

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'écho-intégration 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.

	janvier	février	mars
1984		
1985	—		
1986		
1987	
1988	

— prospections acoustiques
 synthèses thermiques disponibles

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'ex-

tension 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 (Lévénez *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 toponymie utilisée.

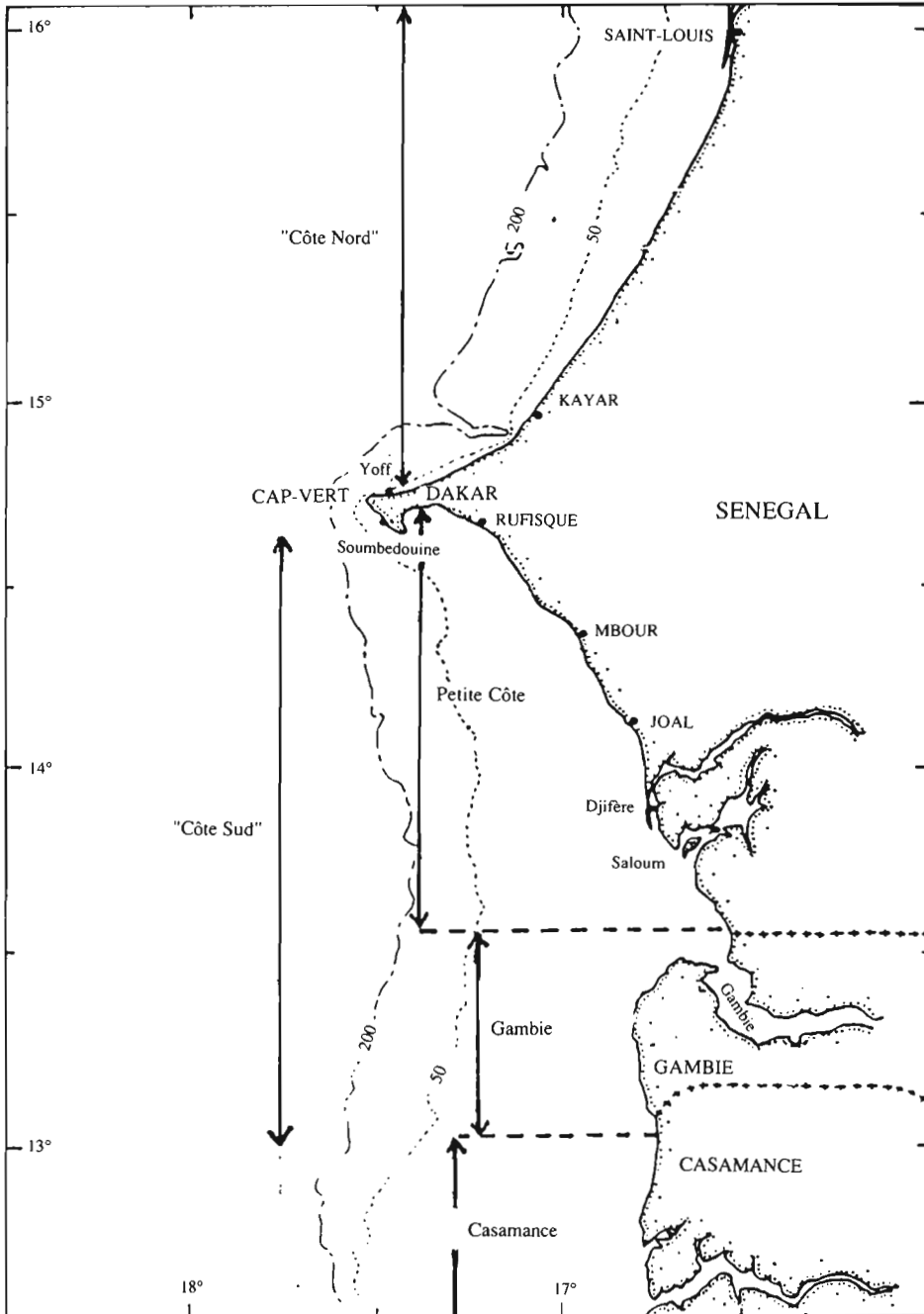


Fig. 2

Répartition des densités de poissons mesurées par écho-intégration et structure superficielle de l'upwelling du 7 au 21 mars 1984.

