

Variabilité interannuelle et saisonnière de l'environnement sur le plateau continental sénégalais.

I. Dème-Gningue et D. Touré.

RÉSUMÉ :

Les paramètres vent et température de surface ont été analysés dans cette étude.

La moyenne mensuelle des vitesses du vent montre, que celle-ci est maximale en Avril et minimale en Août. L'indice d'upwelling calculé à partir de ces données met en évidence une forte variabilité de l'upwelling entre 1964 et 1991. Au sud du Cap-Vert, l'indice d'upwelling est positif toute l'année tandis qu'au nord, il s'annule et devient négatif entre juin et septembre.

Les températures moyennes mensuelles mettent en évidence un minimum en février-mars et un maximum en août.

Les moyennes annuelles des températures, du vent et de l'indice d'upwelling, indiquent que les années les plus froides avec les vitesses de vent et les indices d'upwelling les plus élevés sont observées entre 1972 et 1977 et entre 1985-1986. Depuis 1988, on observe une baisse progressive des températures et inversement une hausse des vitesses du vent et des indices d'upwelling.

ABSTRACT :

Temperature and wind are analysed in this study. The monthly means of wind show that the mean velocity is lower in august and higher in march. The same observations are collected with upwelling indice but there is a difference between the north of Cap-Vert where the mean indice is null or negative between June and September and the south where it is positive every month of the year.

Monthly means of temperature show the lowest temperatures in February or march and the maximum in august while the opposite is observed with to the wind.

The annual means of temperature, upwelling indice and wind show between 1964 and 1991, that periods of strong upwelling are observed between 1972 and 1977 and at 1985. Since 1988, temperatures become lower, while wind-velocity and upwelling indices become higher.

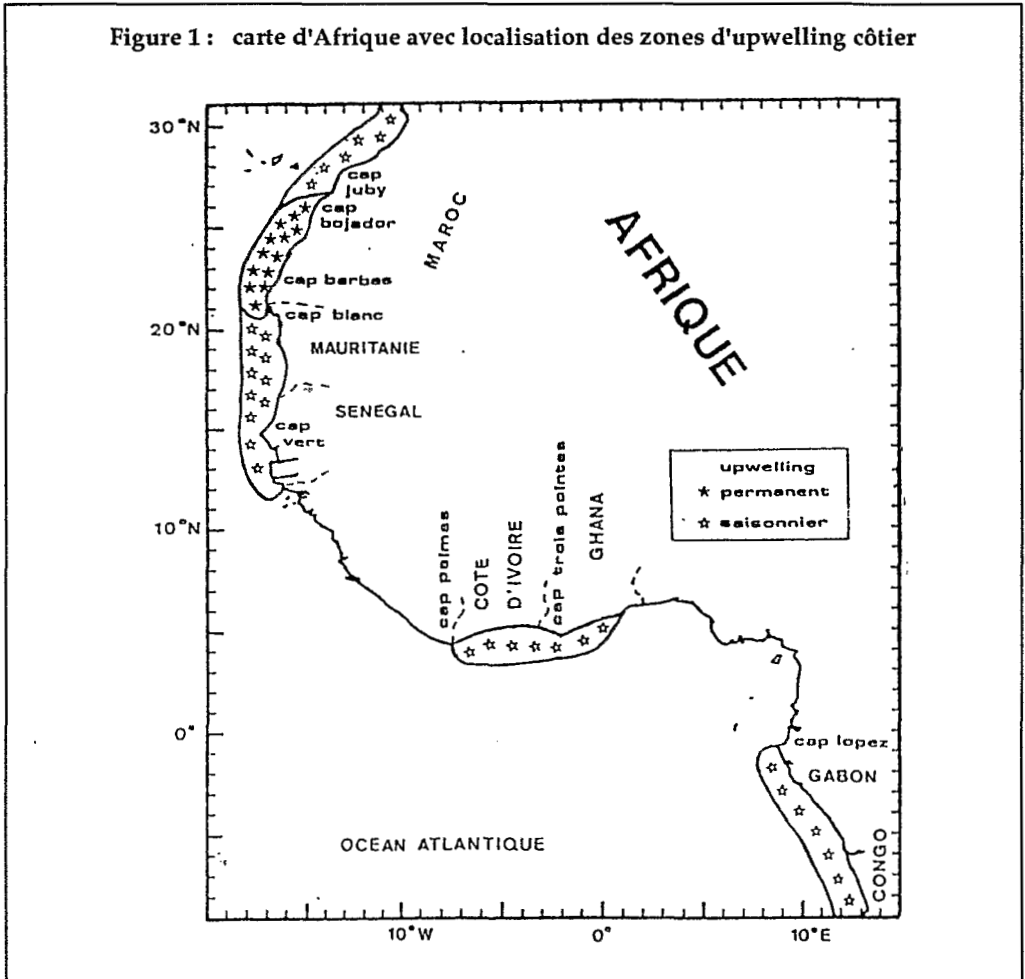
INTRODUCTION

Les travaux réalisés au Sénégal sur l'océanographie depuis les années soixante (Berrit, 1962; Rossignol et Aboussouan, 1965; Rebert, 1978; Gallardo, 1981; Teisson, 1982; Rebert, 1983; Touré, 1983; etc.) ont abouti à de nombreux résultats dont la mise en évidence de deux principaux contrastes responsables d'une grande partie de la variabilité hydrologique de ces côtes:

