

VARIABILITE DES CONDITIONS DE SURFACE  
DANS L'UPWELLING OUEST-AFRICAIN

par

J. P. REBERT

Communication n°100

Symposium sur le courant des Canaries :  
Upwelling et Ressources Vivantes  
N° 100

"Cette communication ne peut être citée sans autorisation  
préalable de l'auteur".

VARIABILITE DES CONDITIONS DE SURFACE DANS  
L'UPWELLING OUEST-AFRICAIN

par

J.P. REBERT

Océanographe physicien de l'O.R.S.T.O.M.

C.R.O.D.T. - B.P. 2241 DAKAR - Sénégal

R E S U M E

Les fluctuations interannuelles des conditions de vent le long de la côte ont été étudiées pour la période 1967-1976. On essaie d'y rattacher les variations des températures de surface. Pour les vents quatre stations côtières terrestres ont été utilisées : Nouadhibou, Nouakchott, Saint-Louis et Dakar. Des moyennes véto-rielles mensuelles, on déduit les composantes Nord-sud des vents responsables de l'upwelling côtier. Les moyennes mensuelles des températures de surface proviennent de stations côtières réalisées près du Cap Blanc et devant le Sénégal de 16°N à 14°N.

Les moyennes et les variances des vents sont présentées. Après filtrage les anomalies mensuelles des vents et températures sont décrites. Elles mettent en évidence l'existence d'anomalies à long terme et d'une forte variabilité. Les périodes moyennes des fluctuations sont plus courtes pour les anomalies de température que pour celles des vents. Les anomalies de vent ne sont pas homogènes le long de la côte. Elles semblent indiquer l'existence de deux régimes de vents distincts dans cette zone, l'un au large et l'autre très côtier. Les anomalies de températures de surface présentent par contre une grande cohérence.

Des corrélations entre les anomalies mensuelles de vents et de températures ont été calculées. Ces corrélations varient fortement au cours de l'année. En moyenne annuelle les fluctuations de l'upwelling côtier dû au vent expliqueraient environ 50% de la variance des températures de surface. Cependant les anomalies mensuelles de température ne dépendent pas du vent local mais des conditions de vent existant plus au nord. Comme aucune autre corrélation n'a été trouvée avec les facteurs météorologiques locaux, une partie des anomalies à long terme apparaîtrait dans la région par transport horizontal par les courants.

A B S T R A C T

Interannual fluctuations of wind conditions along the West-African Coast are studied during the 1967-1976 period. An attempt is done to connect them with the variations of sea surface temperature. Wind data collected at four coastal stations (Nouadhibou, Nouakchott, Saint-Louis and Dakar) have been processed. From the monthly vector-averaged winds, the north south component responsible for coastal upwelling are deduced. The sea surface monthly means are issued from coastal stations located near the Cap Blanc and along the Senegalese Coast from 16°N to 14°N.

The winds mean values and variances are commented. After filtering, the monthly wind and sea temperature anomalies are described. They reveal the existence of long term anomalies and wide variability. The mean periods for the temperature anomalies are shorter than those for winds. The winds anomalies are not uniform all along the coast. This suggests that in this area it could exist two kind of wind circulation, one located close to the coast and another farther offshore. Sea surface temperatures anomalies are on contrary highly coherent.

Correlations between monthly winds and s.s.t. have been computed. They vary widely throughout the year. For the yearly average, wind induced coastal upwelling would explain about 50% of the temperature variance. Monthly s.s.t. anomalies however are not dependent on local winds but are function of wind conditions farther northward. No other correlation have been found with local meteorological factors. This enhances the part of horizontal advection in the observed s.s.t. anomalies in front of the Senegal Coast.