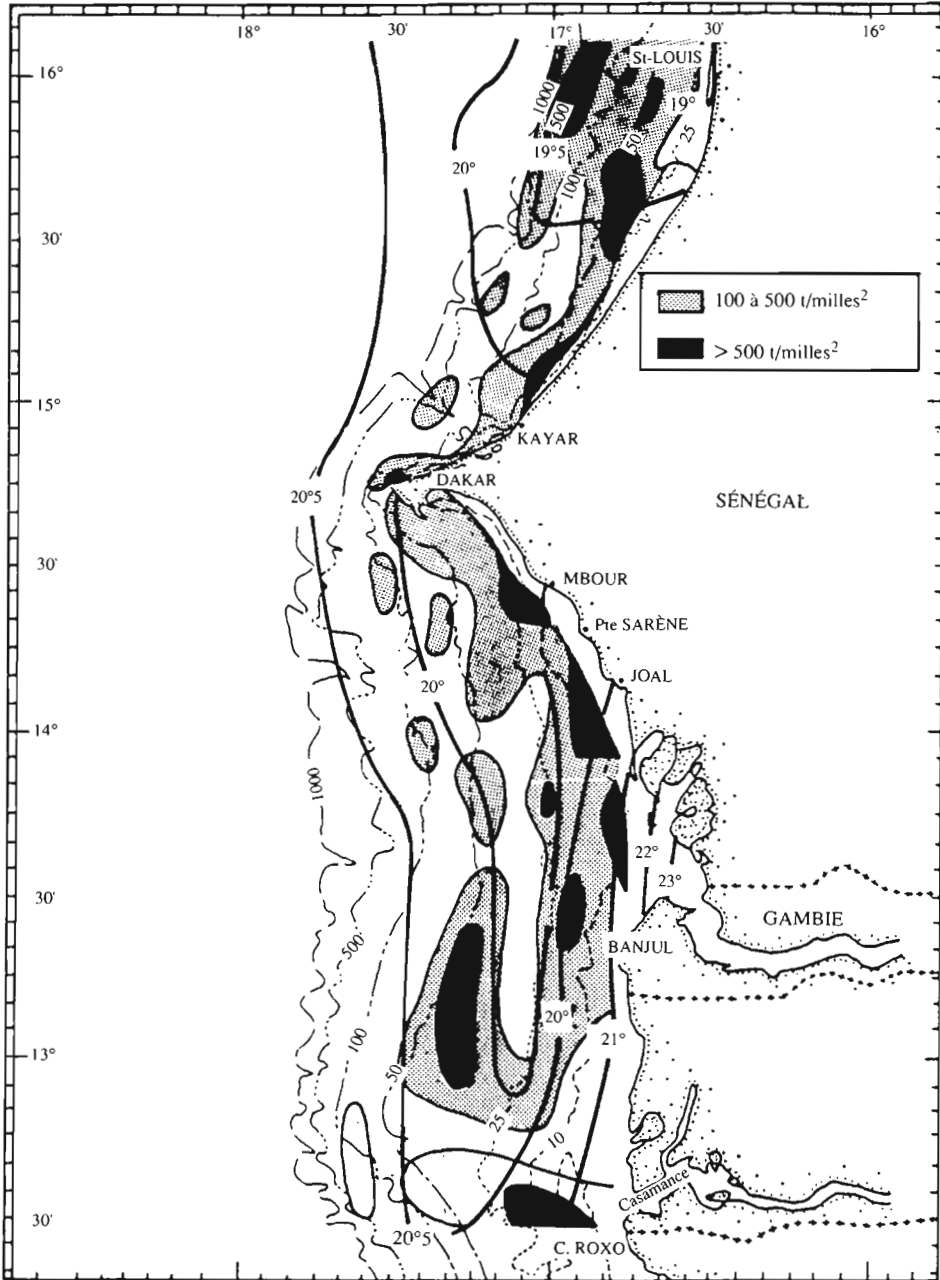
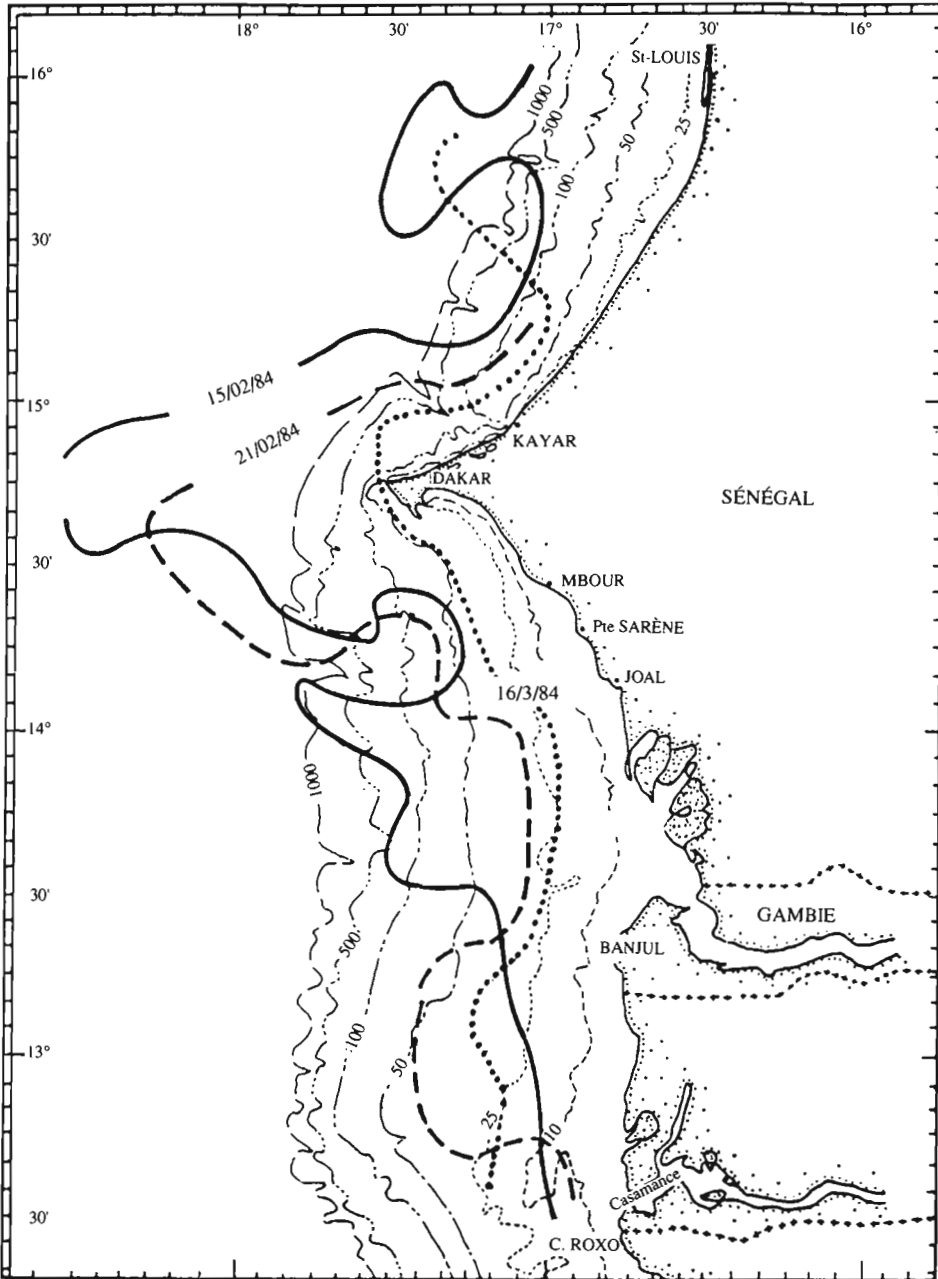