- un contraste morphologique du plateau continental entre le nord et le sud du Cap-Vert, lié à la largeur du plateau et à l'orientation de la côte. En effet, au nord, le plateau est étroit (environ 10 miles) et orienté nord-nord-est alors qu'au sud, le plateau s'élargit jusqu'à atteindre 30 miles au large de la Casamance et la côte est orientée nord puis nord-ouest.
- un contraste saisonnier lié en grande partie au régime du vent. En effet, au Sénégal on note deux principales saisons hydrologiques: la saison froide correspondant à la période des alizés avec une forte variabilité du signal thermique et la saison chaude assimilable à la période de l'hivernage et caractérisée par des amplitudes thermiques faibles. La saison chaude s'étend de

Juillet à Octobre et la saison froide de Novembre-Décembre à Mai. La saison froide correspond à une période d'upwelling côtier, phénomène induit par les vents et identifié sur les côtes ouest-africaines (Figure 1), dont celles du Sénégal (Wooster *et al.* 1976; Touré, 1983, Roy, 1989; Portlano, 1986; Rébert, 1983; Deme-Gningue *et al.*, 1990, etc.).

Figure 1 : carte d'Afrique avec localisation des zones d'upwelling côtier

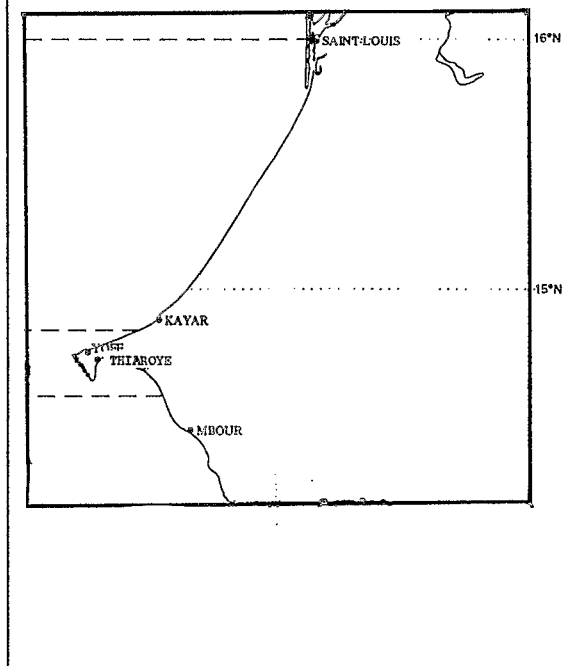


Ces côtes sont généralement très poissonneuses et la production y semble particulièrement liée à la fluctuation hydro-climatique.

Une variabilité inter-annuelle sur la façade maritime sénégalaise a également été mise en évidence par ces travaux.

De ce fait, la fluctuation des conditions de l'environnement affecte beaucoup celle de la pêche, d'où l'importance d'une surveillance continue de l'environnement hydro-climatique.

Figure 2 : carte du Sénégal avec localisation des stations côtières



L'objet de notre étude est de faire le bilan de ces variabilités tant inter-annuelle que saisonnière sur la façade maritime sénégalaise au cours des trente dernières années afin de permettre la comparaison entre les fluctuations de la pêche surtout pélagique avec celle de l'environnement. Pour cela, des données de température recueillies sur les stations côtières sont analysées, de même que les observations sur les vents collectées à la station météorologique de l'aéroport de Dakar-Yoff.

Ces stations côtières sont établies le long du littoral (Figure 2) pour le suivi de l'hydrologie et les premières sont installées depuis les années cinquante. Le choix des deux paramètres "vent" et "température de surface" est déterminé par leur importance dans le phénomène d'upwelling considéré comme la principale source d'enrichissement des côtes sénégalaises.

VARIABILITÉ DU VENT

L'analyse des données de vent intéressant la côte sénégalaise a été décrite par les travaux de Rebert (1978), Portalano (1986), Roy (1989) et Roy (1992) notamment pour ce qui concerne leur répartition et leur direction.

Résultats

La répartition temporelle des vents au cours des trois dernières décennies montre que :

L'évolution de la moyenne mensuelle de la vitesse des vents toutes années confondues (Figure 3) met en évidence une croissance progressive des vitesses de janvier à avril, puis une diminution à partir de mai pour atteindre le minimum en août-septembre. Les fluctuations de la vitesse autour de la médiane (Figure 4) sont

fortes toute l'année, les maxima et minima étant presque constants quel que soit le mois considéré.

Entre mi-juin et mi-Aôut, l'écart par rapport à la médiane diminue légèrement. On remarque cependant que le mois d'août, comporte les valeurs extrêmes les plus élevées et des vitesses moyennes assez importantes.

Figure 3 : Evolution de la moyenne mensuelle de la vitesse du vent.

