off the Ivory Coast.

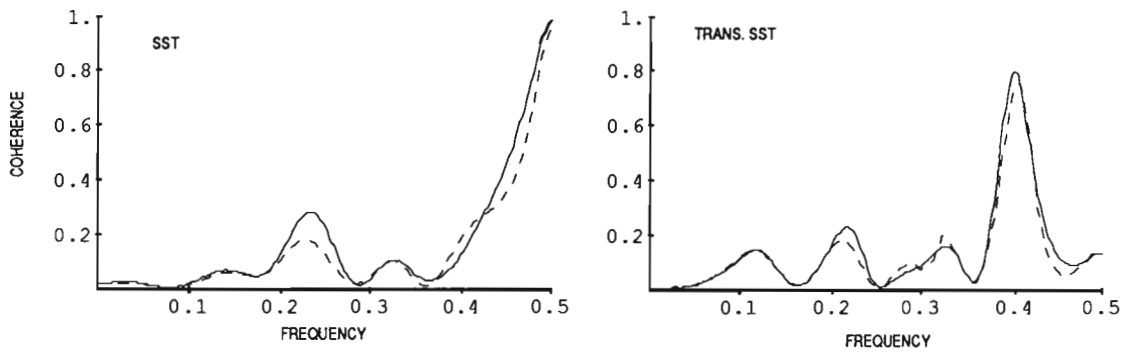


Figure 22: Coherences (solid lines) and partial coherences (dashed lines) for CPUE with SST5M and LNCPUE with transformed SST5M for small pelagics.

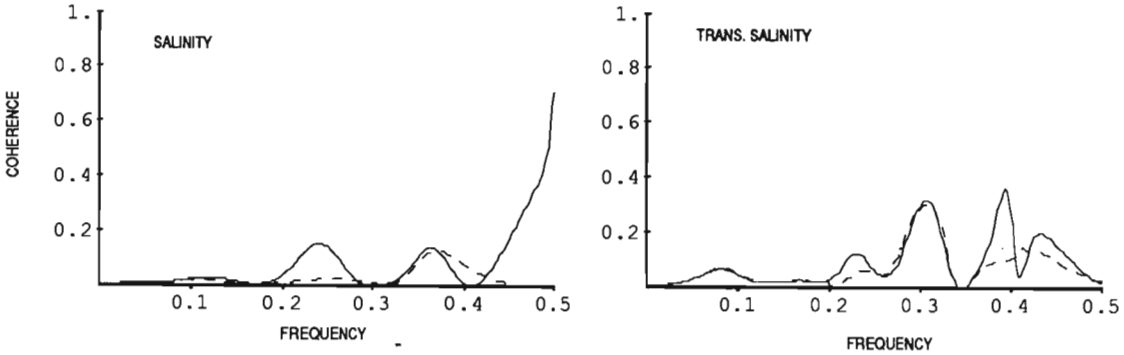


Figure 23: Coherences (solid lines) and partial coherences (dashed line) for CPUE with SAL5M and LNCPUE with transformed SAL5M for samll pelagics.

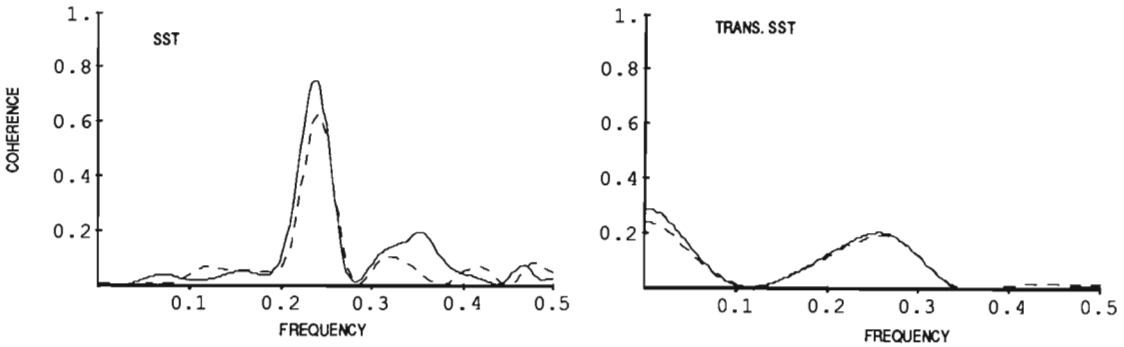


Figure 24: Coherences (solid lines) and partial coherences (dashed line) for CPUE with SST5M and LNCPUE with transformed SST5M for *S. maderensis*.

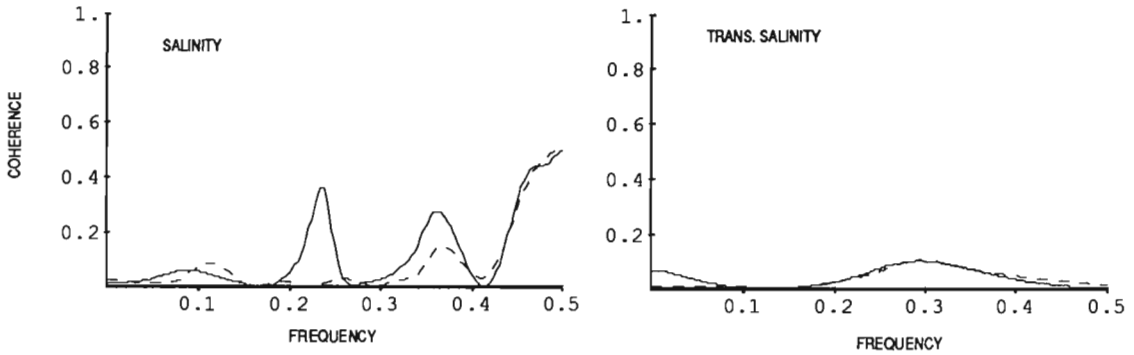


Figure 25: Coherences (solid lines) and partial coherences (dashed lines) between raw and transformed SAL5M and raw and transformed CPUE for *S. maderensis*.

Thus, for *S. maderenis*, the partial coherences show SST5M and SAL5M both containing significant information about CPUE, but at different frequencies. That SAL5M is important for *S. maderensis* but not for combined CPUE was asserted by Mendelssohn and Cury (1989) using time-domain techniques. Here I show further evidence of the claim.

The low coherences in the transformed data for *S. maderensis* is due to the fact that I have arbitrarily used the transformation at a lag of 1 fortnight. Particularly for SAL5M, it is clear from the analysis of Mendelssohn and Cury (1989) that salinity has its greatest effects at much longer lags. There are significant and difficult management questions raised by the fact that the dynamics of the combined CPUE (that faced by the fishermen) are much different from that of the dominant species in the catch. Clearly, a forecast of the aggregate could become misleading, and it may be preferable to aggregate forecasts instead.

Long-term memory in the ocean environment in the Gulf of Guinea

In this section I briefly consider if there is long-term memory in the ocean environment in the Gulf of Guinea. The presence of long-term memory may have profound implications for fisheries management. If long-term memory exists in the ocean, then small changes in the ocean, rather than dying out and causing bounded changes, persist and their effects may multiply through time. Large changes, such as El Nino type events, can have lasting consequences. If the ocean exerts a significant influence on the dynamics of a fish population, then it can be expected that fish populations will display a similar property. This would limit how far into the future we can reasonable expect to understand the consequences of management regimes on the fishery.

I examine the question of the presence of long-term memory by calculating estimates for the fractional differencing parameter d in equations (38) and (39) for several of the environmental series. I use the shore station SST and salinity series (SST5M and SAL5M) as probably reflecting the environmental conditions relevant to the important near-shore fisheries. I also use SST and the two wind component series from area 9, which is the area of the Intertropical Convergence Zone. This area most likely will reflect much of the dynamics of the Gulf. The salient feature here is that short-term memory series have a value between $(-1/2, 0)$, long-term memory models have a value of d between $(0, 1/2)$, and series with a value of d greater than $1/2$ have infinite variance.

The estimates of d (table 1) suggest that all of the series except the east-west component of the wind have a strong long-term memory component.

	Method of Estimation	
Series	Geweke & Porter-Hudak	Kashyap & Eom
SST5M	0.4170	0.4426
SAL5M	0.4241	0.4486
Area 9 SST	0.6169	0.6728
Area 9 NS Wind	0.4036	0.4312
Area 9 EW Wind	0.0021	-0.0070

Table 1: Estimates of the fractional differencing parameter for selected environmental series in the Gulf of Guinea.

There is some evidence that SST may even be an infinite variance series. If this is so, climatologies and other mean-like statistics in this region would have very little meaning. SST in the Gulf of Guinea appears to reflect important processes in the Gulf of Guinea that have major influences on fish dynamics, and my results suggest that these processes may have infinite variance. While much more research must be done in this area before any definitive statements can be made, the initial evidence is troubling indeed.

References

Akaike, H. 1980. On the identification of state space models and their use in control. *In*: D. Brillinger and G. Tiao (eds.), Directions In Time Series. Proceedings of the IMS Special Topics Meeting on Time Series Analysis, Ames, Iowa 1978. Institute of Mathematical Statistics, Hayward.

Anderson, B.D.O. and M.R. Gevers. 1982. Identifiability of linear stochastic systems operating under linear feedback. Automatica, 18:195-213.

Brillinger, David R. 1981. Time Series: Data Analysis and Theory, (Expanded Edition). San Francisco, Holden-Day.

Breiman, L., and J.H. Friedman. 1985. Estimating optimal transformations for multiple regression and correlation. J. Am. Stat. Assoc., 80: 580-619.

Caines, P.E. and C.W. Chan. 1975. Feddback between stationary stochastic processes. IEEE Transactions on Automatic Control AC-20:498-508.

Cury, P. and C. Roy. 1989. Optimal environmental windows and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci., Vol. 46 (4): 670-680.

Dempster, A.P., N.M. Laird and D.B. Rubin. (1977). Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. J. Roy. Statist. Soc., Ser. B. 39:1-38.

Gelfand, I.M. and A.M. Yaglom. 1959. Calculation of the amount of information about a random function contained in another such function. American Mathematical Society Translations, 12: 199-246.

Gersch, Will. 1986. Modeling multivariate covariance nonstationary time series and their dependent structure. Unpublished manuscript, Dept. of Information and Computer Sciences, University of Hawaii.

Geweke, John. 1982. The measurement of linear dependence and feedback between multiple time series. (With discussion). J. Am. Stat. Assoc., 77:304-351.

Geweke, John. 1984. Measures of conditional linear dependence and feedback between time series. J. Am. Stat. Assoc., 79:907-915.

Geweke, J. and S. Porter-Hudak. 1983. The estimation and application of Long Memory Time Series Models. J. Time Series Anal., 4:221-238.

Granger, C.W.G. 1980. Long memory relationships and the aggregation of dynamic models. J. Econometrics, 14:227-238.

Granger, C.W.G. and R. Joyeux. 1980. An introduction to long memory time series models and fractional differencing. J. Time Series Anal., 1:15-29.

Gustafson, I., L. Ljung, and T. Soderström. 1977. Identification of processes in closed loops - Identifiability and accuracy aspects. Automatica, 13:59-75.

Hosking, J.R.M. 1981. Fractional differencing. Biometrika, 68:165-176.

Hurst, H.E. 1951. Long term storage capacity of reservoirs. Trans. Amer. Soc. Civil. Engrs., 116:770-799.

Kashyap, R.L. and Kie-Bum Eom. 1988. Estimation in long-memory time series models. J. Time Series Anal., 9:35-42.

Lasker, R. 1978. The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in the California Current: identification of factors contributing to recruitment failure. Rapp. P.-V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer, 173:212-230.

Mandelbrot, B.B. 1971. A fast fractional Gaussian noise generator. Water Resources Research, 7:543-553.

Mandelbrot, B.B. 1983. The Fractal Geometry of Nature. W.H. Freeman and Company, New York, 468p.

Mandelbrot, B.B. and J.W. Van Ness. 1968. Fractional Brownian motion, fractional noises and applications. SIAM Review, 10:422-437.

Mendelssohn, R. and P. Cury. 1987. Forecasting a fortnightly abundance index of the Ivoirian coastal pelagic species and associated environmental conditions. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44:408-421.

Mendelssohn, R. and P. Cury. 1989. Temporal and Spatial Dynamics of a Coastal Pelagic Species, *Sardinella Maderensis* Off the Ivory Coast. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 46(10):1686-1697.

Mendelssohn, R. and D. Husby. 1992. Space-Time Analysis and Forecasting of Albacore Catch-per-unit-effort in Relation to the Ocean Environment. Manuscript in preparation.

Mendelssohn, R. and C. Roy. 1986. Environmental influences on the French, Ivory Coast, Senegalese and Moroccan tuna catches in the gulf of Guinea. p.170-188, *in*: Special Publication of the International Skipjack Year Program, ICCAT, Madrid.

Mendelssohn, R. and J. Mendo. 1987. Exploratory analysis of anchoveta recruitment off Peru and related environmental series. *In*: D. Pauly and I. Tsukayama (eds.), The Peruvian Anchoveta and Its Upwelling Ecosystem: Three Decades of Change. ICLARM, Manila, p.294-306.

Pierce, David A. 1979. R^2 measures for time series. J. Am. Stat. Assoc., 74:901-910.

Porter-Hudak, Susan L. 1982. Long-Term Memory Modelling - A Simplified Spectral Approach. Ph.D. Thesis, Department of Statistics, University of Wisconsin, Madison.

Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. Bell Systems Technical Journal, 27:379-423, 623-656.

Shumway, R.H. and D.S. Stoffer. 1982. An approach to time series smoothing forecasting using the EM algorithm. J. Time Series Anal., 3:253-264.

Sund, P.N., M. Blackburn and F. Williams. 1981. Tunas and their environment in the Pacific ocean: A review. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 19:443-512.

Ulrych, T.J. and T.N. Bishop. 1975. Maximum entropy spectral analysis and autoregressive decomposition. Rev. Geophys. Space Phys., 13:183-200.

Woodward. P.M. 1953. Probability and Information Theory with Applications to Radar. McGraw-Hill, New York.

36 • Adaptabilité d'une flotille de pêche artisanale ivoirienne à la variabilité des ressources instables

JEAN MARC ECOUTIN
Centre ORSTOM de Montpellier, laboratoire d'Océanographie et d'Hydrobiologie tropicale, 2051, avenue du Val de Montferrand, B.P.5045, 34032 Montpellier, France.

RÉSUMÉ
L'évolution de l'activité de pêche des sennes tournantes artisanales qui exploitent aussi bien le littoral maritime de Côte-d'Ivoire que la lagune Ebrié dans la zone d'Abidjan, a été suivie onze années de suite. Les rendements correspondant à la plus grande partie de cette période, sont analysés. Les sennes dont les caractéristiques sont relativement homogènes sont utilisées par deux groupes de pêcheurs différents, d'origine ghanéenne: les *Ewé* et les *Fanti*. Les réactions de ces groupes de pêcheurs aux variations de la ressource et aux conditions d'exploitation de celle-ci au cours des onze années d'observations sont décrites. Il est montré que ces réactions correspondent à la mise en oeuvre de stratégies de pêche différentes.

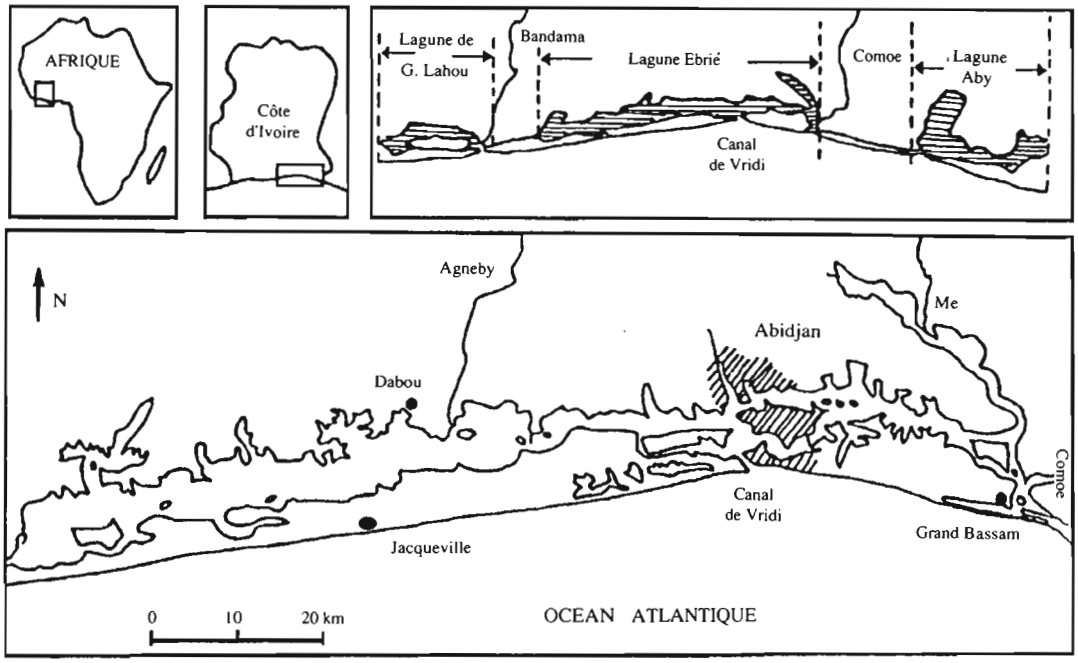
ABSTRACT
The evolution of the small scale purse seine activity in Ivory Coast has been studied continuously during eleven years both on the littoral and in the Ebrie lagoon near Abidjan. Fishing yields have been analysed. The purse seines have relatively homogeneous characteristics and are used by two different groups of fishermen: Ewe and Fanti both of Ghanaian origin. The response of the two groups to the fluctuations of the resource and of its fishing conditions during the eleven years period of observations is described. It is shown that these specific responses correspond to different fishing strategies.

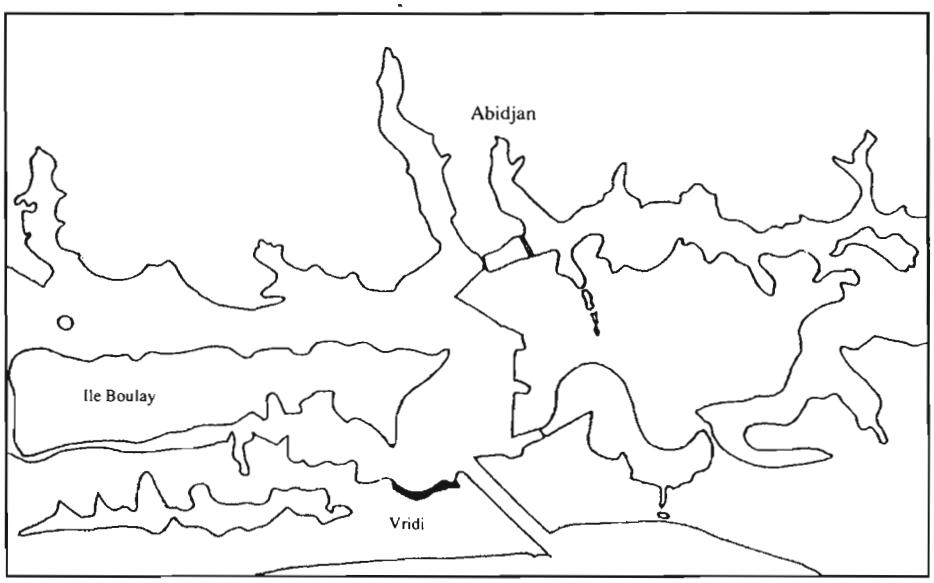
INTRODUCTION

Les approches récentes d'études sur les pêches artisanales ont tendance à remettre en cause les concepts de l'halieutique classique (Charles-Dominique, 1989). Le symposium «La recherche face aux pêches artisanales» (Montpellier, 1989 - Actes en préparation) a mis en évidence la complexité du système pêche artisanale, donc des objectifs de recherche, que l'on souhaite pluridisciplinaires et qui imposent aux halieutes de nouvelles approches de ces pêches. Une des voies proposées porte sur l'analyse des capacités adaptatives du système pêche artisanale. Les variables qui commandent ces adaptations peuvent être de nature très diverses: des transformations des relations unissant le système pêche au système économique (évolution de la demande et des circuits de commercialisation, apparition d'une pêcherie industrielle nationale,..), des transformations internes à la pêche artisanale (spécialisations ethniques, nouvelles espèces cibles, transfert de technologies, systèmes techniques ouverts ou non à l'innovation, confrontations entre groupes de pêcheurs artisans,...) ou encore d'évolution de la ressource exploitée.
L'étude des stratégies et tactiques de pêche développées par les pêcheurs artisans est une approche permettant l'analyse des capacités adaptatives (Hilborn,

Fig. 1

Situation géographique du campement de Vridi en lagune Ebrié (Côte-d'Ivoire).





1985 ; Laloë et Samba, 1989). Reprenant un précédent travail sur la description de différentes stratégies de pêche développées par des groupes de pêcheurs artisans maritimes utilisant les sennes tournantes (Ecoutin, 1989), on se propose d'analyser les réactions des pêcheurs à la variabilité de la ressource exploitée qui engendre des compétitions entre groupes de pêcheurs qui exploitent apparemment cette même ressource.

PRÉSENTATION DE LA PÊCHERIE

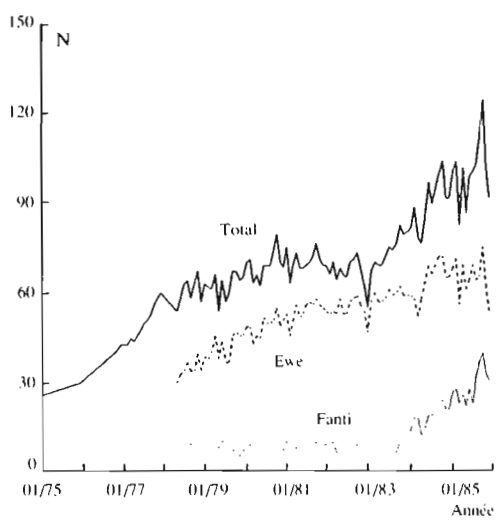
Apparues au début des années 1970 (Delaunay, 1988), les sennes tournantes et coulissantes sont mises en oeuvre sur presque tout le long de la façade maritime (fig. 1). Dans une synthèse récente sur la pêche artisanale du littoral ivoirien, Ecoutin *et al.* (1989a) signalent la présence, en 1985, d'environ 350 unités de pêche «senne tournante» manoeuvrées essentiellement par des pêcheurs d'origine ghanéenne (*Fanti* ou *Ewé*). Plus de la moitié de cet effectif est recensée dans un même secteur, près d'Abidjan, autour du campement de Vridi (fig. 1). La position géographique de cette localité est originale, car elle est située sur la rive sud de la lagune Ebrié, à proximité du canal de Vridi. Ce canal, percé en 1950 pour permettre la création du port d'Abidjan, met en communication permanente mer et lagune. Les équipes de pêche qui vont pêcher en mer via ce canal, débarquent leurs prises le long de la plage de Vridi d'accès plus facile que les autres rivages marins (Briet, 1964).

Les sennes tournantes et coulissantes observées au campement de Vridi, ont été régulièrement enquêtées entre 1975 et 1985. On se reportera aux travaux publiés par Lecaillon (1976), Gerlotto *et al.* (1976), Durand *et al.* (1978), Ecoutin et Bert (1981) et enfin Ecoutin *et al.* (1989a, b) pour une description des différents plans d'échantillonnage. Les principales statistiques récoltées entre 1975 et 1985 sont présentées dans les tableaux 1 à 4.

Ecoutin et Delahaye (1989) ont décrit l'évolution générale des caractéristiques de cette unité de pêche entre 1975 et 1985: augmentation moyenne de 50 % de la longueur et de la chute du filet, augmentation de la puissance de motorisation de la pirogue. En 1985, une senne tournante et coulissante observée à Vridi mesure de 300 à 400 mètres de longueur, pour une chute de 30 à 40 mètres. L'ensemble des filets observés paraît homogène quelle que soit l'origine de l'équipage (*Ewé* ou *Fanti*) qui les manoeuvre. Les seules différences notables observées portent d'une part sur la dimension des mailles des filets, légèrement plus importante chez les *Fanti* (18 mm de côté) que chez les *Ewé* (15 mm), d'autre part sur la présence d'un lest deux à trois fois plus lourd pour les sennes *Fanti,* leur permettant ainsi de couler plus rapidement.

Fig. 2

Evolution du nombre d'unités de pêche «senne tournante» en activité à Vridi entre 1975 et 1986 (les résultats de 1975 et 1976 sont lissés).



ACTIVITÉ DE PÊCHE

Au cours des recensements effectués entre 1980 et 1985, plus de 90 % des propriétaires d'unités de pêche se déclarent être de nationalité ghanéenne, les autres étant ivoiriens, togolais ou sénégalais. A l'exception de la seule unité de pêche sénégalaise, tous les équipages sont constitués de pêcheurs ghanéens (*Fanti* ou *Ewé*) et togolais (*Ewé*). En conséquence, les unités de pêche qui ont été à peu près toutes identifiées (par un nom de pirogue, un propriétaire et éventuellement un chef d'équipe) sont séparées en deux grands groupes dépendant des pêcheurs qui les manoeuvrent, *Ewé* pour des pêcheurs originaires du littoral oriental du Ghana ainsi que de la côte togolaise limitrophe, *Fanti* pour ceux venant de la région centrale du littoral ghanéen. Au cours de la période principale d'étude, de 1978 à 1985, l'origine de certaines unités de pêche n'a pu être repérée précisément et les unités non identifiées ne sont pas prises en compte dans l'analyse entre groupes de pêcheurs présentée ci-dessous.

Dans un premier temps, l'activité générale des sennes tournantes basées au campement de Vridi a été étudiée à travers le suivi temporel du nombre global d'unités de pêche et de la durée de présence de ces unités sur le campement. L'analyse de l'effort de pêche des sennes tournantes complète cette description de l'activité.

Potentiel de pêche

Le nombre d'unités de pêche en activité [1] au cours des 11 années d'observation, d'environ 25 à 30 unités au début de cette période, dépasse les cent unités en 1985 (fig. 2). Cette évolution se scinde en 3 grandes phases:

• 1975-1978: le nombre d'unités de pêche augmente régulièrement ; il passe de 26 unités en janvier 1975 à

Tableau 1

Prises par unité d'effort (en kg/sortie) des sennes tournantes basées à Vridi et travaillant sur le littoral marin.

	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
S. maderensis	13	32	67	65	84	38	38
S. aurita	115	95	159	525	813	600	1319
T. lepturus	147	185	124	76	28	14	6
E. encrasicolus	124	166	86	20	32	143	7
B. auritus	22	33	15	18	2	0	11
Chinchards	35	17	36	35	31	20	3
Autres espèces	61	102	131	114	96	28	26
Total	517	630	618	853	1086	843	1410

Tableau 2

Captures totales (en tonnes) réalisées par les sennes tournantes basées à Vridi et travaillant sur le littoral marin, effort de pêche total (en nombre de sorties).

	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
S. maderensis	103	355	688	633	1188	595	686
S. aurita	954	918	1595	6396	12186	9125	24390
T. lepturus	1533	1629	1370	735	422	211	109
E. encrasicolus	1034	1888	837	251	469	2230	111
B. auritus	180	367	160	190	34	6	209
Chinchards	318	153	370	309	453	320	51
Autres espèces	501	1090	1380	1412	1388	410	450
Total	4623	6400	6400	9926	16140	12897	26006
Effort total	8778	9848	10473	10999	14719	16764	18812

Tableau 3

Prise par unité d'effort (kg/sortie de pêche) des sennes tournantes en lagune Ebrié.

	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Ethmalosa	266,2	256,6	315,1	210,8	230,7	203,8	252,1	131,1
Sardinella spp.	13,8	32,6	51,4	94,7	58,4	142,0	125,6	184,2
Elops	4,2	6,4	2,0	1,1	1,8	4,2	13,8	1,5
Divers	19,8	75,1	58,7	44,5	45,9	64,6	37,9	46,9
Total	304,0	370,7	427,2	351,1	336,8	414,6	429,4	363,7

Tableau 4

Captures (tonnes) et efforts (nombre de sorties) totaux des sennes tournantes en lagune Ebrié.

	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Ethmalosa	781	1130	1747	1010	850	756	620	333
Elops	12	25	11	4	6	16	34	4
Sardinella spp.	40	128	290	240	215	526	308	468
Chloroscombrus	19	60	143	50	50	40	25	40
Engraulis	1	195	142	21	40	92	13	41
Divers	39	37	37	25	179	83	56	37
Total	892	1575	2370	1350	1340	1513	1056	923
Effort total	2680	4260	5520	4040	3680	3710	2450	2540

environ 60 unités fin 1978. Cela représente une augmentation annuelle de 30 à 50 % du potentiel actif, ce qui correspond à l'apparition d'environ une dizaine d'unités de pêche, chaque année, au campement de Vridi;

• 1979-1982: l'effectif reste relativement stable, autour de 60 à 70 unités de pêche en activité, chaque mois. On peut néanmoins noter une légère augmentation entre les moyennes mensuelles de 1979 (62,5 unités) et de 1981-1982 (environ 70 unités) ;

• 1983-1985: à partir de mi-1983, l'accroissement du nombre d'unités de pêche actives devient important. Ce potentiel croît de 60-70 unités en 1983 à plus de 100 en décembre 1985. Cette tendance correspond à l'introduction de 14 unités par an au campement de Vridi.

L'évolution de ce potentiel pour chacun des groupes de pêcheurs présente des dynamiques différentes. Au cours de la période 1975-1978, cette évolution n'a pu être décomposée [2], mais Lecaillon (1976) note que plus de 90 % des pêcheurs présents en 1975 à Vridi (en associant ceux des sennes de plage et ceux des sennes tournantes) sont d'origine *Ewé* de la région de Kéta. Il est vraisemblable qu'à cette époque, le campement de Vridi n'est occupé que par des unités *Ewé*. Le nombre d'unités de pêche *Ewé* s'accroît régulièrement, d'environ 30 unités recensées en 1978 pour se stabiliser autour de 65 à 70 sennes en 1985. Ce phénomène d'accroissement régulier explique, jusqu'en 1983, la tendance générale. Pour 1978 et 1979, il dépend aussi d'une meilleure qualité de l'information: 30 % des unités de pêche en 1978 sont d'origine inconnue, seulement 5 % en 1984.

L'évolution de l'effectif des unités *Fanti* actives diffère des schémas précédents: stabilité autour de 6 à 10 unités de pêche jusqu'au dernier trimestre 1983, puis progression très forte de plus de 12 unités par an en moyenne. Ceci correspond sensiblement à un doublement annuel de l'effectif.

Le rapport entre la moyenne des effectifs des unités de pêche en activité au cours d'une année et le nombre total d'unités ayant été actives à un moment de la même année, correspond à des modes différents d'occupation du campement de Vridi pour ces deux composantes étudiées (tabl. 5). Ce rapport, pour les équipes *Ewé*, est relativement constant de 1978 à 1985 et compris entre 0,72 et 0,82. A l'opposé, pour les *Fanti*, il diminue au cours de la période d'étude de 0,83 (1978) à environ 0,50 en 1984 et 1985. Ceci décrit un état de stabilité de l'activité des équipes *Ewé*, 75 à 80 % des unités recensées au cours de l'année sont actives chaque mois. Les 20 à 25 % complémentaires correspondent aux arrivées ou départs d'unités de pêche en cours d'année. Quand une unité *Ewé* s'installe au campement de Vridi et jusqu'à sa disparition des effectifs, elle effectue au moins une sortie de pêche par mois. En revanche, chez les *Fanti*, ce n'est qu'une équipe sur deux (au plus deux sur trois) des unités actives sur l'année qui effectue au moins une sortie de pêche par mois. Des équipes *Fanti* enregistrées à un moment de l'année à Vridi, sont soit absentes à d'autres périodes parce qu'elles se sont déplacées sur d'autres lieux de pêche et de débarquement, soit, bien que présentes, dans l'incapacité de pêcher pour diverses raisons (panne ou réparation de l'engin de pêche, absence d'équipage,...).

L'analyse des recensements totaux (qu'il y ait activité ou non) effectués sur les unités de Vridi complète en partie cette description de l'activité (inactivité) des unités de pêche (tabl. 5). Globalement, 82 % des unités *Ewé* dénombrées sont actives contre seulement 76 % pour les *Fanti*. Ce taux d'activité n'explique pas entièrement les valeurs d'environ 0,50 du rapport activité mensuelle - activité annuelle décrit ci-dessus. Les unités de pêche *Ewé* paraissent donc plus actives quand elles sont présentes à Vridi que les unités *Fanti*. L'étude de la durée moyenne de présence à Vridi permet de confirmer cette distinction entre les deux groupes de pêcheurs de ce campement.