Fig. 3

Evolution des limites des zones à fortes concentration en chlorophylle *a* ($> 10 \text{ mg/m}^3$) 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 (Lévénez, 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 10 m 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 Lévénez, 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.

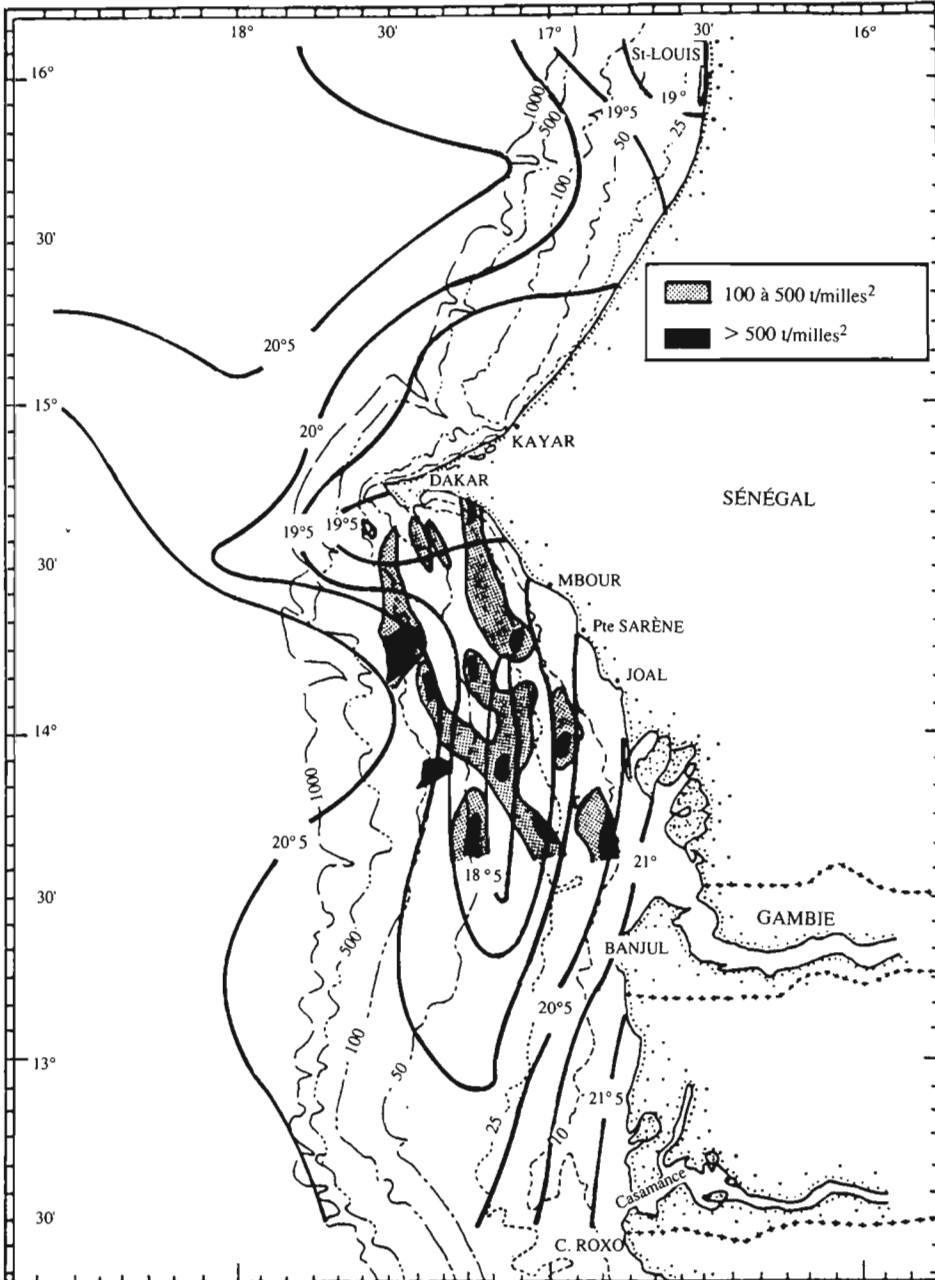


Fig. 5

Répartition des densités de poissons mesurées par écho-intégration et structure superficielle de l'upwelling du 19 février au 2 mars 1986.