## Variabilité des conditions de surface dans l'upwelling ouest-africain

### I. Introduction

Les premières campagnes réalisées dans la zone d'upwelling mauritanienne ont mis en évidence une forte variabilité spatiale des caractères hydrologiques. Par la suite l'implantation de stations fixes de mesure, en particulier au cours du programme JOINT, a permis de constater que celle-ci était associée à une forte variabilité temporelle. Le rôle de l'upwelling dû au vent local dans la génération de cette variabilité a été clairement démontré et résumé par A. HUYER (1976). Les fluctuations de courants et de températures à des échelles de temps allant de la journée au mois sont liées à des périodes typiques de 3 à 10 jours de vents forts (E. MITTELSTAEDT et al., 1975) induisant des mouvements verticaux pour lesquels le transport d'Ekman représente une bonne approximation (HALPERN, 1977).

D'autre part l'étude du transport moyen d'Ekman le long de la côte (WOOSTER et al., 1976), (REBERT, 1978) a montré que des phénomènes d'upwelling intense peuvent exister, au moins pendant une partie de l'année jusqu'au cap Roxo (vers 12°N). Comme nous disposons pour cette zone d'un certain nombre de stations côtières où sont effectuées régulièrement des mesures de surface nous avons tenté de déterminer si les fluctuations à plus longue période (supérieures au mois) des températures de surface pouvaient être reliées à des variations simultanées du régime des vents.

Plus précisément le but de cette étude est d'estimer dans quelle mesure la composante du vent responsable de l'upwelling permet de déterminer les anomalies à long terme des températures de surface.

## II. Données utilisées et traitement

Les vents ont été obtenus à partir des mesures effectuées à l'aéroport de quatre villes côtières - Nouadhibou, Nouakchott, Saint-Louis, Dakar - (fig. 1). La période étudiée va de 1967 à 1976. Les données de base sont les moyennes vectorielles mensuelles de 8 observations par jour (1967 à 1969 et 1976) ou 24 observations par jour (1970 à 1975). Celles-ci ont été obtenues dans les "Résumés mensuels des observations du sol" publiés par l'ASECNA ou sur bande magnétique fournie par le même organisme.

Pour les températures de la couche de surface nous avons utilisé les relevés effectués à 20 m environ aux stations Bayadère et Gazelle proches du cap Blanc (notées B et G sur la figure 1) par le Laboratoire des Pêches à Nouadhibou et les relevés de surface à la côte journaliers réalisés par le Centre de recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye à Saint-Louis, Kayar, Yoff, Thiaroye et MBour (fig. 1).

Les vents ont été décomposés en composantes nord-sud et est-ouest et leurs valeurs moyennes sur 10 ans, calculées. Pour supprimer la variation saisonnière nous avons ensuite retranché pour chaque mois cette moyenne décennale du mois considéré et obtenu ainsi une quantité que nous appelons anomalie mensuelle. Nous avons procédé de même pour les températures.

## III. Fluctuations des vents

Comme nous cherchons à étudier principalement l'influence de l'upwelling nous nous limiterons ici au traitement des fluctuations de la composante nord-sud du vent, à l'exception de Nouadhibou, station pour laquelle nous avons considéré également la composante est-ouest pour des raisons exposées plus loin. La composante nord-sud est en effet à peu près parallèle à la côte pour l'ensemble des stations. D'autre part pendant la période d'upwelling fort la direction générale des vents est à peu près nord-sud, donc les variations de cette composante représentent assez bien les variations globales de la vitesse du vent. Quant aux variations de la composante est-ouest elles représentent principalement des fluctuations de direction du vent.

L'étude du cycle annuel des vents et la question de la représentativité des stations côtières ont été présentées et discutées par ailleurs (REBERT, 1978). Notons cependant à propos de la représentativité des stations que, même s'il existe un écart entre les vents mesurés en mer et à la côte, comme on ne traite ici que des anomalies par rapport à la valeur moyenne, dans la mesure où cet écart est constant, il s'annulera par définition même des anomalies. Il est donc vraisemblable que des stations côtières soient plus représentatives des anomalies que du cycle moyen du vent en mer. On considérera donc par la suite ces anomalies comme responsables des fluctuations des upwelling côtiers locaux.

