

27 • Variations locales de l'upwelling, répartition et abondance des sardinelles en Côte-d'Ivoire

ALAIN HERBLAND

CREMA, l'Houmeau, Case 5, 17137 Nieuil 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 occurred 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 even though 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-saisonniers 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 réaumentation 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 interannuelles 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 physiiciens: 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 :

$$Iq = (26 - Mqz) * Nqz \quad \text{en } ^\circ\text{C}\cdot\text{J}$$

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).

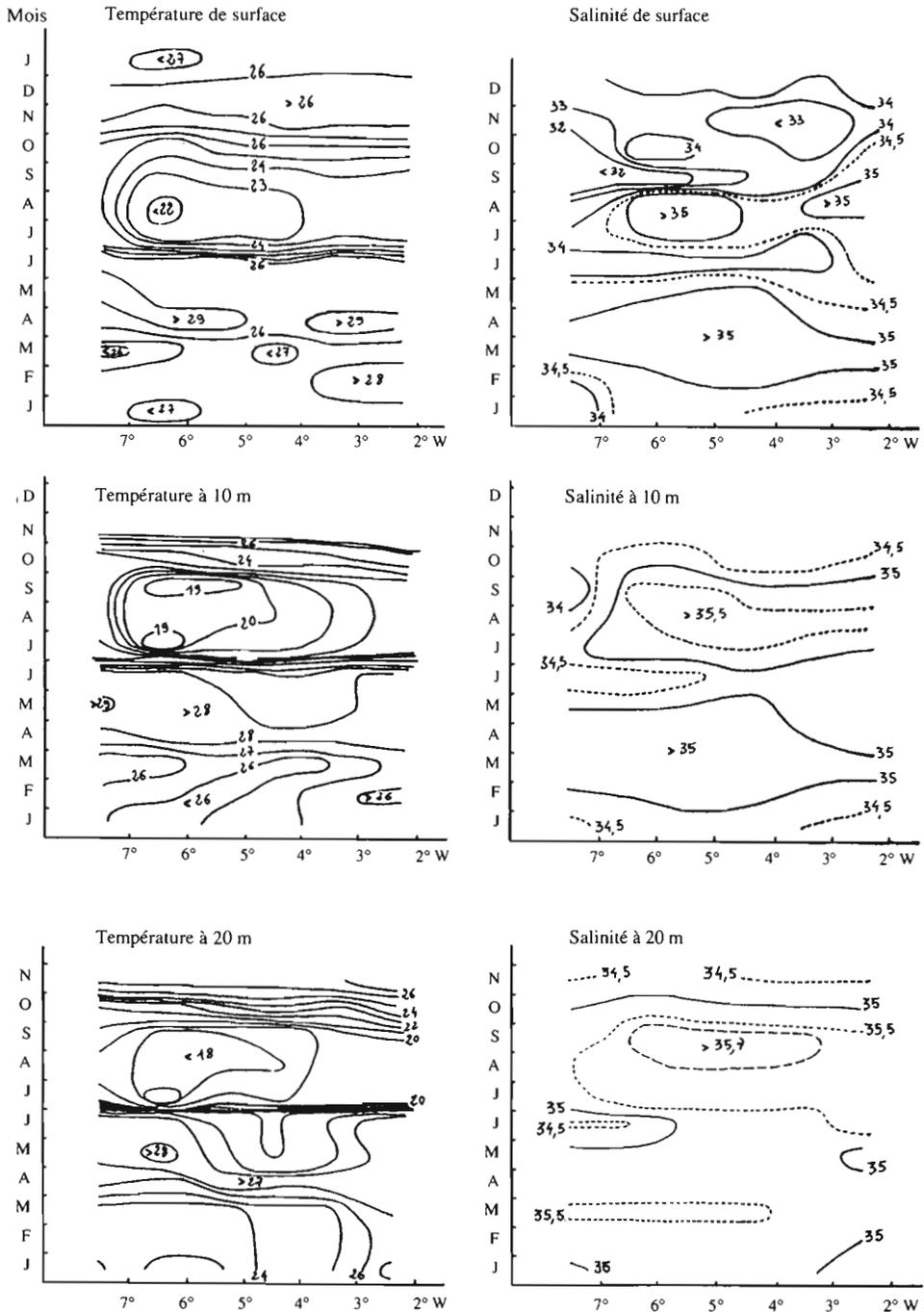


Fig. 2

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).