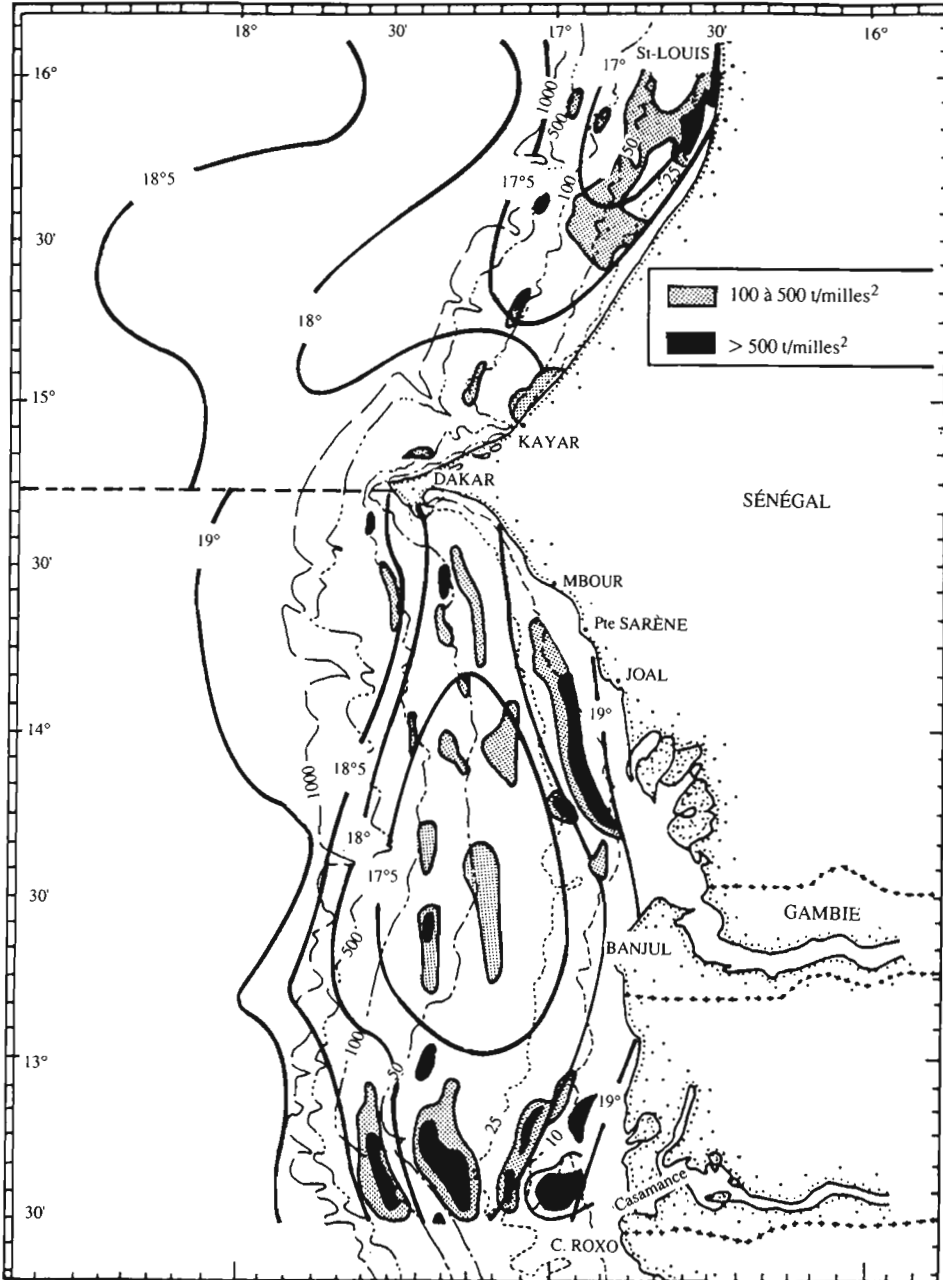


Fig. 6

Répartition des densités de poissons mesurées par écho-intégration et structure superficielle de l'upwelling du 13 au 28 février 1987.