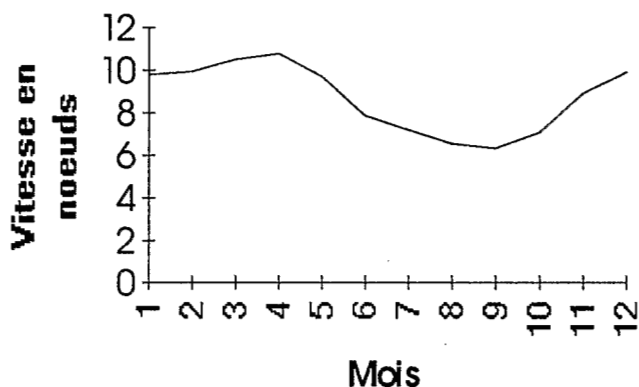
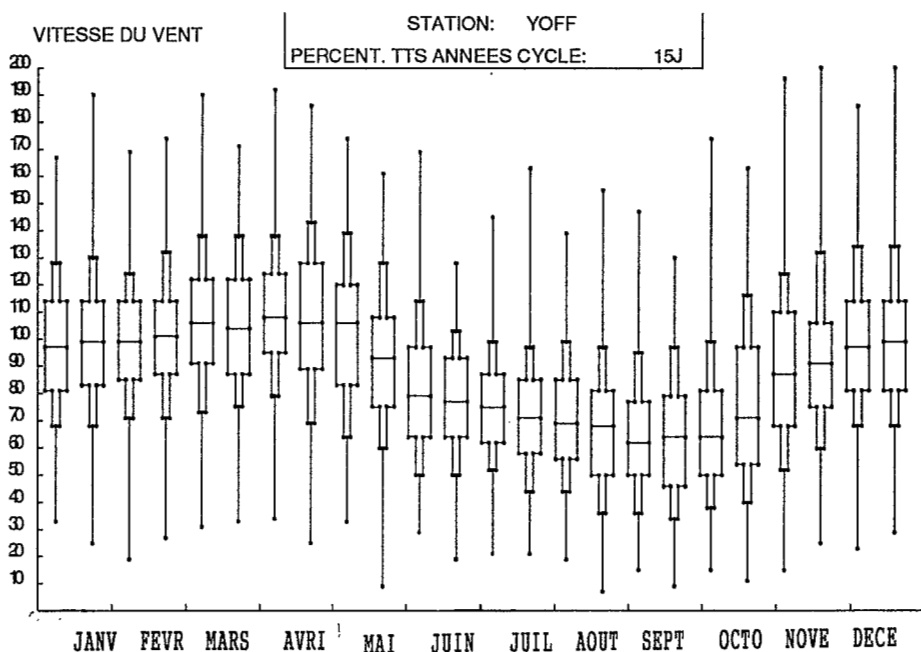
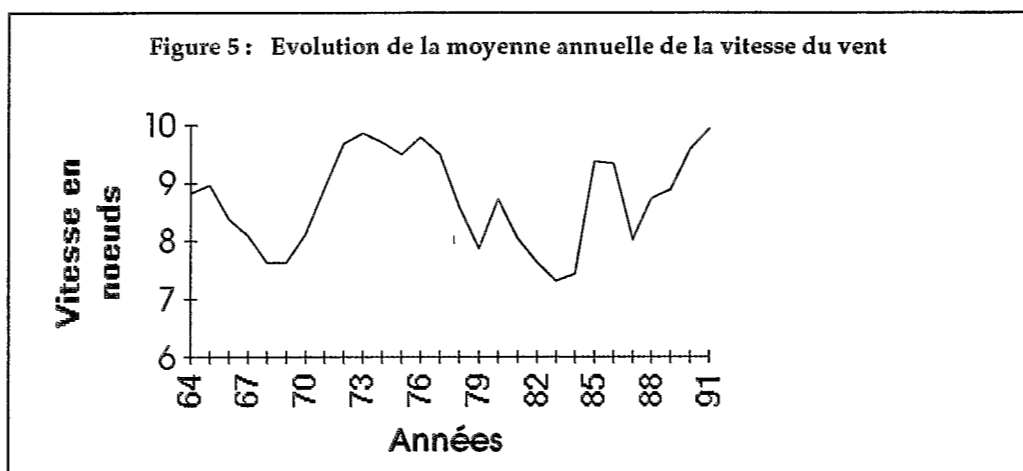


Figure 4 : Evolution des vents entre 1961 et 1991



L'évolution des vitesses moyennes par an entre 1964 et 1991 (Figure 5) montre, qu'à partir de 1965, la moyenne annuelle diminue pour atteindre des minima entre 1968 et 1969. Les vitesses les plus élevées sont relevées entre 1972 et 1977 et 1985-1986 pendant que des périodes de faible vent sont observées entre 1981 et 1984. Depuis 1988, la moyenne annuelle des vents croît.



L'indice d'upwelling calculé à partir des vents

L'upwelling identifié sur les côtes sénégalaises est un upwelling côtier (Rebert, 1983; Touré, 1983; Roy, 1989; Deme-Gningue *et al.*, 1990). A ce titre, il est principalement induit par les vents notamment les alizés. Pour cela, la théorie d'Ekman s'applique parfaitement au calcul de l'indice d'upwelling dans la zone (Teisson, 1982). En effet, le transport d'Ekman donne une bonne estimation du transport des masses d'eau par le vent (Roy, 1991) et sa composante normale à la côte est un indice de l'intensité d'un upwelling côtier (IUC).