Temps de présence

La durée annuelle d'activité d'une unité de pêche à Vridi est d'environ 9,3 mois entre 1979 et 1985. Cette durée n'est que de 8,1 mois pour les *Fanti* contre 9,5 pour les unités *Ewé*. 50 % des équipes *Ewé* pêchent au minimum 11 mois dans l'année contre une valeur médiane

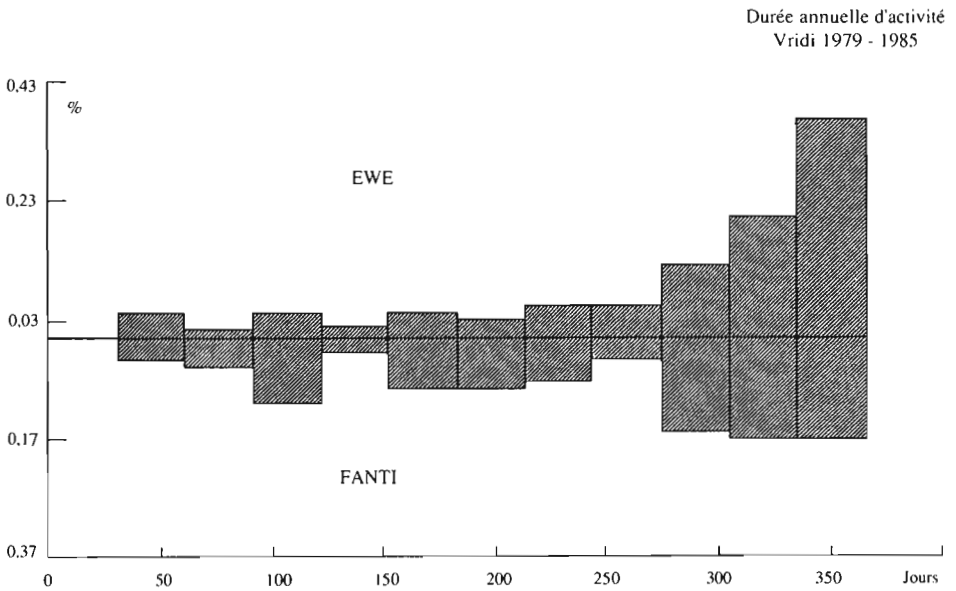
Tableau 5

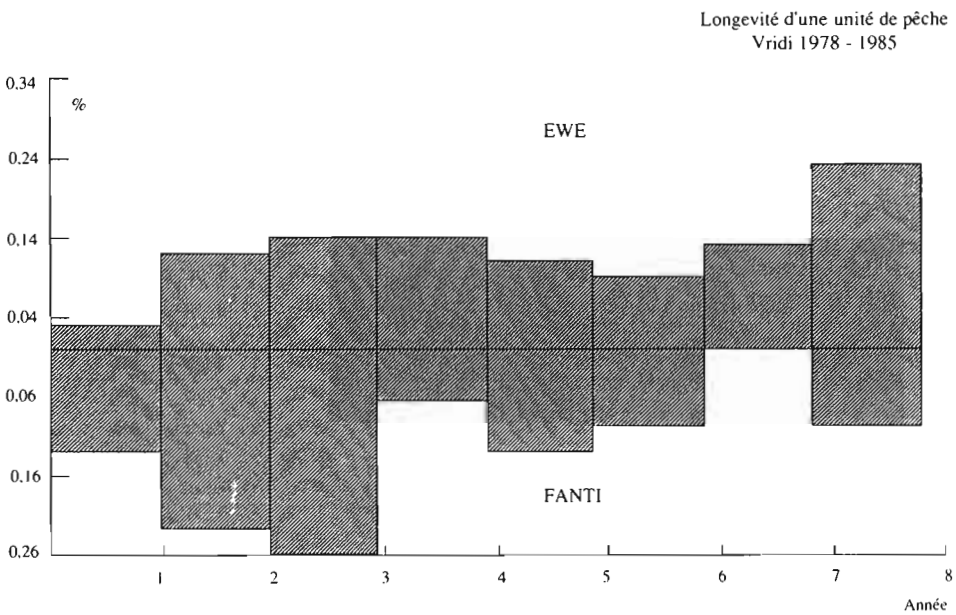
Paramètres décrivant l'activité de pêche
(T : total - E : *Ewé* - F : *Fanti*)
- NUP, nombre d'unités de pêche (m, moyenne mensuelle en activité; a, total annuel actif).
P1 = NUPm/NUPa P2 = NUPa/NUP

		NUPm	NUPa	P1	P2
1978	E	34,50	48	0,72	
	F	9,12	11	0,83	
	T	60,50	87	0,70	
1979	E	42,00	57	0,74	
	F	8,08	11	0,74	
	T	62,50	90	0,69	
1980	E	49,17	60	0,82	0,87
	F	8,75	14	0,62	0,72
	T	69,17	93	0,74	
1981	E	54,08	68	0,80	0,86
	F	8,50	13	0,65	0,78
	T	70,25	94	0,75	
1982	E	55,17	72	0,77	0,81
	F	7,92	12	0,66	0,87
	T	67,67	94	0,72	
1983	E	58,00	76	0,76	0,81
	F	8,67	15	0,58	0,75
	T	72,33	106	0,68	
1984	E	63,55	88	0,72	0,81
	F	18,36	37	0,50	0,70
	T	88,73	140	0,63	
1985	E	64,83	88	0,74	0,79
	F	29,17	56	0,52	0,75
	T	99,52	156	0,64	

Fig. 3

Présence annuelle active (en mois) et longévité (en année) d'une senne tournante recensée à Vridi.





de 9 mois pour les équipes *Fanti* (fig. 3). Le temps de présence d'une senne tournante à Vridi est d'environ 3,75 années quand elle est d'origine *Ewé* et de 2,4 pour les *Fanti* (fig. 3). Les unités de pêche *Fanti* sont à la fois moins présentes au cours de l'année et moins pérennes à Vridi sur le long terme que les unités *Ewé*. L'information recueillie sur les équipes *Fanti* au cours des enquêtes permet de préciser que souvent celles-ci sont en déplacement vers d'autres lieux de pêche et de débarquement. Ainsi, en 1984, 9 % des enquêtes portant sur les sennes *Fanti* montrent un tel mouvement vers d'autres zones de pêche contre seulement 1 % pour les *Ewé*.

Tout concourt à présenter les unités de pêche *Ewé* comme plus permanentes au campement de Vridi (taux d'activité important, peu de variabilité inter et intra-annuelle, peu de mouvements hors de la zone de pêche).

Effort de pêche

L'effort de pêche déployé par les sennes tournantes et coulissantes basées au campement de Vridi a été suivi régulièrement pendant 11 années, de 1975 à 1985. A partir de 1976, des observations quotidiennes permettent d'estimer cet effort principalement en lagune, les observations de l'activité sur le littoral marin n'étant bien appréhendées qu'à partir de 1977-1978. L'évolution de l'effort total de pêche, exprimé en nombre de sorties, est similaire à celle du nombre d'unités de pêche en activité (fig. 2). Estimé à 600 sorties mensuelles en 1976, cet effort atteint des valeurs comprises entre 1600 et 1650 sorties par mois à la fin de l'étude (fig. 4). Cet accroissement présente les trois phases observées précédemment: 1975 à 1978, augmentation de l'effort de pêche total ; 1979 à 1982, relative stabilité ; 1983 à 1985, nouvelle augmentation de l'effort.

Les sennes tournantes déploient leur activité aussi bien en mer, entre Grand-Bassam et Jacqueville, qu'en lagune (fig. 1). A partir de juin 1982, cette deuxième possibilité leur est interdite à la suite de décisions administratives, conséquentes à des conflits observés en lagune Ebrié (Charles-Dominique, 1984). Après cette interdiction, les sennes tournantes n'exploitent plus que les ressources du plateau continental ivoirien. La majeure partie de l'effort total de pêche des années 1978 à 1982, période où la pêche en lagune est encore autorisée, est effectuée en mer (de l'ordre de 70 à 80 %). Lecaillon (1976) signale déjà cette préférence géographique pour les équipes de pêcheurs en 1975.

L'effort de pêche des sennes tournantes en lagune, décrit un cycle saisonnier très marqué ; l'effort maximal se situe en fin de saison sèche (mars et avril), le minimum de l'effort s'observant au cours des mois d'août et septembre (fig. 5).

Exprimé en pourcentage de l'effort total, le maximum du cycle saisonnier lagunaire, observé en mars et avril, dépasse à peine 50 %, le minimum en août et septembre étant inférieur à 5 %. Cette évolution saisonnière de l'activité de pêche en lagune concerne aussi bien les unités de pêche *Ewé* que *Fanti*. Toutefois, bien que l'activité globale annuelle soit du même ordre, les unités

Fig. 4

Evolution de l'effort de pêche (en sortie de pêche) des sennes tournantes de Vridi entre 1975 et 1986.

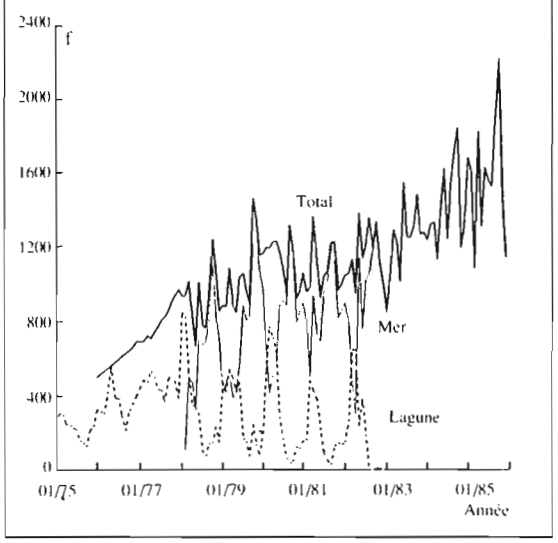
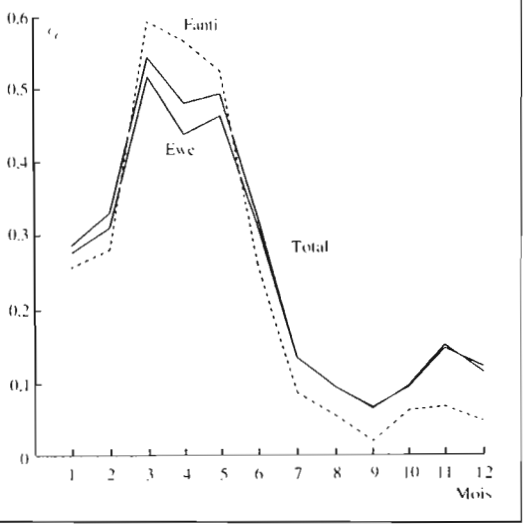


Fig. 5

Cycle saisonnier de l'activité de pêche en lagune Ebrié (1978-1982).



Fanti pêchent davantage en lagune au cours des mois de mars, avril et mai (fin de saison sèche) que les pêcheurs *Ewé* (fig. 5).

Des activités de pêche distinctes ?

Cette analyse sur l'activité globale de pêche permet de séparer l'ensemble des unités de pêche à la senne tournante en deux grandes composantes qui présentent au plan de l'occupation et de la présence à Vridi des modalités différentes:

- l'implantation des unités de pêche *Ewé* au campement lagunaire de Vridi, semble être antérieure à l'apparition des sennes tournantes et coulissantes (Surgy, 1965), mais avec l'arrivée de cette nouvelle technique et surtout depuis 1977-1978, leur développement dans cette localité est important ; à partir de cette période, on observe un phénomène de concentration dans le temps. Les unités qui s'installent au campement ont un comportement plus durable d'occupation avec un développement de leur effectif sur 8 ans présentant un accroissement constant. Le renouvellement de ces équipes reste régulier mais faible;
- la présence active à Vridi des unités de pêche *Fanti* est plus récente, principalement à partir de 1983. Ces unités apparaissent moins pérennes ; leur présence sur la plage ne signifie pas forcément activité de pêche ; le taux de renouvellement de ces équipes est fort et leur capacité à investir (ou quitter) un lieu rapidement semble importante. Leur mode d'occupation paraît être d'un type plus adaptatif aux différentes situations rencontrées.

En terme de zones exploitées, les activités de pêche de ces deux composantes se déploient aussi bien en mer qu'en zone lagunaire, tout en privilégiant l'exploitation du secteur marin ; ces unités de pêche opèrent en lagune, principalement de décembre jusqu'à mai, le cycle saisonnier décrit par les équipes *Fanti* étant plus marqué que celui des *Ewé*.

RENDEMENTS

L'observation, qui vient d'être décrite, de divers modes d'expression de l'activité de pêche par les deux composantes de pêcheurs, trouve ses fondements à différents niveaux: économique, socio-culturel, historique,... mais avant toute analyse, il s'agit de vérifier si ces modes correspondent éventuellement à des stratégies de pêche distinctes et donc à des caractéristiques différentes des captures. L'analyse des prises effectuées sur le plateau continental, ainsi que l'utilisation des rendements en mer comme en lagune pour interpréter le cycle saisonnier de l'effort de pêche lagunaire, permettent de préciser ces stratégies de pêche et, en conséquence, de décrire les réactions de ces flottilles de sennes tournantes ghanéennes à une variabilité de la ressource.

Evolution des rendements de pêche en mer

Les rendements réalisés en mer par les sennes tournantes se sont accrus d'un facteur 3 au cours de la période 1978-1985. D'environ 400 kilogrammes par sortie effectuée sur le plateau continental en 1978, la prise par unité d'effort (PUE) totale en 1985 est estimée à plus de 1400 kg (tab.1). Six espèces ou groupes d'espèces contribuent à plus de 80 % de cette PUE totale (tab. 1). Le phénomène le plus marquant, qui se superpose à l'augmentation globale des rendements au cours de ces huit années, reste l'apparition à partir de 1982 d'un accroissement très important du stock de *Sardinella aurita* devant Abidjan (Binet *et al.*, présent volume ; Herbland et Marchal, présent volume). Si la PUE moyenne annuelle de cette espèce, entre 1978 et 1981, est relativement stable, d'environ 100 à 150 kg par sortie, elle triple entre 1981 et 1982 et, hormis l'année 1984, elle s'accroît annuellement pour atteindre une valeur de plus de 1,3 tonnes par sortie de pêche en 1985 (fig. 6). Cette année-là, *S. aurita* représente la presque totalité des captures. L'accroissement du potentiel de pêche *Fanti*, remarqué à partir de la mi-1983 (fig. 2) paraît suivre, avec un léger décalage dans le temps, celui des rendements de *S. aurita* réalisés devant Abidjan par les sennes tournantes. En revanche, on ne remarque pas de changement dans l'évolution du potentiel *Ewé* en liaison avec l'augmentation, à partir de 1983, des rendements de cette espèce pélagique côtière.

L'analyse par composante étudiée (*Fanti* et *Ewé*) montre des évolutions similaires de rendements totaux et spécifiques. Les corrélations entre les PUE mensuelles totales ou spécifiques des unités *Ewé* et *Fanti* sont toutes significatives et traduisent dans la majorité des cas des relations linéaires. L'analyse de celles-ci sem-

Fig. 6

Evolution des prises par unité d'effort (en kg/sortie), totales et pour *S. aurita*, réalisées entre 1978 et 1986 sur le plateau continental devant Abidjan.

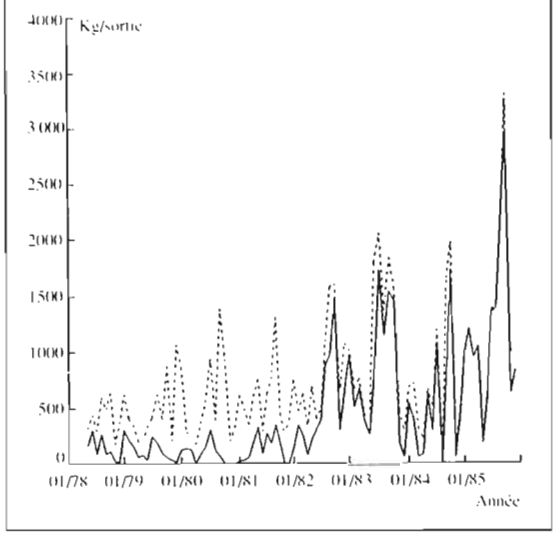
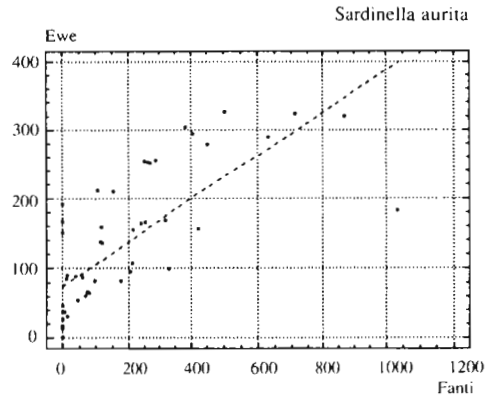
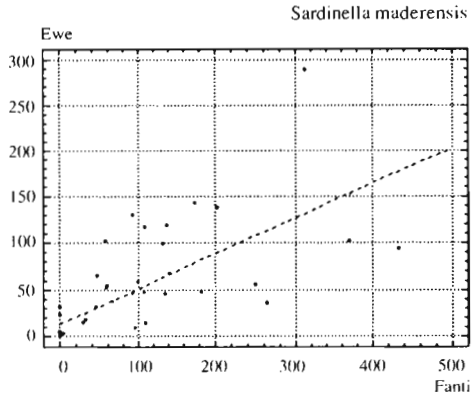
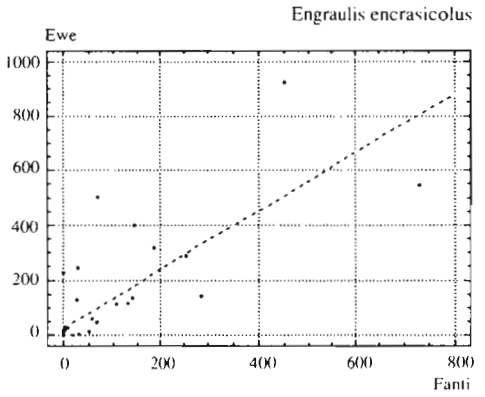


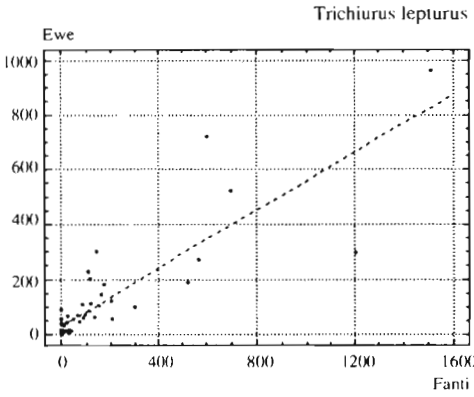
Fig. 7

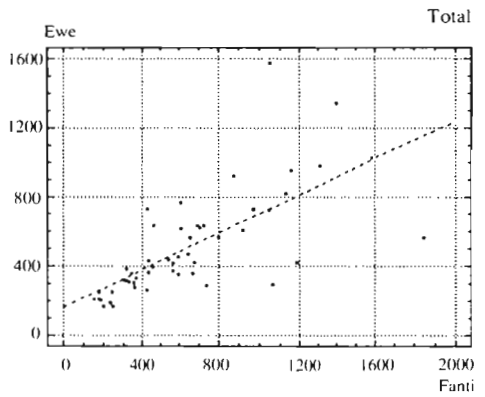
Relations entre les rendements réalisés en mer par les pêcheurs *Fanti* et par les *Ewé*.











ble indiquer des évolutions similaires pour les deux groupes de pêcheurs, mais différentes en intensité selon l'espèce considérée (fig. 7). Les rendements réalisés en mer par les *Fanti* sont supérieurs d'environ 27 % à ceux des *Ewé*. Cela n'est pas une constante pour les espèces principales capturées. Pour certaines, le rapport des captures est proche de l'unité, décrivant ainsi des réactions similaires aux variations de ces espèces (exemple des anchois, fig. 7) ; pour les autres, le déséquilibre est toujours en faveur des pêcheurs *Fanti*; c'est le cas en particulier des *S. maderensis* ou des *Trichiurus lepturus*. Au cours de cette période, il n'y a pas d'espèces pour lesquelles les pêcheurs *Ewé* assurent de façon globale des rendements en mer supérieurs à ceux des *Fanti*.
La comparaison par année de l'évolution des rendements annuels indique qu'effectivement les unités de pêche *Fanti* réalisent des prises toutes espèces confondues sur le plateau continental toujours supérieures à celles des unités *Ewé* (exception faite de l'année 1983), l'écart entre les rendements annuels totaux réalisés par les *Fanti* ou par les *Ewé* étant compris entre 20 et 30 %.

Evolution des rendements de pêche en lagune

En lagune, les prises, toutes espèces confondues, réalisées par les unités de pêche de Vridi sont comprises en moyenne entre 300 et 400 kilogrammes par sortie, quelle que soit l'année considérée. L'ethmalose (*Ethmalosa fimbriata*) et les sardinelles (*S. aurita* et *S. maderensis*) représentent respectivement 60 % et 25 % de ces captures. Les PUE observées, globales ou spécifiques, ne suivent apparemment pas de tendance interannuelle sur la période étudiée, mais décrivent des variations intra-annuelles très marquées.
Les rendements globaux réalisés par chaque groupe de pêcheurs ne présentent pas le même cycle. Les équipages *Ewé* capturent entre 250 et 500 kg par sortie (moyenne mensuelle), le maximum se situant au cours du mois de février, le minimum en saison des pluies (juin, juillet et août). Le rapport entre les valeurs extrêmes est d'environ deux. Les captures lagunaires des unités de pêche *Fanti* (280 kg par sortie) sont plus faibles que celles des *Ewé* (380 kg). Le cycle des débarquements des unités *Fanti* se présente différemment de celui des pêcheurs *Ewé*. Les captures sont toujours maximales en février ; les minimums s'observent par contre en saison des crues (septembre et octobre). De plus, l'écart entre les résultats extrêmes est ici d'un facteur treize. Excepté de février à avril, la prise moyenne mensuelle réalisée par les *Fanti* est toujours plus faible que celle obtenue par les sennes *Ewé*. En rapprochant ce résultat du cycle saisonnier de l'effort de pêche déployé en lagune, les unités de pêche *Fanti* réalisent leurs meilleurs rendements lagunaires au moment où, proportionnellement, elles déploient le plus d'activité en lagune, et ce, de façon plus importante que les équipes *Ewé* (fig. 5). Il apparaît en conséquence une forte interaction, pour les *Fanti*, entre la réalisation de sorties en lagune et l'espérance de rendements importants.
L'activité lagunaire des unités de pêche *Fanti*, entre 1978 et 1982, est corrélée positivement aux rendements réalisés en lagune principalement sur *Sardinella aurita*, secondairement sur *Ethmalosa fimbriata* et négativement, mais de façon plus faible, aux rendements globaux réalisés en mer. A l'inverse, l'effort relatif lagunaire des unités de pêche *Ewé* est positivement corrélé aux variations de rendements globaux lagunaires, négativement à la PUE totale en mer. Les unités de pêche *Ewé* semblent déployer une activité lagunaire pour obtenir des rendements importants dans des zones plus faciles à exploiter, quelle que soit l'espèce présente: ethmalose en janvier-février, sardinelle ronde en mars,...
L'effort de pêche déployé le long du littoral marin entre Grand-Bassam et Jacqueville représente la part la plus importante de l'effort total de pêche des sennes tournantes de Vridi (75 à 80 %). Ceci peut expliquer la faible part que joue la PUE totale marine sur l'effort lagunaire, mais, malgré cela, cette prise reste significative dans l'explication de cet effort lagunaire.
Il y a un attrait constant à pêcher en mer (75 à 80 % de l'effort total) qui s'oppose à une activité lagunaire. La pêche en lagune n'apparaît pas comme un remplacement de la pêche maritime, mais comme un complément saisonnier. Ce dernier est lié pour les *Fanti*, à des captures très ciblées de *S. aurita* et accessoirement de *E. fimbriata*, alors que pour les pêcheurs *Ewé*, il correspond plus à une recherche de rendements sans distinction d'espèces cibles. L'activité des unités de pêche *Fanti* traduit une dynamique lagunaire plus tournée vers une espèce précise.

DISCUSSION

L'analyse des prises réalisées par les unités de pêche *Fanti* ou *Ewé* complète les conclusions proposées à la suite de l'étude des activités de pêche. Les deux groupes de pêcheurs présentent des comportements différents à l'égard de la ressource accessible. Cela correspond à la mise en oeuvre de stratégies de pêche distinctes.
Les pêcheurs *Fanti* développent une stratégie de pêche principalement tournée vers *S. aurita*: le nombre d'unités de pêche en activité est directement lié à l'importance du stock de cette espèce pélagique côtière sur le plateau continental ivoirien, devant Abidjan en particulier ; elles déploient une activité, très saisonnière, en lagune quand l'espérance de rendements sur cette espèce est jugée maximale dans cette zone de pêche. Ce comportement rappelle une des stratégies type décrite par Hilborn (1985): la stratégie du déplacement régulier entre zones de pêche pour être toujours présent là où l'espèce recherchée a une abondance maximale. Cette définition rend en plus compte des constants mouvements des unités de pêche *Fanti*. Cette stratégie, définie globalement pour les pêcheurs *Fanti*, représente l'ensemble des stratégies individuelles des unités de pêche qui exploitent différentes zones de pêche, sans enracinement social près de ces zones de pêche. Ce comportement rappelle la présentation que font Allen et Mc Glade (1986 et 1987) et Allen (présent volume) de

la stratégie que mettent en oeuvre certains pêcheurs, qu'ils qualifient de «preneurs de risque» ou pêcheurs «stochastes» (recherche de nouvelles zones à exploiter, déplacements continuels, gain maximum [3],... auquel on peut rajouter une notion d'individualisme).

Les unités de pêche *Ewé* exploitent la zone littorale, comme la zone lagunaire, principalement pour réaliser des rendements globaux et non des captures ciblées. Leur activité de pêche est régulière et se développe en permanence à proximité de Vridi. Une particularité des équipes *Ewé*, par rapport aux unités *Fanti*, a été observée lors du recensement de 1985 (Ecoutin et Delahaye, 1989). Ces auteurs signalent une différence entre propriétaires *Fanti* et *Ewé*. Aucun propriétaire *Fanti* ne se dit être responsable de plus d'une unité de pêche, alors que 38 % des unités de pêche *Ewé* appartiennent à seulement 18 % des propriétaires *Ewé*. De plus, cette concentration des moyens correspond à une concentration géographique: 75 % des unités de pêche *Ewé* sont localisées le long de la plage de Vridi dans des regroupements d'au moins 9 unités contiguës. Lassarat (1958), qui a noté cette particularité des pêcheurs *Ewé*, emploie le terme de compagnie de pêche pour décrire un tel ensemble de pêcheurs et de moyens de pêche sous la responsabilité d'un chef de compagnie (propriétaire). Delaunay (1989) signale que les propriétaires *Ewé*, qui possèdent à Vridi un nombre important d'unités de pêche, sont issus de familles implantées le long du littoral entre Grand-Bassam et Jacqueville depuis quelques décennies. Le campement de Vridi correspond alors à un déplacement, ou une extension, de l'activité de pêche d'une partie ou de toute la compagnie vers les eaux lagunaires. Pour Pélissier (1988), cette organisation en «compagnie de pêche» serait une réponse à l'instabilité d'écosystèmes particulièrement fragiles.

Cette description de la dynamique sociale des pêcheurs *Ewé* peut être une explication au développement d'une stratégie de pêche tournée vers une recherche moins spécifique. Willye (1969) montre comment, dans un campement, l'arrivée de compagnies de pêche *Ewé* contribue à redéfinir les rapports sociaux.

NOTES

(1) Une unité de pêche est déclarée en activité si elle effectue au moins au cours du mois, une sortie de pêche (Ecoutin et Menezo, 1986). Cela permet de différencier les unités fonctionnelles de celles, stationnaires sur le campement, mais ne contribuant pas aux captures.

(2) Avant mai 1978, l'information recueillie n'a pas permis de reconstruire, de façon fiable, l'origine des unités de pêche.

(3) En 1975, les deux espèces de sardinelles étaient vendues en moyenne deux à trois fois plus cher que les ethmaloses.

BIBLIOGRAPHIE

• Allen, P.M. et Mc Glade, J.M. 1986. Dynamics of discovery and exploitation: the case of the Scotian shelf groundfish fisheries. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 43: 1187-1200.

• Allen, P.M. et Mc Glade, S.M. 1987. Modelling complex human systems: a fisheries example. Eur. J. Operat. Res., 30: 147-167.

• Briet, R. 1964. La pêche à Grand-Lahou. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan, ORSTOM, Doc. interne: 104 p. multigr.

• Charles-Dominique, E. 1984. Pour un plan d'aménagement des pêches lagunaires en Côte-d'Ivoire. NDR, Cent. Rech Océanogr., Abidjan, 4/84, 13 p.

• Charles-Dominique, E. 1989. Halieutique et pêches artisanales: anciennes méthodes, nouvelles problématiques ? (le cas de la pêche en lagune Aby, Côte-d'Ivoire). Communication au Symposium «La Recherche face à la Pêche Artisanale», Montpellier, 3 au 7 juillet 1989, 14 p.

• Delaunay, K. 1988. L'expansion des pêcheurs ghanéens sur les côtes ouest africaines: le cas de la Côte-d'Ivoire (premier bilan de recherches). 60 p., multigr.

• Delaunay, K. 1989. Mission sur le littoral alladian. 23 p. multigr.

• Durand, J.R., Amon Kothias J.B., Ecoutin J.M., Gerlotto F., Hie Dare J.P. et Lae R. 1978. Statistiques de pêche en lagune Ebrié. Année 1976-77. Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr., Abidjan, 9 (2): 67-114.

• Ecoutin, J.M. et Bert, A. 1981. Statistiques de la pêche collective - lagune Ebrié 1978-79. Arch. Cent. Rech. Océanogr., Abidjan, 7 (1): 1-17.

• Ecoutin, J.M et Menezo, M. 1986. Analyse de la chaîne de traitement des débarquements des pêches artisanales. NDR, Cent. Rech. Océanogr., Abidjan, 01/86, 41p. multigr.

• Ecoutin, J.M et Delahaye, M. 1989. Les sennes tournantes de Vridi (Lagune Ebrié - Côte-d'Ivoire). Caractéristiques générales du métier. Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr., Abidjan, 17: 59-77.

• Ecoutin, J.M. 1989. Stratégies d'exploitation des sennes tournantes artisanales de Côte-d'Ivoire. «où vais-je pêcher demain ?». Communication au Symposium «La Recherche face à la Pêche Artisanale», Montpellier, 3 au 7 juillet 1989, 14 p.

• Ecoutin, J.M., Delaunay, K. et Konan, J. 1989a. Pêches artisanales maritimes. *In*: Le Loeuff P., Marchal E. et Amon Kothias J.B. (eds), Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. 1: Le milieu marin. , 25 p.

• Ecoutin, J.M., Durand, J.R, Lae, R. et Hie Dare J.P. 1989b. L'exploitation des stocks. *In*: Dufour P., Durand J.R. et Zabi Z.G. (eds),Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. 2: Les milieux saumâtres: l'exemple de la lagune Ebrié.

• Gerlotto, F., Hem, S. et Briet, R., 1976. Statistiques de pêche en lagune Ebrié (Année 1975). Cent. Rech. Océanogr., Abidjan, ORSTOM, Sér. stat. 2: 1-27.

• Hilborn, R. 1985. Fleet dynamics and individual variations: why some people catch more fish than others. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42: 2-13.

• Laloë, F. et Samba, A. 1989. La pêche artisanale au Sénégal: ressource et stratégies de pêche. Thèse d'Université de Paris Sud. 461 p.

• Lassarat, A. 1958. La pêche en Côte-d'Ivoire. Rev. Trav. Inst. Pêches Marit., 22 (1): 31-64.

• Lecaillon, F. 1976. L'artisanat du poisson: Vridi et la cité de fumage. Mém. Maîtrise, Univ. Abidjan, 133 p.

• Pelissier, P. 1988. Réflexions sur l'occupation des littoraux ouest-africains. *In:* Pauvreté et Développement dans les pays tropicaux TALENCE, CENADDOM, 16 p., multigr.

• Surgy, A. N. de. 1965. Les pêcheurs de Côte-d'Ivoire. Tome 1: Les pêcheurs maritimes. 3 fascicules, 224 p. Tome 2: Les pêcheurs lagunaires. 1 fascicule. 143 p. CNRS-CNDCI-IFAN.

• Wyllie, R.W. 1969. Migrant Anlo fishing companies and socio-political change: a comparative study. Africa, XXXIX (4): 396-410.

37 • Variabilité de l'activité de pêche aux filets maillants de surface des artisans béninois de Pointe-Noire (Congo)

BERTRAND GOBERT
Chercheur ORSTOM, Centre ORSTOM de Martinique, BP 8006, 97259 Fort-de-France Cedex.

RÉSUMÉ

Les pêcheurs artisans béninois de Pointe-Noire exploitent essentiellement le stock de sardinelles au large des côtes congolaises, en relation avec l'upwelling saisonnier. La très grande variabilité de leur activité est la résultante d'un cycle saisonnier lié à la ressource, d'un rythme hebdomadaire d'origine socio-culturelle et d'une variabilité à court-terme, dont une partie est aléatoire, et l'autre représente la réponse de la flottille à la variabilité de la ressource. Les relations entre activité et prises par sortie sont complexes, mettant en jeu des réactions individuelles ou collectives, à l'échelle journalière ou saisonnière, et probablement variables au cours de l'année. Le strict respect d'un rythme hebdomadaire indépendant de la ressource est paradoxal pour une communauté d'immigrants tournés vers la réussite économique ; il n'en souligne que plus nettement la spécificité artisanale de la pêcherie.