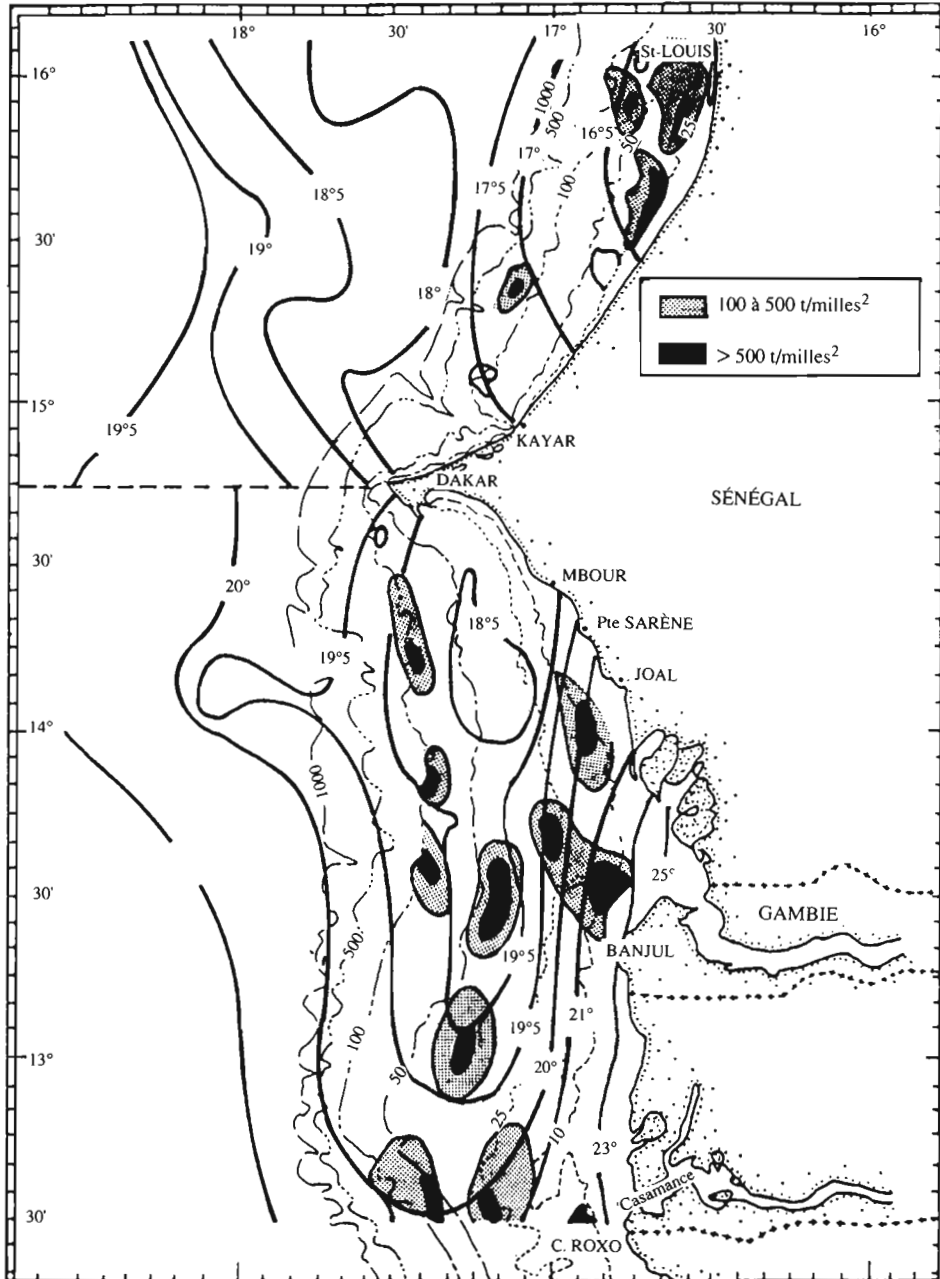
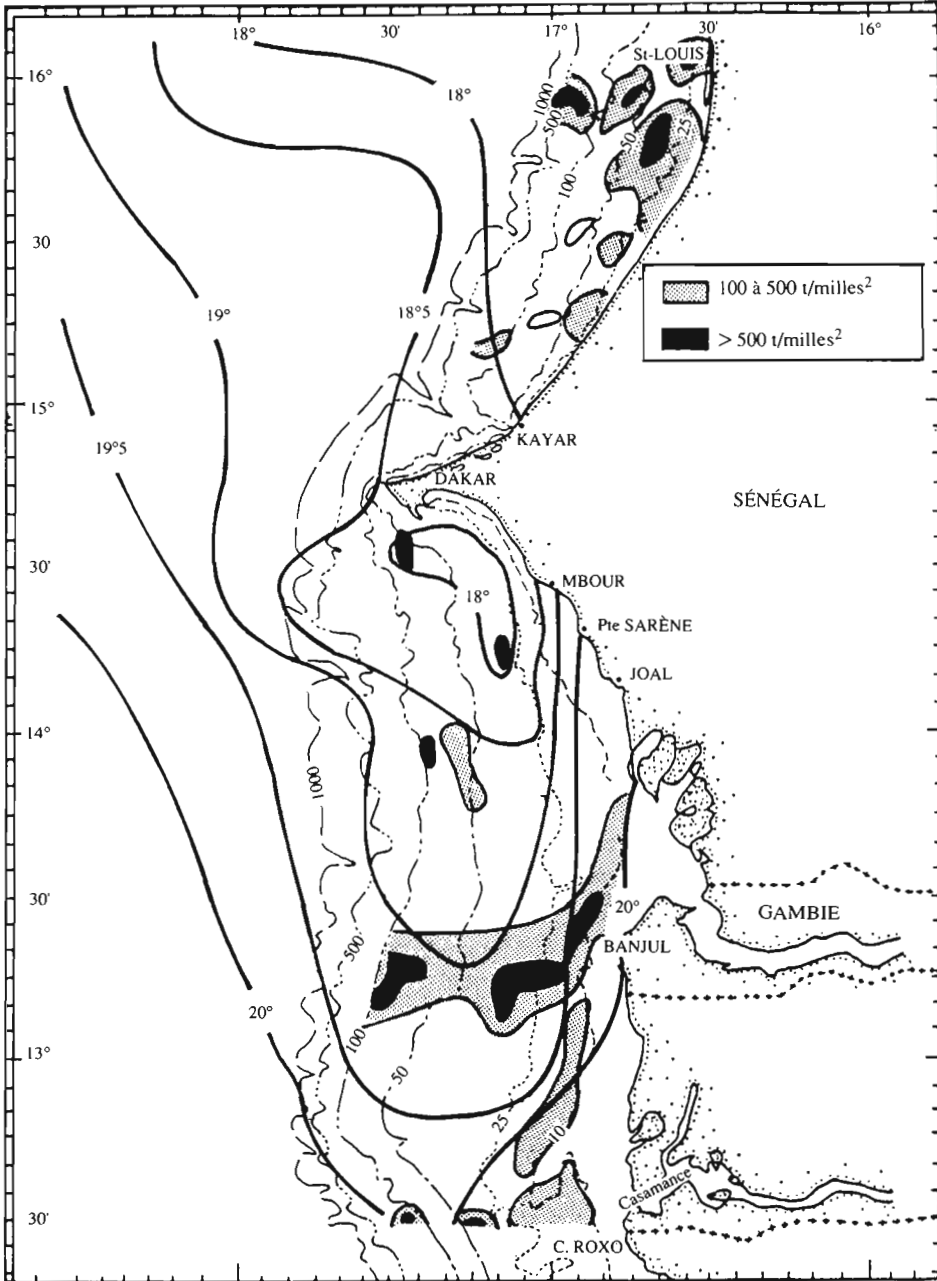


Fig. 7

Répartition des densités de poissons mesurées par écho-intégration et structure superficielle de l'upwelling du 13 au 23 février 1988.



nant 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 inter-annuelle 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.