Les valeurs moyennes mensuelles et l'écart-type inter-annuel des composantes nord-sud du vent aux différentes stations sont présentées dans le tableau 1. Les fluctuations des anomalies sont illustrées en figure 2. Afin d'éliminer un bruit de fond assez important dû au fait que les vents ne sont définis qu'à  $\pm 0,5$  m/s et  $\pm 5^\circ$  près dans les R.M.O., un filtrage passe-bas HANNING (sur trois points avec les coefficients (0,25-0,5-0,25) a été effectué pour la représentation graphique. Ce filtre ayant une réponse en fréquence

$$H(f) = \cos^2 \pi f dt, \text{ avec } dt = 1 \text{ mois, la fréquence de coupure est } H(f) = \frac{1}{2} \text{ pour } T = 4 \text{ mois.}$$

Du tableau 1 il ressort que les fluctuations inter-annuelles du vent sont nettement plus fortes à Nouadhibou qu'aux autres stations. Dans cette région où l'upwelling est permanent, l'écart-type est toujours supérieur à 1 m/s avec un maximum de 2,5 m/s en juillet, c'est-à-dire à la fin de la période d'upwelling intense. Pour les autres stations l'écart-type moyen est de l'ordre de 0,7 à 1 m/s en période d'upwelling fort (février à mai) et de 0,4 à 0,8 m/s de juillet à septembre, période de vent d'ouest en majorité et où l'upwelling est quasi-nul. La figure 1 met en évidence plusieurs faits intéressants.

### 1. Composantes nord-sud

Il existe d'importantes fluctuations à long terme. Celles-ci sont les plus importantes au cap Blanc où elles s'inscrivent dans une fourchette de  $\pm 2$  m/s. Aux autres stations leur amplitude est moins grande et de l'ordre de  $\pm 1$  m/s. Les périodes moyennes de ces anomalies semblent être de l'ordre de trois ans pour Nouadhibou. A Nouakchott et Saint-Louis elles sont plus courtes, de l'ordre de un à deux ans. Quant à la station de Dakar la décennie 1967-1976 peut se diviser en deux périodes, l'une de vents faibles jusqu'en 1971 suivie d'une période de vents forts. D'après des statistiques plus anciennes, la période de vent faible avait débuté en 1964 à Dakar. On aurait donc des périodes moyennes supérieures à 7 ans.

Les anomalies ne semblent présenter aucune cohérence pour l'ensemble des stations. Deux stations aussi proches que Saint-Louis et Dakar paraissent totalement indépendantes. En fait deux groupes de stations présentent des variations tout au moins qualitatives analogues, Dakar et Nouadhibou d'une part, Nouakchott et Saint-Louis de l'autre. Pour les deux premières stations en particulier, on voit que la dernière période de vent fort a débuté vers mars 1971. Par contre le pic important observé en 1968 à Nouadhibou et qu'on retrouve bien à Nouakchott et Saint-Louis est absent à Dakar. L'étude des corrélations entre stations sera reprise plus en détail au chapitre III.

### 2. Composante est-ouest

Les fluctuations des composantes est-ouest (non représentées ici) sont du même ordre de grandeur (écart-type de 0,5 à 1 m/s). Elles présentent la même absence de corrélation.

Seules sont illustrées ici en figure 1 les anomalies est-ouest à Nouadhibou, pour les raisons suivantes :



- l'amplitude des fluctuations  $y$  est très importante (l'écart-type varie entre 1 et 2,2 m/s). On note en particulier une anomalie vers l'est au printemps 1976 supérieure à 3 m/s, sans doute en relation avec la sécheresse observée à l'époque aux latitudes plus élevées.