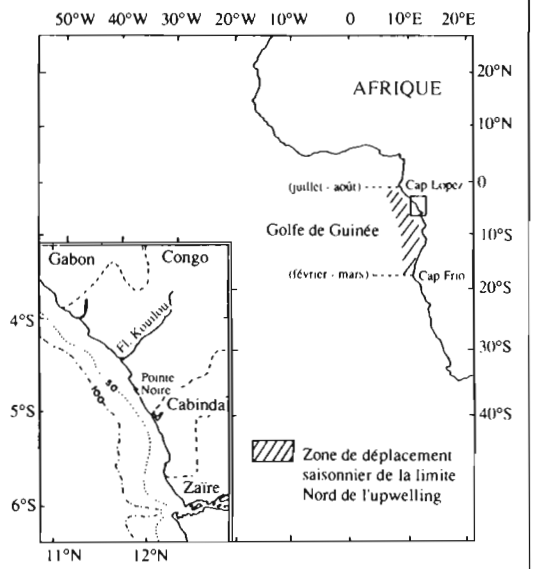
ABSTRACT

Surface gillnet fishing for sardinellas is the main activity of the Beninese fishermen of Pointe-Noire, in relation with the seasonal upwelling off the Congolese coast. The high variability of their daily number of trips results from the superposition of a seasonal cycle related to the resource, a weekly periodicity of socio-cultural nature, and a short-term variability, a part of which is random, and a part is the response of the fleet to the resource variability. The relations between fleet activity and catch per trip are quite complex, involving individual or collective reactions at the daily or seasonal scale, which also probably vary from season to season. The nearly absolute respect of a weekly, resource-independent, rhythm is a paradox in an immigrant community aimed at economic success; the artisanal specificity of the fishery is thereby even more obvious.

INTRODUCTION

Par sa position géographique, entre 3°50"S et 5°S, la façade maritime de la République Populaire du Congo bénéficie de l'extension saisonnière, vers le nord, de l'upwelling centré sur l'Angola (fig. 1). C'est pourquoi, malgré ses dimensions modestes (180 km de côtes), la ZEE congolaise recèle une ressource halieutique non négligeable, constituée notamment d'espèces pélagiques côtières, dont les principales sont les sardinelles: *Sardinella maderensis* et *S. aurita*. Le prélèvement halieutique sur ces deux espèces est d'environ 200 000 t dans l'Atlantique sud-ouest (FAO, 1981), dont seulement 7 à 12 000 t sont pêchées par des unités basées au Congo. Cette production, qui constitue entre 50 et 60 % des prises de poisson de mer débarquées au Congo (Anonyme, 1984, 1986, 1987; Mfina, 1985), est le fait

Fig. 1
Carte de situation.



de deux pêcheries principales: celle d'une petite flottille de sardiniers senneurs industriels, et celle d'une communauté de pêcheurs artisans originaires, à quelques exceptions près, du Bénin et implantés au Congo où ils pêchent la sardinelle au filet maillant de surface.

L'histoire de ces deux pêcheries est caractérisée par des tendances opposées ; la flottille industrielle, frappée successivement par la fermeture des ZEE étrangères, l'augmentation des coûts de production, et le vieillissement des bateaux, a vu sa production stagner malgré l'augmentation du nombre des navires. Inversement, la communauté béninoise a connu une croissance importante bien qu'irrégulière et a produit en 1983 un tonnage de sardinelles voisin de celui des sardiniers (environ 6 500 t). Depuis 1984, il semble que cette production ait subi une baisse sensible et une forte irrégularité.

Les caractéristiques techniques et socio-économiques de la pêcherie béninoise de surface expliquent en grande partie sa réussite par rapport aux autres composantes du secteur halieutique au Congo:

- par rapport à la pêcherie sardinière industrielle, elle bénéficie des avantages d'une échelle artisanale en situation de ressource relativement abondante et accessible: niveau et structure des coûts de production, souplesse d'adaptation du niveau d'activité, fraîcheur du produit, etc...;
- par rapport aux pêcheries artisanales congolaises, sa prospérité tient à la longue tradition de pêche des ethnies de la région Ghana-Togo-Bénin, mais aussi aux particularités qui découlent de leur situation d'immigrants: motivation financière, affranchissement de certaines contraintes sociales, épargne et investissement collectifs au sein de «compagnies» (Gobert, 1985a).

Un des traits les plus apparents de cette pêcherie est la très grande variabilité de son activité (prise au sens de «nombre de sorties de pêche»), d'un jour sur l'autre.

Cette étude a pour objet d'identifier et d'analyser les facteurs qui déterminent cette variabilité, en mettant particulièrement l'accent sur les relations existant entre l'abondance du poisson, telle que les pêcheurs la perçoivent à travers leurs prises, et l'activité de la flottille. Il ne sera donc pas question ici de la variabilité de l'abondance réelle du poisson ou des paramètres physico-chimiques du milieu, mais de l'image partielle et déformée qu'en constituent les prises des pêcheurs.

L'analyse porte sur les deux premières années (1981 et 1982) de fonctionnement du système d'enquêtes au débarquement mis en place par le Centre ORSTOM de Pointe-Noire (Guérédrat, 1983). On dispose ainsi de deux séries de relevés quotidiens des activités de pêche et des prises, à l'exception d'un nombre limité de jours où les enquêtes n'ont pu avoir lieu pour des raisons diverses.

PRÉSENTATION SUCCINCTE DE LA PÊCHERIE BÉNINOISE DE SURFACE

En 1983, la flottille béninoise comptait environ 110 pirogues de type «Popoh», réparties de façon inégale entre deux plages situées au nord du port de Pointe-Noire, et que l'on appellera ici «plage A» (environ 70 % des pirogues) et «plage B».

Ces pirogues, d'une douzaine de mètres de long, sont propulsées par des moteurs hors-bord de 25 ch et embarquent des équipages de 5 ou 6 hommes pour des sorties de nuit (départ vers 17 h, retour entre 5 et 8 h du matin).

L'engin de pêche est un filet de surface de 30 mm de côté de maille, de 7 à 12 m de chute et constitué par l'assemblage de 5 à 9 nappes d'une centaine de mètres chacune.

La pêche se pratique de nuit, de façon généralement groupée; la zone de pêche accessible aux pirogues béninoises s'étend de la frontière du Cabinda, au sud, jusqu'au-delà de l'embouchure du fleuve Kouilou, au nord (fig. 1).

Chaque patron prend, indépendamment des autres, la décision de sortir ou de rester à terre, mais le secteur de pêche est généralement déterminé en commun, selon les observations des sorties précédentes (position, déplacements des bancs, etc...). Une fois sur les lieux de pêche, les pirogues travaillent en principe de façon indépendante. Le poisson est repéré par ses manifestations en surface (bruissement, luminescence); une petite longueur de filet est souvent mise à l'eau pendant 10 à 15 minutes, afin d'évaluer l'abondance des sardinelles avant le coup de filet lui-même, qui peut consister à encercler un banc, si le filet est assez long et le banc pas trop mobile, ou seulement à lui «barrer la route».

Les sardinelles constituent environ 95 % des prises de la pêcherie, les proportions annuelles respectives des deux espèces étant très variables. Le poisson est débarqué sur les plages où sont basées les pirogues et vendu par caisses de 20 kg environ. Les pirogues peuvent en principe contenir jusqu'à 3 t de poisson, mais cette charge maximale n'est que très rarement atteinte. Les tonnages débarqués peuvent être très importants si les conditions de pêche sont favorables: il est ainsi arrivé que plus de 100 t soient débarquées par les artisans béninois dans la même matinée.

La pêche au filet de surface s'exerce le plus souvent dans le cadre de «compagnies», associations de pêcheurs copropriétaires de tout le matériel (pirogues, moteurs, filets) et épargnant collectivement le revenu net de la pêche, après attribution des parts individuelles. Dans les conditions économiques moyennes de 1983, une prise d'environ 200 kg de sardinelles était nécessaire pour couvrir les frais de marée: carburant, «ration» de l'équipage, main d'oeuvre auxiliaire à terre, etc... (Gobert, 1985b).

Certains pêcheurs pratiquent d'autres types de pêche, en complément et à titre individuel, essentiellement le filet maillant de fond. Le matériel est alors la propriété de chacun, les ventes s'effectuent séparément et il n'y a pas d'épargne collective.

MISE EN ÉVIDENCE DES DIFFÉRENTES ÉCHELLES DE VARIABILITÉ

Comme le montrent les figures 2 a et 2 b, l'activité de pêche au filet de surface des pirogues béninoises subit des variations extrêmement importantes d'un jour à l'autre; outre la variabilité aléatoire, cette irrégularité est la résultante de plusieurs périodicités plus ou moins stables au cours du temps et d'amplitude plus ou moins importante.

Périodicité annuelle

L'activité de pêche ne se répartit pas uniformément au cours de l'année, la présence et l'abondance des sardinelles étant étroitement liées à l'intensité de l'upwelling au large des côtes congolaises (fig. 3)

La classification de Berrit (1958) définit quatre saisons marines au Congo dont un des indicateurs est la température de surface ; la «grande saison froide» (juin à septembre) et la «petite saison froide» (décembre-janvier) correspondent aux deux périodes d'upwelling, dont les durées sont par ailleurs très variables. Le caractère saisonnier de la pêcherie, en relation directe avec l'abondance locale de la ressource, sera analysé plus loin.

Périodicité mensuelle

La pêche des sardinelles se pratiquant de nuit et dans la couche de surface, on peut s'attendre à ce que la périodicité mensuelle lunaire se retrouve dans les séries temporelles d'activité de pêche. En réalité, l'analyse de variance montre que l'«effet-lune» sur les nombres de sorties de pêche est, en 1981, faiblement significatif sur la plage A (8%), et non significatif sur la plage B (tab. 1).

Compte tenu de l'importance des facteurs de variabilité saisonnier et hebdomadaire, on négligera ici un possible effet de la phase lunaire sur le niveau d'activité des pirogues béninoises. En outre, il semblerait que les prises moyennes journalières ne soient que très peu affectées par les cycles lunaires (tab. 2).

Périodicité hebdomadaire

La périodicité est ici très apparente: l'activité, nulle le dimanche, reprend le lundi ou le mardi pour atteindre un maximum entre le jeudi et le samedi (fig. 4). Il en résulte une autocorrélation extrêmement forte pour des délais multiples de 7 (fig. 5).

Cet «effet-jour» est bien sûr tout-à- fait indépendant de la disponibilité ou de l'abondance de la ressource. Il s'agit en réalité d'une conséquence de l'organisation socio-culturelle de la communauté béninoise qu'on ne tentera pas d'identifier plus précisément ici, faute d'une enquête sociologique. Son analyse sort donc du cadre de cette étude et ne sera pas poussée au-delà de son aspect descriptif, nécessaire pour dévoiler les éventuelles variabilités qu'elle pourrait masquer.

Variabilité à court terme

A une échelle de 1 à 3 jours, s'exercent deux types de facteurs de variabilité:

- un facteur lié à la ressource, qui est la résultante de l'analyse que fait chaque patron de ses chances de faire une bonne pêche s'il sort, en fonction des résultats des sorties de la veille ou des jours précédents. L'analyse de cet éventuel effet, à court terme, de la variabilité de la ressource sera approfondie plus loin;
- un facteur aléatoire qui regroupe -faute de pouvoir les analyser séparément- l'effet d'événements divers indépendants de la ressource. Ceux-ci peuvent affecter l'activité d'une unité de pêche particulière (panne de moteur, avarie de pirogue ou de filets, maladie,...), d'une partie plus ou moins importante de la flottille (mauvais temps), ou de la communauté toute entière (deuils, fêtes officielles ou coutumières,...).

ANALYSE DES FACTEURS DE VARIABILITÉ LIÉS À LA RESSOURCE

Variabilité à long terme

L'examen des séries d'activités journalières de 1981 à 1982 sur les deux plages (fig. 2 a et c) fait apparaître quelques caractéristiques de la répartition de l'activité de pêche au filet de surface au cours de l'année:

- l'évolution réelle de l'activité de pêche au cours de l'année est autrement plus complexe que la succession des nombres de sorties par mois (fig. 3) ne le laisserait supposer. Si les saisons principales, correspondant à la grande et à la petite saison froide, sont relativement bien apparentes, une activité importante peut également se développer pendant des périodes secondaires plus ou moins longues.

Fig. 2

Nombre de sorties au filet de surface (a,c) et au filet de fond (b,d) et prises moyennes des filets de surface (e) (cf texte).

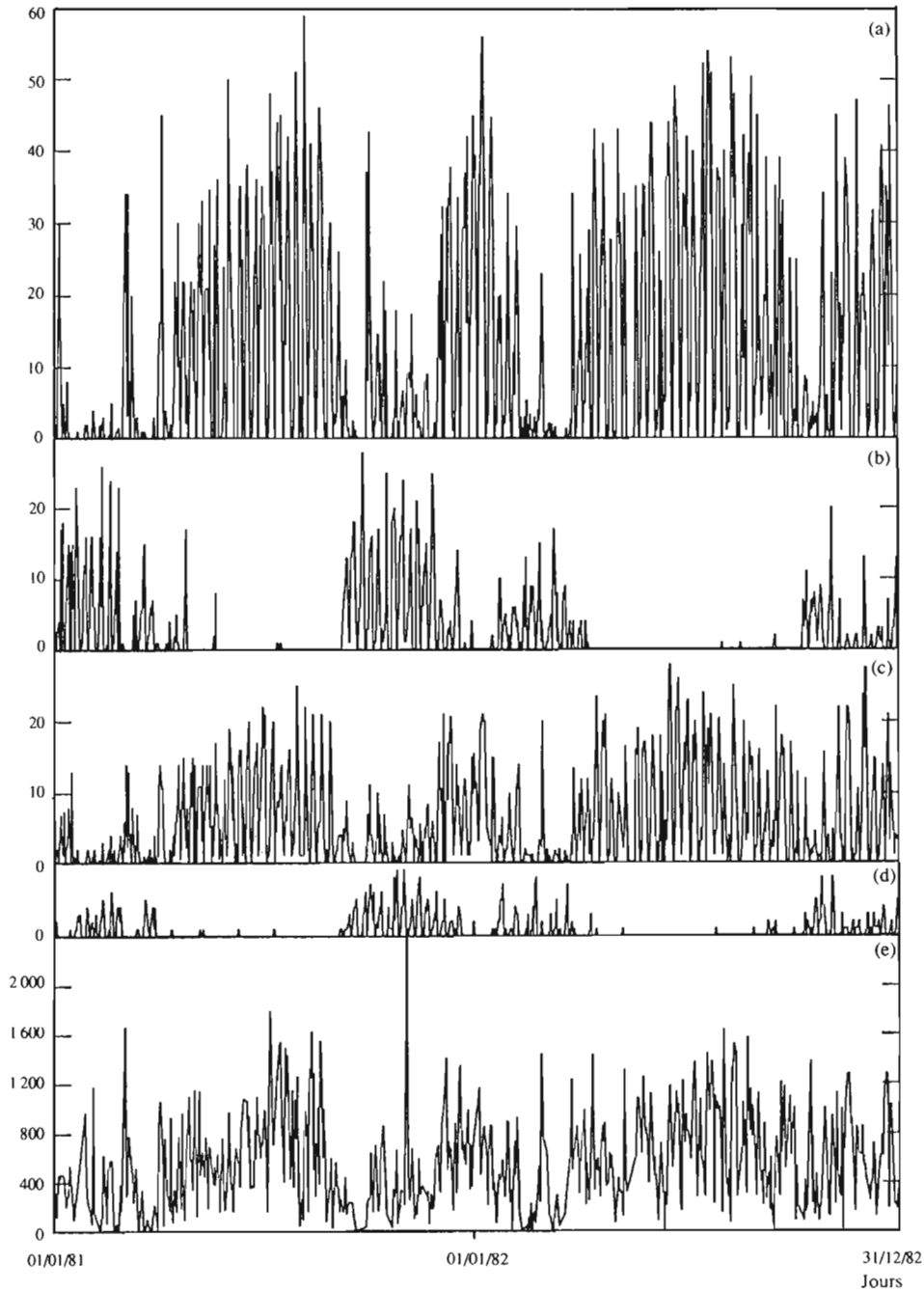


Fig. 3

Température de surface (——) et nombre de sorties au filet de surface (- - - -) en 1981 et 1982.

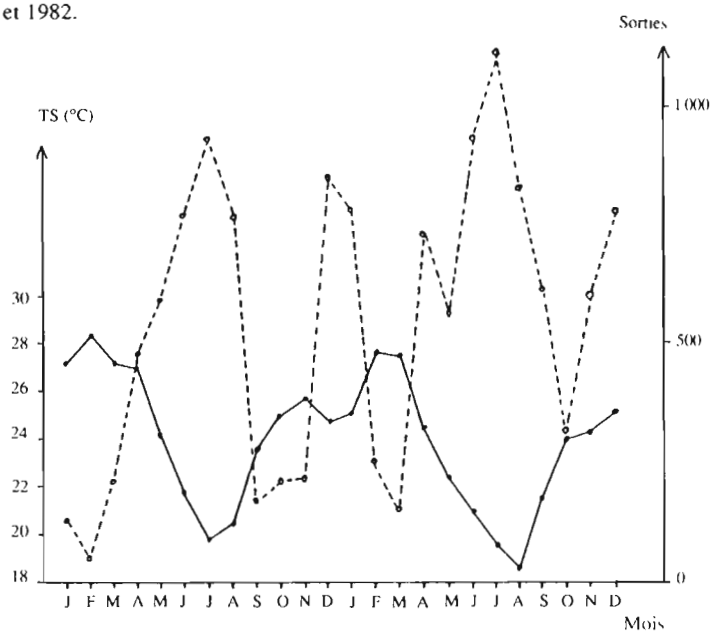


Tableau 1

Impact de l'effet de la phase lunaire et du jour de la semaine sur la variabilité de l'activité

PLAGE A

Source	Carré moyen	ddl	F	α
Lune	361,46	3	2,296	≈0,06
Jour	1818,06	6	11,552	<<0,01
Interaction	51,12	18	0,324	>>0,05
Résiduel	157,37	335		
Total	**181,55**	**362**		

PLAGE B

Source	Carré moyen	ddl	F	α
Lune	29,55	3	0,995	>>0,05
Jour	350,90	6	11,824	<<0,01
Interaction	15,95	18	0,538	>>0,05
Résiduel	29,67	332		
Total	**34,39**	**359**		

Tableau 2

Impact de l'effet de la phase lunaire et du jour de la semaine sur la variabilité des prises moyennes.

PLAGE A

Source	Carré moyen	ddl	F	α
Lune	89552,87	3	0,471	>>0,05
Jour	121892,60	6	0,641	>>0,05
Interaction	95029,78	18	0,499	>>0,05
Résiduel	190125,40	176		
Total	**177821,70**	**203**		

PLAGE B

Source	Carré moyen	ddl	F	α
Lune	49907,78	3	0,311	>>0,05
Jour	197536,90	6	1,230	>>0,05
Interaction	109846,70	18	0,684	>>0,05
Résiduel	160530,70	213		
Total	**156140,30**	**240**		

Fig. 4

Répartition hebdomadaire moyenne des sorties au filet de surface en 1981 et 1982, sur la plage A (a) et B (b).

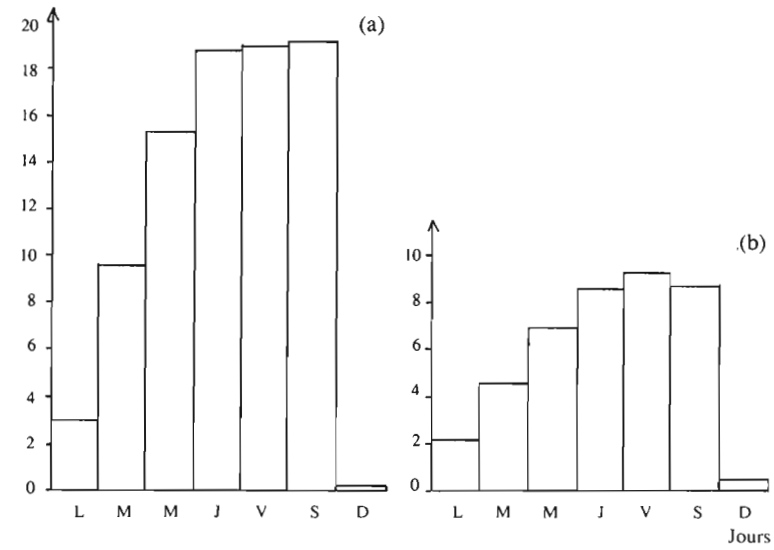
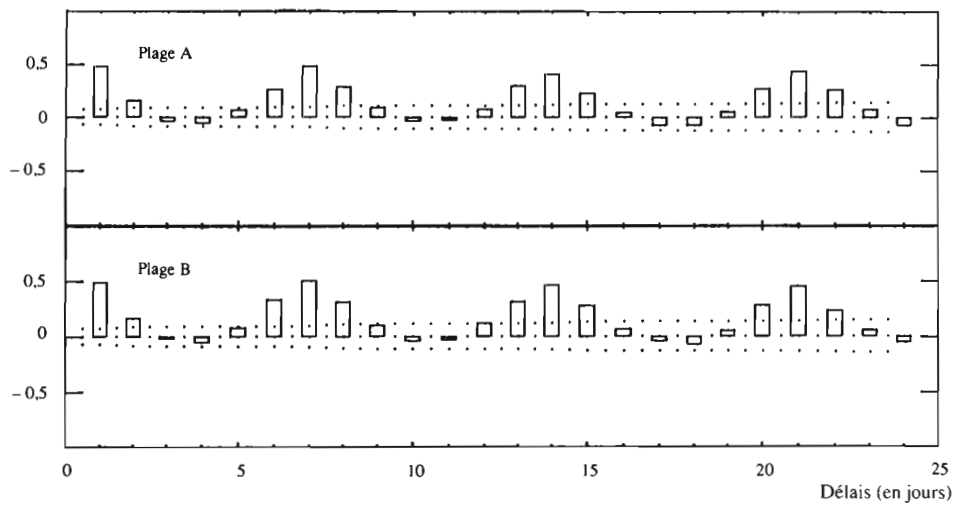


Fig. 5

Autocorrélation des nombres de sorties.



• l'activité n'est jamais complètement nulle pendant plus de quelques jours, même en dehors des périodes de pêche intensive. Le niveau minimum d'activité est en fait constitué d'un petit nombre de sorties (jusqu'à 5 pirogues sur la plage A) centrées sur le jeudi et le vendredi, parfois le mercredi ou le samedi. Il y a donc toute l'année un nombre minimum de sorties, quelle que soit l'abondance du poisson; l'apparition des concentrations de sardinelles peut ainsi être rapidement détectée par les pêcheurs.

• la durée et la répartition des périodes de pêche, principales ou secondaires, varient selon les années ; ainsi, en 1982, il n'y a pas eu d'interruption notable de l'activité entre le début de la grande saison froide (avril-mai) et la fin de l'année. Il apparaît donc une certaine flexibilité de l'activité de pêche aux filets de surface.

Cette flexibilité doit également être considérée en fonction des alternatives possibles qui s'offrent à l'activité des Béninois. Ainsi qu'on l'a mentionné plus haut, le seul engin utilisé de façon non négligeable en dehors du filet de surface est le filet maillant de fond. Les figures 2 b et 2 d montrent que la seule période où ce type de pêche n'est pas du tout pratiqué (à quelques rares exceptions près) est la grande saison froide, la petite saison froide n'en occasionnant qu'un ralentissement. Pendant le reste de l'année, les deux métiers coexistent en des proportions variables.

Le pêche aux filets de fond n'est pas pratiquée par tous les pêcheurs béninois: si tous, sans exception, ont des filets de surface, moins du tiers des chefs de compagnie possèderaient des filets de fond (Gobert, 1985a). De fait, il semble que la variabilité saisonnière de la pêche de surface doive s'interpréter en tenant compte de la possibilité d'alternance pour une partie des chefs de compagnie: ceux-ci ne délaisseraient le filet de fond qu'une fois confirmés les premiers signes d'apparition des sardinelles dans les eaux congolaises, au début de la saison de pêche principale.

De même, au début du mois de septembre 1981, la soudaineté de la reprise de la pêche au filet de fond correspond très étroitement à la fin, tout aussi brutale, de la période de forte et régulière activité de pêche de surface, et à la chute des rendements en sardinelles (fig. 2 e) ; ceci confirme l'abandon de la pêcherie de surface par une partie de la communauté béninoise pour se consacrer à la pêche démersale.

Variabilité à court terme

L'étude de la variabilité à l'échelle d'un ou de quelques jours implique de s'être affranchi des effets hebdomadaires et saisonniers. A cette fin, l'ensemble des données brutes d'activité a été divisé en 7 sous-ensembles correspondant aux jours de la semaine. Pour chaque sous-ensemble, on a calculé les écarts, absolus et relatifs, par rapport à une moyenne mobile sur 13 points (c'est-à-dire 13 semaines, soit environ 3 mois). Chaque valeur brute est donc rapportée à la moyenne mobile du jour correspondant. Les écarts absolus n'étant pas indépendants de la valeur brute de l'activité et présentant donc encore une certaine autocorrélation, l'écart relatif a été retenu comme indicateur de la variabilité à court-terme de l'activité (fig. 6).

Pour ce qui est de l'information disponible sur les résultats des sorties (qui n'est que la partie quantifiable des éléments analysés par les patrons pêcheurs), on a retenu deux paramètres (ou leur estimation si toutes les sorties n'ont pas été enquêtées) caractérisant les prises d'un jour donné:

• la prise moyenne, qui s'apparente à l'appréciation générale de l'observateur, intégrant mentalement les bonnes et les mauvaises sorties, et la répartition des prises,

• la prise maximale observée, qui représente plutôt pour le pêcheur une potentialité de capture, incertaine, mais susceptible de peser sur sa décision.

Pour chacune de ces deux variables, on a calculé les coefficients de corrélation croisée avec l'écart relatif d'activité, sur les deux plages. Compte tenu des «valeurs manquantes» (absence d'observation de prise, faute de sortie ou d'enquête), les nombres de degrés de liberté sont voisins de 460 pour la plage A et de 500 sur la plage B, selon le délai considéré, k ; les seuils de signification des coefficients de corrélation sont d'environ 009 pour a = 5 %, et 0,12 pour a = 1 %.

Pour les prises moyennes, (fig. 7), on observe des corrélations relativement faibles, toujours inférieures à 0,2, et présentant un maximum pour k = -1. Seules quelques valeurs de k donnent des corrélations significatives. Les diagrammes des deux plages diffèrent en ce que le maximum de corrélation est plus fort et plus isolé sur la plage B. Pour les prises maximales (fig. 8), les corrélations sont caractérisées par un maximum très marqué, voisin de 0,4, pour k = 0, c'est-à-dire que c'est entre la prise maximale et l'activité du même jour que la corrélation est la plus forte.

L'examen de ces diagrammes suscite plusieurs remarques:

• les faibles valeurs des corrélations avec la prise moyenne et, en particulier, de leur maxima (bien que ceux-ci soient significativement différents de 0) traduisent peut-être la faiblesse de la réaction d'adaptation de l'activité de pêche aux variations de la ressource; il est cependant certain qu'elles traduisent aussi l'effet des facteurs aléatoires mentionnés ci-dessus. C'est ainsi qu'au cours du premier semestre de 1983, où certaines de ces données sont disponibles, 11 arrêts de la pêche pendant un ou plusieurs jours ont été observés, 5 dus au mauvais temps, et 6 dus à des deuils (Gobert, 1985b);

• le fait que la corrélation maximale avec la prise moyenne se situe dans les deux cas pour k = -1 incite à penser qu'il y a effectivement un effet, même faible, du résultat moyen des débarquements d'un matin sur le nombre de sorties du soir. On notera que, si la corrélation pour k = -2 n'est pas la plus forte après le maximum de k = -1, elle n'est pas moins significative et que la corrélation pour k = -3 est très faible et non significative.

Fig. 6
Ecarts relatifs de l'activité.

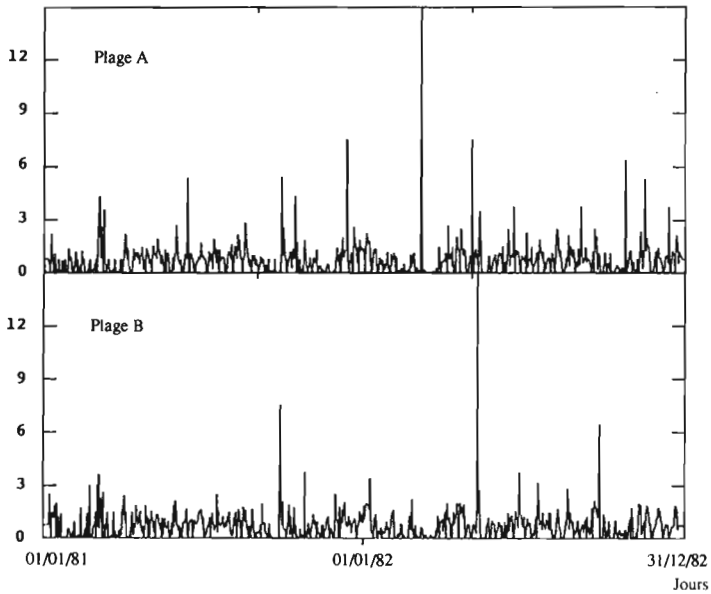


Fig. 7
Corrélations croisées entre prises moyennes et nombres de sorties (écart relatif).

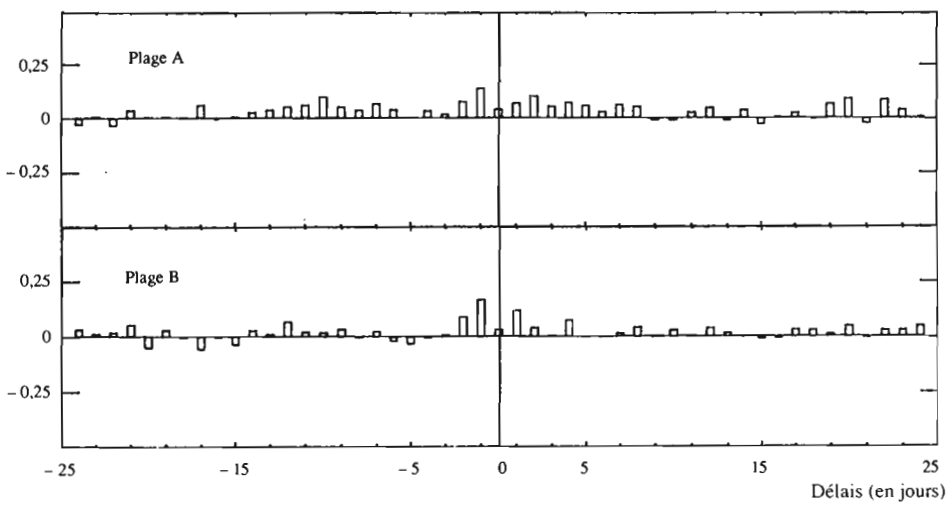
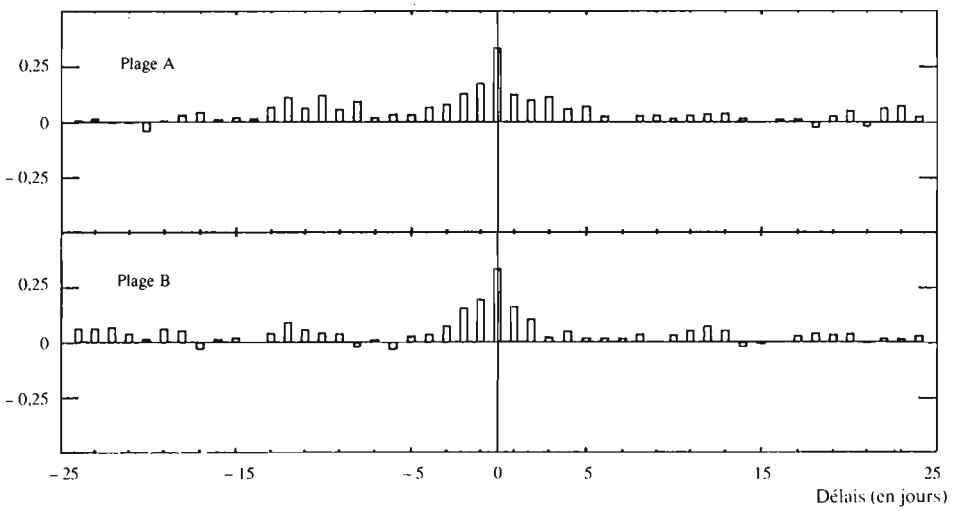


Fig. 8

Corrélations croisées entre prises maximales et nombre de sorties (écart relatif).



Les patrons tiendraient compte, dans leur décision, non seulement des prises débarquées le matin, mais aussi, bien qu'à un degré moindre, de celles de la veille;

• les diagrammes relatifs aux prises maximales présentent une disposition très différente, avec un maximum très marqué et très isolé pour k = 0. La position de ce pic pour les données du même jour indique que l'observation des prises les plus fortes des jours précédents ne pèse pas très lourd dans la décision des patrons pêcheurs; elle suggère également que la prise maximale, étant très liée à l'activité de la pêcherie, n'est pas un bon indicateur de l'état de la ressource un jour donné. Cette interprétation est confirmée par les pics assez nets et significatifs d'autocorrélation dans la série des prises maximales, pour des délais multiples de 7 (fig. 9).

Ces caractéristiques sont à mettre en rapport avec un «effet de nombre», d'ordre statistique, selon lequel plus il y a de pirogues en mer, plus la probabilité est forte que l'une d'entre elles réalise une prise importante, mais peut-être aussi avec un «effet de groupe» d'ordre fonctionnel selon lequel la prospection des bancs au sein du secteur défini avant le départ est d'autant plus efficace que les prospecteurs sont plus nombreux.

Seul cet «effet de groupe» peut également jouer sur les prises moyennes, puisque l'«effet de nombre» est en réalité lié à la variation de la taille d'un échantillon de prises par sortie, donc sans effet sur sa moyenne. L'existence de cet «effet de groupe» semble confirmée par la périodicité des coefficients d'autocorrélation des prises moyennes, malgré leur faible niveau de signification (fig. 10).

Réceptivité de la pêcherie à l'information sur le stock

Si elle a permis de mieux saisir certains mécanismes de la variabilité de la pêcherie, l'approche statistique ci-dessus ne rend pas compte de leur complexité. L'analyse détaillée des séquences de prises moyennes et d'activités permet d'observer plus finement certains de ces mécanismes.