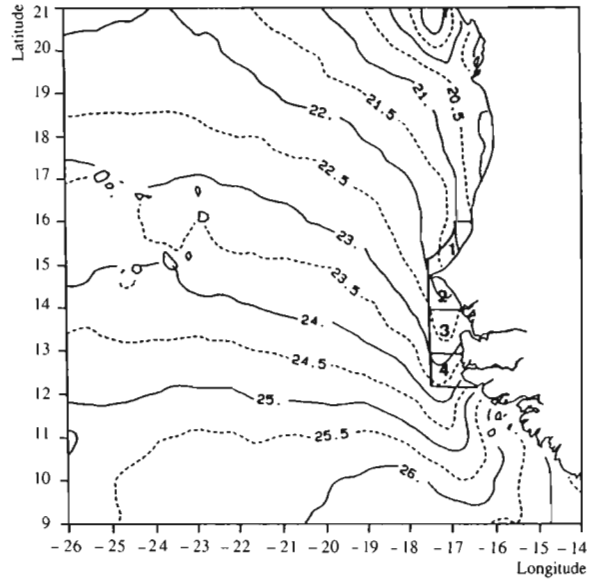


Fig. 9

Dynamique de l'upwelling sénégalais de janvier à avril 1984.

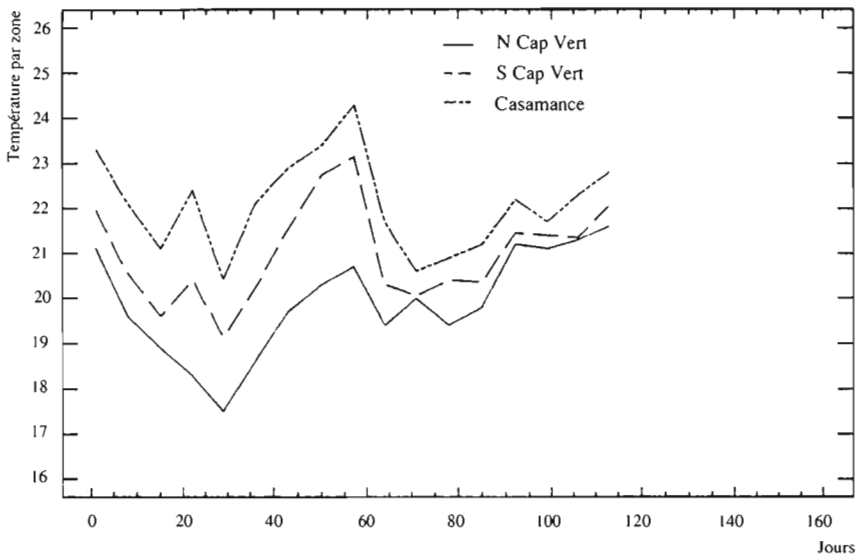


Fig. 10

Dynamique de l'upwelling sénégalais de janvier à mars 1985.

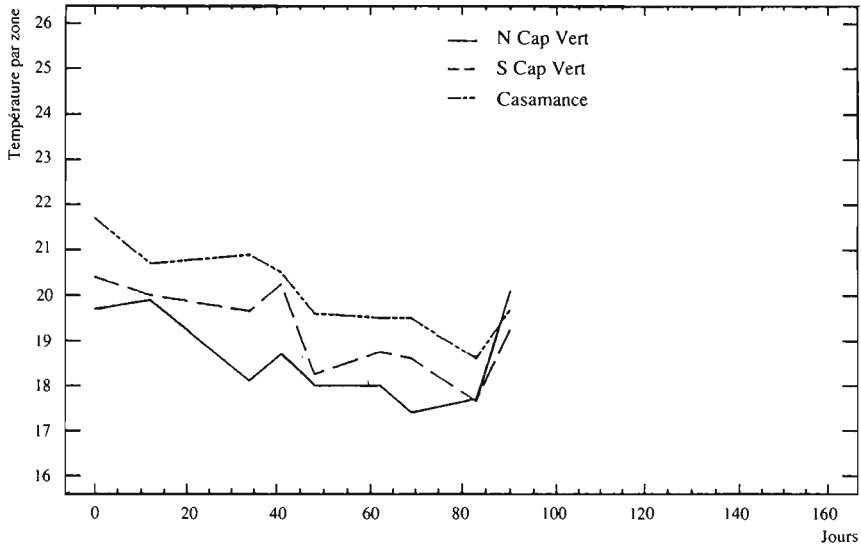


Fig. 11

Dynamique de l'upwelling sénégalais de janvier à mai 1986.