Au Sénégal, l'intensité de la dérive des eaux côtières en direction du large conditionne partiellement l'amplitude de la résurgence des eaux profondes et le vent est le principal moteur de ce flux. Une estimation de son intensité est donnée par la composante normale à la côte du transport d'Ekman (Bakun, 1973). L'orientation de la côte par rapport au champ de vent et la vitesse du vent vont donc déterminer l'intensité de la résurgence. Des modifications de la direction du vent introduiront donc des fluctuations dans l'intensité de la résurgence. D'autres éléments tels que la topographie (largeur, profondeur, etc. du plateau continental, la présence d'un canyon, d'un cap ou d'une baie), peuvent aussi affecter de manière importante l'intensité de la résurgence (Roy, 1991). Pour ces raisons et du fait du contraste entre le nord et le sud précédemment décrit, l'intensité de la résurgence peut être différente entre le nord et le sud du Cap-Vert pour une même vitesse du vent. Ainsi donc, nous avons calculé un indice d'upwelling à partir des données de vent que nous avons collectées de 1964 à 1991, pour la partie nord et pour la zone sud du Cap-Vert afin de mieux nous rapprocher de la situation réelle dans le milieu.

Cet indice est calculé à partir de l'équation suivante:

$$IUC = rCd \cdot V^2 / 2 \cdot \Omega \cdot \sin(\phi)$$

r = densité de l'air

Cd = coefficient de rugosité

V^2 = carré de la composante du vent parallèle à la côte

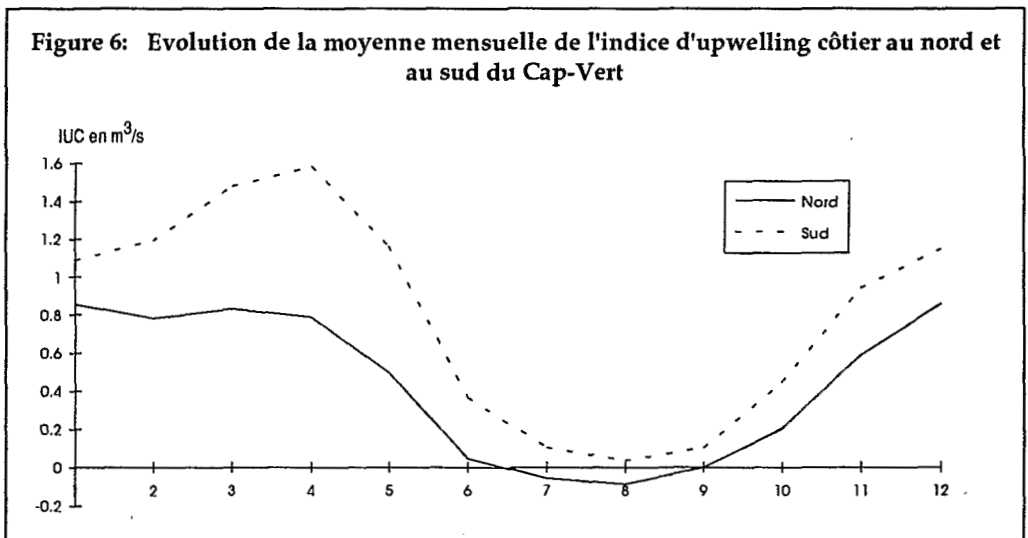
Ω = Vitesse angulaire de rotation de la terre

ϕ = latitude

Résultats

Par vents forts, cet indice est positif et croît avec l'intensité tandis que par vents faibles, on observe une évolution inverse et l'indice peut devenir négatif.

Les moyennes mensuelles de l'indice d'upwelling toutes années confondues entre 1964 et 1991 (Figure 6), montrent une forte variabilité de l'indice. Entre juin et septembre, la variabilité est plus faible. Dans la zone sud, la moyenne mensuelle des indices, toutes années confondues est positive toute l'année (entre 1.50 et 0.10), tandis que dans le nord, celle-ci s'annule ou devient négative entre juin et septembre (Figure 6). Au sud du Cap-Vert, l'indice moyen augmente de janvier à avril et de septembre à décembre. Au nord, le maximum est observé entre mars et avril. Par ailleurs, les indices moyens recueillis dans la partie sud sont plus élevés que ceux de la zone nord.



L'évolution des indices d'upwelling moyens par année (Figure 7), montre une période d'upwelling fort entre 1972 et 1977. L'indice est également fort en 1985 et

croît à partir de 1988. On note une nette prédominance de l'indice annuel moyen dans la partie sud au cours de ces années. Cependant, il évolue de la même façon dans les deux zones.

Les indices d'upwelling calculés à partir des données de vent recueillis au large par les bateaux marchands (Roy, 1992) sont plus élevés que ceux calculés à partir des données collectées à Yoff. Ils montrent qu'à partir de 1971, l'indice croît et un maximum est observé en 1973. A partir de 1975 l'indice est relativement stable et élevé aussi bien au nord qu'au sud. La différence nord-sud est relativement faible mais l'indice est généralement plus élevé au sud.

Figure 7 : Evolution de la moyenne annuelle de l'IUC.