Les données de 1981 et 1982 confirment les conclusions de l'étude de la série janvier-juin 1983, effectuée pour la plage A dans une optique légèrement différente (Gobert, 1985b), à savoir que la pêcherie béninoise pouvait être plus ou moins sensible aux signes d'abondance ou de rareté du poisson.

A certaines périodes, l'augmentation des prises moyennes, ou la persistance de prises moyennes importantes, se traduit immédiatement par un accroissement du nombre de sorties jusqu'à ce qu'une chute des rendements ou les contraintes du rythme hebdomadaire ralentissent ou annulent l'activité.

En d'autres occasions, la pêcherie est relativement peu réceptive à l'information disponible sur la ressource, soit que des prises importantes n'entraînent aucun accroissement d'activité, soit, au contraire, que l'activité

Fig. 9

Autocorrélation des prises moyennes.

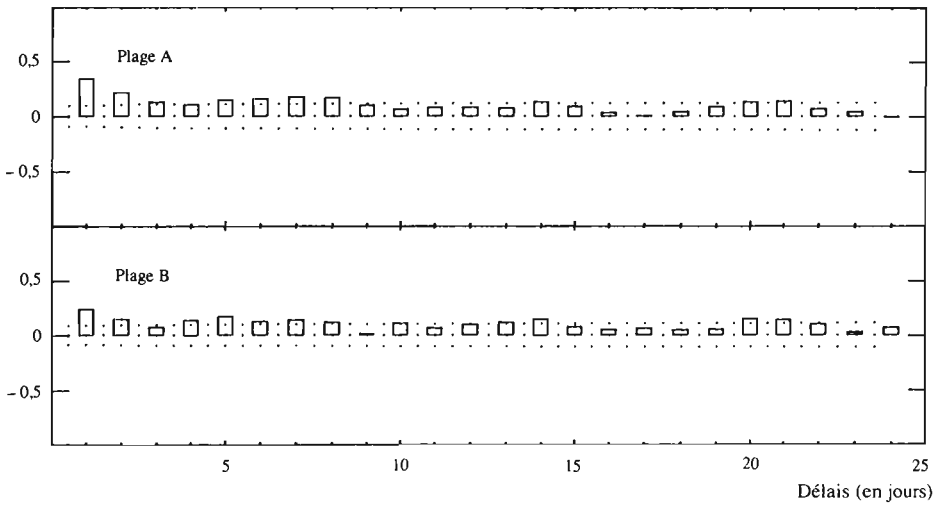
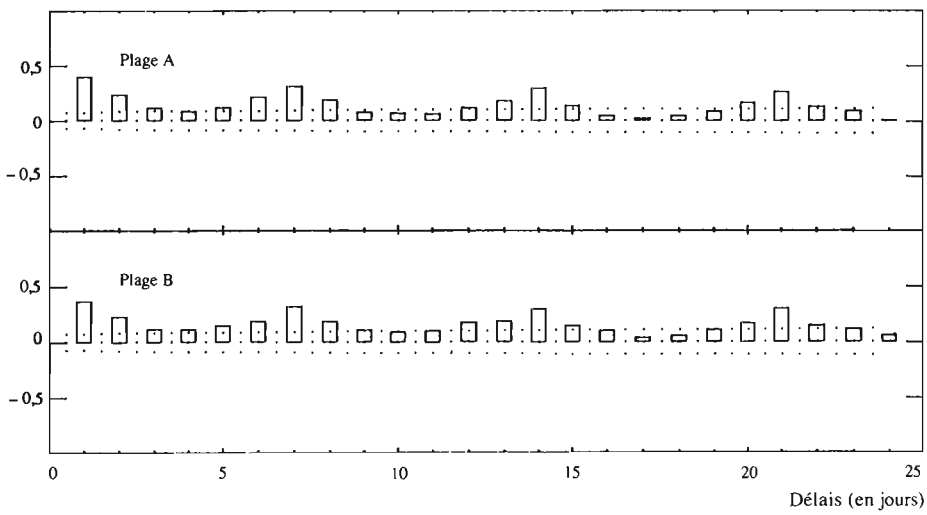


Fig. 10

Autocorrélation des prises maximales.



ne ralentisse pas lors d'une diminution marquée des rendements.
Une interprétation possible (qu'une enquête auprès des pêcheurs pourrait confirmer) est que la périodicité saisonnière est prise en compte par les pêcheurs lors de leur analyse des résultats des précédentes sorties de pêche: au cours des «saisons» elles-mêmes (saison de pêche ou saison creuse), les variations importantes de rendements seraient considérées comme des «accidents» par nature provisoires et dont il n'est pas nécessaire de tenir compte ; lors des périodes de transition entre «saisons», ces variations seraient au contraire interprétées comme les indices, plus ou moins nets, marquant le début ou la fin de la période de pêche fructueuse, provoquant ainsi une réaction plus forte de l'activité.

DISCUSSION

Par leurs caractéristiques démographiques et écologiques, par la variabilité du phénomène d'upwelling, les ressources en sardinelles peuvent être qualifiées d'instables ; cette instabilité est une des contraintes auxquelles doivent s'adapter les pêcheries qui exploitent cette ressource.
Les pirogues des artisans béninois n'ont pas, comme les sardiniers industriels de Pointe-Noire, la possibilité d'amortir les effets de cette variabilité de la ressource, que ce soit dans le temps, par des marées de plusieurs jours et la conservation du poisson sous glace, ou dans l'espace, par un rayon d'action plus étendu. Il est donc logique de penser que la pêcherie artisanale subit directement les effets de l'instabilité de la ressource.
La variabilité est effectivement l'un des traits les plus marquants de l'activité des pirogues béninoises pêchant la sardinelle au filet de surface ; son analyse n'est cependant pas aussi simple qu'on pourrait le penser.

Relation directe entre ressource et activité

La relation directe entre l'état de la ressource, tel que le perçoivent les pêcheurs, et l'activité de la flottille est relativement complexe; de plus, son étude se heurte à la nature des données disponibles.
Il existe une relation statistique significative entre la prise moyenne d'un jour et le nombre de sorties du lendemain. La prédominance de ce mécanisme de régulation d'un jour sur l'autre devrait se traduire par un diagramme de corrélations croisées beaucoup plus démonstratif, montrant une différence très nette entre les écarts susceptibles d'être effectivement pris en compte (J-1, J-2, éventuellement J-3) et tous les autres. Deux raisons semblent expliquer qu'il n'en soit pas ainsi:

- les indicateurs utilisés dans l'analyse ne sont pas représentatifs de la complexité réelle de la pêcherie, en admettant qu'ils n'en fournissent pas une image déformée. Le calcul de l'écart relatif d'activité n'est qu'un moyen, sans doute imparfait, d'éliminer les variabilités saisonnière et hebdomadaire. De façon plus essentielle, l'information accessible aux pêcheurs sur la ressource a été réduite ici à deux de ses composantes, la prise moyenne et la prise maximale. Aussi complète soit-elle, l'extension de l'analyse à d'autres caractéristiques de la distribution des prises individuelles ignorerait tout autant les autres éléments d'information non contenus dans ce type de données, et que les pêcheurs interprètent à l'aide de leur connaissance du milieu et de la ressource: courants, couleur de l'eau, comportement du poisson, etc...;
- les corrélations obtenues entre prises moyennes et activités intègrent en réalité une grande diversité de réactions: la réceptivité au «signal» constitué par les prises varie, de façon non indépendante, entre individus et entre saisons. C'est ainsi que les alternatives d'activité en période creuse ne sont pas les mêmes pour tous les pêcheurs (pratique d'un autre type de pêche ; réparation et entretien du matériel ; séjour temporaire au pays ; etc...), que la réponse à une prise importante est plus ou moins intense selon les saisons, etc...

Contraintes du marché

On notera qu'il n'a pas été question de la régulation de l'activité de pêche par le marché; ce type de contrainte s'exerce pourtant dans de nombreuses pêcheries pélagiques, où les apports peuvent subir des fluctuations importantes et soudaines. Au Congo, plusieurs facteurs interviennent pour en réduire l'impact:

- l'activité de fumage pratiquée par un certain nombre de femmes au sein de la communauté béninoise permet d'absorber pratiquement tous les pics de production: la capacité totale des fumoirs, estimée à l'époque à 90 tonnes (Adrien, 1981), est largement supérieure à la plupart des productions journalières importantes de sardinelles;
- bien que pêcheurs et transformatrices soient toujours des entités économiques différentes, même au sein d'un ménage, on peut penser que le fait d'appartenir à la communauté béninoise crée des liens d'interdépendance qui limitent les variations de prix au débarquement;
- enfin, la concurrence entre sardiniers et artisans béninois ne s'exerce pratiquement pas, pour différentes raisons, liées entre autres à la fraîcheur du produit et aux circuits de commercialisation. De fait, il n'en a pas toujours été ainsi: les apports des Béninois ont parfois contraint les armements industriels à limiter l'activité des sardiniers (Niel, 1973).

Variabilité indépendante de la ressource

Depuis l'arrivée des premiers noyaux d'immigrants dans les années 1930, la communauté des pêcheurs étrangers de Pointe-Noire a subi une évolution considérable, tant sur le plan technique (spécialisation dans la pêche des sardinelles, accroissement de l'efficacité des moyens de capture) que socio-économique (épargne et investissement collectifs au sein de compagnies). L'adaptation des pratiques du pays d'origine est un moyen de réaliser l'un des objectifs principaux pour la plupart des pêcheurs immigrants: la réussite économique (Gobert, 1985a).
Considérée dans ce cadre, la structure de la variabilité

de l'activité de pêche aux sardinelles constitue un paradoxe riche de sens: malgré toute cette évolution tournée vers la réussite économique, le facteur essentiel gouvernant cette activité est un rythme hebdomadaire complètement indépendant de la ressource dont le niveau, lui-même très variable, conditionne pourtant le succès des sorties de pêche.

Les mécanismes d'adaptation à court terme de l'activité de pêche à l'abondance du poisson existent pourtant et contribuent notablement à utiliser au mieux les moyens de production en concentrant l'effort sur les périodes les plus favorables. Cependant, leur action s'exerce toujours dans le cadre du schéma de répartition hebdomadaire de l'activité, quelle que soit l'abondance du poisson.

La place prédominante occupée dans la pêcherie par ce rythme d'origine culturelle fixe les limites de l'esprit d'entreprise et de la logique économique propres à la communauté d'immigrants béninois qui les opposent à leurs homologues congolais (Chaboud, 1982 ; Gobert, 1985a).

Le paradoxe mentionné ci-dessus n'est qu'apparent, car une des caractéristiques des pêcheries artisanales est précisément leur insertion dans un environnement qui n'obéit pas à la seule logique économique (au sens strict), mais fait partie d'un ensemble dont toutes les composantes (économiques, sociales, culturelles, etc...) sont très étroitement liées, voire indissociables, au niveau des comportements individuels ou collectifs.

CONCLUSION

Bien qu'aucune ressource halieutique ne soit homogène et prévisible, c'est dans les pêcheries pélagiques et en particulier les pêcheries pélagiques côtières en zone d'upwelling- que la réussite dépend le plus étroitement de l'aptitude des pêcheurs à tirer le meilleur parti de la variabilité de la ressource, qu'il s'agisse de maximiser la prise brute ou le profit économique ou social de l'individu ou du groupe.

A partir d'une question d'apparence très simple («Comment la pêcherie béninoise de surface réagit-elle à cette variabilité de la ressource ?»), l'analyse a été amenée à aborder, de façon plus ou moins détaillée, selon les données disponibles, de nombreux aspects du fonctionnement de la pêcherie.

Outre le constat relativement banal de la concentration de l'effort de pêche sur les saisons où la ressource est la plus abondante, des mécanismes plus fins ont été mis en évidence ou, dans certains cas, suggérés à titre d'hypothèses explicatives.

Les interactions entre activité et prises apparaissent ainsi particulièrement complexes: leur action s'exerce au niveau individuel (décision indépendante de chaque patron) ou collectif (choix commun du secteur de pêche, «effet de groupe»), à l'échelle journalière (analyse des prises les plus récentes) ou saisonnière (alternatives éventuelles à la pêche de surface), et peut prendre des formes différentes selon les périodes (réceptivité à l'information sur les prises).

Toutefois, cette relation entre activité et prises ne s'exerce que dans le cadre de la périodicité hebdomadaire qui domine tous les autres facteurs de variabilité. Le respect quasi absolu de cette contrainte socio-culturelle par une communauté de pêcheurs, pourtant essentiellement tournée vers la réussite économique, malgré le manque à gagner qu'il provoque, témoigne de l'ancrage de l'activité halieutique des émigrants béninois dans leur société.

Au-delà des caractéristiques techniques qui l'opposent à la pratique industrielle de la pêche, cet enracinement dans une logique non exclusivement économique confirme ainsi la nature profondément artisanale de la pêcherie.

BIBLIOGRAPHIE

- Adrien B. 1981. Le fumage artisanal du poisson de mer au Congo. Doc. sci. Centre ORSTOM de Pointe-Noire, NS 55: 41 pp.
- Anonyme. 1984. Statistiques de la pêche artisanale au Congo. 1981-1982-1983. Doc. sci. Centre ORSTOM de Pointe-Noire, NS 63.
- Anonyme 1986. Statistiques de la pêche artisanale au Congo. 1984-1985. Doc. sci. Centre ORSTOM de Pointe-Noire, NS 67.
- Anonyme. 1987. Statistiques de la pêche artisanale au Congo. 1986. Doc. sci. Centre ORSTOM de Pointe-Noire, NS 68.
- Berrit G. 1958. Les saisons marines à Pointe-Noire. Bull. C.O.E.C., 10(6): 335-362.
- Chaboud C. 1982. Les aspects socio-économiques de la pêche artisanale au Congo. Doc. sci. Centre ORSTOM de Pointe-Noire, NS 57: 63 pp.
- FAO. 1981. Annuaire statistique des pêches: 1980. Vol 50.: 386 pp.
- Gobert B. 1985a. Quelques aspects socio-économiques de la pêcherie artisanale béninoise de Pointe-Noire (Congo). Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 47 (3 et 4): 251-260.
- Gobert B. 1985b. Stratégies et techniques de pêche des flottilles industrielle et artisanale: analyse des prises par unité d'effort des sardinelles au Congo. Doc. sci. Centre ORSTOM de Pointe-Noire, NS 64: 25-41.
- Gueredrat J.A. 1983. Statistiques de prises et d'effort: les pêches artisanales en République Populaire du Congo. COPACE/TECH/83/51: 29-36.
- Mfina P. 1985. La pêche des sardinelles à Pointe-Noire de 1976 à 1984. Doc. sci. Centre ORSTOM de Pointe-Noire, NS 64: 1-24
- Niel J. 1973. Les moyens et les caractéristiques de la pêche artisanale des sardinelles à Pointe-Noire. Essai de comparaison avec la pêche industrielle. Manusc. non publ., Centre ORSTOM de Pointe-Noire: 32 p.

38 • Ressources instables et pêche semi-industrielle: les exemples sénégalais et ivoirien

CHRISTIAN CHABOUD
Chercheur de l'ORSTOM, CRODT/ISRA, B.P. 2241, Dakar, Sénégal
MOUSTAPHA DÈME
Economiste, CRODT/ISRA, B.P. 2241, Dakar, Sénégal

RÉSUMÉ

Depuis leur création au lendemain des indépendances les pêcheries sardinières semi-industrielles sénégalaise et ivoirienne ont connu des évolutions différentes, tant pour les captures que pour la rentabilité des armements. Après une description, cette étude identifie et estime les facteurs explicatifs de ces dynamiques en analysant les relations entre variables économiques, environnementales et biologiques. Les principales contraintes mises en relief sont la concurrence de la pêche artisanale pour l'accès aux ressources, l'impact des autres sous-secteurs halieutiques et des importations de poisson sur le marché, l'hydroclimat (upwelling) qui influe sur l'abondance et la disponibilité de la ressource, le coût et la disponibilité des facteurs de production, enfin le degré d'adaptabilité à l'exploitation des ressources instables. Les différences dans l'importance relative de ces diverses contraintes sont quantifiées. Les évolutions des pêcheries peuvent être interprétées comme la résultante de leurs capacités adaptatives face à des contraintes variées et dynamiques.

ABSTRACT

Since their establishment just after independence time, the Senegalese and Ivoirian semi-industrial sardinella fisheries have shown very different evolutions in terms of catch and economic performances. After a description of these fisheries, the study identifies and estimates the main factors of their dynamics by analyzing the relationships between economic, environmental and biological variables. The main underlined constraints are: the competition of canoe fisheries for the resource, the impact of other fisheries and imports on fish market, the marine environment (upwelling) variations which influences abundance and availability of pelagics; the costs and availability of production factors, and the adaptability of the fisheries to the exploitation of unstable resources. The relative importance of these constraints are quantified. The evolution of the fisheries can be understood as the result of their adaptive capacity facing various dynamic constraints.

INTRODUCTION

L'exploitation des poissons pélagiques côtiers revêt une grande importance dans les pêches des pays côtiers d'Afrique de l'Ouest, tant par les volumes débarqués que par les effets induits qu'elle génère (transformation, emplois, alimentation). Les différentes formes qu'elle prend (artisanale, semi-industrielle, industrielle) s'expliquent par les processus historiques qui ont permis leur émergence, par l'ampleur et par la nature des débouchés, le niveau et les caractéristiques des ressources.

Les évolutions respectives des pêcheries sardinières semi-industrielles sénégalaise et ivoirienne, apparues au moment des indépendances, sont comparées. L'analyse de leurs résultats économiques nous permettra de nous interroger sur les facteurs de leur évolution, en essayant de distinguer ceux dépendant de l'environnement économique (prix, marché, formes concurrentes d'activité) de ceux influant sur les ressources.

PRÉSENTATION DES PÊCHERIES SARDINIÈRES SÉNÉGALAISE ET IVOIRIENNE

Aspects historiques

Les pêcheries sardinières ivoirienne et sénégalaise sont apparues à la fin de la période coloniale. Au Sénégal, c'est en 1957 que le premier sardinier a commencé à pêcher. Il était propriété d'un armateur jusque-là spécialisé dans la pêche au thon. Jusqu'en 1967, une seule unité était présente au port de Dakar. Quelques interventions publiques de création d'un «armement amélioré», conçu comme «étape intermédiaire et évolutive entre l'armement piroguier et l'armement industriel» (Chauveau, 1988) n'ont pas débouché. Il s'agit d'un projet FAO (1955) non réalisé et d'un projet FAC (embarcations de type pinasses arcachonnaises) en 1959. Enfin, en 1979, un financement japonais permet la création d'un armement expérimental (ARMEX) dont la gestion sera confiée à la Direction des Pêches. Tout comme pour l'expérience des cordiers (Kébé, 1982), ces tentatives administratives furent globalement des échecs en raison de difficultés de gestion et de l'inexpérience des pêcheurs artisans recrutés. Il semble également que les écarts de coûts d'investissement et d'exploitation, par rapport à la pêche artisanale (qui connaissait à l'époque un bouleversement technologique avec le développement de la motorisation et l'introduction de la senne tournante coulissante), soient un des facteurs déterminants de l'échec de l'interventionnisme public.

La création de l'armement sardinier dakarois trouve son origine, pour l'essentiel, dans l'investissement privé. Sa croissance rapide après 1967 est le fait «d'entrepreneurs sénégalais aux moyens limités, qui rejoignent ce secteur avec des navires d'occasion, le plus souvent rétrocédés par les autorités après l'échec d'une opération de modernisation de l'armement» (Chauveau, *Ibid.*, p. 49).

En Côte- d'Ivoire, l'armement sardinier est plus récent. Après la rupture politique survenue entre la Guinée et la France au lendemain de l'indépendance, les armateurs français se sont déplacés vers le port d'Abidjan. Contrairement au Sénégal, cette pêcherie fut fortement marquée par la présence étrangère, notamment française.

Caractéristiques des sardiniers

Les deux pêcheries sont caractérisées par la vétusté des flottilles. En 1983, l'âge moyen des bateaux était de 18 ans (Côte-d'Ivoire) et 20 ans (Sénégal). Les données techniques disponibles montrent que les flottilles sont relativement semblables et homogènes:

PAYS	Caractéristiques	Valeurs extrêmes observées	Moyenne (1980)	Ecart-type
SÉNÉGAL	Longueur (m)	15-32	21	4
	TJB	13-120	85	58
	Puissance(cv)	110-600	312	119
CÔTE D'IVOIRE	Longueur*	15-29	20	4
	TJB	30-128	72	25
	Puissance	120-540	270	87

* Données relatives à l'année 1988 pour un échantillon de 18 navires

Aucun renouvellement réel des flottilles ne s'est réalisé depuis la création de ces pêcheries. Pour l'armement ivoirien cependant, de nombreux moteurs de bateaux ont été renouvelés. Certains d'entre eux ont même fait l'objet d'un renouvellement total des équipements de pont. Ainsi, même si les âges moyens respectifs des deux flottilles sont relativement proches, il apparaît que la flottille ivoirienne est mieux entretenue que celle de Dakar.

Les équipements de ces sardiniers sont relativement semblables d'une unité à l'autre. Les prises sont conservées grâce à de l'eau de mer réfrigérée. La détection des bancs s'opère à vue ou au moyen de sondeurs. Tous les bateaux sont équipés de «power-block» pour hâler leur senne tournante à bord. La flottille ivoirienne est constituée exclusivement de navires en bois, tandis qu'au Sénégal la flottille a compris des unités en bois, en métal et en fibre de verre. Enfin, la taille moyenne des équipages est plus grande à Abidjan (18 pêcheurs) qu'à Dakar (13 pêcheurs).

ESTIMATION DES COÛTS ET REVENUS DES PÊCHERIES SARDINIÈRES

Aspects méthodologiques

Pour les deux pêcheries étudiées, les estimations directes de coûts et revenus ne sont pas disponibles. Aussi est-t-il nécessaire de les estimer indirectement à partir des séries statistiques disponibles auprès d'organismes de recherche (CRODT/ISRA à Dakar et CROA à Abidjan). Dans les deux cas, les fichiers statistiques fournissent des informations relatives à chaque sortie de pêche: prises en volume (et en valeur pour la Côte-d'Ivoire), composition spécifique des mises à terre, zones de pêche, durée de la sortie. Pour le Sénégal, la valeur des captures est estimée indirectement en utilisant les prix au débarquement par espèce qui sont collectés parallèlement aux statistiques de pêche.

Les données en valeur ont été estimées en francs CFA constants (année de base: 1983) afin de supprimer l'influence de l'inflation. Les déflateurs utilisés sont les indices de prix à la consommation africaine publiés par les directions nationales de la statistique.

Les coûts d'exploitation des navires ont été estimés à partir d'enquêtes auprès des armements. Pour le Sénégal ces données sont tirées d'une étude réalisée en 1987, (Dème, 1988). Pour la Côte-d'Ivoire, une enquête a été réalisée auprès des armements sardiniers en mai 1988.

Il convient de souligner que nous ne disposons pas de séries chronologiques sur les coûts permettant d'estimer la dérive temporelle des coûts d'exploitation (autre que le carburant) ainsi que de leur structure. La série temporelle des coûts d'exploitation a donc été reconstituée en déflatant les données instantanées obtenues par les indices de prix déjà mentionnés. Les dépenses en carburant sont obtenues indirectement à partir des temps de pêche par sortie, de la puissance motrice des bateaux ainsi que du prix annuel du gazole. Les résultats ainsi obtenus sont présentés dans un tableau récapitulatif en fin de texte; ils permettent de suivre l'évolution économique de ces pêcheries à travers l'étude de différentes variables: revenus et coûts (totaux et par bateau), rendements en volume et en valeur (par dizaine d'heures de mer, par bateau et par an), coût et marge nette par kilo débarqué, profit net annuel par bateau, rente économique générée par chaque pêcherie.

Les débarquements

La figure 1b montre l'évolution des débarquements totaux dans les deux pêcheries. Durant la période étudiée, la prise moyenne annuelle est de 21 785 tonnes au Sénégal contre 28 065 en Côte-d'Ivoire. Au Sénégal, les débarquements maxima ont été observés en 1974 avec près de 34 000 tonnes. Trois sous-périodes doivent être distinguées: jusqu'en 1974 les prises augmentent; de 1974 à 1981; elles oscillent autour de 28 000 tonnes; enfin, elles chutent brutalement à partir de 1982, pour atteindre 3 000 tonnes en 1986. En Côte-d'Ivoire, les prises maximales sont enregistrées en 1972 (39 000 tonnes). De 1972 à 1984, une tendance à la diminution des mises à terre est observable, malgré quelques augmentations isolées. A partir de 1984, les débarquements augmentent à nouveau, pour atteindre 34 000 tonnes en 1986.

La valeur des débarquements totaux est présentée à la figure 1a. L'écart constaté entre les deux pêcheries s'explique par les différences des prix au débarquement. Les fluctuations sont moins accusées que pour les débarquements exprimés en volume, ce qui laisse supposer un phénomène d'ajustement par le biais de la formation des prix.

Niveaux et tendances de l'activité des armements sardiniers

Avant de chercher à comprendre les mécanismes expliquant les niveaux et évolutions de ces variables, il convient tout d'abord de décrire les tendances observables.

Tendances de l'effort de pêche dans les deux pêcheries

La figure 2a montre l'évolution de l'effort de pêche total (exprimé en heures de mer). A la réduction régulière de l'effort de pêche en Côte-d'Ivoire s'oppose une évolution beaucoup moins marquée au Sénégal. En Côte-d'Ivoire, l'effort de pêche est maximal en 1970 (plus de 180 000 heures) pour ensuite régulièrement diminuer (à l'exception des années 1984 et 1986) jusqu'à 66 000 heures. Durant la même période, l'effort

Fig. 1

Débarquements en valeur et en volume des sardiniers à Abidjan et à Dakar.

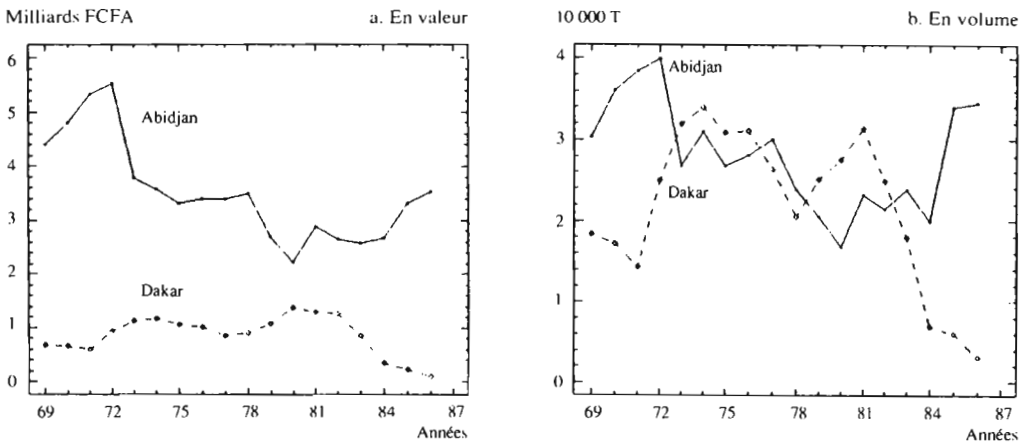
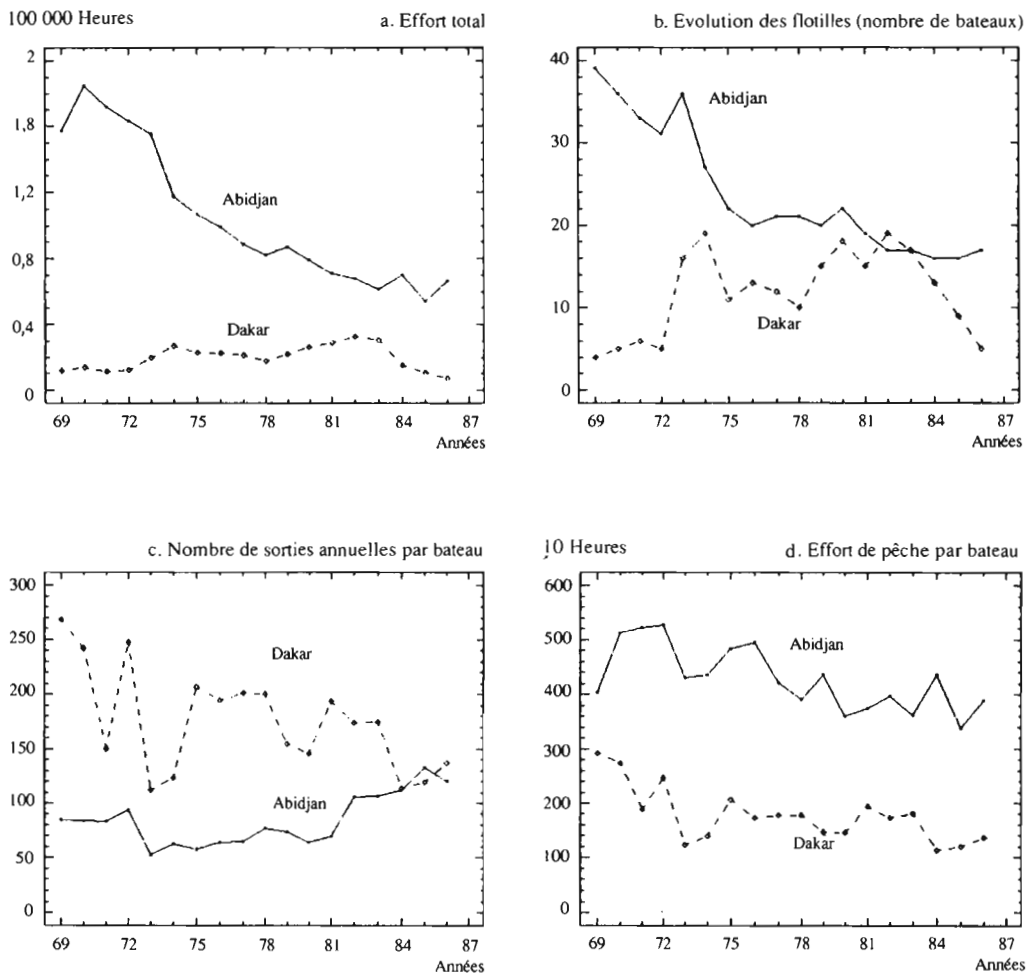


Fig. 2

Effort de pêche des sardiniers à Abidjan et à Dakar.



de pêche annuel moyen des sardiniers dakarois s'élève à 19 600 heures. Il s'est accru jusqu'en 1982, pour atteindre un maximum de 32 720 heures et diminuer ensuite jusqu'à 6 820 heures en 1986.
L'évolution de l'effort de pêche total permet de suivre l'évolution de la pression de pêche exercée sur les stocks exploités; elle ne fournit par contre aucun élément susceptible de nous informer sur les stratégies individuelles des unités de pêche et sur leurs réactions aux variations de l'environnement économique et/ou physique et biologique. Or, dans le cas de ces pêcheries, où les évolutions sont surtout déterminées par des dynamismes spontanés plus que contrôlés, eux-mêmes conditionnés par les résultats économiques appréhendés par chaque unité de production, une analyse à différentes échelles est plus à même d'aider à la compréhension. Dans ce sens, l'effort de pêche doit être compris en tant que grandeur complexe qui est le produit du nombre d'unités de pêche (fig. 2b), du nombre de sorties par unité (fig. 2c) ainsi que de la durée moyenne des sorties .
De 1969 à 1986, le nombre de bateaux opérant à partir du port d'Abidjan n'a cessé de diminuer tandis qu'au Sénégal l'évolution est beaucoup moins nette. Une tendance à l'augmentation est visible jusqu'en 1982, puis l'effectif se réduit régulièrement à partir de 1983. Le nombre de sorties annuelles par bateau connaît des évolutions inverses dans les deux pêcheries: alors qu'il augmente régulièrement en Côte-d'Ivoire (passant de 84 en 1969 à 120 en 1986), il diminue régulièrement au Sénégal (de 268 en 1969 à 137 en 1986). En Côte-d'Ivoire, l'augmentation du nombre annuel de sorties par bateau est accompagnée d'une réduction de la durée moyenne des sorties (de 84 heures en 1975 à 32 heures en 1986), qui laisse supposer une modification des stratégies de pêche et/ou de nouvelles conditions d'exploitation (répartition spatiale et disponibilité de la ressource). A l'inverse, la durée moyenne des sorties est restée constante au Sénégal, reflétant le maintien de l'activité des sardiniers dans une zone relativement restreinte, au large et au sud de la presqu'île du cap Vert (Dème, 1988). L'effort de pêche annuel par bateau confirme cette différence de comportement des bateaux ivoiriens et sénégalais (fig. 2d). Durant la période 1969-1986, il s'élevait en moyenne à 4 280 heures en Côte-d'Ivoire contre 1 780 heures au Sénégal. Les tendances d'évolution apparaissent toutes deux décroissantes, avec une stabilisation en fin de période en Côte-d'Ivoire autour de 4 000 heures par an.