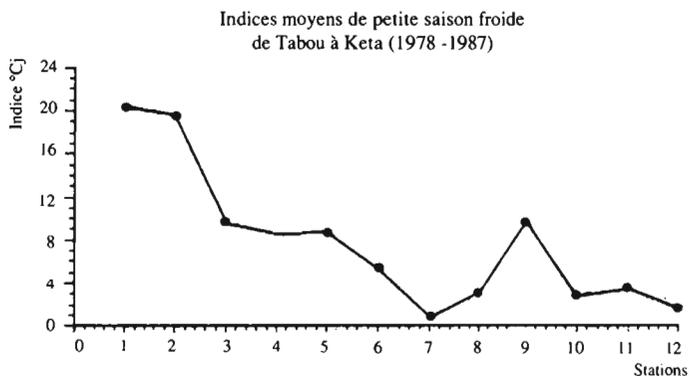
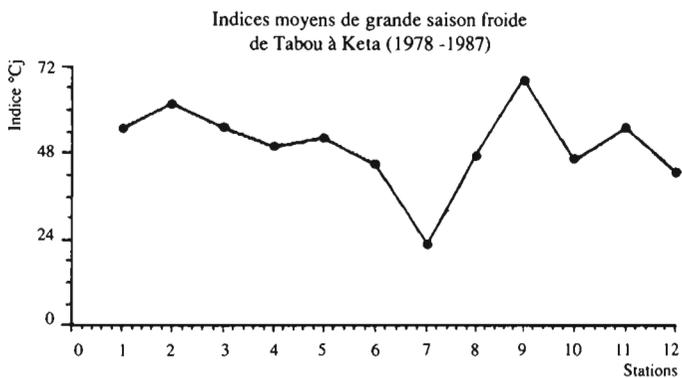
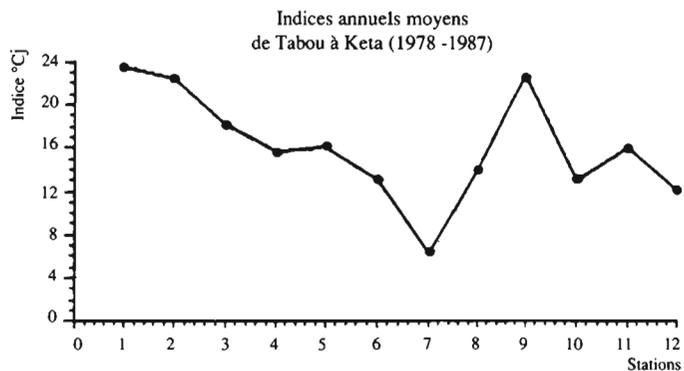
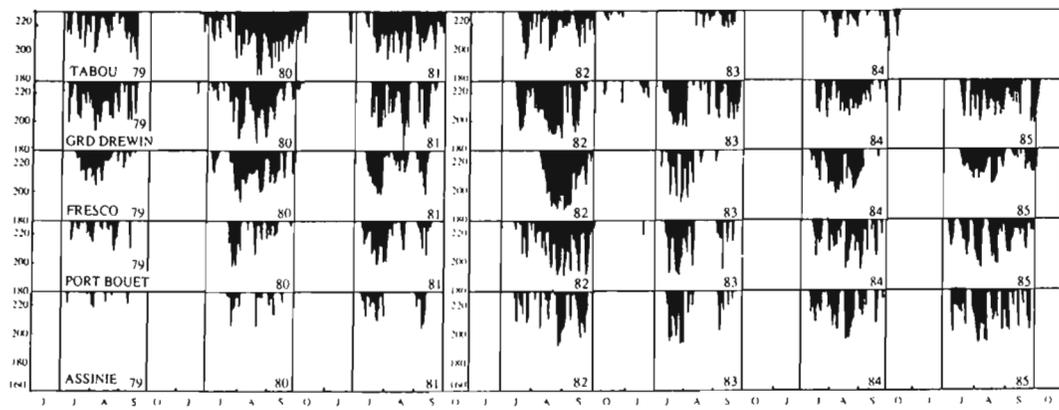


Fig. 3

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).