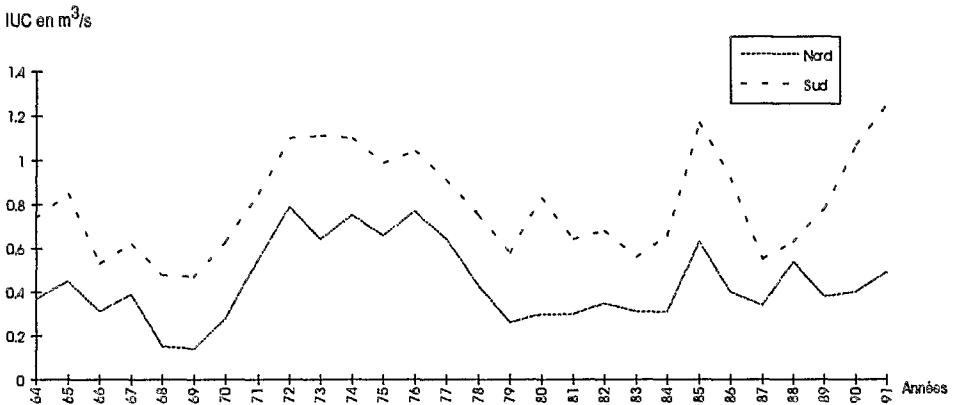
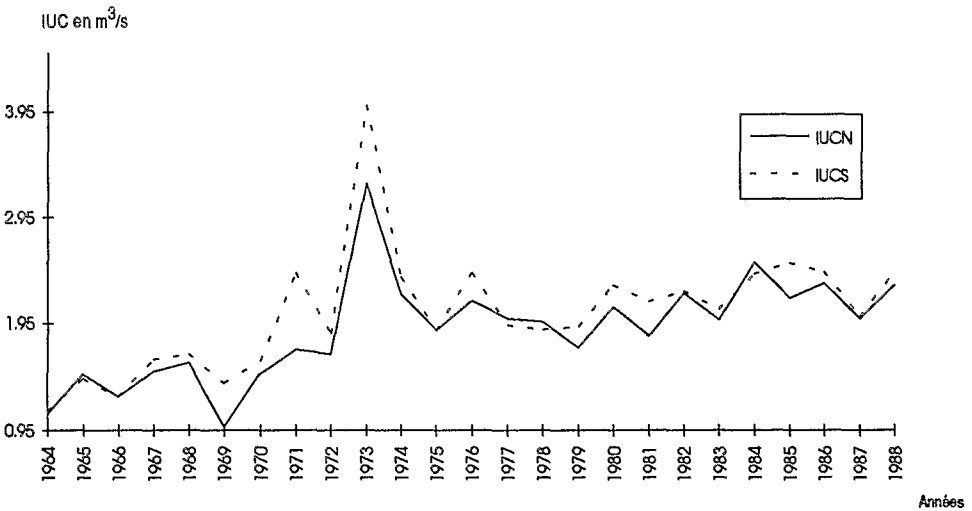


Figure 8 : Evolution de la moyenne annuelle de l'IUC calculée à partir des données des navires marchands



LA TEMPÉRATURE DE SURFACE

Les données traitées dans ce travail ont été quotidiennement collectées aux différentes stations côtières établies par le CRODT tout le long de la côte sénégalaise (Figure 2). Ces stations ont pour objectif, le suivi régulier et à moindre frais de l'hydrologie de la façade maritime. Leur établissement a été progressif et de ce fait, toutes les stations côtières ne débutent pas la même année et les décalages entre les plus récentes et les anciennes sont de dix à plus de vingt ans parfois.

Dans le présent travail, les stations côtières sont regroupées en trois régions : la grande côte comprenant les stations de Saint-Louis et Kayar, le Cap-Vert constitué par les stations de Yoff et Thiaroye et la petite côte représentée par la station de Mbour (Figure 2). Une station est choisie dans chacune des zones.

Résultats

Les moyennes mensuelles de l'ensemble des températures observées à une station toutes années confondues, montrent que celles-ci varient de façon saisonnière. Cependant, la durée de la saison froide dépend de la zone considérée (Figures 9, 10 et 11).

A Mbour, les variations autour de la médiane mensuelle entre 1952 et 1991 sont relativement faibles dans l'ensemble mais plus particulièrement en saison chaude (Figure 9). La plus forte fluctuation est observée en Février. La saison froide (température inférieure à 24°C) s'y étend de novembre à mi-mai et la température minimale y est d'environ de 19°C.