Revenus et rendements des armements sardiniers

Les rendements en volume et en valeur : les évolutions des rendements en volume (fig. 3b) et en valeur (fig. 3a) sont un premier indicateur de la rentabilité des opérations de pêche. Les rendements en volume au Sénégal se situent, en début de période à un niveau élevé, atteignant plus de 20 tonnes par dizaine d'heures de mer. En Côte-d'Ivoire les rendements maxima observés en 1986 étaient de 6 tonnes. Cet écart absolu peut être considéré comme le reflet de la différence de richesse biologique entre les milieux exploités. Les évolutions des rendements des deux pêcheries sont radicalement différentes. A partir de 1972, les rendements connaissent une tendance régulière à la baisse au Sénégal. En Côte-d'Ivoire, par contre, la tendance est à la hausse, malgré quelques fluctuations (baisses marquées en 1973, de 1978 à 1980 et en 1984, suivies de rétablissements).
Exprimé en valeur, l'écart entre les rendements moyens des deux pêcheries est moindre, reflétant les différences de prix au débarquement. Pour la période étudiée, le prix moyen pondéré au débarquement (exprimé en FCFA 1983) s'élève à 126 FCFA en Côte-d'Ivoire contre 49 au Sénégal (fig. 4a et 4b). Cette différence est à mettre en relation avec le degré de concurrence avec d'autres sous-secteurs (pêche artisanale notamment) pour l'approvisionnement du marché local en poisson, ainsi qu'avec l'écart des pouvoirs d'achat des consommateurs des deux pays.
En terme d'évolution, les tendances observées sont les mêmes que pour les rendements en volume. Pour les deux pêcheries, les fluctuations inter-annuelles sont parfois différentes de celles en volume. Ceci s'explique par les mouvements des prix. Ceux-ci ont connu une augmentation en 1978 (et jusqu'en 1982 au Sénégal). Ce phénomène doit être replacé dans le contexte inflationniste général qui prévalait à cette époque et notamment à la hausse des produits pétroliers.

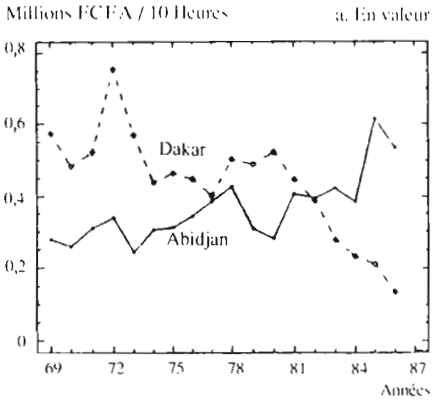
Les revenus par bateau: si la prise annuelle moyenne par bateau est plus élevée au Sénégal (2 116 t) qu'en Côte-d'Ivoire, elle s'améliore en fin de période dans ce dernier pays (2 000 t) alors qu'elle chute dramatiquement dans le premier pour atteindre un niveau proche de 600 t à partir de 1983. Cette différence est bien sûr amplifiée en valeur en raison de l'écart déjà mentionné entre les prix au débarquement.
La résultante de ces écarts s'exprime dans les niveaux absolus des chiffres d'affaire par bateau durant la période étudiée (152 millions de FCFA en Côte- d'Ivoire contre 81 au Sénégal) (fig. 5). A partir de 1972 cet écart s'amplifie avec une dégradation constante des revenus au Sénégal tandis qu'en Côte-d'Ivoire, malgré des diminutions marquées en 1973 et 1981, le niveau des chiffres d'affaire se maintient en moyenne période et augmente de 1983 à 1986.

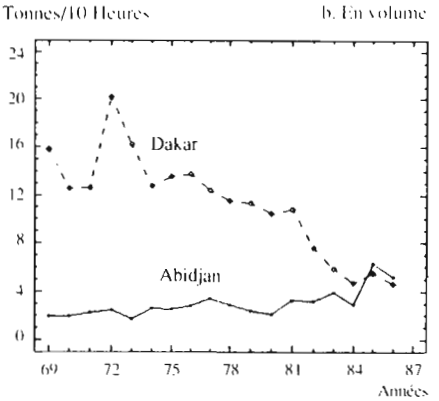
Coûts d' exploitation des armements sardiniers

Le coût moyen annuel d'exploitation des sardiniers est plus faible au Sénégal qu'en Côte d'Ivoire (52 millions de FCFA contre 139) (fig. 5). Ceci s'explique par des coûts plus élevés en carburant, conséquence de taux d'activité plus élevés et de temps de pêche plus longs pour la pêcherie abidjanaise. Les charges d'entretien et d'amortissement sont également supérieures à Abidjan où les armements entretiennent mieux leurs navires et sont plus soucieux d'assurer le renouvellement de leur outil de production. Il est cependant notable de constater que les dépenses en carburant rapportées au chiffre

Fig. 3

Rendements en valeur et en volume des sardiniers à Abidjan et à Dakar.





d'affaire sont très proches dans les deux cas (7,6 % au Sénégal et 7,8 % en Côte-d'Ivoire). Rapportés au temps de pêche par bateau, les coûts sont très proches dans les deux pêcheries: 312 000 FCFA par dizaine d'heures de mer au Sénégal contre 339 000 FCFA en Côte-d'Ivoire. Les différences de coût annuel d'exploitation par navire observées dans les deux pêcheries s'expliquent en partie par la différence des taux d'activité des navires qui y opèrent.

Résultats économiques de l'exploitation des sardiniers

Les résultats économiques des pêcheries sardinières peuvent être appréhendés à différents niveaux. Les armements les apprécient à travers les profits (ou les pertes) courants qu'ils retirent de leurs activités. Pour l'ensemble de la pêcherie, c'est la rente économique courante, définie comme la différence entre les revenus et les coûts totaux de la pêcherie (Anderson, 1977, p.32) qui constitue l'indicateur le plus classiquement utilisé pour estimer les résultats économiques de la pêche. Sa maximisation est souvent présentée comme l'objectif principal des politiques d'aménagement. Sous certaines hypothèses, la maximisation de la rente permet d'atteindre une situation optimale où les ressources (travail, capital, poisson) sont utilisées au mieux du point de vue collectif. Enfin la marge nette par kilo débarqué, c'est-à-dire la différence entre le prix pondéré et le coût moyen, est un indicateur utile pour apprécier les résultats tant au niveau sectoriel que des unités de production. Son évolution montre la capacité des armateurs «à défendre leurs coûts» et donc leur vulnérabilité face au marché. En d'autres termes, elle permet de voir dans quelle mesure le fonctionnement du marché du poisson permet d'absorber les fluctuations de coûts consécutives aux variations d'abondance de la ressource.

Pour la période étudiée, le profit annuel moyen par bateau s'établit à 16 millions en Côte-d'Ivoire contre 29 au Sénégal. Cette différence est trompeuse, car elle cache la dégradation continuelle de la situation au Sénégal à partir de 1981. Dès 1983, l'exploitation des sardiniers dakarois est devenue, en moyenne, déficitaire (fig. 5a). En Côte-d'Ivoire, malgré deux périodes critiques (1973 et 1980), les armements réussissent à dégager des profits dont les niveaux les plus élevés ont été atteints en 1985 et 1986 (fig. 5b).

L'examen de la marge par kilogramme souligne également de façon très significative les différences entre les deux pêcheries. En Côte-d'Ivoire, à l'exception des années 1973-74 et 1979-80 où la chute des rendements n'a pu être compensée par une élévation proportionnelle des prix (fig. 4b), prix pondéré et coûts moyens au kilogramme suivent des évolutions parallèles qui semblent indiquer une relative élasticité des prix par rapport aux coûts de production, sans préjuger pour autant d'une capacité des armements à s'imposer comme oligopsone. Au Sénégal, par contre, un décrochage net est visible à partir de 1980, conséquence à la fois de la chute des rendements et de la pression exercée sur le marché par l'augmentation des débarquements des unités de pêche artisanale à la senne tournante (fig. 5a).

Fig. 4

Prix pondéré, coût et marge par kilo à Abidjan et à Dakar.

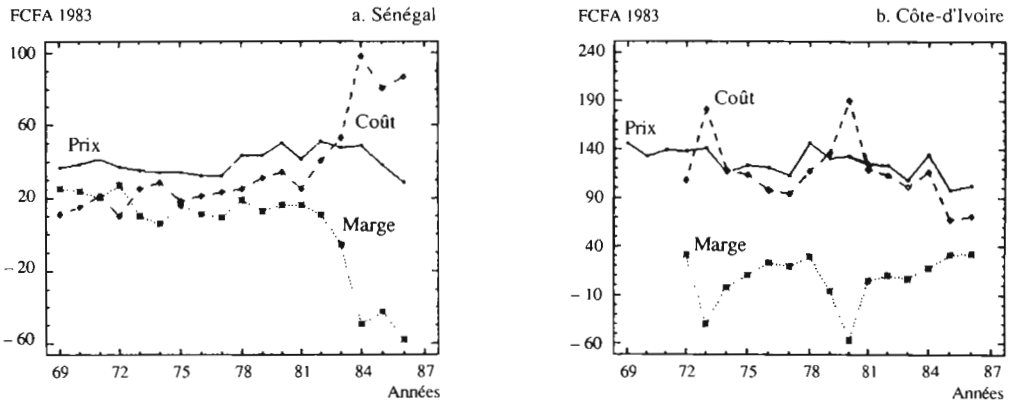
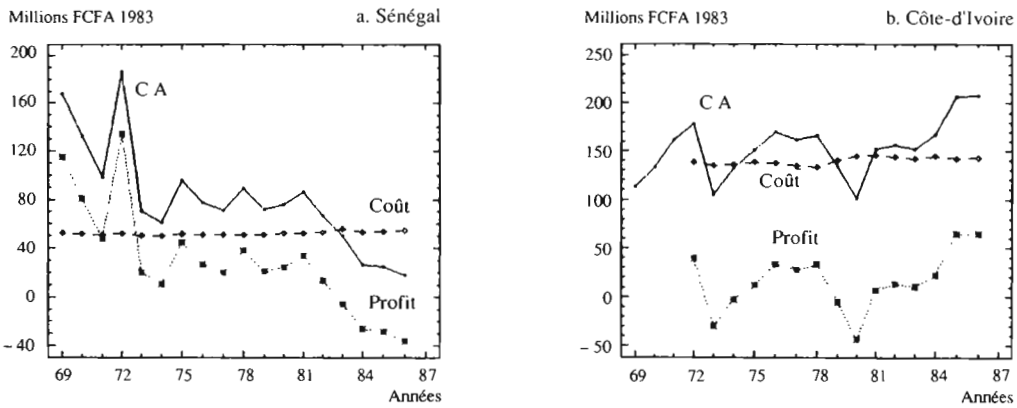


Fig. 5

Chiffre d'affaire, coût et profit par bateau à Abidjan et à Dakar.



Les rentes économiques annuelles moyennes générées par les deux pêcheries durant la période étudiée sont relativement semblables (280 millions de FCFA en Côte-d'Ivoire contre 246 au Sénégal). Au Sénégal, la rente annuelle courante apparaît relativement stable jusqu'en 1981 pour se dégrader régulièrement jusqu'en 1984 et se stabiliser ensuite à un niveau négatif (-200 millions de FCFA). En Côte-d'Ivoire, l'évolution de la rente économique est beaucoup plus instable. Deux années très déficitaires se distinguent: 1973 et 1980. L'amélioration visible après 1980 montre la capacité de cette pêcherie à se rétablir, sans qu'il soit possible pour le moment de présager des facteurs explicatifs de ce phénomène.

TENTATIVES D'EXPLICATION

Afin d'identifier les facteurs principaux des tendances décrites et de mesurer leurs impacts relatifs, nous avons choisi une démarche empirique consistant, dans un premier temps, à rechercher des relations statistiques sans s'imposer a priori de restrictions sur leur forme fonctionnelle et les variables explicatives à retenir. Les relations statistiques estimées seront appréciées à l'aide des méthodes classiques (Johnston, 1972): tests t pour les coefficients de régression (entre parenthèses sous les valeurs estimées), de Fisher (F) et de Durbin et Watson (DW). Dans un second temps, une démarche plus analytique sera proposée.

En Côte-d'Ivoire

Les rendements en volume (rdtci) s'expliquent bien à partir de trois variables: l'effort total (effci), la moyenne arithmétique de l'indice d'upwelling, au Ghana, de l'année en cours (t) et de l'année précédente (t-1) (upw2Ghana), et le nombre de sorties annuelles par bateau (sorbci). Les résultats confirment les conclusions d'études déjà réalisées (Cury et Roy, 1987).
Le premier modèle ajusté (modèle 1, fig. 6a) explique 80 % de la variance du logarithme des rendements (coefficient de corrélation ajusté selon les degrés de liberté):

Log (rdtci) = 4,29	+ 0,0204 upw2Ghana	- 0,453 Log(effci)	
	(4,04)	(2,92)	(-4,36)
	+ 0,004 sorbci		
	(2,63)		
ddl = 14	$R^2 = 0,80$	F = 25,08	DW = 2,505

Une autre formulation utilisant les logarithmes népériens de toutes les variables explicatives permet d'estimer les coefficients d'élasticités qui sont alors égaux aux coefficients de régression estimés (modèle 2).

Log (rdtci) = 2,40	+ 0,46 Log (upw2Ghana)	- 0,485 Log(effci)	
	(1,63)	(2,88)	(-4,62)
	+ 0,036 Log(sorbci)		
	(2,33)		
ddl = 14	$R^2 = 0,79$	F = 22,9	DW = 2,29

Les résultats de ce dernier modèle peuvent s'interpréter comme suit: une augmentation de 1 % de l'effort induit une diminution de 0,45 % des rendements tandis qu'une variation identique de l'upwelling les améliore de 0,46 %. Ces deux variables exercent des effets inverses d'amplitude semblable. L'influence du nombre de sorties annuelles par bateau montre que la modification de la stratégie de pêche des armements est allée de pair avec celles des rendements. Cependant, il faut être prudent avant d'avoir un avis définitif sur la nature de cette relation statistique. Il se peut, en effet, que la modification de la stratégie de pêche s'explique elle-même par une modification des conditions d'exploitation (variation de la répartition et de la disponibilité de la ressource notamment).

Les rendements en valeur (rdtvci) s'expliquent bien à partir des mêmes variables que les rendements en volume. Deux formes de relations ont été testées, comme précédemment.
La première (modèle 3, fig. 6b) explique 82 % de la variabilité du logarithme des rendements en valeur:

Log (rdtvci) = 1,18	+ 0,013422 upw2Ghana	- 0,3145 Log(effci)	
	(1,60)	(2,77)	(-4,38)
	+ 0,0039.sorbci		
	(3,24)		
ddl = 14	$R^2 = 0,82$	F =27,85	DW = 2,354

La seconde permet, comme précédemment, d'estimer les élasticités des rendements par rapport aux variables explicatives (modèle 4):

Log (rdtvci) = -0,38	+ 0,309 Log(upw2Ghana)	- 0,334Log(effci)	
	(-0,39)	(2,84)	(-4,73)
	+ 0,326 Log(sorbci)		
	(3,11)		
ddl = 14	$R^2 = 0,82$	F =27,23	DW = 2,23

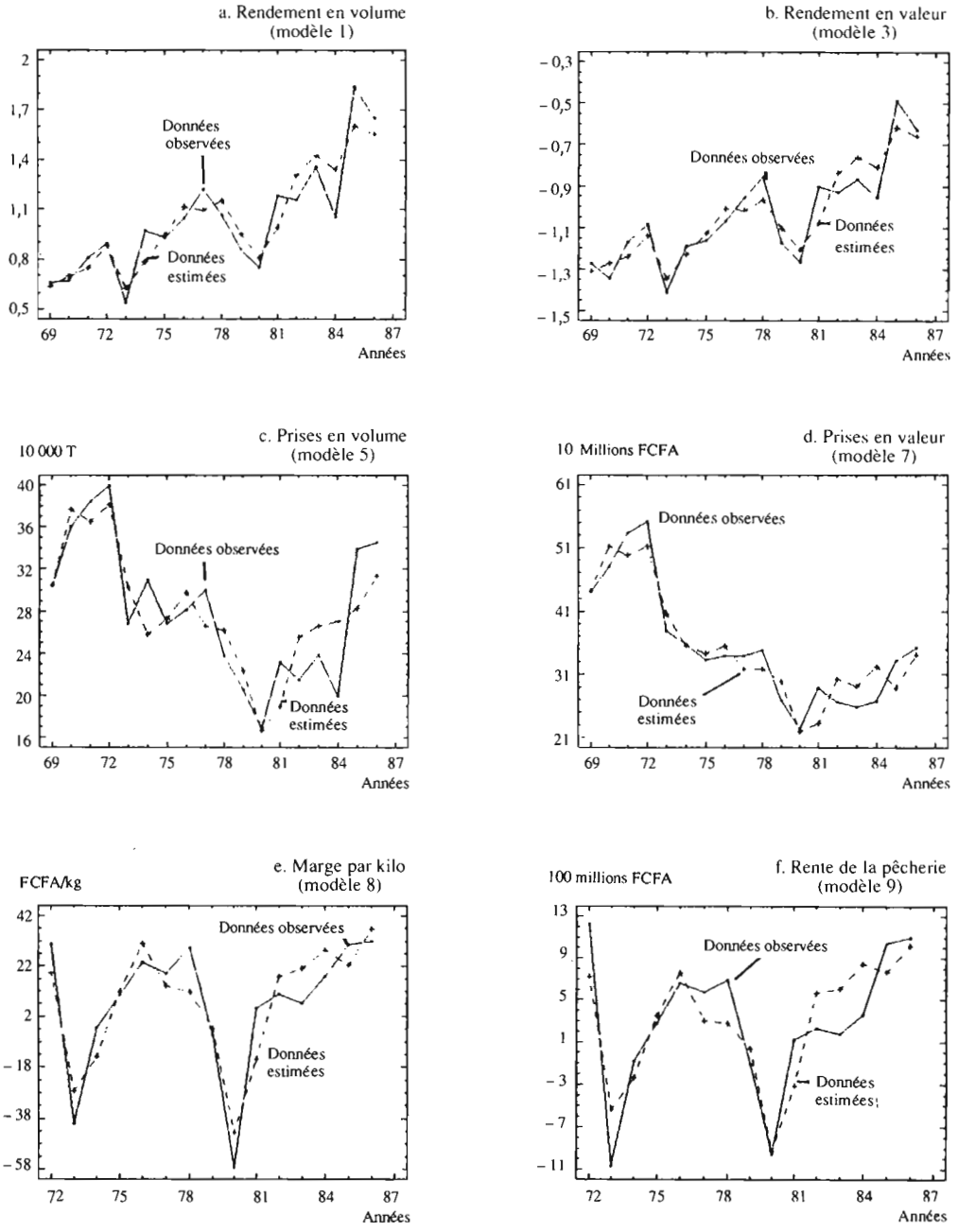
Les prises annuelles en volume (priseci). En première analyse, les prises en volume (priseci) peuvent s'exprimer à partir des mêmes variables explicatives que les rendements en valeur (modèle 1).
La relation obtenue est la suivante (modèle 5 et fig. 6c):

priseci = -8294	+ 528 upw2Ghana	+ 1,357 effci	
	(-1,26)	(2,86)	(5,70)
	+ 108,9 sorbci		
	(2,44)		
ddl = 14	$R^2 = 0,67$	F =12,60	DW = 2,36

En prenant les logarithmes des variables afin d'obtenir les élasticités, on obtient (modèle 6):

Fig. 6

Explication des résultats des sardiniers ivoiriens à partir de l'effort de pêche et de l'intensité de l'upwelling.



$$\text{Log(priseci)} = 2{,}4 + 0{,}46\ \text{Log(upw2Ghana)} + 0{,}51\ \text{Log(effci)} + 0{,}36\ \text{Log(sorbci)}$$
$$(1{,}63) \qquad (2{,}89) \qquad (4{,}89) \qquad (2{,}33)$$

ddl = 14 $R^2 = 0{,}61$ F = 10,03 DW = 2,29

Ces deux modèles mettent en relief que, pour la période observée, les augmentations de l'effort de pêche total n'ont pas d'effets négatifs sur les prises, à la différence des rendements. Les diminutions de captures observées, en l'absence de diminution d'effort, sont donc imputables aux variations de l'hydroclimat.

Les prises annuelles en valeur (caci). 85 % de leur variabilité s'expliquent par le modèle ajusté (modèle 7, fig. 6d). Ainsi la valeur des prises s'ajuste mieux que leur volume (modèle 6). Ceci semble s'expliquer par le fait que les variations de prix compensent en partie les variations de quantités, supprimant ainsi une partie des résidus du modèle 6. La relation statistique mise en évidence est la suivante (modèle 7, fig. 6d):

$$\text{caci} = -28369 + 880\ \text{Log(upw2Ghana)} + 2505\ \text{Log (effci)} + 1389\ \text{Log(sorbci)}$$
$$(-8{,}20) \qquad (2{,}31) \qquad (10{,}15) \qquad (3{,}79)$$

ddl = 14 $R^2 = 0{,}855$ F = 34,6 DW = 2,22

Les résultats économiques de la pêcherie: marge par kilogramme débarqué et rente totale. 76 % de la variation de la marge par kilogramme débarqué s'expliquent (modèle 8, fig. 6e) à partir de l'upwelling, de l'effort de pêche total ainsi que de deux variables censées décrire l'ajustement de la stratégie de pêche des bateaux, [durée des sorties (dsorci) et temps de pêche annuel (tpbci)]:

$$\text{margeci} = 63{,}13\ \text{Log(upw2Ghana)} - 30{,}58\ \text{Log(effci)} - 4{,}76\ \text{dsorci} + 0{,}25\ \text{tpbci}$$
$$(4{,}1) \qquad (-5{,}06) \qquad (-1{,}68) \qquad (2{,}57)$$

ddl = 10 R^2=0,76 F = 12,23 DW = 2,513

Enfin, nous avons expliqué la rente économique à partir des mêmes variables que pour le modèle précédent. Le modèle 9 ainsi ajusté explique 71% de la variabilité de la rente annuelle; les renversements de tendance sont également bien reproduits (fig. 6f):

$$\text{renteci} = 1245\ \text{Log(upw2Ghana)} - 585\ \text{Log(effci)} - 933\ \text{Log(dsorci)} + 7{,}44\ \text{tpbci}$$
$$(2{,}56) \qquad (-2{,}91) \qquad (-1{,}98) \qquad (2{,}45)$$

ddl = 10 $R^2 = 0{,}71$ F = 9,43 DW = 2,128

Au Sénégal

Dans ce pays, la pêcherie sardinière subit l'influence conjointe des variations de l'environnement et du secteur artisanal. Depuis 1973, date à laquelle la diffusion des sennes tournantes coulissantes s'est opérée à grande échelle dans les centres de pêche artisanale, la part du sous-secteur artisanal dans les captures de petits pélagiques côtiers est devenue de plus en plus importante. La recherche des facteurs explicatifs de l'évolution de la pêcherie semi industrielle dakaroise est donc plus délicate que pour les sardiniers ivoiriens. Ceci est d'autant plus vrai que l'influence de la pêche artisanale sur l'exploitation des sardiniers ne s'opère pas seulement à travers la ressource mais aussi à travers la formation des prix sur le marché (Dème, 1988). Les données sur les captures et l'effort artisanal ne sont disponibles que pour une période de temps plus courte (1978 à 1986). L'ajustement de modèles comparables à ceux proposés pour la Côte- d'Ivoire est donc difficile. Cette difficulté est accrue par le fait que la pêcherie sardinière n'a connu qu'un déclin permanent à partir de 1981; les résultats d'ajustement statistiques sur une tendance sont toujours délicats à discuter.

Nous disposons cependant d'éléments susceptibles de nous aider à contourner cette difficulté. Ainsi Fréon (1988) a analysé l'impact du climat sur l'exploitation des pélagiques côtiers au Sénégal. L'introduction d'une variable climatique dans un modèle permet ainsi d'expliquer les variations inter-annuelles des débarquements (par les sardiniers et la pêche artisanale). On note cependant qu'au cours des années postérieures à 1981 l'effet négatif de l'activité artisanale sur celle des sardiniers semble très nette. Ainsi les rendements en valeur sont négativement corrélés (fig. 7a) avec l'effort des unités artisanales à la senne tournante dans les trois principaux centres de pêche au sud de Dakar (Joal, Mbour et Hann). Ceci laisse à penser que pour la période récente les conditions environnementales ne sont pas la contrainte majeure limitant l'activité des sardiniers, à la différence de l'effort de pêche des sennes tournantes artisanales.

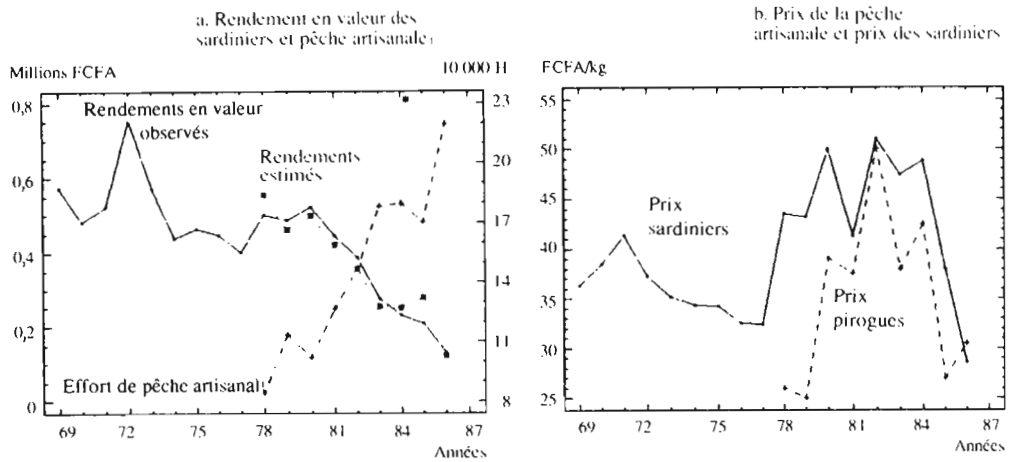
Un second phénomène mis en évidence renforce l'influence du secteur artisanal sur les résultats économiques des sardiniers. Les fluctuations des prix des petits pélagiques débarqués par les pirogues sur la Côte Sud (appréciées à partir de la moyenne des prix pondérés annuels à Joal et à Mbour) semblent se répercuter sur les prix offerts au port de Dakar (fig. 7b). On note également que les prix de la pêche artisanale sont toujours inférieurs. La pression ainsi exercée sur le niveau des prix et l'ampleur des fluctuations imputables à l'inélasticité du système de commercialisation (Chaboud, 1983) contribuent à l'explication de la dégradation de la situation des sardiniers.

LES CONTRAINTES

L'exemple des deux pêcheries étudiées montre les difficultés à tirer des enseignements généralisables à

Fig. 7

Relations entre les rendements en valeur de la pêche semi industrielle et de la pêche artisanale au Sénégal et relations entre les prix au débarquement pour les sardiniers et les pirogues.



partir d'une seule expérience particulière. Les contraintes pesant sur leur activité sont parfois les mêmes (fluctuations d'abondance de la ressource), mais leur impact relatif et surtout la résultante de l'ensemble des facteurs limitants ne sont pas identiques. Ainsi, les fluctuations environnementales appréciées à travers l'upwelling, ont un effet déterminant, à côté de l'effort de pêche, sur l'activité des sardiniers ivoiriens, appréciée à différents niveaux. Par contre, au Sénégal, une amélioration des conditions environnementales, même accompagnée d'une régulation de l'effort de pêche, ne semble pas suffisante, dans les conditions actuelles, pour assurer le rétablissement de la pêcherie. La pression exercée par la pêche artisanale, tant pour l'accès à la fraction de ressources exploitée en commun par les deux pêcheries que sur la formation des prix, est telle que toute amélioration de l'état des stocks de poisson profitera en priorité à la pêche piroguière. Celle-ci est en effet plus apte, grâce à sa souplesse de fonctionnement, à s'adapter aux conditions fluctuantes de l'exploitation des petits pélagiques côtiers.

Nous allons essayer de passer en revue les contraintes principales pesant sur l'activité des sardiniers dakarois et abidjanais et de mesurer leurs poids relatifs et les possibilités réalistes de les contourner.

Débouchés et prix du poisson

Nous avons vu que l'écart des prix moyens au débarquement entre les deux pêcheries explique, en partie, les meilleurs résultats des sardiniers ivoiriens. Les mécanismes de formation des prix en présence semblent très différents. Ceci s'explique par la nature des circuits de distribution du poisson ainsi que par celle des sous-secteurs entrant en concurrence avec les pêcheries sardinières pour l'approvisionnement du marché. Au Sénégal, un circuit de mareyage complexe irrigue l'ensemble du territoire national à partir du port de Dakar et des centres de pêche artisanale situés tout le long du littoral (Chaboud, 1983). En conséquence, les conditions de débarquement en un point donné conditionnent la formation des prix dans les autres centres de pêche, dans la mesure où l'intégration des différents circuits dans la filière est assurée. La pêcherie sardinière dakaroise subit donc en permanence les conditions de marché imposées par la structure des coûts de production et de distribution du poisson de la pêche piroguière. Cette difficulté aurait pu être contournée si des circuits de distribution plus rémunérateurs étaient disponibles. L'exportation du poisson de la pêche sardinière dakaroise semble une solution souvent reprise dans le discours des autorités. Cependant, l'expérience montre les difficultés de l'exportation des petits pélagiques congelés vers les autres pays africains, notamment en raison de la concurrence des flottilles industrielles opérant sous affrètement dans des pays voisins. Ainsi le kilogramme de sardinelles, d'un coût de 120 francs au départ de Dakar, serait vendu à 80 francs à Abidjan par les flottilles des pays de l'Est. Dans les conditions actuelles,

le marché intérieur semble le seul débouché possible, et il paraît illusoire d'en attendre des prix suffisamment élevés pour rentabiliser un outil de production industriel. En Côte-d'Ivoire, le système de quotas adopté par les armements sardiniers leur permet d'éviter de trop fortes fluctuations de prix. Mis en place au début des années quatre-vingt, ce système permet une planification concertée des retours de bateaux ainsi que des quantités à mettre sur le marché. Par ailleurs, la concurrence de la pêche artisanale est moindre qu'à Dakar, bien qu'elle puisse être ressentie, d'après les armateurs, lorsque les sardinelles sont abondantes entre Grand-Bassam et le canal de Vridi et donc accessibles aux sennes tournantes artisanales de Vridi. A la différence du Sénégal, la Côte-d'Ivoire importe des quantités importantes de poissons, notamment des petits pélagiques congelés. Il semble cependant qu'elles n'aient pas un impact négatif trop marqué sur les prix offerts aux sardiniers, dans la mesure où le poisson produit par ces derniers bénéficierait d'une prime de qualité auprès des consommateurs et s'adapte mieux au fumage.

Accès aux facteurs de production et gestion des sardiniers

Dans les deux pêcheries, l'investissement est essentiellement financé par recours à l'autofinancement. La mauvaise image du secteur des pêches auprès du secteur bancaire commercial a pour conséquence des taux d'intérêt élevés (17 à 20 %), un plafonnement des prêts à 50 % de la valeur des investissements, des délais de remboursement courts ainsi que des garanties difficiles à fournir par les armateurs (Dème, 1988). L'absence d'un réel système de crédit maritime dans les deux pays est bien un des freins majeurs au renouvellement d'une flottille obsolète (surtout au Sénégal). La situation de l'armement piroguier est très différente au Sénégal, où la pêche artisanale a pu bénéficier de divers systèmes de financement publics pour l'achat d'équipements détaxés. Par ailleurs la pratique du crédit «informel» est une source non négligeable de capital pour la pêche piroguière. Pour des raisons évidentes d'échelle et de structures économiques, ce type de financement n'est pas possible pour la pêche sardinière. Dans les deux pêcheries semi-industrielles, le problème de la main d'oeuvre se pose tout d'abord en terme de compétence, ensuite en termes de rigidités imputables au contexte institutionnel. Les armements ont de grandes difficultés à recruter du personnel qualifié. Au Sénégal, les pêcheurs les plus compétents ne semblent pas être attirés par la pêche sardinière et s'embarquent plutôt à bord des chalutiers. En Côte-d'Ivoire, la législation impose des conditions sur l'origine des équipages (75 % au moins doivent être de nationalité ivoirienne ainsi que le patron de pêche et le mécanicien).

A ces premières contraintes s'ajoutent celles tenant aux systèmes de rémunération en vigueur définis dans le cadre de conventions collectives. Ceux-ci consistent en un système mixte comprenant une part fixe à laquelle s'ajoute une prime proportionnelle au volume des captures. Au Sénégal (à la différence de la Côte-d'Ivoire), la prime n'est versée qu'à partir d'un seuil mensuel minimal de captures fixé à 196 tonnes. Ces systèmes ne sont pas adaptés au caractère aléatoire de l'exploitation des sardiniers. Au Sénégal, le seuil de déclenchement de la prime est fixé trop haut par rapport aux captures effectives pour être réellement stimulant. Par ailleurs, les systèmes à la part existant dans le secteur artisanal en concurrence avec la pêche sardinière, sont plus incitatifs pour l'équipage et permettent un partage des risques entre main d'oeuvre et capital: «Fishing entrepreneurs are unambiguously better off with the share system. It allows spreading some of the risk among the crew, thus reducing the cost of risk bearing, and provides a work incentive that makes it less costly to extract the desired level of labour services from the crew» (Sutinen, 1979). En Côte-d'Ivoire, la flottille appartient à quelques armements (7 en 1988) entre lesquels une nette concentration du capital s'observe (en 1988 un seul armement contrôlait 7 bateaux, soit 40 % de la flottille). Ces armements pratiquent une gestion rigoureuse de leur activité, comme en témoigne la politique de quotas journaliers mise en place par la profession. Ce souci de gestion se matérialise également par un taux d'activité élevé et un entretien régulier des bateaux. Tel n'est pas le cas au Sénégal où les investisseurs manquent souvent d'expérience en matière de pêche. La pêche sardinière dans ce pays a souvent eu un caractère spéculatif peu propice à une gestion rigoureuse, à moyen terme, des outils de production (Dème, 1988). L'immobilisation fréquente des navires à quai ainsi que leur manque d'entretien, l'absence de diversification des stratégies de pêche (en terme de zone de pêche, d'espèces-cibles), des pratiques financières peu orthodoxes (utilisations de découverts bancaires comme source d'investissement) sont autant d'éléments soulignant les déficiences de la gestion des armements dakarois.