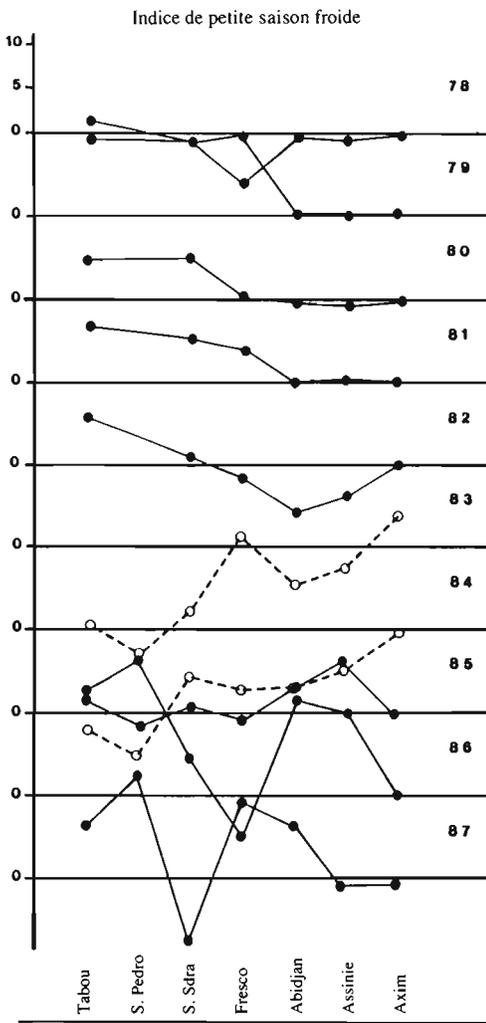


Fig. 5

Variations interannuelles de l'indice d'upwelling de grande saison froide de Tabou à Keta (1978-1987), d'après Arfi *et al.* (présent volume).

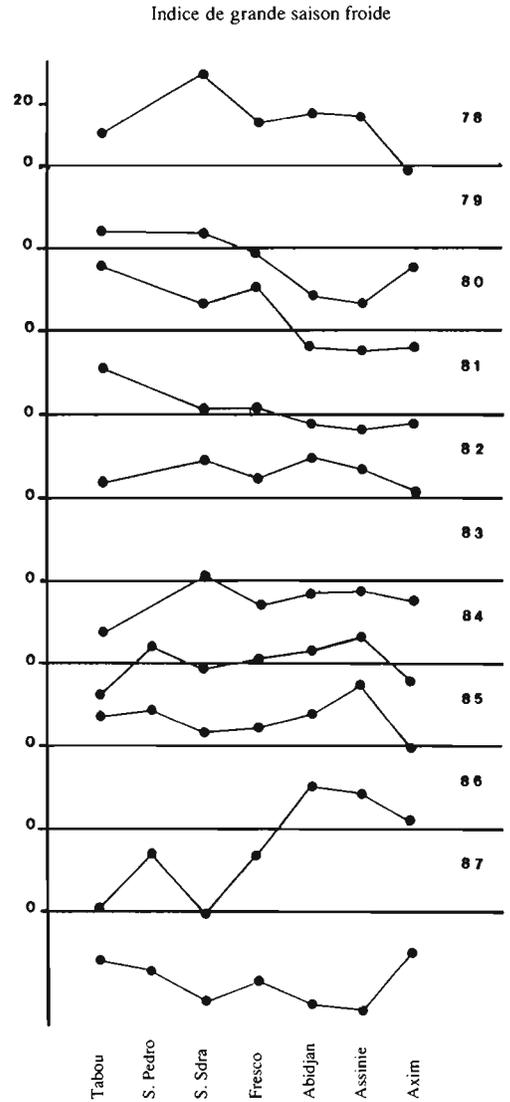


Fig. 6

Evolution des anomalies thermiques à la station côtière de Tabou, entre 1977 et 1984.