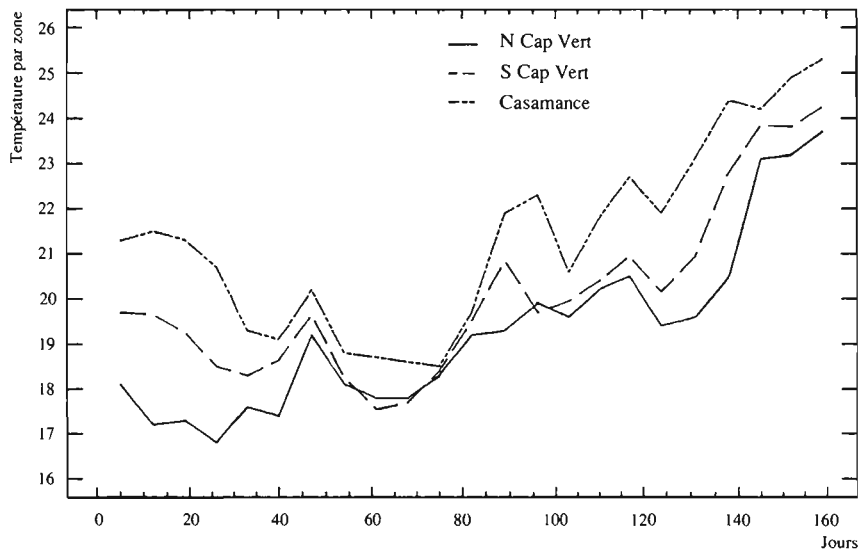


Fig. 12

Dynamique de l'upwelling sénégalais de janvier à mars 1987.

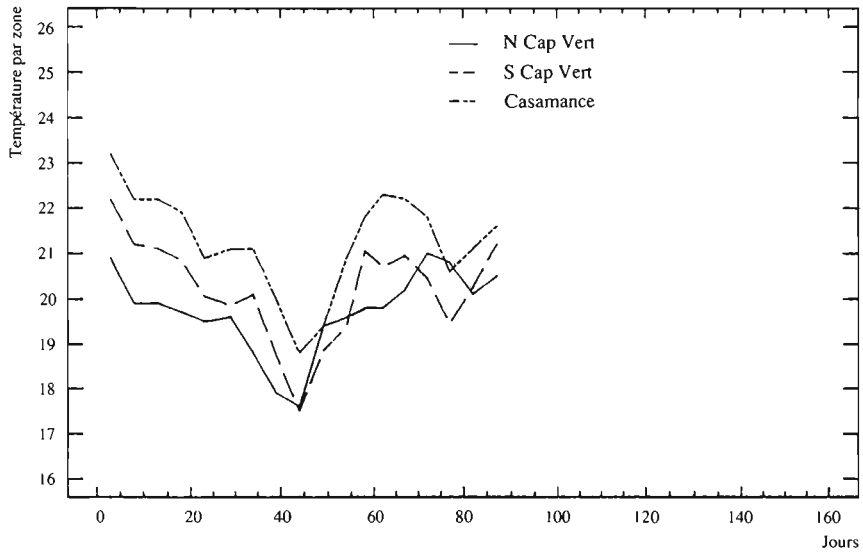
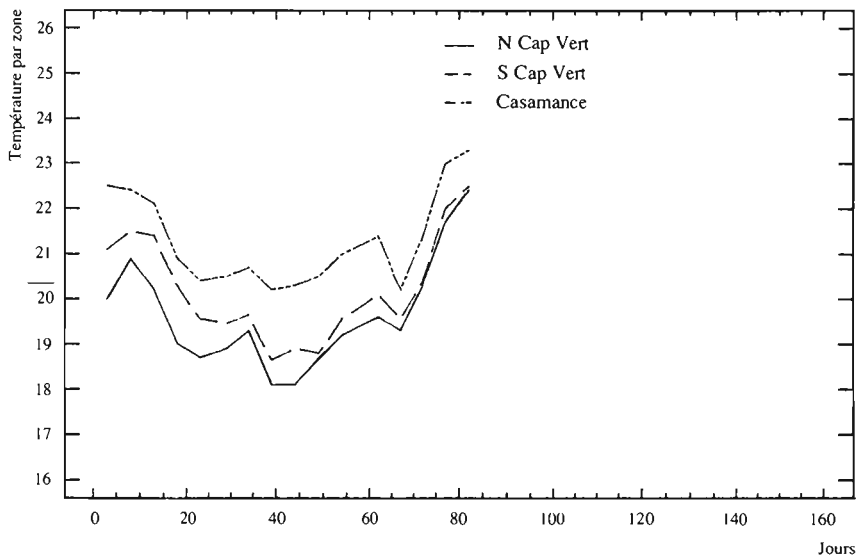


Fig. 13

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 Picaud, 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 fluviaux;
- 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

LEVEZ: 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. Stéquent 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. Réunion. 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 Stéquent B. 1982. Les ressources en poissons du plateau continental sénégalais évalués par écho-intégration. *Rapp. P.-v. Réunion. Cons. int. Explor. Mer*, 180: 379-384.
- Lévénez 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.
- Lévénez J.J. A paraître. Résultats de la campagne ECHOSAR10 du Louis Sauger. Prospection des stocks de poissons pélagiques côtiers le long des côtes Sénégalaises (19 février au 2 mars 1986).
- Marchal E. Picaud 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 sénégalaises du 13 au 24 février 1988. *Archive CRODT*, 172, 15p.
- Samb B. et Lévénez 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 sénégalaises du 12 février au 1er mars 1987. *Archive CRODT*, 168, 16 p.