Les ressources: instabilité environnementale et concurrence de la pêche piroguière.

En ce qui concerne les contraintes relatives à la ressource exploitée, deux aspects principaux doivent être soulignés:

- tout d'abord les stocks de petits pélagiques sont soumis à de fortes variations d'abondance qui ont un effet direct sur la rentabilité de la pêche (Garcia, 1984). Dans les cas des deux pêcheries étudiées, cet impact est surtout sensible en Côte-d'Ivoire. Bien que des interrelations de même nature aient été démontrées au Sénégal (Fréon, 1988), il semble qu'actuellement la contrainte dominante soit d'une autre nature;
- les interactions entre pêches piroguière et semi-industrielle pour le partage des ressources sont également importantes. Elles sont de nature complexe. Par exemple certaines formes d'activités artisanales (sennes de plage) tendent à exploiter des classes d'âge jeunes. Cette forme d'interaction semble cependant relativement peu importante au regard des quantités en cause.

La concurrence spatiale semble, par contre, plus réelle.

La législation en vigueur jusqu'à une époque récente au Sénégal excluait les sardiniers de la zone des six milles réservée exclusivement à la pêche artisanale. Un aménagement très récent permet aux unités inférieures ou égales à 50 TJB d'y accéder. Aucune contrainte administrative, par contre, ne limite la zone d'activité des pirogues. Par ailleurs, la pêche sardinière voit son rayon d'action limité par sa dépendance vis-à-vis des infrastructures portuaires dakaroises alors que la pêche artisanale dispose de points de débarquement situés tout le long du littoral. Dans ces conditions, les sardiniers ont concentré leur activité près du port de Dakar, ce qui limite d'autant leur efficacité. Des ressources disponibles existent pourtant en Casamance. De 1976 à 1980, une flottille de chalutiers pélagiques polonais y a réalisé des captures de l'ordre de 50 000 tonnes par an (Fréon, *Ibid*, p.71). Cette fraction de stock inexploitée n'est pas accessible, dans les conditions actuelles, à la flottille dakaroise, pour des raisons techniques (vétusté des bateaux) et économiques (coûts d'exploitation élevés, débouchés aléatoires).
En Côte-d'Ivoire, le problème se pose en des termes différents. Les interactions avec les pirogues basées le long du littoral ivoirien semblent, pour le moment, peu importantes. La pêche artisanale ghanéenne paraît, par contre, prélever des prises relativement élevées.

CONCLUSION

La gestion des pêcheries de petits pélagiques côtiers est confrontée à l'incertitude, tant en ce qui concerne l'abondance des ressources qu'en matière de prix et de débouchés. Pour les pêcheries présentées dans cette étude, ce phénomène est amplifié par l'existence actuelle ou potentielle de formes d'exploitation concurrentes.
En économie, une distinction est opérée entre prise de décision en situation d'incertitude (où les probabilités associées aux différents événements possibles sont supposées inconnues) et en situation de risque (où l'on est en mesure d'apprécier ces probabilités). Pour la gestion des pêcheries exploitant des ressources instables, cette distinction est d'importance dans la mesure où des modèles prédictifs peuvent anticiper les évolutions futures. Cependant, même si cette relative capacité d'anticipation des évolutions existe, elle n'a de valeur pour la gestion que dans la mesure où l'on est capable de l'utiliser de façon opérationnelle dans les schémas d'aménagement.

DISCUSSION

DURAND J.R.: En Côte-d'Ivoire, la concurrence entre pêche artisanale et industrielle n'est effective que durant deux mois ; elle est donc beaucoup plus faible qu'au Sénégal. En dépit de la faiblesse de cette concurrence, les prix de la sardinelle en Côte-d'Ivoire sont influencés par les importations.

Tableau des principaux résultats des flotilles sardinières sénégalaises et ivoiriennes

ANNEE	RENTE DE LA PECHERIE (10^3 FCFA 1983)		INDICES DES PRIX AU DEBARQUEMENT		INDICES DU PRIX DU CARBURANT	
	SNG	CI	SNG	CI	SNG	CI
1969	459832		76,56	133,58	41,9	
1970	401520		81,11	122,64	41,9	
1971	287601		87,10	127,78	41,9	
1972	672560	122316	78,55	127,48	41,9	
1973	320632	-106902	74,04	130,03	41,9	14,3
1974	204316	-8199	72,23	106,47	41,9	14,3
1975	488764	27497	72,04	114,22	41,9	14,3
1976	345585	65564	68,39	111,37	41,9	14,3
1977	240919	57516	68,18	104,23	48,9	14,3
1978	381540	69367	91,61	135,08	48,9	14,3
1979	314850	-11102	90,89	120,50	53,8	47,6
1980	432131	-96012	105,20	122,57	82,4	85,8
1981	503745	12313	86,83	115,06	71,2	98,6
1982	259490	22861	107,40	114,14	83,8	96,5
1983	-97374	17130	99,94	99,98	100,0	100,0
1984	-344204	35564	102,74	123,64	118,3	104,4
1985	-254563	103838	79,92	90,03	143,2	114,0
1986	-181745	109593	60,27	94,14	146,6	114,0

CHABOUD: En Côte-d'Ivoire, on a affaire à des qualités de sardinelle très différentes: le poisson de la pêche industrielle est davantage apprécié par les consommateurs que celui de la pêche artisanale. En outre, il semble exister un contingentement consensuel armateurs-importateurs qui aboutit à une régulation de l'approvisionnement du marché.

FAGGIANELLI: La limitation de la concurrence entre armateurs et importateurs en Côte-d'Ivoire est réelle. Votre analyse tient-elle compte des importantes captures effectuées en Sierra Léone par les sardiniers ivoiriens, mais débarquées à Abidjan (notamment entre 1966 et 1975) ?

CHABOUD: Seuls les débarquements totaux à Abidjan ont été pris en compte et il faudrait effectivement distinguer ces deux sources de débarquement pour affiner la relation effort-état du stock et ses conséquences économiques sur les comportements des pêcheurs.

GARCIA: Les premiers débarquements de poisson congelé en Côte-d'Ivoire ont eu un gros impact sur les pêcheries lagunaires, mais pas sur les pêcheries maritimes. D'autre part, il faudrait prendre en compte l'existence de taxes sur le poisson à Abidjan.

DIAW: On a affaire à des niveaux de concurrence différents entre le Sénégal et la Côte-d'Ivoire qui, en

Tableau des principaux résultats des flotilles sardinières sénégalaises et ivoiriennes

ANNEE	DEBARQUEMENTS ANNUELS (TONNES)		VALEUR DES DEBARQUEMENTS (10^6 FCFA 1983)		NOMBRE DE BATEAUX		EFFORT DE PECHE ANNUEL (10 H)		EFFORT DE PECHE PAR BATEAU (10H)		NOMBRE DE SORTIES PAR BATEAU		DUREE DES SORTIES (H)	
	SNG	CI	SNG	CI	SNG	CI	SNG	CI	SNG	CI	SNG	CI	SNG	CI
1969	18404	30358	669	4402	4	39	1167	15736	291	403	268	84	10,9	47,7
1970	17163	36024	661	4796	5	36	1368	18444	273	512	242	84	11,3	61,0
1971	14314	38468	592	5336	6	33	1133	17191	188	520	150	83	12,6	62,6
1972	24962	39888	931	5520	5	31	1235	16340	247	527	247	94	9,9	56,3
1973	31884	26773	1121	3779	16	36	1969	15518	123	431	112	53	10,9	81,1
1974	33908	30939	1163	3576	19	27	2655	11741	139	434	123	62	11,3	69,6
1975	30811	26785	1054	3321	11	22	2274	10645	206	484	207	58	10,0	84,0
1976	31010	28098	1007	3397	13	20	2253	9901	173	495	194	64	8,9	77,2
1977	26380	30022	854	3397	12	21	2125	8844	177	421	201	65	8,8	64,6
1978	20507	23773	892	3486	10	21	1777	8192	177	390	200	77	8,8	50,6
1979	25025	20526	1080	2685	15	20	2215	8702	147	435	154	74	9,5	58,9
1980	27508	16767	1374	2231	18	22	2634	7916	146	359	146	64	10,0	56,5
1981	31362	23113	1293	2887	15	19	2900	7101	193	373	193	69	10,0	53,6
1982	24884	21501	1269	2664	19	17	3272	6756	172	397	174	105	9,9	37,6
1983	17891	23800	849	2583	17	17	3065	6148	180	361	175	107	10,3	33,9
1984	6990	19931	341	2675	13	16	1478	6969	113	435	114	112	10,0	38,8
1985	5982	33897	227	3313	9	16	1086	5394	120	337	119	133	10,1	25,4
1986	3145	34512	90	3527	5	17	684	6622	136	389	137	120	10,0	32,3

ANNEE	RENDEMENTS (TONNES/10H)		VALEUR DES RENDEMENTS (10^3 FCFA 1983)		COUTS MOYENS ANNUELS/BATEAU (10^3FCFA 1983)		PROFITS MOYENS ANNUELS/BATEAU (10^3 FCFA 1983)		PRIX MOYENS PONDERES (FCFA 1983/KG)		COUTS MOYENS PAR KG DEBARQUE (FCFA 1983)		MARGE PAR KG DEBARQUE (FCFA 1983)	
	SNG	CI	SNG	CI	SNG	CI	SNG	CI	SNG	CI	SNG	CI	SNG	CI
1969	16	1,93	573	280	52292		114958		36,35	145,00	11,36		24,98	
1970	13	1,95	483	260	51896		80304		38,51	133,13	15,11		23,39	
1971	13	2,24	523	310	50733		47934		41,35	138,71	21,26		20,09	
1972	20	2,44	754	338	51688	138607	134512	39457	37,29	138,38	10,35	107,72	26,94	30,66
1973	16	1,72	569	244	50023	134667	20040	-29695	35,15	141,14	25,10	181,07	10,05	-39,92
1974	13	2,64	438	305	50457	135481	10754	-3037	34,29	115,58	28,27	118,23	6,02	-2,65
1975	14	2,52	464	312	51385	138455	44433	12499	34,20	123,98	18,34	113,72	15,86	10,26
1976	14	2,84	447	343	50878	137068	26583	32782	32,43	120,89	21,32	97,56	11,14	23,33
1977	12	3,39	402	384	51090	134372	20077	27389	32,32	113,15	23,24	93,99	9,13	19,15
1978	12	2,90	502	426	51046	132968	38154	33032	43,49	146,63	24,89	117,45	18,60	29,17
1979	11	3,36	488	309	51010	139801	20990	-5551	43,15	130,80	30,57	136,21	12,58	-5,40
1980	10	2,12	522	282	52326	145051	24007	-43642	49,94	133,05	34,23	190,32	15,70	-57,26
1981	11	3,25	446	407	52617	145466	33583	6481	41,22	124,90	25,16	119,58	16,06	5,32
1982	8	3,18	388	394	53132	143257	23659	13448	50,99	123,90	40,56	113,26	10,42	10,63
1983	6	3,87	277	420	55669	141864	-6728	10077	47,45	108,52	52,89	101,33	-5,44	7,19
1984	5	2,86	231	384	52708	144959	-26477	22228	48,78	134,21	98,02	116,36	-49,24	17,84
1985	6	6,28	209	614	53507	142163	-28285	64899	37,94	97,73	80,50	67,10	-42,55	30,63
1986	5	5,21	132	533	54349	143003	-36349	64467	28,61	102,19	86,40	70,44	-57,79	31,75

outre, n'abordent pas la question en termes de coûts marginaux relativement à des stratégies particulières. Par exemple, contrairement au cas ivoirien, les sardiniers sénégalais pêchent dans une zone très côtière, font des sorties plus nombreuses mais de courte durée. Ces questions sont pourtant importantes à connaître dans la perspective de l'aménagement.

DEME: Il y a une différence importante entre le Sénégal et la Côte-d'Ivoire. La mise en place d'un mécanisme d'autorégulation en Côte-d'Ivoire n'est pas praticable au Sénégal à cause de l'importance de la pêche artisanale qui bénéficie en outre de la détaxe de ses moteurs et de son carburant.

FREON: Cet exposé illustre clairement la possibilité d'une analyse des relations entre «boîtes noires». Il est d'ailleurs plus facile de modéliser ces relations entre les maillons externes de la chaîne de production: commercialisation, vente et prix.

BIBLIOGRAPHIE

• Anderson G.L. 1977. The economics of fishery management.The Johns Hopkins University Press, 214 p.

• Chaboud C. 1983. Le mareyage au Sénégal. Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 87, 112 p.

• Chauveau J.P. 1988. Histoire de la pêche industrielle au Sénégal et politiques d'industrialisation. (Des origines aux premières années de l'indépendance). Cah. Sci. Hum. 25 (1-2): 237-258.

• Cury P. et Roy C. 1987. Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de Côte d'Ivoire: une approche globale. Oceanologica Acta, 1987, 10, (3): 347-358.

• Dème M. 1988. Etude économique et financière de la pêche sardinière sénégalaise. Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 107, 66 p.

• Dème M. 1986. A bio-economic simulation model for the senegalese pelagic fishery. Thèse de Master, Université de Rhode Island, 108 p.

• Fréon P. 1988. Réponse et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'Ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation. Analyse et réflexions à partir de l'exemple du Sénégal. Etudes et thèses, ORSTOM, 287 p.

• Garcia S. 1984. Les problèmes soulevés par l'aménagement des ressources instables. COPACE/PACE SERIES 84/28, 32 p.

• Kébé M. 1982. La pêche cordière au Sénégal. Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 81, 19 p.

• Marchal E.G. 1971 . La pêche des sardiniers ivoiriens en 1967-1968-1969-1970. Rapports scientifiques CRO d'Abidjan N° RS-3/71 et RS-4/71.

• Sutinen J.G. 1979.Fishermen's remuneration systems and implications for fisheries development. Scottish journal of Political Economy, 1979, 26, (2): 147-162.

39 • Politique actuelle des pêches en matière de gestion des ressources pélagiques côtières au Maroc

ABDELOUAHED IDELHAJ
Chef de la Division Halieutique, Institut Scientifique des Pêches Maritimes, 2 rue de Tiznit, Casablanca, Maroc.

A l'instar de nombreux pays de l'Afrique de l'ouest, les eaux maritimes du Maroc se caractérisent par une importante richesse biologique favorisée par l'existence de zones d'upwelling intense. De par cette richesse, les côtes marocaines ont constitué un important pôle attrayant pour de nombreuses flottilles étrangères. En effet, l'exploitation des eaux marocaines, bien qu'elle soit restée artisanale, a connu à partir des années 1960 un développement considérable dû en particulier au renforcement des flottilles étrangères déjà existantes (Espagne, Portugal) et à l'arrivée d'autres flottilles plus puissantes (Europe de l'Est et Extrême-Orient).

Il est vraisemblable que les effets de l'accroissement des pêches à l'époque (avant l'extension des eaux maritimes à 70 milles) ont été plus ou moins importants selon les ressources. Toutefois, des indices de perturbations de l'écosystème marin dans sa globalité ont été bien ressentis: disparition de certaines pêcheries (langouste) et apparition d'autres (céphalopodes). Ces perturbations sont parfois difficiles à analyser dans leur globalité car les modifications climatiques qui ont caractérisé la région ces quinze dernières années peuvent également être à la base de certains bouleversements biologiques (cf. présent volume).

Au Maroc, la pêcherie pélagique côtière a subi d'importantes fluctuations dont les répercussions ont été plus ou moins désastreuses sur l'activité en mer elle-même, sur l'industrie de transformation et même sur l'économie régionale.

Il faut rappeler que les principaux ports traditionnels de pêche de sardine Safi et Essaouira, où étaient basées la quasi-totalité de la flottille et l'infrastructure de transformation, étaient les premiers à souffrir de la fluctuation des ressources.

Dans une telle situation, la recherche halieutique est restée le principal recours pour éclairer cette situation d'incertitude et pour apaiser le climat obscur qui règne sur le futur de la pêcherie.

En vérité, lors de périodes de crise, nombreux sont les conflits qui se sont manifestés entre l'administration et la profession et entre professionnels eux-mêmes. Ces périodes étaient également l'occasion d'une prise de conscience quant à l'aménagement de ces pêcheries.

Certes, au Maroc comme pour les autres pays de la côte ouest-africaine, la pêcherie pélagique a constitué depuis longtemps et continue encore d'être l'ossature de l'économie de la pêche, par la taille des investissements mis en oeuvre tant en mer qu'à terre, par le volume d'emploi qu'elle procure et par son rôle dans la nutrition de la population et sa contribution dans l'équilibre de la balance commerciale.

Parallèlement à son importance, cette pêcherie est également complexe en raison de l'importance et de la diversité des intérêts mis en jeu. Tout d'abord, il y a la ressource qui constitue une matière fluide et se caractérise par son instabilité biologique. Ceci se traduit d'une part par des migrations de plus ou moins grande envergure qui entraînent la ressource en dehors du rayon d'action des flottilles côtières, d'autre part par

des fluctuations des niveaux de biomasses se traduisant par des périodes d'abondance élevée et de périodes de faible production.
Outre l'impact des conditions climatiques, il est toutefois admis que ces fluctuations naturelles des stocks sont aggravés par la pêche qui accroît également le risque d'effondrement, surtout en période de faible abondance.
En second lieu, il y a toute l'industrie de valorisation qui dépend de la production de cette ressource mais dont la survie implique également celle de la flottille de pêche. Il s'avère donc assez complexe de vouloir dresser une planification rationnelle de cette pêcherie. Cependant, une gestion intégrant toutes les composantes de ce sous-secteur de la pêche (production, industries de conserves et de sous-produits ainsi que la consommation humaine) permettrait de préserver les intérêts des différents opérateurs et d'assurer la survie économique de la pêcherie sardinière dans son ensemble.
En l'état actuel, il se dégage que cette survie passe par une meilleure valorisation des débarquements plutôt que par un accroissement des moyens de captures.

ACTIONS DE L'ETAT EN MATIÈRE DE GESTION DES STOCKS INSTABLES

Devant la nécessité de sauvegarder la pêcherie sardinière marocaine, l'administration a pris différentes mesures intéressant la gestion du secteur dans son ensemble. L'analyse de ces actions doit prendre en considération les contextes tant national qu'international dont l'évolution est caractérisée ces dernières années par:

- une régression des prises de sardines dans la zone de pêche traditionnelle qui s'est traduite d'une part par un déséquilibre entre l'offre et la demande au niveau des industries de transformation et d'autre part par l'accroissement du volume des captures destinées en période de surplus aux sous-produits, aidée en cela par des défaillances des structures de stockage à terre et de conservation à bord;
- une concurrence galopante au niveau des marchés traditionnels du Maroc qui s'est aggravée par l'intégration de l'Espagne et du Portugal à la Communauté Européenne et par la politique protectionniste adoptée par cette dernière;
- une inadaptation technologique des industries marocaines de transformation limitant les possibilités de répondre à l'évolution et aux exigences des marchés intérieur et extérieur.

Face à cette situation de défi, le Ministère des Pêches Maritimes et de la Marine Marchande a été amené à prendre différentes mesures de gestion au niveau de l'activité de la pêche et des industries de transformation en vue de répondre à trois principaux objectifs:

- restauration de la rentabilité de la pêche traditionnelle entre Safi et Sidi Ifni. Par un transfert d'une partie de la flottille de cette zone vers le secteur de Tan-Tan et par une meilleure valorisation de la production (conserve, congélation et promotion de la consommation intérieure) pouvant amortir les frais des équipements supplémentaires;
- préservation de la ressource d'un risque d'effondrement par un contrôle du niveau d'exploitation dans la zone sud (Tan Tan-Layoune);
- tirer le meilleur bénéfice des surplus épisodiques de production lorsqu'ils se présentent, par le développement d'une flottille d'une grande mobilité pouvant se déplacer d'une zone à l'autre et participer ainsi à l'exploitation des eaux au sud de Layoune où des indices de surplus se manifestent depuis 1983.

40 • Les contraintes biologiques liées à une gestion des ressources instables

PHILIPPE CURY
Chercheur ORSTOM, CRODT/ISRA, B.P. 2241, Dakar Sénégal.

RÉSUMÉ

Des exemples de ressources instables comme la sardine du Pacifique, la sardine du Japon et l'anchois du Pérou sont présentés. Les fluctuations d'abondance ainsi que l'histoire des pêcheries sont brièvement rappelées pour illustrer les effondrements non prédictibles des ressources et les difficultés liées à leur exploitation. Des hypothèses sont rappelées pour expliquer la différence de richesse des milieux et les facteurs d'instabilité de ces ressources. Les taux d'exploitation trop élevés ainsi que les fluctuations environnementales agissant sur le recrutement sont les principaux facteurs provoquant l'effondrement de la ressource. Une réflexion est faite sur la gestion adaptative des ressources instables en considérant ces contraintes biologiques.

ABSTRACT

Examples of unstable resources like the Pacific sardine, the Japanese sardine or the Peruvian anchoveta are presented. Fluctuations of abundance and the history of the fisheries are briefly reminded to illustrate the unpredictability of collapses and the difficulties linked to their exploitation. Hypotheses are presented to explain the differences observed in abundance levels and the factors of instability. High exploitation rates and environmental fluctuations acting on recruitment are the principal factors leading to the collapse of the resources. A reflexion is done on adaptive management of unstable resources considering these biological constraints.

DES RESSOURCES INSTABLES DANS DES MILIEUX FLUCTUANTS

«Qui peut être remplacé par une chose nouvelle et semblable», telle est la définition donnée par le dictionnaire au mot renouvelable. Les ressources marines sont des ressources dîtes renouvelables. Ce terme implique une certaine reproductibilité: d'une année sur l'autre, les espèces composant les prises sont les mêmes et les quantités pêchées comparables. D'expérience, les pêcheurs savent que ce caractère répétitif de la pêche n'est que rarement observé: des accroissements brutaux ou les déclins rapides des stocks peuvent affecter les débarquements, tout particulièrement dans le cas des espèces pélagiques côtières. L'instabilité de certains stocks de poissons pélagiques côtiers apparaît avec une réelle acuité, depuis l'essor des pêcheries ces dernières décennies. La présence d'un stock de poissons dans un milieu donné n'est jamais un acquis définitif et les variations d'une année sur l'autre ou encore sur le long terme de l'abondance du poisson ont souvent des conséquences graves pour les secteurs socio-économiques

situés en amont ou en aval de celui des pêches. Parler de *ressources instables* pour les poissons pélagiques côtiers apparaît légitime.

Les espèces pélagiques côtières (c'est-à-dire les sardines, les sardinelles, les anchois, les maquereaux,...) ont principalement colonisé les zones d'upwelling (zones de remontées d'eaux froides profondes, riches en sels minéraux). Ces upwellings constituent les zones les plus productives des océans. Les espèces pélagiques côtières développent d'énormes biomasses puisqu'elles permettent de réaliser environ le tiers des captures mondiales dans les zones d'upwellings qui ne représentent que 0,1 % de la surface des océans. Contrepartie malheureuse, elles sont aussi connues pour leur instabilité face aux fluctuations de l'environnement qui sont importantes dans les milieux d'upwelling (fig. 1). Nous présenterons quelques exemples mondiaux de cette instabilité [1], l'interprétation scientifique qui en a été donnée et les mesures de gestion proposées; nous aborderons de façon plus générale ensuite les problèmes posés par la gestion de ces ressources instables.

DES EXEMPLES TRISTEMENT CÉLÈBRES

Retracer l'histoire des pêcheries de poissons pélagiques côtiers dans le monde montre à quel point cette activité peut passer rapidement de l'euphorie à la récession. Euphorie de pouvoir prélever des millions de tonnes de poissons en relativement peu de temps et de voir de nombreux secteurs d'activité trouver un essor fantastique; récession aussi lorsque disparaît presqu'aussi rapidement une ressource et apparaît l'effondrement des industries de transformation, l'arrêt durant de très longues périodes de l'activité des flottes, les faillites de nombreux secteurs économiques et même des famines parmi les populations de pêcheurs... *L'histoire de l'exploitation des espèces pélagiques côtières a été douloureuse et continue de l'être.* Nous présenterons l'évolution de la pêcherie de la sardine du Pacifique, celle de la sardine du Japon et celle de l'anchois du Pérou, trois exemples célèbres qui ont été, de par leur importance pour l'économie des pays concernés, très étudiés.

Les années trente et quarante furent prospères pour les pêcheries côtières californiennes, avec des débarquements annuels de sardine compris entre 500 000 et 700 000 tonnes (Marr, 1960) (fig. 2). Dans «Rue de la sardine», Steinbeck a merveilleusement ressuscité l'euphorie qui régnait durant ces années où la sardine faisait vivre des ports comme Monterey. Dès 1920, des biologistes s'inquiétèrent des possibilités d'une surexploitation; à partir de 1931, des quotas de 200 000 tonnes furent proposés par les biologistes, mais non acceptés par les conserveurs. Au début des années cinquante, le stock s'effondra et les captures devinrent insignifiantes. Malgré une brève réapparition en 1958, la sardine disparut complètement des côtes californiennes et depuis cette date une interdiction totale frappe la pêche, sans succès pour le recouvrement de ce stock. Aujourd'hui on parle de la sardine à l'imparfait.

La sardine du Japon a eu un destin différent mais

Fig. 1

Evolution d'indices d'upwelling au Maroc et au Sénégal (d'après Belvèze , 1983 et Fréon, 1983, *in* Garcia, 1984). Il existe dans ces deux cas une évolution à long terme (tendance linéaire) et des fluctuations interannuelles très importantes de l'intensité de l'upwelling.

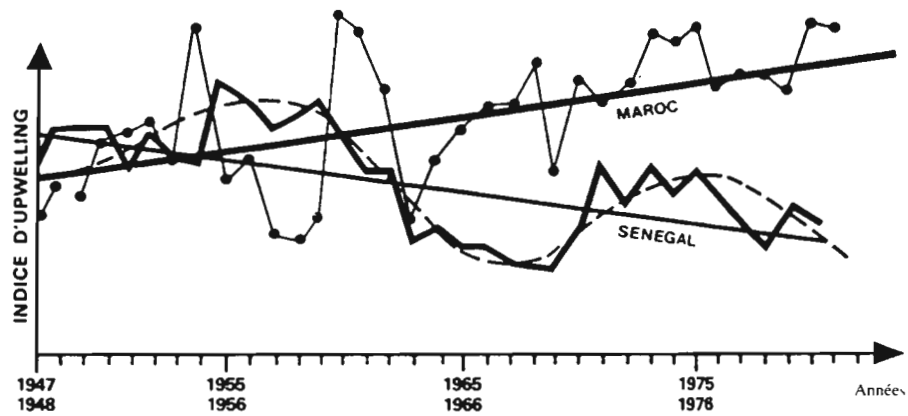
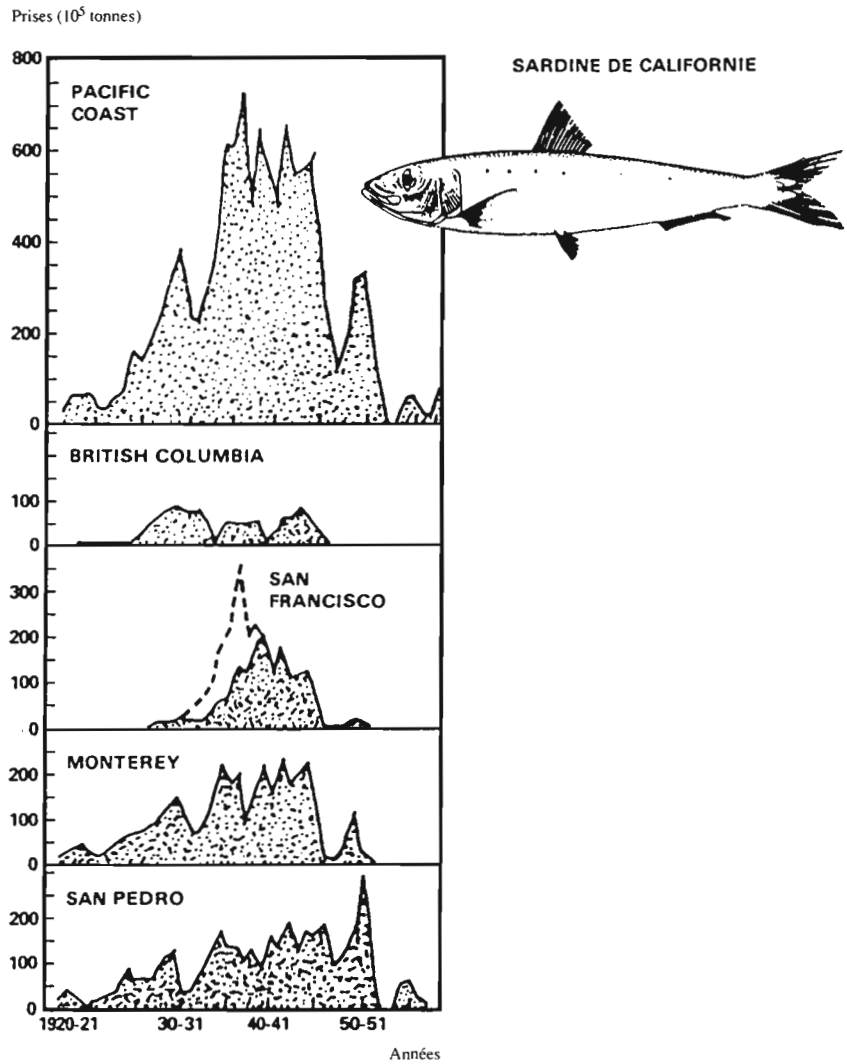


Fig. 2

Captures de sardines sur la côte nord américaine entre 1920 et 1960 (d'après Marr, 1960).



néanmoins accidenté. Durant les années trente, on débarquait au Japon 1,5 million de tonnes. Un effondrement spectaculaire eut lieu dans les années 1943-1945 et le stock fut réduit à un niveau très bas durant plus de 27 années puisque les captures ne dépassèrent jamais 0,4 million de tonnes (fig. 3). Une récupération rapide et soutenue du stock eut lieu à partir de 1973. En 1984 on pêchait environ 4 millions de tonnes de sardine, c'est-à-dire presque deux fois plus que durant la période d'abondance qui avait précédé.

La pêcherie d'anchois du Pérou a été la plus importante pêcherie du monde; aujourd'hui, elle ne l'est plus. Entre 1965 et 1971, on pêchait entre 7 et 12 millions de tonnes d'anchois (fig. 4). L'article de Paulik (*in* Glantz and Thompson, 1981), écrit en 1971, est éloquent et a été malheureusement prémonitoire. L'Instituto Del Mar Del Peru se réunit en 1969 pour tenter de réaliser un contrôle strict des captures totales, leurs efforts furent vains face aux problèmes de surinvestissements de la flotte et des industries de transformation. L'effondrement du stock eut lieu en 1972-1973 et les captures n'ont jamais dépassé, depuis, 4 millions de tonnes.

Il ne semble pas nécessaire de multiplier les exemples pour illustrer l'instabilité de ces ressources pélagiques (Troadec *et al.*, 1980). Les leçons à tirer de ces évolutions passées sont d'une part que les effondrements de stocks sont fréquents, d'autre part que les périodes durant lesquelles les stocks restent éteints sont souvent très largement supérieures à la durée du cycle de vie des espèces et que les recouvrements sont imprévisibles (Cury, 1988). Les leçons sont aussi que les avertissements et recommandations des scientifiques, qui se sont avérés se réaliser dans le cas de la sardine californienne et l'anchois du Pérou, n'ont pas fait le poids devant les pressions économiques et sociales dues aux surinvestissements des flottilles et des industries de transformation.

Les problèmes causés par cette instabilité ont attiré une attention toute particulière de la part de la communauté scientifique internationale: ces stocks sont devenus les espèces d'animaux sauvages abondants parmi les mieux étudiés (Cushing, 1982). Qu'en disent les scientifiques ?

POURQUOI CERTAINES ZONES SONT-ELLES PLUS RICHES QUE D'AUTRES ?

Une même espèce peut développer de faibles biomasses dans certaines zones et développer d'énormes biomasses dans d'autres. En Côte-d'Ivoire-Ghana, on pêche de l'ordre de 100 000 tonnes de poissons pélagiques et plus du million de tonnes dans la zone sénégalo-mauritanienne. L'anchois est pêché en grande abondance au Pérou-Chili (plusieurs millions de tonnes), alors que seulement quelques milliers de tonnes sont prélevés dans le golfe de Guinée (Côte- d'Ivoire-Ghana-Togo). A l'heure actuelle deux explications sont données pour comprendre de telles disparités: une première d'ordre trophique ou alimentaire, une seconde d'ordre physique.

La richesse des milieux, c'est-à-dire la productivité des upwellings dans le temps et dans l'espace, est le premier facteur permettant de comprendre pourquoi certaines zones sont plus peuplées que d'autres. En d'autres termes, la capacité biotique d'un milieu est fonction de sa richesse en aliments. Ainsi, en Mauritanie ou au Pérou, l'upwelling est permanent et très étendu. Dans le golfe de Guinée, l'upwelling est temporaire (il ne dure que quelques mois) et apparaît sur une surface réduite (fig. 5a et 5b).

Ceci n'est apparemment pas le seul facteur. Récemment, Sinclair (1988) a montré que la taille de la population adulte était fonction de *la surface des zones où peuvent vivre les larves (zones de rétention larvaire)* (fig. 6). Ces zones doivent en effet avoir certaines caractéristiques bien spécifiques pour permettre aux larves de se développer: entre autres les processus physiques de dérive vers le large doivent être faibles afin de permettre aux essaims de larves de se maintenir dans des zones favorables pour leur alimentation. Ces caractéristiques sont assez rares dans un milieu aussi dispersif que le milieu marin: les zones de rétention larvaire ne représentent généralement qu'une très petite portion de l'aire de distribution de l'espèce (fig. 5b et 5c).