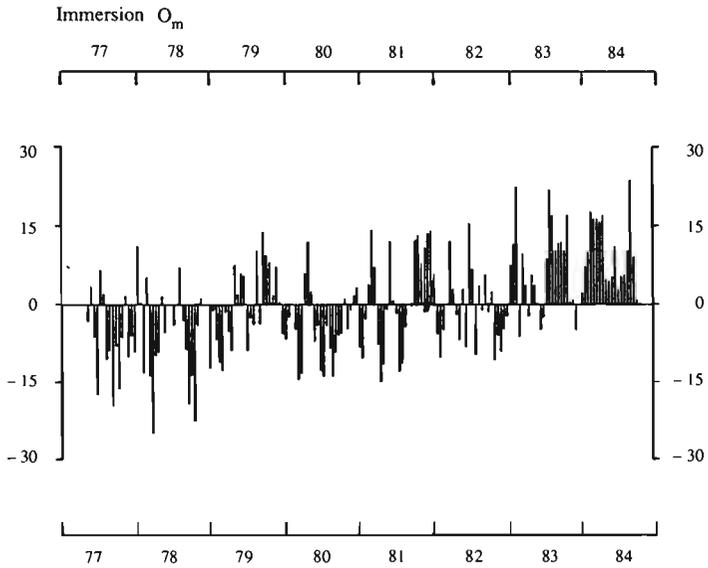


Fig. 7

Evolution de l'anomalie thermique négative cumulée sur une année entre 1977 et 1983 pour 4 stations côtières de Côte-d'Ivoire.

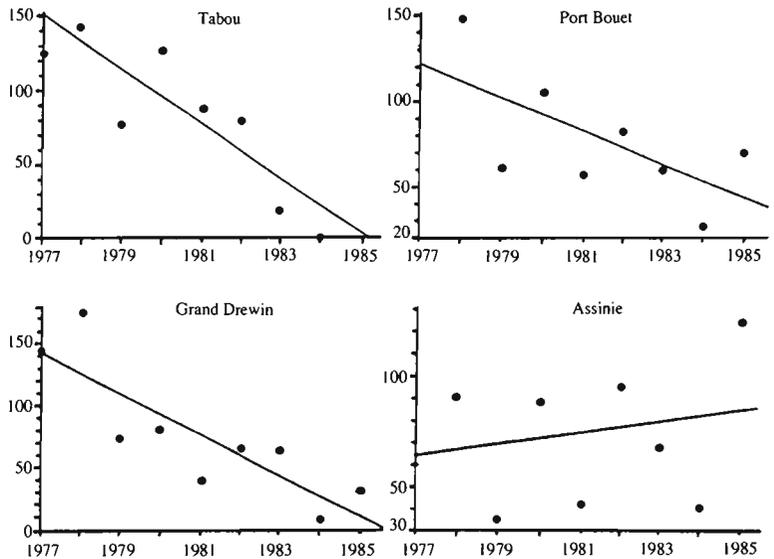


Fig. 8

Evolution des captures de *Sardinella maderensis* dans la zone Côte-d'Ivoire - Bénin de 1966 à 1988 (d'après Pézenneq *et al.*, sous presse).