- alors que le plateau continental est assez étroit le long de l'Afrique de l'ouest, au sud du cap-Blanc s'étend le banc d'Arguin, vaste zone à faible profondeur où la composante du vent perpendiculaire à la côte joue sans doute un grand rôle dans la génération de l'upwelling. En effet il existe sur ce banc une circulation cyclonique thermohaline (MITTELSTAE DT, 1974) en sens inverse de la circulation verticale et horizontale due à l'upwelling, l'eau plus dense formée par évaporation tendant à couler le long du talus continental. Schématiquement donc une anomalie positive (vent d'Est) de vents tendrait à favoriser les phénomènes d'upwelling sur petits fonds. Une anomalie négative (vent d'Ouest) créant une accumulation et une plongée des eaux à la côte (piling up) tendrait à renforcer la circulation thermohaline. Cependant les vent d'Est beaucoup plus secs favoriseront une évaporation intense donc des mouvements convectifs. Les effets mécaniques et thermodynamiques du vent auront donc là des effets contraires et il est difficile d'estimer la résultante de ces actions. Ce problème nécessiterait une étude approfondie étant donnée l'importance écologique considérable du banc d'Arguin pour toute la côte mauritano-sénégalaise, en tant que nurserie de nombreuses espèces migratrices côtières.

Ces anomalies est-ouest ont des périodes caractéristiques de deux à trois ans.

On notera enfin que les anomalies nord-sud et est-ouest à Nouadhibou ne sont pas corrélées, ce qui permet de les traiter comme des paramètres indépendants.

#### IV. Fluctuation des températures

Les anomalies de température ont été définies de façon identique, et leur représentation graphique est faite en figure 3 après application du même filtre. La description des cycles annuels de température dans la région sénégal-mauritanienne a été faite par de nombreux auteurs. Pour les côtes sénégalaises rappelons que la variance des températures de surface est maximum en saison d'upwelling et minimum en saison chaude avec des écart-types respectifs de l'ordre de  $1^{\circ}\text{C}$  et  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

De la figure 3 il ressort que pour les deux stations voisines du Cap Blanc la cohérence des anomalies est très forte. Les fluctuations à long terme de ces anomalies sont de l'ordre de  $1^{\circ}\text{C}$ . Ces fluctuations sont cependant beaucoup plus brèves que celles qu'on observe dans le cycle des vents. Leurs périodes typiques sont en effet de l'ordre de 3 mois à un an, avec une tendance à des périodes plus courtes ces dernières années. Cependant ce dernier point pose le problème de la validité des données de températures. En effet, outre les nombreux mois sans mesures, l'échantillonnage moyen de ces dernières années est de 1 à 4 mesures par mois. Cela est insuffisant pour une bonne représentation de la moyenne mensuelle si, comme les autres travaux l'ont montré, une forte variance est associée à des périodes d'upwelling durant de 7 à 10 jours.

Pour les autres stations, réalisées le long des côtes du Sénégal on trouve également un bon accord qualitatif entre les anomalies de température ainsi filtrées. Ceci est plus intéressant car les stations sont nettement plus éloignées. Par exemple entre Saint-Louis et Thiaroye, pour la totalité des anomalies mensuelles le coefficient de corrélation est de 0,56, c'est-à-dire hautement significatif.

Les anomalies semblent avoir des périodes moyennes de 6 mois à un an. Il est remarquable que les amplitudes de ces fluctuations sont dans l'ensemble plus fortes qu'à Nouadhibou alors que les fluctuations de vents sont plus faibles dans cette zone. Bien qu'il n'apparaisse pas d'ailleurs de relations évidentes avec les fluctuations de vents on peut cependant remarquer qu'il y a une majorité d'anomalies froides depuis 1971, coïncidant avec la période de vents forts observés à Nouadhibou et Dakar. Ceci est particulièrement net au niveau de la presqu'île du Cap-Vert.

La cohérence entre les stations sénégalaises et celles du cap Blanc est plus faible. Elle n'est nette que pour les anomalies importantes. Ainsi 1968 est une année froide tout le long de la côte, accompagnée d'une période de vents forts, suivie de 1969, année chaude et caractérisée par des vents faibles. L'examen des figures ne permet cependant pas de préciser l'origine de la formation de ces anomalies et leur évolution le long de la côte. Ainsi en 1970 on note une très forte anomalie froide au niveau du cap Blanc, largement atténuée vers le sud. 1974 par contre est une année beaucoup plus froide au niveau du cap-Vert qu'au cap Blanc. En 1973 apparaît une forte anomalie chaude dans toute la partie sud qu'on peut suivre jusqu'au cap Blanc. Cependant cette anomalie ne peut s'expliquer, si l'on se réfère à l'upwelling côtier, que par une période de vents faibles de Nouakchott à Saint-Louis.