POURQUOI LES FLUCTUATIONS DE CERTAINS STOCKS SONT-ELLES SI IMPORTANTES ?

Dans un article de synthèse sur la dynamique des espèces pélagiques, Lasker (1985) indiquait: «the answer to the question «what limits clupeoids ?» seems to be «almost everything»». Il est vrai que les problèmes de dynamique des populations des espèces pélagiques côtières sont loin d'être résolus. Les principaux résultats scientifiques sur les effets de la pêche et ceux des fluctuations environnementales sur la dynamique des stocks permettent cependant d'identifier les principaux facteurs-clés.

LES EFFETS DE LA PÊCHE

Il semble y avoir une *biomasse minimum critique* en dessous de laquelle il ne faut pas descendre, au risque de voir le stock s'effondrer. Différentes études montre l'importance de ce phénomène pour la sardine du Pacifique (Murphy, 1966) et l'anchois du Pérou (Pauly et Tsukayama, 1987). Le schéma théorique pourrait donc être celui proposé sur la figure 7 où le taux d'exploitation d'une population ne peut dépasser un certain seuil, au-delà duquel l'effondrement se produit et, dans ces circonstances, la réduction du taux d'exploitation ne permet pas un recouvrement du stock. Une autre façon d'exprimer cela est de représenter la relation entre prise et effort de pêche, plus connue sous le nom de modèle global, modèle classique en dynamique des populations. Cette relation est généralement en forme de dôme (fig. 8) (la partie droite de la courbe retombe plus ou moins rapidement suivant les cas); la forme est différente pour certains stocks de poissons

Fig. 3

Captures de sardine au Japon entre 1905 et 1985 (d'après Kondô, 1988).

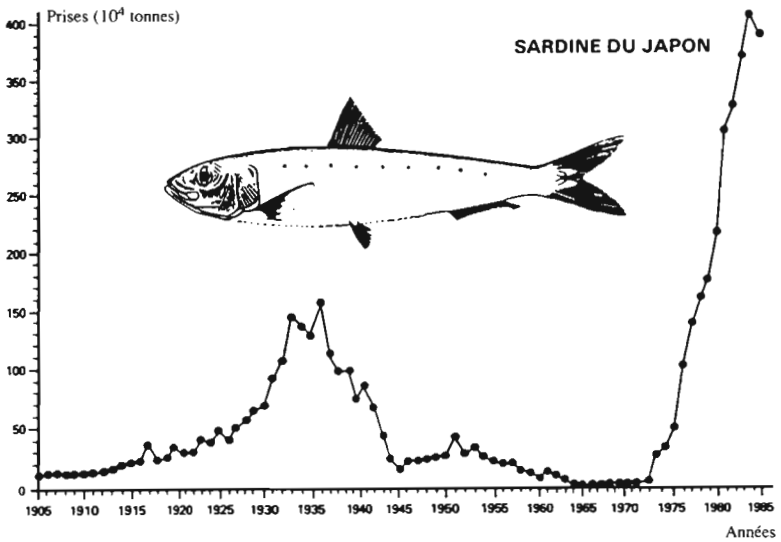


Fig. 4

Captures d'anchois le long des côtes péruviennes entre 1950 et 1986 (d'après Pauly et Tsukayama, 1987)

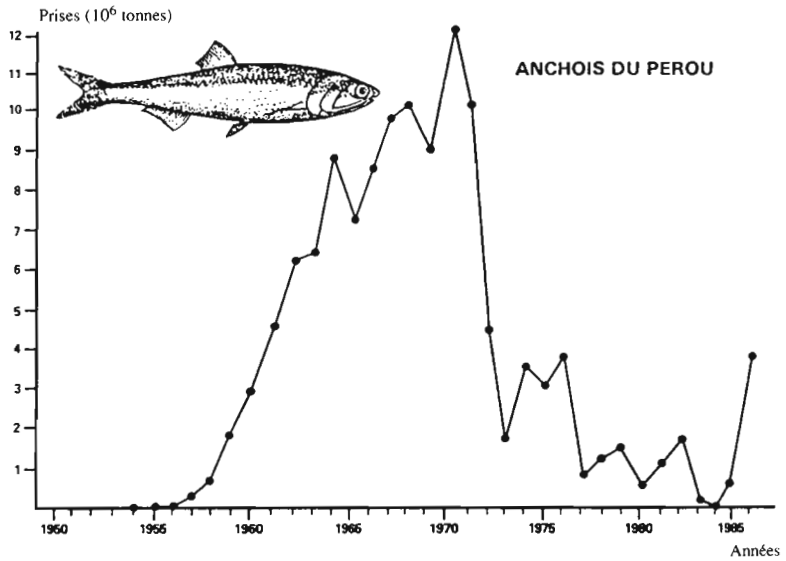
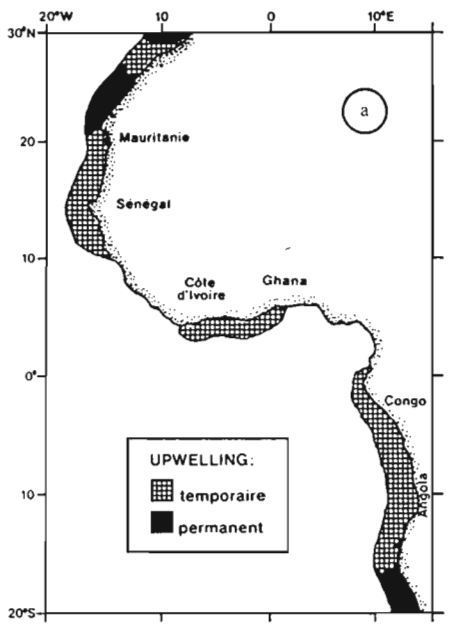
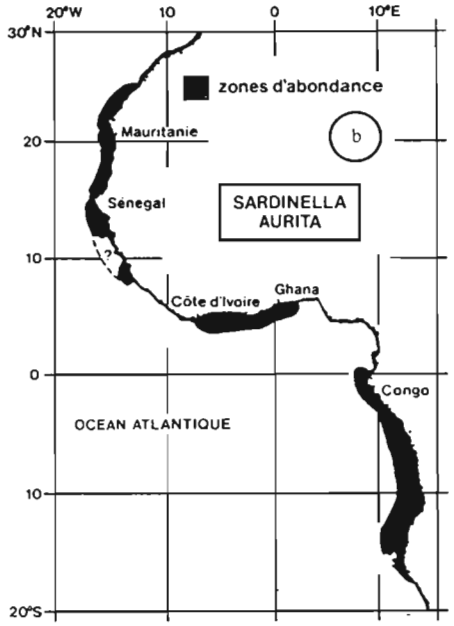


Fig. 5

(a) Localisation des zones d'upwelling en Afrique de l'Ouest. (b) Répartition de S. aurita en Afrique de l'Ouest. (c) Répartition des zones de reproduction.





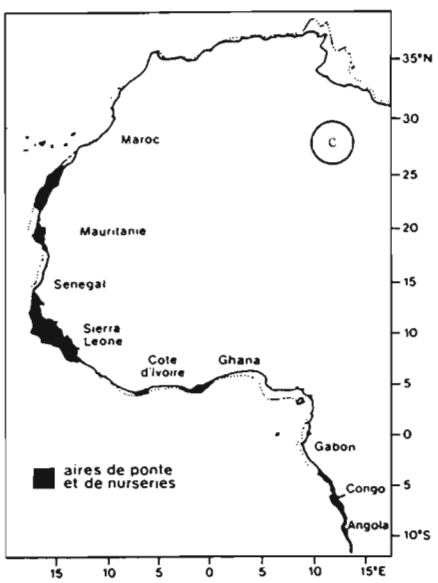


Fig. 6

Taille de différentes populations de hareng de l'Atlantique en fonction de la taille des zones de rétention larvaire (d'après Sinclair, 1988).

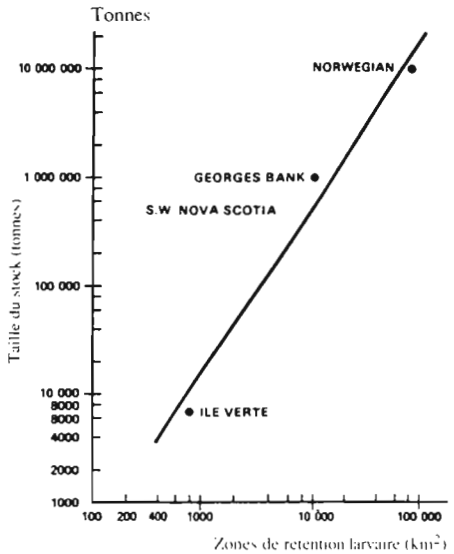
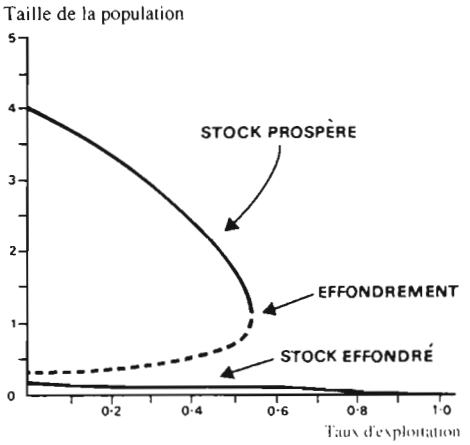


Fig. 7

Evolution de la taille de la population en fonction de son taux d'exploitation. La ligne pointillée indique que, lorsque le taux d'exploitation devient trop fort, la population s'effondre. Le trait plein du bas permet de rendre compte du fait que lorsqu'un stock est effondré, la taille de la population reste très faible, quel que soit son niveau d'exploitation (d'après Peterman *et al.*, 1979).



pélagiques (Gulland, 1977) et serait en forme de boucle afin de rendre compte des phénomènes d'effondrements (fig. 8).

Pour mieux comprendre ce mécanisme, il faut se rappeler que l'effet de la pêche est de réduire l'âge moyen dans la population et par conséquent le nombre de reproducteurs; le potentiel reproductif peut alors devenir insuffisant. Les relations stock-recrutement (le recrutement étant le nombre de jeunes poissons produit annuellement) peuvent conduire, comme cela a été montré pour la sardine du Pacifique et l'anchois du Pérou, à un cercle vicieux où, pour un taux d'exploitation trop fort, un stock parental affaibli produit un faible recrutement qui a son tour produit un moindre stock...(fig. 9). Avec ce schéma, on comprend aisément que réduire les captures totales sur un stock qui s'effondre ne réduit pas le taux d'exploitation qui reste trop fort et conduit inéluctablement à l'appauvrissement progressif de la biomasse.

Les aspects négatifs de la surexploitation ne sont pas les seuls permettant d'expliquer les fluctuations d'abondance (Cushing, 1982; Lasker et MacCall, 1983; Lasker, 1985). Ainsi les études des écailles retrouvées dans les sédiments anaérobies ont permis de reconstituer les abondances historiques des stocks et ont permis de constater que *l'extinction temporaire des stocks est un phénomène naturel qui apparaît même en l'absence de pêche* (fig. 10). Diverses théories sur l'impact du climat sur le recrutement ont été proposées pour comprendre la variabilité des stocks.

Fig. 8

Relation théorique entre les captures et l'effort de pêche (modèle global). La relation en forme de dôme montre que, lorsque l' effort de pêche est important, le niveau des captures baisse. La relation en forme de boucle montre que cette baisse est brutale (cas des pélagiques) et qu'une diminution de l'effort ne permettra pas d'obtenir les mêmes captures qu'avant l'effondrement.

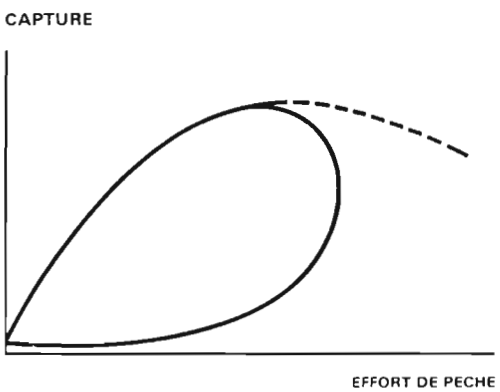
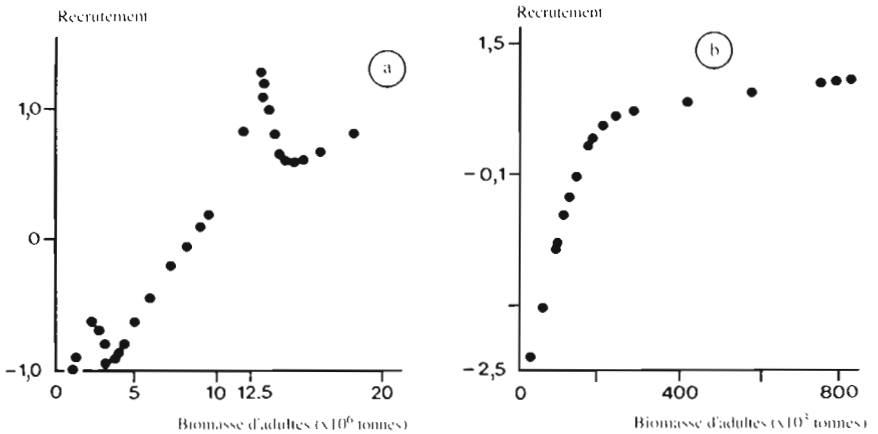


Fig. 9

Relation existant entre des indices de recrutement et du stock parental pour l'anchois du Pérou (a) et la sardine du Pacifique (b). Chaque point représente une année d'observation (on se reportera à Cury et Roy (1989) pour la méthode de calcul).



LES EFFETS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LE RECRUTEMENT

Différents travaux de synthèse (Blaxter et Hunter, 1982; Lasker, 1981, 1985; Cushing, 1975, 1982; Smith, 1985) montrent qu'il existe une période critique dans la vie des clupéidés et engraulidés qui a une importance capitale pour le recrutement, par conséquent pour l'abondance: c'est la phase larvaire (fig. 11). Deux théories ont, à l'heure actuelle, valeur de paradigme:

- Cushing et l'école anglaise ont montré que *la nourriture disponible* était le facteur-clé de la survie larvaire. C'est la *théorie du «match-mismatch»*: le recrutement sera bon si la production des larves coïncide avec l'accroissement saisonnier de la production en nourriture, mauvais dans le cas contraire;
- Lasker a démontré expérimentalement, à des échelles de temps et d'espaces fines, que la mortalité larvaire était liée aux *turbulences* qui peuvent se produire durant la phase critique du développement larvaire. Des turbulences fortes désagrègent et détruisent les essaims de larves (Peterman et Bradford, 1987). C'est la *théorie de la «stabilité»* de l'école californienne.

Il est possible de concilier ces deux théories bien qu'apparemment contradictoires en émettant l'hypothèse selon laquelle, dans des upwellings générées par le vent, il existe une relation en forme de dôme entre le succès annuel du recrutement et l'intensité de l'upwelling (fig. 12a). C'est la *théorie de la «fenêtre environnementale optimale»* de Cury et Roy (1989) où les facteurs trophiques de Cushing et les mécanismes physiques de Lasker sont pris en compte en proposant un effet bénéfique des apports en sels nutritifs dans la couche euphotique quand il n'y a pas destruction mécanique des structures biologiques. Cette relation décrit assez bien les faits apparemment contradictoires observés dans les principales zones d'upwelling: le Pérou, la Californie, le Sénégal, le Maroc (fig. 12b).

EVITER LES EFFONDREMENTS ?

Ces analyses biologiques permettent de tirer certaines conclusions quant à la dynamique de ces populations instables:

- l'impact des fluctuations environnementales sur le recrutement est important et détermine, en grande partie, le niveau des captures futures;
- les taux d'exploitation (biomasse prélevée/biomasse totale) ne peuvent dépasser 50 à 75 % sans risquer, à brève échéance, l'effondrement du stock;
- lorsque le stock est effondré, on ne peut savoir s'il se reconstituera et quand.

Ces connaissances théoriques permettent-elles de mieux gérer l'instabilité de ces ressources ? Les conclusions des études biologiques peuvent paraître simples:

- l'étude des fluctuations environnementales peuvent permettre d'avoir une idée sur les niveaux de recrutement des stocks; même si ces variations sont inéluctables, on peut cependant les anticiper;

Fig. 10

Indices d'abondance de la population de sardines du Pacifique établis à partir des dépôts d'écailles trouvés dans les sédiments anaérobies entre 1810 et 1980 et sur une période de 2 000 ans (d'après Soutar et Isaacs, 1969, 1974, *in* Lasker, 1985).

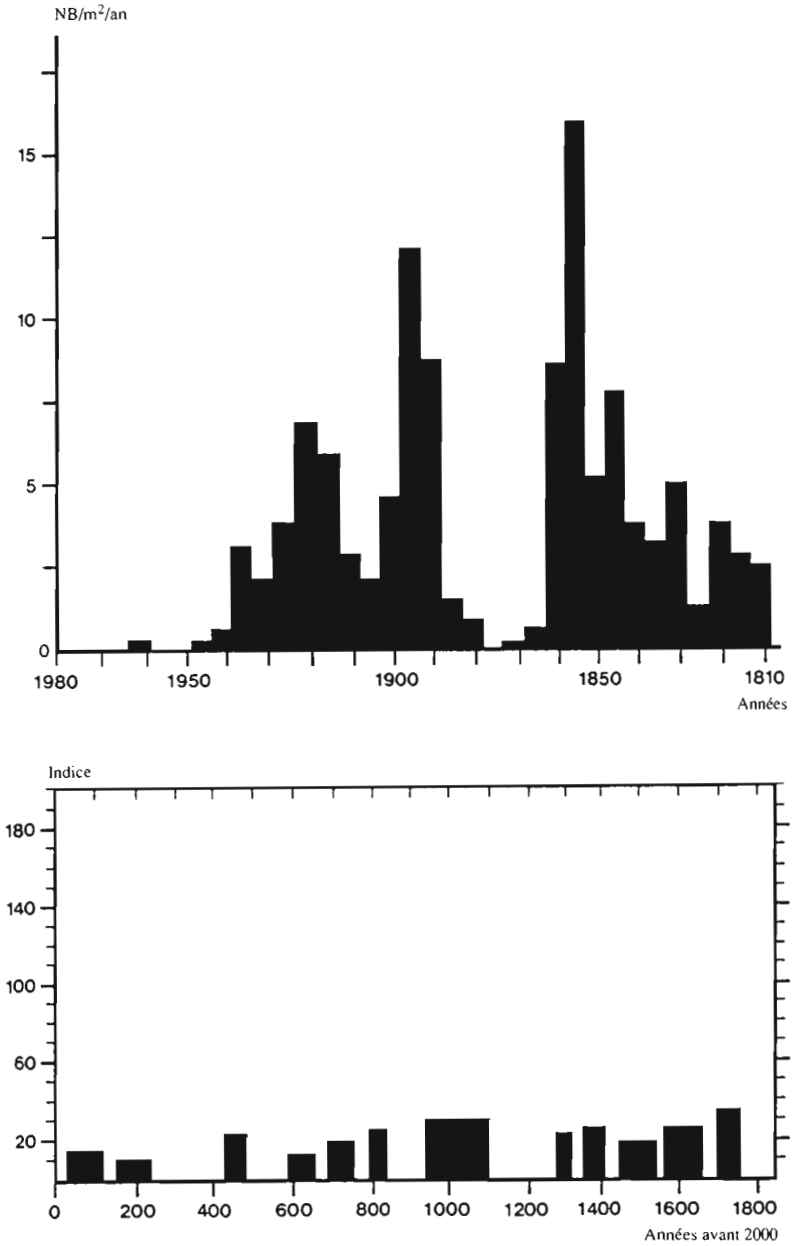
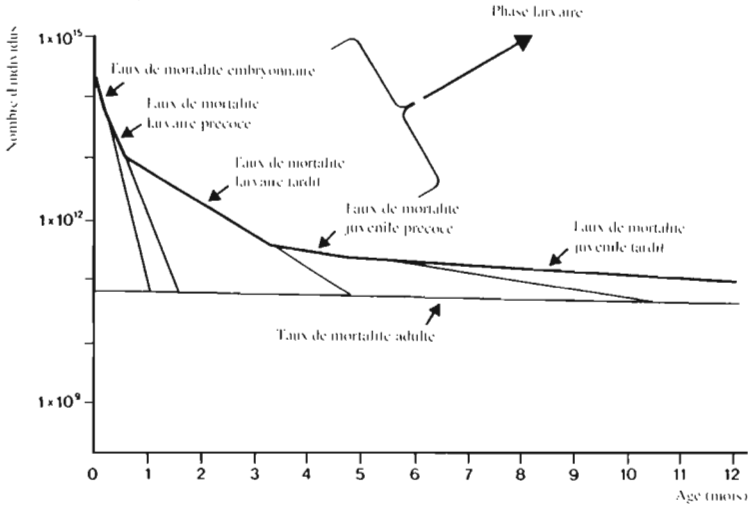


Fig. 11

Diagramme de la courbe de mortalité durant les phases embryonnaire, larvaire, juvénile et adulte chez l'anchois. Sur cette courbe, on constate les taux de mortalité impressionnants durant la phase larvaire; ainsi, par exemple, les effectifs diminuent de 10 000 à 10 durant la phase larvaire puis de 10 à 1 de la phase juvénile à la disparition totale des individus (d'après Smith, 1985).



• les relations stock-recrutement sont importantes: il faut préserver une partie de la biomasse féconde si l'on ne veut pas voir le stock s'effondrer; la régulation des niveaux de prélèvement s'impose donc si l'on veut éviter les effondrements des stocks;

• il faut éviter, d'un point de vue biologique, les effondrements.

Mais est-ce si simple à mettre en pratique lorsque l'on doit prendre des mesures concrètes de gestion ?

PEUT-ON GÉRER L'INSTABILITÉ DES RESSOURCES PÉLAGIQUES CÔTIÈRES ?

Peut-on gérer les ressources instables et de quelle manière ? Etant donné les intérêts en jeu, ce problème est aujourd'hui largement débattu et une littérature abondante existe (Sharp et Csirke, 1983; Rothschild, 1983; Garcia, 1984; May, 1984; Sherman et Alexander, 1986; Troadec, 1989). Une synthèse intéressante a été produite par Brewer (1983) qui identifie trois façons de gérer les ressources: une gestion «curative», une gestion «préventive» et une gestion «réactive».

La gestion «curative»: une absence de gestion ?

Il est assez facile de laisser faire et de ne penser à gérer les pêcheries qu'en cas de crise. Ce type de gestion «curative», qui n'est en réalité qu'une absence de gestion, est assez commune et serait pratique si les solutions adoptées n'étaient pas toujours douloureuses pour le secteur des pêches et les secteurs économiques associés. Les évolutions historiques des stocks et de la dynamique des flottilles permettent de tirer quelques leçons. L'anchois du Pérou et la sardine de Californie ont été surexploités et les quelques mesures de régulation de l'effort de pêche ont été prises trop tardivement et/ou trop timidement semble-t-il. En effet, pour ces stocks importants, la surexploitation implique un développement fantastique des moyens de pêche et des activités industrielles. Réduire ces activités brutalement est politiquement, économiquement et socialement, impossible; aussi est-on amené à réduire progressivement les activités (en diminuant les captures ou les efforts). Cette réduction n'a le plus souvent aucun effet bénéfique pour le stock qui continue de subir un taux d'exploitation trop élevé, même lorsque l'activité de pêche est réduite. Si les conditions climatiques ne sont pas favorables à de bons recrutements, alors l'effondrement est la suite logique de ce type d'exploitation. Elle l'a été. Dans ce type d'exploitation, où souvent le surinvestissement des flottes de pêche et des industries de transformation sont importants, la gestion de la ressource est fondamentalement liée aux pouvoirs financiers et sociaux mis en jeu sur le court terme.

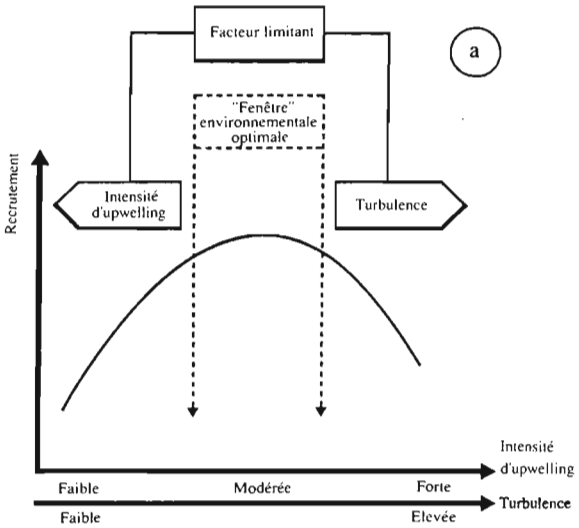
La gestion «préventive»: une gestion trop ambitieuse ?

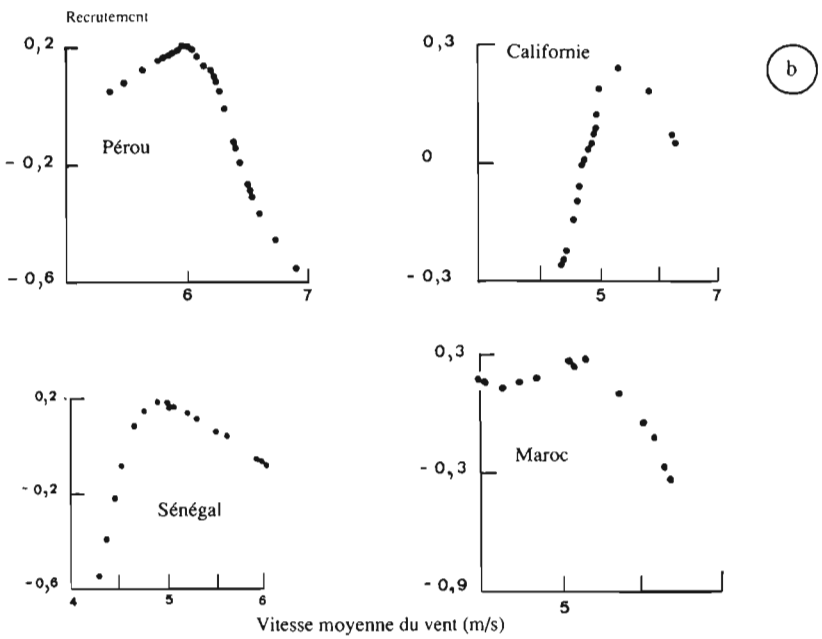
Une gestion «préventive» paraît donc souhaitable afin d'éviter, d'une part les effondrements de stocks, d'autre part de permettre une certaine régularité de la production. Les règles d'aménagement classiques restent les outils importants du gestionnaire, même dans le cas de

Fig.12

(a) Schéma théorique entre le succès du recrutement et les facteurs environnementaux dans les zones d'upwelling. Dans la partie gauche de la courbe, la nourriture disponible s'accroît avec l'intensité de l'upwelling (théorie de Cushing): dans la partie droite, les trop fortes turbulences désagrègent les essaims de larves (théorie de Lasker).

(b) Exemple de relation entre des indices du recrutement et des indices d'upwelling pour l'anchois du Pérou, la sardine de Californie, la sardinelle du Sénégal et la sardine du Maroc. Chaque point représente une année d'observation (on se reportera à Cury et Roy (1989) pour la méthode de calcul). Ces observations sont en accord avec le schéma théorique proposé et, les valeurs des vents pour lesquelles on observe une inflexion de la courbe, se situent autour de 5-6 m/sec.





ressources instables. Ainsi les interventions possibles sont:

- régulation de l'effort de pêche et mise en place de quotas;
- protection d'une zone de pêche;
- exploitation d'autres espèces pélagiques;
- recours temporaires à des flottes étrangères pour exploiter des pics d'abondance;
- subvention gouvernementale pour maintenir une flottille inactive temporairement en période de biomasse réduite, etc...

Ce type de gestion peut se faire en ayant une bonne connaissance des ressources et notamment selon l'amplitude et la nature de leur variabilité (stocks cycliques, irréguliers, spasmodiques), comme cela a été proposé par Caddy et Gulland (1983). Il faut ensuite hiérarchiser les objectifs de l'aménagement selon leur importance et les conséquences quant aux aspects biologiques, sociaux, économiques, juridiques, politiques.

Ce type de gestion paraît idéal, mais vouloir réguler les pêcheries et éviter les effondrements paraît en réalité très ambitieux. Quelles mesures aurait-il fallu prendre pour éviter l'effondrement de la sardine du Japon ou celui de l'anchois du Pérou ? Il serait intéressant de poser la question aux différents intervenants et je pense que personne ne sait très bien ce qu'aurait produit telle ou telle mesure de gestion. Une étude faite par Glantz (1981) auprès de 60 experts en différentes matières montre qu'en pratique la connaissance dans un univers certain 2 à 4 mois à l'avance d'un El Niño n'aurait pas changé le cours de l'histoire de l'anchois du Pérou. Ce travail souligne que, même si l'on possèdait une connaissance quasi parfaite du futur, Il est difficile de prendre des mesures concrètes de gestion.

Faut-il donc privilégier le laisser faire et proposer une gestion «curative» lorsque les ennuis commencent ? La meilleure solution se situe peut-être entre les deux types de gestion.

Vers des stratégies adaptatives d'aménagement: la gestion «réactive»

Dans certains cas, la recherche de l'impact des fluctuations environnementales et de la pêche sur la dynamique des stocks peut fournir une aide à la décision en substituant à un univers incertain un univers risqué où l'incertitude peut-être quantifiée. L'intérêt de certains modèles développés dans le présent volume et permettant d'intégrer des variables environnementales ainsi que l'effet de la pêche sur la dynamique des stocks, paraît à ce titre prometteur. Les scientifiques ont déjà et pourront réduire l'incertitude concernant l'évolution des captures, les niveaux du recrutement, en comprenant mieux la dynamique des systèmes pélagiques côtiers. Il serait cependant malhonnête de prétendre que les prédictions efficaces sont pour demain: elles permettront de mieux quantifier l'incertitude. Voilà pour les certitudes ! Les leçons que l'on peut tirer de l'histoire d'autres pêcheries sont utiles et permettent de mieux voir ce qu'il ne faut pas faire; elles sont limitées en ce qu'elles ne nous disent pas ce qu'il aurait fallu faire et, qui plus est, ce qu'il faut faire.

Il nous faut donc vivre avec l'incertitude. Il ne s'agit pas de tenter de trouver des solutions optimales lorsque l'on veut gérer des systèmes complexes: elles n'existent le plus souvent pas, car les intérêts mis en jeu sont multiples et souvent contradictoires. *Il n'y a pas de «gestion parfaite d'une ressource et il faut apprendre à vivre avec les imperfections plutôt que de tenter de les éliminer»* (Gulland, 1983; Allen et McGlade, 1987). Il ne faut donc pas avoir peur de changer de règles de gestion, si cela s'impose, et être plus adaptatif, plus flexible et ainsi plus créatif dans nos façons d'envisager la gestion (Holling, 1981; Brewer, 1983). Les objectifs doivent donc être régulièrement remis en cause, car ils ne sont pas immuables. Ce sont aussi les leçons de la théorie écologique qui nous montre que l'*on ne peut survivre dans un univers fluctuant en développant des stratégies stables et figées. La gestion des ressources instables devra être adaptative* ou bien elle continuera de ne se préoccuper que des situations de crises où les conflits ne trouveront de solutions qu'en faisant des laissés pour compte.

Ce n'est donc pas tant les techniques de gestion qu'il faut revoir, mais la façon de les mettre en pratique. Et là, le travail et l'imagination des économistes, des biologistes et des politiciens devra être grande. On devra donc garder à l'esprit qu'*«il vaut mieux être approximativement juste que précisément faux»* (Brewer, 1983) si l'on veut vraiment envisager de gérer les ressources instables.

NOTES

(1) Nous ne présenterons pas l'exemple de *Sardinella aurita* des côtes ivoiro-ghanéennes qui est bien décrit dans le présent volume (Binet *et al.*, Herbland et Marchal)

BIBLIOGRAPHIE

- Allen, P. et J.M. McGlade. 1987. Modelling complex human systems: a fisheries example. European Journal of Operational Research, 30 (2): 147-167.
- Blaxter, J.H.S. and J.R.. Hunter. 1982. The biology of the clupeoid fishes. Adv. mar. Biol. Academic Press, London and New- York. 20: 1-223.
- Brewer, G.D. 1983. The management challenges of world fisheries. *In*: Rothschild, B.J.(ed.). Global fisheries: Perspectives for the 1980s. Springer Verlag, p. 195-209.
- Caddy, J.F. and J.A. Gulland. 1983. Historical patterns of fish stocks. Marine Policy, p. 267-278.
- Cury, P. 1988. Pressions sélectives et nouveautés évolutives: une hypothèse pour comprendre certains aspects des fluctuations à long terme des poissons pélagiques côtiers. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 45 (6): 1099-1107.
- Cury, P. and C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 46 (4): 670-680.
- Cushing, D.H. 1975. Marine ecology and fisheries. Cambridge University Press, Cambridge. 278p.

• Cushing, D.H. 1982. Climate and fisheries. Academic Press, London, New York, 373p.

• Garcia S. 1984. Les problèmes posés par l'aménagement des ressources instables. COPACE/PACE Series 84/28, 38p.

• Glantz M.H. and J.D. Thompson. 1981. Resource management and environmental uncertainty: lessons from coastal upwelling fisheries. Wiley, New-York, 491p.

• Gulland, J.A. 1977. The stability of fish stocks. J. Cons. int. Explor. Mer, 37(7): 199-204.

• Gulland J.A. 1983. Managing fisheries in an imperfect world. *In* : Rothschild, B.J.(ed.), Global fisheries: Perspectives for the 1980s. Springler Verlag, p. 179-193.