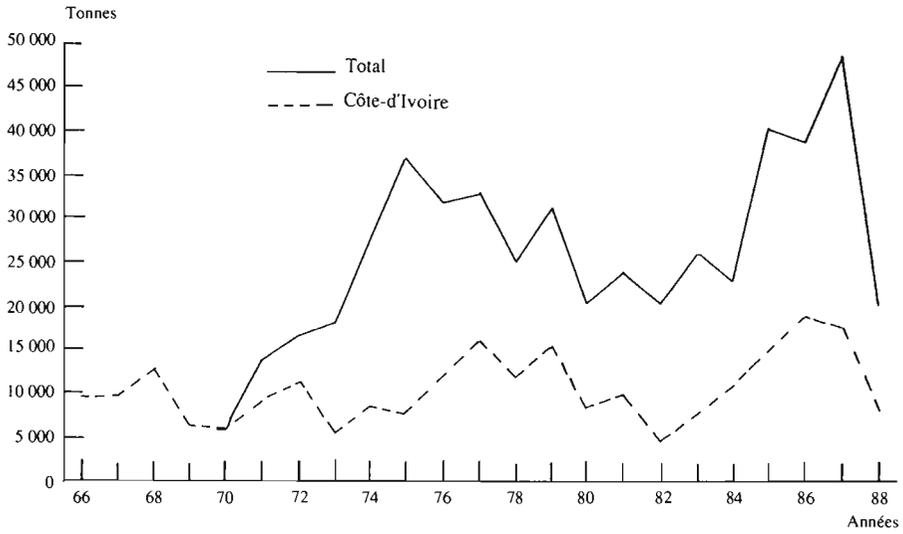


Fig. 9

Evolution des captures de *Sardinella aurita* dans la zone Côte-d'Ivoire - Bénin de 1966 à 1988 (d'après Pézenneq *et al.*, sous presse).

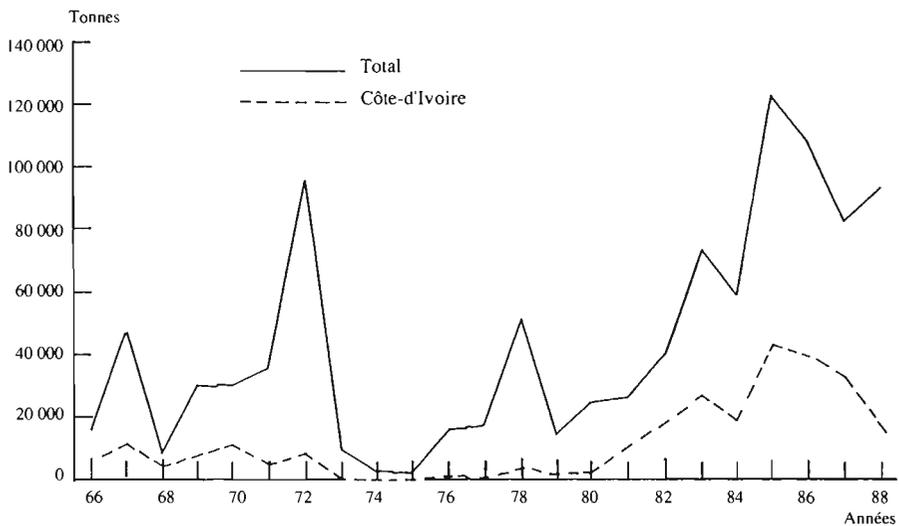


Fig. 10

Part des secteurs est et ouest dans les prises de *Sardinella maderensis* en Côte-d'Ivoire de 1966 à 1988 (d'après Pézenneq *et al.*, sous presse).