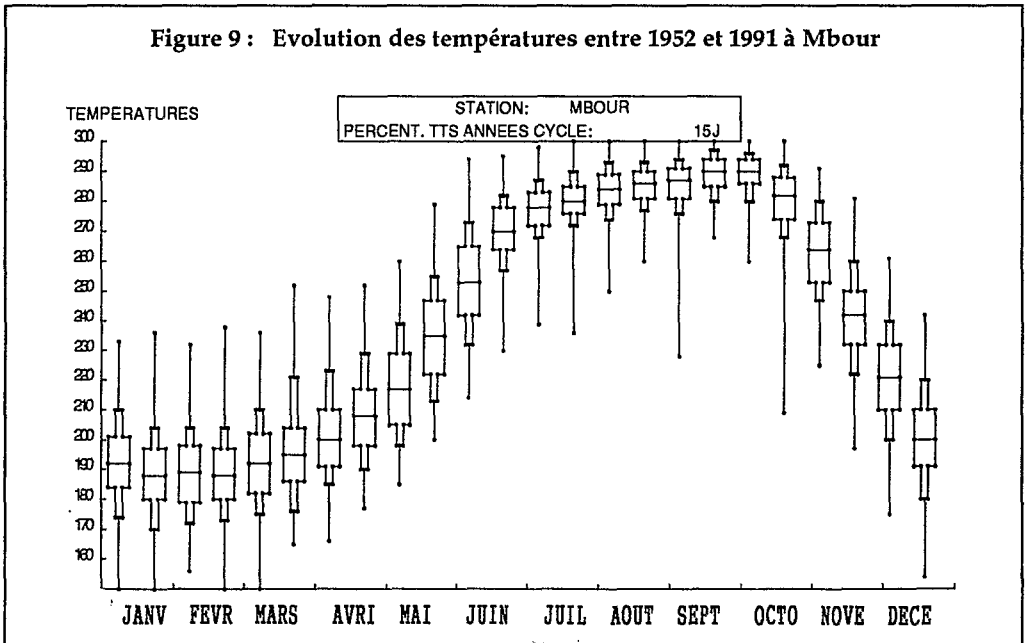


Figure 10 : Evolution des températures à Saint-Louis entre 1960 et 1991

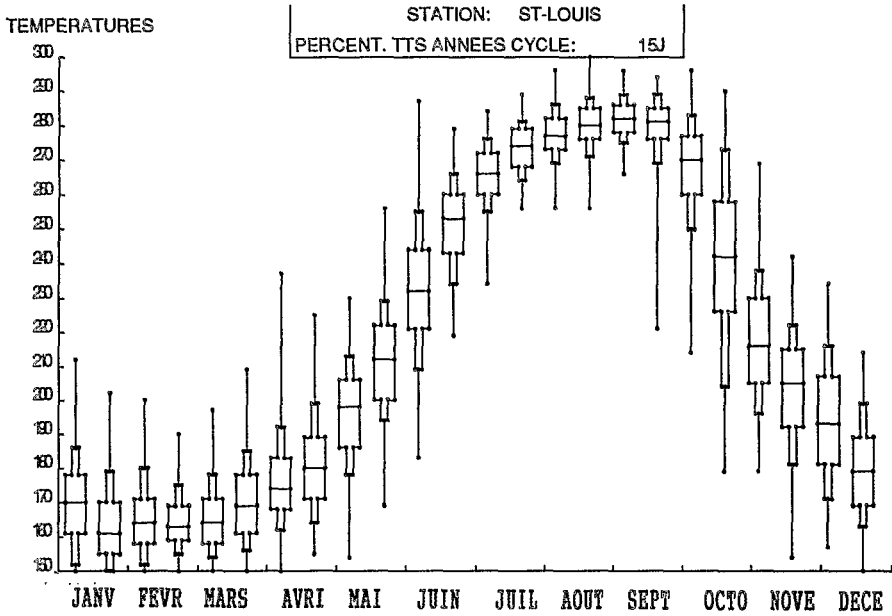
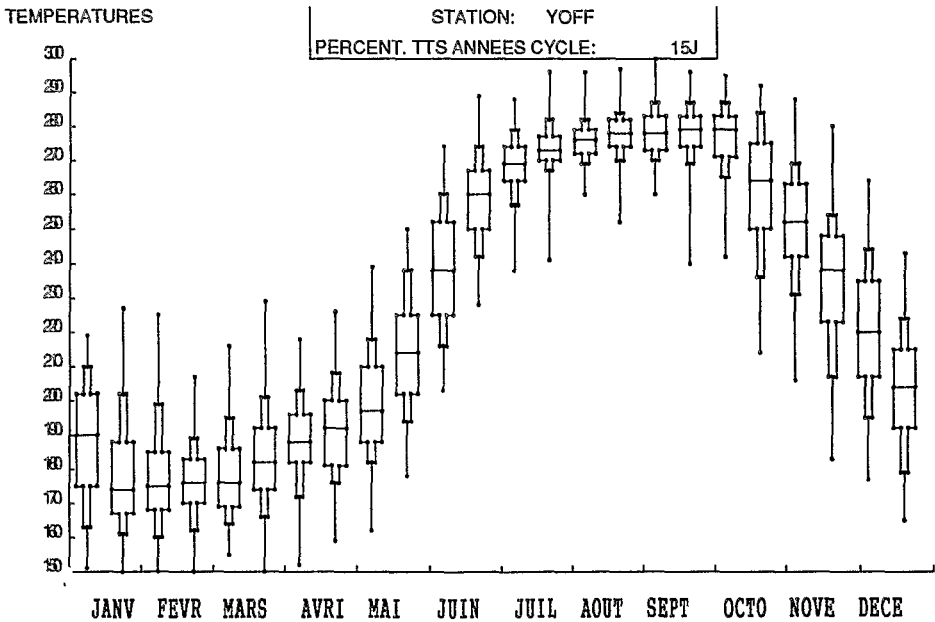


Figure 11 : Evolution des températures à Yoff entre 1974 et 1991



Par contre, aussi bien sur la grande côte (Figure 10) qu'au Cap-Vert (Figure 11), les variations sont plus grandes en début et en fin de saison froide ainsi qu'en période de transition (entre octobre et décembre puis entre avril et juin). La température minimale se situe autour de 16 °C à Saint-Louis et de 17 °C à Yoff. Ainsi, on peut noter un réchauffement progressif des températures vers le sud. La dispersion des températures en saison chaude est plus élevée dans cette zone qu'à Mbour. La saison froide y semble plus courte qu'à M'bour et s'étend de décembre à mi-avril.