L'ensemble des phénomènes paraît donc assez complexe. En particulier il n'est pas possible de déterminer a priori si ces anomalies sont dues à des phénomènes d'upwelling ou à d'autres processus de refroidissements.

## V. Corrélations

Il faut donc essayer de préciser le rôle des vents dans ces refroidissements, compte tenu du fait que le régime des vents et le régime hydrologique sont variables au cours de l'année, plus particulièrement dans la partie sud où l'upwelling n'est qu'intermittent.

Nous avons donc calculé les corrélations mensuelles entre les anomalies de vent aux diverses stations et celles des températures de surface et des vents, pour examiner si certains mois étaient mieux corrélés que d'autres, en particulier au cours de la période d'upwelling de la saison d'alizés.

### 1. Corrélations des vents entre eux.

Les coefficients de corrélation entre les anomalies mensuelles (non filtrées) de la composante nord-sud du vent aux différentes stations figurent dans le tableau 2. Ils sont calculés entre stations contiguës et entre Dakar et Nouadhibou. Ce coefficient est théoriquement significatif au niveau 95% pour des valeurs supérieures à 0,6. Mais comme on ne dispose que de 10 années de mesures, l'incertitude sur ce coefficient est très grande. On aura donc intérêt à considérer des groupes de coefficient plutôt que des mois pris isolément. Ce tableau met en relief plusieurs faits intéressants.

- Les coefficients de corrélations mensuels sont pratiquement tous positifs et varient entre 0 et 0,8. On a donc au mieux 60% de la variance des vents qui leur soit commune.

- Les stations de Nouadhibou et Nouakchott ont des régimes de vent à peu près totalement indépendants. Dakar et Saint-Louis ne sont guère mieux corrélées sauf au mois d'octobre.

- Une bonne corrélation existe en général entre les stations de Dakar et Nouadhibou et à un degré moindre entre Saint-Louis et Nouakchott, en particulier en début de saison d'upwelling. Ceci rejoint les conclusions que l'on pouvait tirer de l'examen de la figure 2.

- Les corrélations varient fortement au cours de l'année. Ainsi les mois de novembre et décembre ne sont pas corrélés. Ils correspondent d'ailleurs à une période de vents assez faibles et irréguliers le long de la côte. La corrélation d'ensemble est assez bonne en début de période d'upwelling (janvier à mars) et décroît à partir du mois d'avril. Pour les stations de Dakar et Nouadhibou, assez curieusement les corrélations sont très fortes en été (juillet-octobre) alors que Dakar est situé à cette saison au sud du F.I.T., dans la zone de convergence intertropicale (ITCZ) avec un régime de vents d'Ouest. L'influence des alizés du nord-est donc perceptible jusque dans cette zone, processus que l'on peut tenter de mettre en rapport avec les phénomènes de sécheresse au sahel.

- Le mois le mieux corrélé pour l'ensemble de la partie sud est le mois d'octobre. Il correspond à la transition entre le régime de vents d'ouest et d'alizés du nord. La corrélation indique que l'installation des alizés liée à la descente plus ou moins précoce du FIT est quasi en phase pour ces stations. Notons que la période inverse correspondant à la montée du FIT vers le nord (mai-juin) est nettement moins bien corrélée.

## 2. Corrélations vents-températures

Aux stations réalisées au niveau du cap Blanc les fluctuations de température semblent très peu corrélées avec celles de l'une ou l'autre des composantes du vent local. Il n'est pas possible entre autres d'estimer a priori quelle composante joue le rôle principal. Un calcul de corrélations partielles entre ces paramètres aurait été intéressant, mais il n'a pas été tenté, compte tenu des réserves exprimées sur la représentativité des températures. Etant donnée la forte similitude entre les deux stations, il est d'ailleurs probable qu'elles sont toutes deux plus représentatives de l'hydrologie de la baie du Lévrier que de celle des eaux du large.