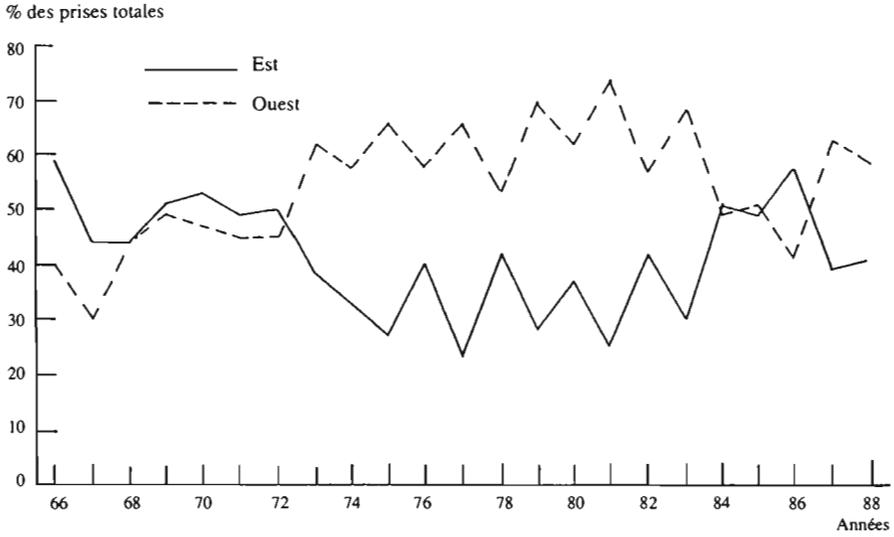


Fig. 11

Part des secteurs est et ouest dans les prises de *Sardinella aurita* en Côte-d'Ivoire de 1966 à 1988 (d'après Pézenneq *et al.*, sous presse).

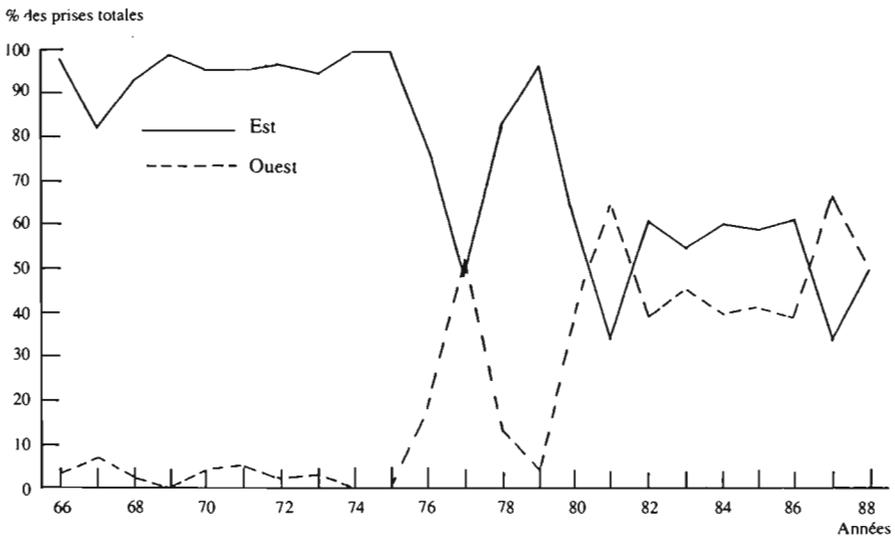
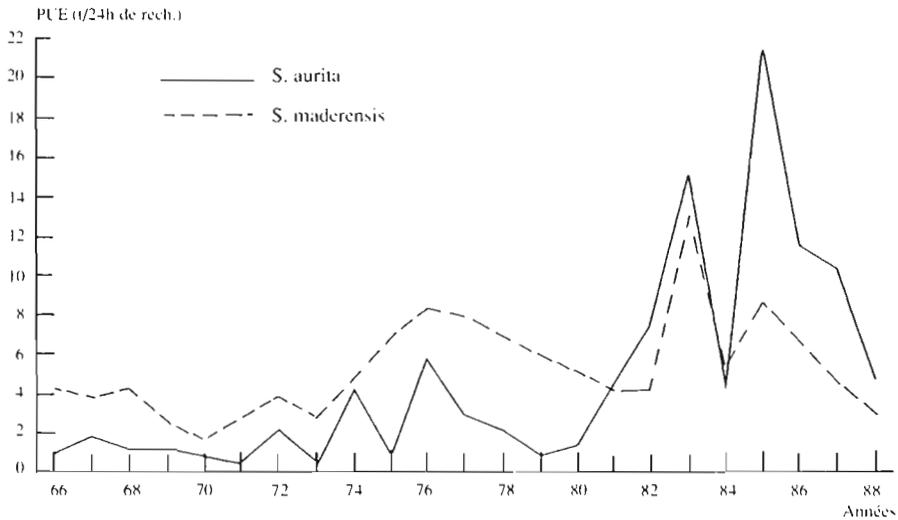


Fig. 12

Prise par unité d'effort (PUE) de *Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis* par les seigneurs 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 Drevin) 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.

• 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.

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 Pezennec 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.