Par ailleurs, on note que les températures moyennes par an sont plus élevées au sud (Figure 13). L'évolution des températures moyennes par an et toutes stations confondues (Figure 12), met en évidence des périodes de températures faibles entre 1974 et 1977 et 1985-1986. A partir de 1988, on note une baisse progressive des températures. On peut également noter que les températures moyennes par an sont relativement élevées entre 1964 et 1970 et varient très peu.

Figure 12 : Evolution de la moyenne annuelle des températures entre 1964 et 1991

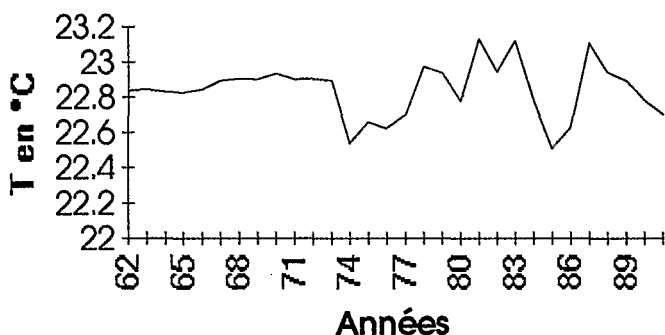
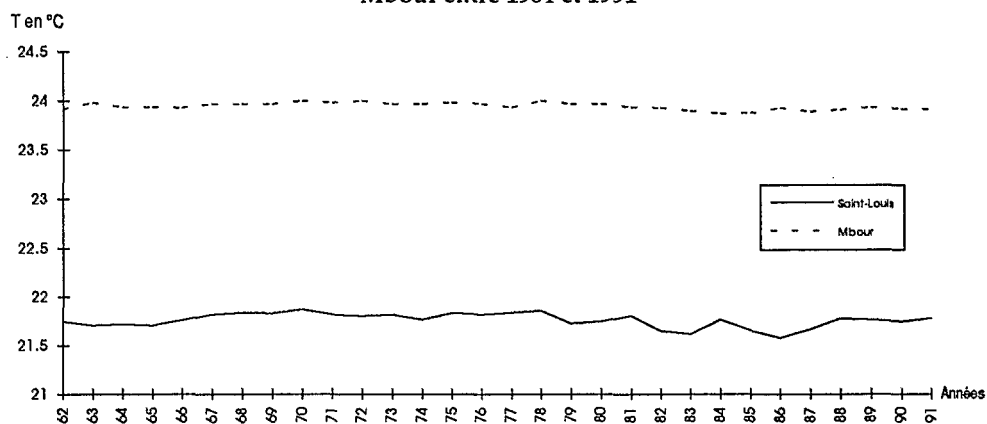


Figure 13 : Evolution de la moyenne annuelle des températures à Saint-Louis et Mbour entre 1964 et 1991



DISCUSSION

La comparaison entre les évolutions des moyennes mensuelles de température et des vitesses moyennes du vent pendant la période 1964-1991, montre que ces deux paramètres varient généralement de façon inverse. Cette situation est probablement due au fait qu'au Sénégal, les températures de l'eau sont directement influencées par l'intensité des vents pendant la majeure partie de l'année (Teisson 1982, Portlano, 1986, Roy 1989, etc).

La variabilité saisonnière des températures plus prononcée que celle des vitesses moyennes du vent (Figures 4, 9, 10 et 11) s'expliquerait par le fait que, la direction du vent et son orientation par rapport à la côte qui sont parmi les facteurs les plus déterminants de l'intensité de la résurgence (Roy, 1989) donc de la baisse des températures, ne sont pas pris en compte dans cette analyse. De même, la non prise en compte de la direction et de l'orientation du vent, expliquerait la très grande décroissance de l'indice d'upwelling entre juin et septembre pour une faible diminution de la vitesse moyenne du vent.

A une station donnée, l'évolution des moyennes annuelles du vent à Yoff entre 1964 et 1991 et celle des indices d'upwelling pour la même période, présente des similitudes avec celle des moyennes annuelles de la température pour la même période. En effet, les années pendant lesquelles l'upwelling varie dans un sens ou dans l'autre correspondent avec les trois paramètres à partir des années 1970 (Figures 5, 7, 9, 10 et 11). Cependant, quand on prend les moyennes annuelles de la température toutes stations confondues (Figure 12), on observe un petit décalage notamment en ce qui concerne la période froide des années 1970, celle-ci étant plus courte avec ces dernières données.