• Holling C.S. (ed.) 1981. Adaptive environmental Assessment and Management. International Series on Applied Systems Analysis, Vol. 3, Wiley, New York.

• Kondô K. 1988. Relationships between long term fluctuations in the Japanese Sardine (*Sardinops melanostictus*) and oceanographic conditions. International Symposium on long term changes in Marine Fish Populations. 18-21 November 86, Vigo. *In* : Wyatt T. and M.G. Larrañeta (eds) Long term changes in marine fish populations. Int. Symp. Long Term Changes Mar. Fish Pop., Vigo, 1986, p. 365-392.

• Lasker, R. (ed.). 1981. Marine fish larvae. Morphology, ecology, and relation to fisheries. University of Washington Press, Seattle and London, 131p.

• Lasker, R. 1985. What limits clupeoid production ?. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42 (Suppl. 1): 31-38.

• Lasker R. and A. MacCall. 1983. Proceedings of the Joint Oceanographic Assembly 1982. General Symposia Canadian National Committee Scientific Committee on Oceanic Research. Ottawa. 110-120.

• Marr, J.C. 1960. The causes of major variations in the catch of the Pacifique sardine *Sardinops caerulae*. Proc. World Scient. Meeting on the biology of sardines and related species, 3: 667-791.

• May, R.M. (ed.) 1984. Exploitation of Marine Communities. Dahlem Konferenzen. Life Sciences Research Report 32. Springler-Verlag, 366p.

• Murphy, G. 1966. Population biology of the Pacifique sardine (*Sardinops caerulae*). Proc. Calif. Acad. Sci. 4th Ser, 34 (1): 1-84.

• Pauly D. and I. Tsukayama (eds.). 1987. The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change. ICLARM studies and Reviews n° 15, 351p. IMARPE, Callao, Peru; GTZ, Eschborn, Federal Republic of Germany; and ICLARM, Manila, Philippines.

• Peterman, M.R. and M.J. Bradford. 1987. Wind speed and mortality rate of a marine fish, the northern anchovy (*Engraulis mordax*). Science (Wash.), 235: 354-356.

• Peterman R.M., W.C. Clark et C.S. Holling. 1979. The dynamics of resilience: shifting stability domains in fish and insect systems: 321-341. *In* : R.M. Anderson, B.D. Turner and L.R. Taylor(eds), Population dynamics. Blackwell Scientific Publications.

• Rothschild, B.J.(ed.) 1983. Global fisheries: Perspectives for the 1980s. Springer Verlag, 289p.

• Sharp G.D. and J. Csirke (eds.) 1983. Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources, FAO, FIRM/R, 291 (2): 285-327.

• Sherman K. and L.M. Alexander (eds.) 1986. Variability and management of large marine ecosystems. AAAS Selected Symposium, 99, 319p.

• Sinclair M. 1988. Marine populations: an essay on population regulation and speciation. Washington Sea Grant Program. University of Washington Press, 252p.

• Smith, P.E. 1985. Year-class strength and survival of 0-group clupeoids. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42: 69-82.

• Troadec J.P. (ed.), 1989. L'homme et les ressources halieutiques: un essai sur l'usage d'une ressource renouvelable. Edition IFREMER, Brest, 817p.

• Troadec, J.P., W.G. Clark and J.A. Gulland. 1980. A review of some pelagic fish stocks in other areas. Rapp. P.-v. Cons. int. Explor. Mer, 177: 252-277.

Conclusion générale : variabilité, instabilité et changement des pêcheries ouest-africaines

PHILIPPE CURY
Chercheur de l'ORSTOM, CRODT, B.P. 2241, Dakar, Sénégal.

DES VISIONS KALÉIDOSCOPIQUES DES PÊCHERIES

Le thème de la variabilité, de l'instabilité et du changement dans les pêcheries a été traité par chacune des disciplines avec leurs outils, leur pouvoir de résolution, leurs abstractions et leurs objets propres. A l'évidence, ce qui est important pour un économiste ne l'est pas forcément pour un biologiste qui étudie pourtant la dynamique de la même pêcherie. Si la confrontation des résultats sème tout d'abord le doute sur ce que l'on croit être juste et déterminant dans le fonctionnement de la pêcherie, elle permet d'enrichir la réflexion tout en relativisant les certitudes.

Autrefois les disciplines concernées par un thème de recherche produisaient des images de la réalité, un peu comme le peintre conçoit une toile qui est le reflet de ce qu'il perçoit. Aujourd'hui, la multitude des approches et parfois la naissance de nouvelles disciplines proposent, chacune à leur manière, des images plus vivantes, kaléidoscopiques, pour reprendre la métaphore proposée dans l'introduction. Il semble qu'il n'y ait plus de lois dégagées du temps qui puissent figer la réalité qui nous entoure. Ainsi l'intégration du changement comme facteur d'analyse constitue vraisemblablement un progrès pour notre compréhension des systèmes d'exploitation. Ce progrès scientifique apparaît comme considérable en ce qu'il produit une image plus «vivante» de la réalité et, bien que globalement nous ayons cependant autant de vues kaléidoscopiques que de disciplines, ce renouvellement féconde chacune d'entre elles et les incitent au partage. Le défi scientifique actuel naît du besoin de se rapprocher du réel, en cela il se situe résolument à l'intersection entre les disciplines.

PÊCHERIES PÉLAGIQUES : UNE ACTIVITÉ HUMAINE CONTRASTÉE ET INCERTAINE

Les pêcheries de poissons pélagiques côtiers en Afrique de l'Ouest représentent une activité vivrière et commerciale importante. Leur histoire fait partie de celle des populations de pêcheurs confrontées à leur environnement au sens large, c'est-à-dire non seulement liée aux fluctuations naturelles du climat ou des ressources, mais également à un environnement social et économique changeant. Ces pêcheries sont remarquables par la diversité de leurs formes au sein de l'espace halieutique régional: pêcheries artisanales, semi-industrielles et hauturières coexistent et interagissent au sein des écosystèmes et de la sphère économique. Dans le cadre de la compréhension de la dynamique et de l'usage des ressources renouvelables instables, cette ressource et son exploitation ont valeur d'exemples en offrant des situations contrastées d'une activité humaine confrontée à l'incertitude. Ceci bouleverse nécessairement les priorités de la recherche, tout comme le fait qu'actuellement la pleine exploitation des ressources réoriente les potentialités de gestion vers leur meilleur usage. Les objectifs changent, il ne convient plus tellement de produire plus, mais de mieux produire, et de mieux valoriser ce qui est produit (*).

OPPORTUNITÉS ET CONTRETEMPS, RICHESSES ET PAUVRETÉ

Les richesses sont le fait d'opportunités et la pauvreté celle de contretemps. Les situations contrastées qu'offre l'exploitation des ressources instables conduisent parfois au paradoxe. Le plus déroutant est l'absence de lien entre l'activité économique et richesse ou pauvreté des milieux. En Afrique de l'Ouest, les foyers de pêche sont généralement situés dans les zones d'upwelling, c'est à dire dans les régions riches en poisson. Cela va de soi et cette remarque ne serait que pure banalité s'il n'existait aussi des situations où le poisson est abondant, mais la pêche peu intense, et inversement, des situations où le poisson est peu abondant et la pêche intense. Un contexte halieutique «favorable» est souvent nécessaire mais pas toujours suffisant, pour justifier l'existence et assurer le développement d'une activité de pêche. L'évolution démographique et l'intensité des échanges économiques, relevant d'une histoire socio-économique indépendante de l'état des ressources, peuvent être aussi des facteurs déterminants de la localisation et de l'importance des pêches artisanales ouest-africaines.

On s'aperçoit que la dynamique des pêcheries n'est pas uniquement liée à celles des poissons. Exploiter une ressource instable dans des contextes sociaux et économiques changeants, parfois conflictuels, conduit souvent les pêcheries à des situations de crises où les ajustements sont indépendants de la dynamique de la ressource. L'évolution de ces pêcheries est assujettie à nombre de bouleversements et entrecoupée de crises ou de renouveaux qui apparaissent, suite à une modification des conditions du marché, d'améliorations techniques ou technologiques. Une bonne pêche n'est pas une condition suffisante ni même parfois une condition nécessaire pour assurer une amélioration des conditions économiques. L'étude historique nous montre qu'une trop grande abondance des captures de poissons pélagiques fut presqu'autant redoutée par les pêcheurs qu'un effondrement de la ressource .

Sur une longue période, on s'aperçoit également que l'activité économique peut s'organiser de façon à utiliser au mieux les modifications engendrées par les fluctuations climatiques. Le vieil adage: «Ce que la terre nous refuse une année, la mer le donne», traduit empiriquement une liaison entre l'agriculture et la pêche: à des périodes de sécheresse sont souvent associées des saisons de forts alizés. Les années de sécheresse, difficiles pour l'agriculture, sont souvent compensées par des saisons d'upwelling fort durant lesquelles les prises sont bonnes pour les pêcheurs-agriculteurs.

ENVIRONNEMENT CAPRICIEUX ET MESURES

Il existe deux sources de variabilité: celle inhérente au climat, par conséquent difficilement prévisible et sur laquelle on ne peut agir, et celle propre à la ressource et à l'activité anthropique. A la fin du XIXe siècle, les effets du climat étaient perçus comme devant jouer un rôle important sur l'abondance des poissons. Cela demandait confirmation d'autant que, parmi les scientifiques, les tenants de «l'inépuisabilité» des mers prétendaient décrire les mêmes symptômes en utilisant d'autres arguments. Aujourd'hui, les fluctuations environnementales apparaissent aux chercheurs comme le facteur essentiel à la compréhension de la variabilité observée chez les populations de poissons pélagiques des zones d'upwelling. Dans ces zones l'environnement est changeant, parfois capricieux et les mécanismes d'action sur les êtres vivants, difficiles à identifier. La première chose est, par conséquent, de mesurer et d'analyser la variabilité de l'environnement.

Pour une recherche des liens pouvant exister entre les facteurs climatiques et les populations marines, la pertinence des descripteurs de l'environnement bio-écologique et la définition des échelles spatio-temporelles restent les principales questions à résoudre. La température de surface, l'intensité du vent représentent des paramètres intéressants à étudier. Mesures peu coûteuses à obtenir, contenant une information dense en ce qu'elles traduisent nombre de processus de la dynamique des upwellings, elles sont et restent des variables pertinentes et facilement accessibles. Cependant, prises isolément, ces variables ne peuvent rendre compte de certains aspects qualitatifs des upwellings (nature des eaux d'upwellings, intensité des mélanges,...) qui apparaissent, par ailleurs, comme des facteurs déterminants pour un certain nombre de réactions des organismes vivants. Cela est important, tout particulièrement pour la comparaison des upwellings de différentes régions. Ces différences qualitatives et quantitatives observées entre les upwellings d'Afrique de l'Ouest permettent d'identifier des structures physiques et des dynamiques propres d'une région à l'autre, mais aussi d'apprécier, à l'aide de ces comparaisons, les facteurs structurant ces écosystèmes.

Les caractéristiques d'un upwelling sont sa dynamique temporelle et son hétérogénéité spatiale. Dans une zone d'upwelling, la mesure des fluctuations des facteurs forçants paraît aussi importante à connaître que la valeur absolue de son intensité. La télédétection semble un outil bien adapté pour appréhender l'hétérogénéité spatio-temporelle de ces zones d'upwelling, elle permet de décrire leur intensité et leur variabilité. On dispose maintenant d'une quantité suffisante d'informations pour pouvoir les regrouper et développer des approches comparatives entre des processus déjà identifiés.

Définir l'impact des fluctuations environnementales sur la dynamique des êtres vivants soulève le problème de l'adaptabilité. En effet si certains organismes sont capables d'assimiler une part de la variabilité physique, voire de l'utiliser, ils peuvent être contraints par l'environnement à modifier leur dynamique. Les cycles planctoniques sont par exemple très différents entre la zone s'étendant du Maroc au Cap-Blanc, zones d'upwelling permanent et celles de la Mauritanie au Sénégal, ainsi que de la Côte d'Ivoire au Ghana, zones d'upwelling saisonnier. Advection et turbulence fortes défavorisent le couplage entre les productions primaire et secondaire. Ainsi, des systèmes déséquilibrés, avec

des cycles de production primaire et secondaire décalés dans le temps et dans l'espace, apparaissent dans les régions d'upwelling permanent et induisent nombre de réactions à des échelons supérieurs. Les approches comparatives permettent de mettre l'accent sur les ressemblances existant entre les différents upwellings, mais aussi sur leurs spécificités.

EXPLOITATION ET CHANGEMENT

L'importance des fluctuations climatiques est ressentie par le pêcheur au niveau des captures. Les saisons hydrologiques se succèdent et, par le jeu des migrations de poissons, les captures diminuent ou augmentent, souvent de façon considérable. Ce caractère saisonnier et répétitif est bien connu des pêcheurs et abondamment documenté dans la description des pêcheries. Cependant il n'a rien d'absolu ou d'immuable et, durant une saison de pêche, les rendements peuvent s'appauvrir subitement et temporairement. Le poisson peut aussi devenir rare durant une année voire fréquemment plusieurs dizaines d'années, compromettant ainsi le devenir d'un secteur d'activité. Les pêcheries pélagiques ouest-africaines, quel que soit le mode d'exploitation pratiqué, sont sujettes à de telles fluctuations de disponibilité ou d'abondance de la ressource. Ces fluctuations naturelles, souvent accentuées par une exploitation intense, sont ressenties à différents niveaux et degrés par les pêcheries. Un exemple extrême des fluctuations de disponibilité est celui des explosions démographiques où l'apparition d'une biomasse extrêmement importante d'une espèce auparavant inexploitée, car rare dans le milieu, perturbe le fonctionnement de l'écosystème et modifie les données de l'exploitation. L'exemple de l'explosion des biomasses de baliste, aussi impressionnant soit-il, n'est pas un cas isolé. Le changement et l'incertitude font résolument partie des pêcheries pélagiques ouest-africaines.

Des espèces pélagiques apparemment très voisines peuvent posséder des stratégies adaptatives très différentes. Des fluctuations environnementales auront des effets importants sur une espèce et faibles sur une autre ou encore des effets inverses. A des effondrements de stock d'une espèce peut parfois correspondre le développement de la biomasse d'une autre espèce. Cela permet de reporter temporairement l'effort de pêche sur un autre stock et de préserver une flottille ou un marché. Il ne faut cependant pas oublier que l'écosystème pélagique est peu diversifié, les possibilités de transfert d'activité vers d'autres espèces commercialisables peuvent être incertaines et limitées. Ces changements sont synonymes d'incertitudes pour l'exploitation et les secteurs économiques concernés.

Si les stocks pélagiques nous réservent parfois de mauvaises surprises, ils nous en fournissent aussi de bonnes. La dynamique spatiale de l'upwelling ivoirien a changé depuis les années quatre-vingts ainsi qu'un certain nombre de composantes hydrologiques qui ont pu être quantifiées. Ces changements environnementaux ont produit, pour une des principales espèces pélagiques, un accroissement extrêmement important de sa biomasse et une modification profonde de sa dynamique spatiale. Les évolutions climatiques sur le moyen et le long termes ainsi que leurs répercussions sur la dynamique des ressources renouvelables prennent, à l'heure actuelle, une importance considérable pour nos sociétés. En témoignent les réactions, observées sur plusieurs dizaines d'années, des écosystèmes côtiers marocains, sénégalo-mauritaniens ou ivoiro-ghanéens, suite à des changements climatiques plus ou moins contrastés. La variabilité, l'instabilité et le changement des populations marines apparaissent au grand jour et, avec eux, les réactions des pêcheries confrontées aux risques liés à leur exploitation.

MODÈLES ET EXPLORATION DU CHANGEMENT

L'évolution des captures sur une longue période ou celle de la production primaire, par exemple, peuvent être reliées à des variables du milieu qui sont reconnues comme jouant un rôle biologique et écologique important. Une façon d'aborder la construction de modèles est de s'interroger sur le rôle joué par des variables environnementales sur la dynamique des populations. Les modèles proposés utilisent de nouveaux développements de modèles classiques en dynamique des populations marines ou explorent des approches originales, empruntées à d'autres disciplines que l'halieutique. Leur construction s'avère intéressante à plus d'un titre. Ces modèles permettent de préciser les variables qui influent sur la dynamique du système et en cela, ils apportent une part importante d'explication au fonctionnement de l'écosystème. Ils permettent aussi d'explorer les changements qui peuvent apparaître. L'exemple de la pêcherie de sardinelles de Côte-d'Ivoire nous en donne un exemple remarquable. Qui pouvait imaginer que les captures de *Sardinella aurita* allaient être multipliées par dix ces dernières années avec un effort de pêche constant ? Les différents modèles élaborés sur ce stock ne permettaient plus, dans les années récentes, de décrire de façon satisfaisante la dynamique des stocks. Deux attitudes peuvent alors exister: rejeter le modèle en prétendant son incapacité à décrire les observations et à prédire ou bien tenter de s'interroger sur les changements survenus dans la dynamique du système. Si le bon sens pousse à reconnaître le caractère non exclusif de ces deux attitudes, il faut cependant constater que le rejet du modèle constitue, la plupart du temps, la solution adoptée. Différentes observations biologiques et écologiques faites indépendamment pour analyser cette pêcherie ont pourtant montré qu'il y avait eu des changements dans le fonctionnement de l'écosystème. Des analyses sur les changements environnementaux récents, leur quantification et leur impact sur la dynamique des stocks ont été proposées et ont éclairé d'une nouvelle façon les modifications qui se sont produites dans l'écosystème. C'est en cela que ces modèles trouvent leur justification et leur force. S'ils peuvent expliquer certaines situations pendant un

certain temps, ils ne peuvent pas rendre compte de toutes les situations. Perçus comme outils d'intelligibilité ils trouvent d'autres utilisations que leur seule capacité à prédire, souvent mise en défaut.

DES SURPRISES LOCALES AUX CHANGEMENTS GLOBAUX

Les modèles qui simulent une situation sont utiles non seulement pour comprendre, mais également pour explorer les évolutions possibles d'une pêcherie (**). Ils permettent donc d'éliminer des situations improbables et de retenir des hypothèses *a priori* plausibles tout en simulant des structurations et des solutions au devenir du système. L'intérêt de la modélisation pour l'étude de systèmes complexes comme une pêcherie paraît essentiel. Un tel système se structure à partir de multiples éléments «microscopiques» tels les dynamiques spatiales et temporelles des poissons, des bateaux qui les recherchent, des prix et des coûts associés à des quantités pêchées, etc... Au niveau individuel et «microscopique», la non-linéarité domine et ces non-linéarités élémentaires permettent aux structures «macroscopiques» de se former, les influencent et les dirigent de façon lente. Parmi des solutions multiples apparaît une solution stationnaire, une solution de mouvement lent qui assigne le comportement à une autre échelle de temps et d'espace. Mais cela est souvent ambigu car il n'existe pas un chemin unique entre un détail local et une structure globale. Une arrangement s'opère entre les interactions «microscopiques» pour former la solution «macroscopique». A partir de surprises locales, on passe à des changements globaux. Une façon de comprendre les changements globaux est de modéliser à l'échelle inférieure, «microscopique», d'explorer l'ensemble des solutions potentielles et les interactions, et ensuite de voir pourquoi et comment une solution émerge.

Un écosystème donné est une solution cohérente, parmi d'autres possibles, d'un assemblage de divers éléments ou forces interagissantes. On n'observe que la solution qui a émergé (le consensus émergeant). Un écosystème devient alors compréhensible non en terme absolu, mais en terme relatif. Si l'on admet que l'évolution se situe dans un ensemble de potentialités, on ne peut prétendre à une prédiction certaine. Il faut conserver une certaine latitude et examiner le niveau d'incertitude et la fenêtre des possibilités. Les stratégies que l'on peut envisager à l'aide de modélisations reposent sur une grande diversité de buts et de points de vue qui sont ceux qui amèneraient *in fine* à la conduite d'une pêcherie. Ces approches non normatives constituent des outils d'exploration qui répondent à une nouvelle façon de percevoir le fonctionnement des écosystèmes et fourniront vraisemblablement, dans l'avenir, des bases pour établir des plans de gestion des ressources.

REPRODUCTIBILITÉ ET ADAPTABILITÉ

Les pêcheries ont des capacités de réaction, d'adaptation et de changement qui sont fonction de leur organisation. Les pêcheries artisanale et industrielle n'ont pas le même fonctionnement en Afrique et en Europe. Les contraintes, les souplesses d'adaptation, les marchés locaux n'ont pas toujours les mêmes structures ni les mêmes contextes sociaux ou économiques. Ce qui est vrai pour les pays développés ne l'est pas forcément pour les pays en voie de développement et inversement. De même ce qui est vrai pour la flottille sénégalaise semi-industrielle ne l'est pas pour le même type de flottille basé en Côte-d'Ivoire. On pourrait négliger ces particularités régionales ou locales. Cela conduirait à admettre qu'il existe des modes d'exploitation et d'appropriation de la ressource indépendants des sociétés qui les mettent en oeuvre et de leur histoire. Certains auteurs se sont penchés sur quelques unes de ces particularités régionales ou locales, facteurs de reproductibilité d'une activité et d'adaptabilité à des ressources instables. Il apparaît de première importance d'examiner attentivement les particularités et les souplesses d'adaptation des pêcheries ouest-africaines afin de pouvoir avancer des propositions efficaces de gestion sans risquer de produire des objectifs sans signification ni fondement.

La recherche se penche plus volontiers sur les situations de crise, souvent médiatisées, que sur les situations viables et prospères qui pourtant sont riches en conclusion quant au maintien et au bon fonctionnement d'un système. Si les états de crise sont souvent décrits dans les pêcheries pélagiques côtières, il ne faut pas oublier qu'il existe des gestions adaptatives viables du risque qui nous apportent un enseignement sur ce qui est possible dans le domaine de l'exploitation. L'exemple des pêcheries artisanales ouest-africaines ou de la pêcherie semi-industrielle de Côte-d'Ivoire illustrent parfaitement certains facteurs potentiel de reproductibilité et d'adaptabilité au changement.

GESTION DE L'IMPRÉVISIBLE : UNE STRATÉGIE PAR TÂTONNEMENT ?

Les ressources instables posent avec une acuité toute particulière le problème de l'exploitation d'une ressource où des incertitudes et des risques importants, sont incontournables. Un réel effort a été produit par les scientifiques pour analyser l'impact des fluctuations environnementales de même que les réactions des flottilles ou de certains secteurs économiques face à la variabilité de ces ressources. Les résultats sont en eux-mêmes satisfaisants et amènent à une meilleure compréhension des processus climatiques, écologiques ou anthropiques qui modifient la dynamique de ces pêcheries. On peut s'étonner que n'émerge, dans un tel contexte d'amélioration des connaissances, des techniques de gestion avec des objectifs précis et adaptés aux ressources pélagiques côtières. Il est souvent supposé que l'on connaît les objectifs de la gestion, que l'on sait comment une pêcherie va s'adapter et comment elle peut y parvenir. Si tel était le cas, cela simplifierait beaucoup les problèmes et assurément la recherche sur les pêches n'aurait plus grand chose à proposer. L'in-

certitude a toujours voulu être contournée, mais elle existe et sans doute existera-t-elle encore bien longtemps, même lorsque l'on aura explicité nombre de mécanismes. Cependant il faut agir, décider, réagir, prendre position, donc intervenir sans pouvoir bien définir les objectifs réels et sans évaluer correctement les retombées des mesures prises. Il semble qu'il n'y ait pas de gestion idéale d'une ressource et il faut apprendre à vivre avec la variabilité, l'instabilité et le changement. Les objectifs de la gestion doivent donc être en mesure de s'adapter aux changements, aux mouvements. Il faut étudier l'instabilité de façon dynamique et ne pas rechercher forcément l'optimal et le reproductible qui n'existent peut-être pas, ou seulement temporairement, dans ces pêcheries. La remise en cause est peut-être plus profonde qu'il n'y paraît car elle vise le rapport des sciences confrontées à la réalité. Le changement a toujours été associé à une certaine peur de la part des sociétés qui, pourtant, par l'activité qu'elles développent engendrent de plus en plus de désordre et de mouvements. Vivre c'est être confronté à ce mouvement, c'est le résorber, mais parfois aussi en tirer parti. La stratégie proposée peut s'apparenter à un stratégie du «tâtonnement» où l'univers sur lequel on agit n'est pas visible directement. De nouveaux champs de recherches comme l'étude du risque, de l'incertitude, de l'imprécis émergent conjointement dans différentes disciplines (***). De cette nouvelle façon de percevoir leur tâche les études scientifiques sur l'usage des ressources instables semblent promises à un bel avenir en ce qu'elles pourront proposer des solutions porteuses de vie car susceptibles de s'adapter.

(*) Comme cela a été discuté dans l'introduction. Pour une récente discussion sur ce sujet, on se reportera à: Troadec J.P. (ed.) 1989. L'homme et les ressources halieutiques: un essai sur l'usage d'une ressource renouvelable. Edition IFREMER, Brest, 817p.

(**) C'est à dessein que nous éliminons de notre discours le terme «prédiction» et que nous le remplaçons par «évolutions possibles» qui donne un aspect moins déterministe et moins absolu aux résultats produits par ces modèles.

(***) De nombreux ouvrages récents proposent, dans différents champs scientifiques, des perspectives nouvelles d'approches; par exemple:

- C.S. Holling, 1978 (ed.): Adaptive environmental assessment and management. Wiley & Sons.
- Allen et MCGlade. 1987. The modelling of Human Systems : a fisheries example. European Journal of Operational Research, June.
- G.Nicolis et I.Prigogine, 1989: Exploring complexity, Freeman and Company.
- A.A. Moles, 1990: Les sciences de l'imprécis, Seuil.
- G. Balandier, 1990: Le désordre: éloge du mouvement, Fayard.

Les participants aux groupes de travail : 12-17 décembre 1988 (CRODT/ISRA de Dakar) 12-17 juin 1989 (ISPM de Casablanca)

MAROC

- BEN CHERIFI Salah, biologiste — ISPM[1]
- BEN MOUSSA Abderraouf, observateur scientifique — MPMMM[2]
- BENSOUDA Mounia, économiste — ISPM
- BERRADA Abdeljalil, chargé d'études — MPMMM
- BERTIGNAC Michel, biologiste — ISPM
- CUNNINGHAM Stephen, économiste — ISPM
- EL MESBAHI Mohamed, observateur scientifique — MPMMM
- HAJJAJ Rajaa, juriste — MPMMM
- IDELHAJ Abdelouahed, biologiste — ISPM
- IDRISSI M'ahmed, biologiste — ISPM
- KIFANI Souad, biologiste — ISPM
- LEBBAR Mohamed Fouad, observateur scientifique — MPMMM
- MORCHID Abdelkadouss, biologiste — ISPM
- ORBI Abdellatif, océanographe — ISPM
- OUATI Youssef, administrateur — MPMMM
- RAMI Mohammed, Directeur ISPM — ISPM
- RAKI Mohamed, économiste — IAVH[3]

MAURITANIE

- CHAVANCE Pierre, biologiste — CNROP[4]
- MAHFOUD Mohammed, océanographe — CNROP

SENEGAL

- CAVERIVIERE Alain, biologiste de l'ORSTOM — CRODT/ISRA[5]
- CECCHI Philippe, biologiste de l'ORSTOM — CRODT/ISRA
- CHABOUD Christian, économiste de l'ORSTOM — CRODT/ISRA
- CURY Philippe, écologiste de l'ORSTOM — CRODT/ISRA
- DEMARCQ Hervé, océanographe de l'ORSTOM — CRODT/ISRA
- DEME Moustapha, économiste — CRODT/ISRA
- DIAW Chimère, socio-économiste — CRODT/ISRA
- DIOUF Pape Samba, biologiste — CRODT/ISRA
- FAGGIANELLI Dom Jacques, biologiste — COPACE/FAO[6]
- FONTANA André, biologiste de l'ORSTOM — CRODT/ISRA
- FONTENEAU Alain, biologiste de l'ORSTOM — CRODT/ISRA
- DEME GNINGUE Itaf, chimiste — CRODT/ISRA
- LEVENEZ Jean-Jacques, biologiste de l'ORSTOM — CRODT/ISRA
- MILLET Bertrand, hydrodynamicien de l'ORSTOM — CRODT/ISRA
- OUDOT Claude, chimiste — ORSTOM/DAKAR[7]

- ROY Claude, océanographe de l'ORSTOM — CRODT/ISRA
- SAMB Birane, biologiste — CRODT/ISRA
- TACONET Marc, biologiste — COPACE/FAO
- TOURE Diafara, physicien — CRODT/ISRA

COTE D'IVOIRE

- BARD François-Xavier, biologiste de l'ORSTOM — CROA[8]
- PEZENNEC Olivier, biologiste — CROA

GHANA

- KORANTENG K. A., biologiste — FRU[9]
- MENSAH Martin, océanographe — FRU

FRANCE

- BELVEZE Henri, biologiste — BPM[10]
- BINET Denis, biologiste — ORSTOM/NANTES[11]
- CHAUVEAU Jean-Pierre, anthropologue — ORSTOM/MONTPELLIER[12]
- DURAND Marie-Hélène, économiste — ORSTOM/PARIS[13]
- DURAND Jean-René, biologiste — ORSTOM/PARIS
- ECOUTIN Jean Marc, biologiste — ORSTOM/ MONTPELLIER
- HERBLAND Alain, biologiste — IFREMER[14]
- JOSSE Erwan, biologiste — ORSTOM/BREST[15]
- LALOE Francis, biostatisticien — ORSTOM/MONTPELLIER
- MARCHAL Emile, biologiste — ORSTOM/PARIS
- WEBER Jacques, économiste — IFREMER[16]
- FREON Pierre, biologiste — ORSTOM/MARTINIQUE[17]

ITALIE

- GARCIA Serge, biologiste — FAO[18]

ANGLETERRE

- ALLEN Peter, modélisateur — ECOTECHNOLOGY CENTER[19]

(1) Institut Scientifique des Pêches Maritimes, 2, rue de Tiznit Casablanca, ROYAUME DU MAROC.

(2) Ministère des Pêches Maritimes et de la Marine Marchande, Rabat, ROYAUME DU MAROC.

(3) Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, BP 6202 Rabat, ROYAUME DU MAROC.

(4) Centre National de Recherche Océanographique et des Pêches, BP 22, Nouadhibou, REPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE.

(5) Centre de Recherche Océanographique de Dakar-Thiaroye BP 2241, Dakar SENEGAL.

(6) Comité des Pêches de l'Atlantique Centre-Est, 56 Av. Pompidou, Dakar, SENEGAL.

(7) Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, BP 1386, Dakar, SENEGAL.

(8) Centre de Recherche Océanographique d'Abidjan, BP V18, Abidjan, COTE-D'IVOIRE.

(9) Fisheries Department Research and Utilization Branch, Tema, GHANA.

(10) Bureau des Produits de la Mer, 175, rue de Chevaleret, 75646 Paris CEDEX 13, FRANCE.

(11) BP 1049, 44037 Nantes, FRANCE.

(12) BP 5045, 34032 Montpellier, FRANCE.

(13) 213, rue Lafayette, 75480 Paris, FRANCE.

(14) CREMA, l'Houmeau, Case 5, 17137 Nieul sur Mer, FRANCE.

(15) BP 70, 29263, Plouzane CEDEX, FRANCE.

(16) Technopolis, 155, rue Jean-Jacques Rousseau, 92138 Issy Les Moulineaux CEDEX, FRANCE.

(17) BP 81, 97256 Fort-de-France, MARTINIQUE.

(18) Food and Agricultural Organization Rome, ITALIE.

(19) Cranfield Institute of Technology, Cranfield Beds, MK43OAL, GRANDE-BRETAGNE.

ACHEVÉ D'IMPRIMER
3ème TRIMESTRE 1991
DÉPÔT LÉGAL N° 891

Nombreux sont les pays ouest-africains qui fondent un espoir important dans l'exploitation de leurs ressources marines côtières. Cependant, nous percevons de plus en plus le caractère fini de ces ressources. Peu d'opportunités restent à saisir pour accroître les prélèvements halieutiques et les défis économiques à venir ne pourront pas être résolus de cette façon. A l'heure actuelle, seules les perspectives liées à un «meilleur» usage des ressources renouvelables apparaissent comme une source d'espoir.

Les ressources pélagiques côtières, telles les sardines, les sardinelles, les anchois sont particulièrement importantes dans les zones d'upwelling, régions les plus productives des océans. Source d'abondance et de richesse, ces ressources sont aussi connues pour leur instabilité face aux fluctuations de l'environnement. Instables, elles soulèvent avec une acuité particulière le problème d'une activité humaine confrontée au risque et à l'incertitude. Défi provocant qui nous interpelle parfois violemment et remet en cause nos conceptions et notre façon d'analyser la dynamique et l'usage des ressources instables.

La dynamique des différentes pêcheries marocaine, mauritanienne, sénégalaise, ivoirienne et ghanéenne est présentée dans ce livre. La variabilité, l'instabilité et le changement dans ces pêcheries et leur environnement sont traités par des sociologues, des économistes, des statisticiens, des physiciens et des biologistes avec leurs outils, leur pouvoir de résolution, leurs abstractions et leurs objets propres. Cette démarche où chaque discipline tente de dégager ce qui lui importe permet d'enrichir la réflexion tout en relativisant les certitudes. Ce partage des points de vue produit une image plus vivante des pêcheries. Elle nous invite aussi à proposer de nouvelles voies d'analyse qui acceptent le changement en tant que partie intégrante de la dynamique des systèmes.

ISBN 2-7099-1040-3

ORSTOM, 213 rue La Fayette, 75480 Paris cedex 10
Editions, diffusion : 72 route d'Aulnay, 93143 Bondy cedex