Par ailleurs, la période 1964-1970 pendant laquelle les indices d'upwelling et les vitesses du vent sont assez variables, correspond paradoxalement à des températures moyennes presque constantes (Figures 7, 9 et 12). Cette situation pourrait être liée au fait que les vents à Yoff sont recueillis en un point et extrapolés pour le nord comme pour le sud. Ce qui expliquerait que ces fluctuations ne soient directement perceptibles sur les variations de températures. Mais les indices d'upwelling calculés à partir des données de vent des bateaux marchands (Figure 10), donc de données recueillies au large, présentent également une variabilité relativement élevée pendant cette même période. De ce fait, la relative constance des températures entre 1964 et 1970 ne s'expliquerait pas par une relative stabilité du vent.

La similitude entre les évolutions de la moyenne annuelle des vitesses de vent et celle des indices moyens annuels de l'upwelling, serait liée au fait que nous avons raisonné sur des moyennes annuelles sans tenir compte de la période d'upwelling, ce qui minimiserait les effets de la direction du vent par rapport à la côte

Selon les indices d'upwelling côtiers, l'upwelling a généralement été plus faible au nord du Cap-vert pour la période 1964-1991. Cependant, les moyennes annuelles de la température à Mbour et à Saint-Louis donnent un signal opposé. Cette situation s'expliquerait par le fait que l'upwelling est situé au niveau du talus continental sur la côte sud alors que la remontée est perceptible à la côte sur la zone nord (Deme-

Gningue *et al.*, 1990), d'où les températures plus faibles dans cette zone alors que les indices indiquent que l'upwelling est plus fort sur la côte sud.

La plus faible variation des températures à Mbour (Figure 9) par rapport aux deux autres les secteurs de Saint-Louis (Figure 10) et de Yoff (Figure 11), viendrait de l'éloignement des sources de l'upwelling dans la zone sud (accotes du plateau continental) par rapport aux deux autres (près de la côte), ce qui minimise les écarts thermiques. La hausse progressive vers le sud du minimum de températures aux stations côtières pourrait également être expliquée par ce phénomène et confirmerait les résultats obtenus à partir des données collectées durant les campagnes "CIRSEN" (Deme-Gningue *et al.*, 1990) qui font état d'une dérive générale sud.

Avec l'affaiblissement des alizés à partir du mois de mars, on observe une chute de l'intensité de l'upwelling sur tout le plateau continental, ce phénomène pourrait être lié au changement de direction des vents qui de ce fait ne sont plus favorables à une résurgence sur la côte sénégalaise (Roy, 1989).

Les paramètres analysés dans ce travail, indiquent tous, les périodes 1972-1977 et 1985-1986 comme étant des années d'upwelling fort. De ce fait, on peut dire que les années d'upwelling faible à modéré ont été plus nombreuses au cours de la période étudiée.

Par ailleurs, ces résultats confirment la saisonnalité des facteurs hydroclimatiques sur la façade maritime sénégalaise et leur variabilité inter-annuelle. Les effets du contraste morphologique entre le nord et le sud du Cap-Vert peuvent aboutir à une mauvaise appréciation de l'intensité de l'upwelling à partir des seules données de température des stations côtières; une station située au niveau du talus continental serait mieux placée pour une bonne appréciation de la résurgence dans la zone sud.



RÉFÉRENCES

- BAKUN A., 1973: Coastal upwelling indices, west coast of North America, 1946-1971. U.S. Dept. Commer. NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-671, 103p.
- 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.
- DEME-GNINGUE I.D., ROY C. et TOURE D., 1990: Variabilité spatio-temporelle de la température, des nitrates et de la chlorophylle devant les côtes sénégalaises. *Doc. Sci. CRODT* n° 122.
- GALLARDO Y., 1981: On two marine ecosystem of Senegal, separated by a peninsula. *Doc. Sci. CRODT* N° 141-153..
- PORTALANO P., 1986: Analyses des séries vent-températures de la mer en surface des côtes sénégalaises. *Océanog. trop., ORSTOM*, 21,2 205-227.
- REBERT J. P., 1978: Vents et températures dans l'upwelling côtier ouest africain *Cah. ORSTOM* N°.
- REBERT J. P., 1983: Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais. *Doc. Sci. CRODT* n° 89.

- 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. *Doc. Sci. CRODT n°2, 166p.*
- ROY C., 1989: Fluctuation des vents et variabilité de l'upwelling devant les côtes du Sénégal. *Oceanological Acta 12 (4) 361-369.*
- ROY C., 1991 : Les upwellings: le cadre physique des pêcheries côtières ouest-africaines. In P. CURY et C. ROY eds *Variabilité, instabilité et changement dans les pêcheries ouest-africaines, ORSTOM, Paris.*
- ROY C., 1992 : Réponses des stocks de poissons pélagiques à la dynamique des upwelling en Afrique de l'ouest: analyse et modélisation. *Thèse de doctorat. Editions ORSTOM collection Etudes et Thèses. Paris 1992.*
- TEISSON C., 1982: Application de la théorie d'Ekman à l'étude des courants et des remontées d'eau profondes le long des côtes sénégalaises. *Doc. Sci. CRODT n°106, 79p.*
- TOURE D., 1983: Contribution à l'étude de l'upwelling de la baie de Gorée (Dakar Sénégal) et de ses conséquences sur le développement de la biomasse phytoplanctonique. *Doc. Sci. CRODT, n°93.*
- WOOSTER W. S., BAKUN A., MCLAIN D.R., 1976: The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of North Atlantic. *J. Mar. Res.*, 34, 131-141.