Pour la partie sud une seule station de mesures couvre toute la période étudiée, celle de Thiaroye située au sud du cap Vert (outre celle de Mbour qui est cependant située trop au sud). On a donc étudié les corrélations entre les anomalies mensuelles de température (non filtrées) à cette station et celles des vents mesurées à Dakar, Saint-Louis et Nouadhibou. Les résultats figurent dans le tableau 3.

Ces résultats sont a priori très confus. Les anomalies de température semblent plus ou moins bien corrélées avec l'ensemble des anomalies de vent observées aux trois stations. Les coefficients de corrélation sont très variables au cours de l'année, le mois de septembre est même caractérisé par des coefficients positifs.

Les vents étant eux-mêmes plus ou moins corrélés, nous avons, pour tenter d'éclaircir la situation, calculé des corrélations partielles entre les anomalies de température et celles des vents à deux stations quelconques prises deux à deux. Elles ne sont pas présentées ici mais confirment en gros les résultats du tableau 3, c'est-à-dire :

- l'ensemble des coefficients est en général négatif. Une diminution des températures est donc bien associée à une augmentation générale des vents. Mais la variance expliquée par cette relation est assez faible (inférieure à 60%).
- En septembre, décembre et janvier les variations de température sont indépendantes du régime des vents.
- En période d'upwelling fort (mars-avril) les températures sont liées principalement aux vents soufflant à Nouadhibou; les pentes des droites de régression sont de l'ordre de  $0,6^{\circ}\text{C m/s}$ .

- En début de saison chaude (juillet-août) la liaison est forte avec les vents à Saint-Louis. Ce résultat est assez surprenant puisque à cette époque les eaux appartiennent à une branche côtière du contre-courant équatorial qui se dirige généralement vers le nord. Il est donc possible que cette corrélation indique des changements du régime des courants.

- Mai et octobre sont les seuls mois où les températures sont bien reliées au vent local. Il s'agit d'un cas particulier. En effet pour ces mois la distribution des anomalies n'est pas gaussienne mais nettement bimodale. Elle représente un changement de masses d'eau plus ou moins précoce ou tardif. La corrélation confirme le synchronisme entre l'apparition des eaux chaudes du contre-courant équatorial et le retrait des alizés en mai et le phénomène inverse en octobre.

Pour les mois de décembre et janvier où aucune corrélation n'a été observée entre vents et températures, on a recherché s'il pourrait en exister avec d'autres paramètres météorologiques éventuellement responsables du refroidissement des eaux tels que le vent total, la composante est-ouest, l'insolation ou l'évaporation locale. Les résultats sont totalement négatifs. Les vents étant eux-mêmes très irréguliers à cette époque, il est vraisemblable que ces anomalies ne se forment pas dans cette région mais y apparaissent par l'advection horizontale du courant des Canaries.

Il faut d'ailleurs noter qu'un phénomène particulier peut perturber les relations existant entre upwelling côtier et températures de surface. En effet au niveau du cap Vert se superposent à l'upwelling dû au vent un ensemble de processus de mélange et de mouvements verticaux dûs à un effet de cap. Ceux-ci se traduisent par un refroidissement supplémentaire des eaux de surface lié sans doute à la stratification des eaux et à la vitesse du courant en ce lieu (elles-mêmes reliées de façon globale aux vents soufflant dans l'est-atlantique). Ainsi en période d'upwelling la différence moyenne de températures de surface au nord et au sud de la presqu'île est de l'ordre de 2°C.

### 3. Anomalies annuelles

L'ensemble des corrélations a aussi été calculé pour les valeurs des anomalies annuelles de vent et de température de surface (Tableau 4). On retrouve des résultats analogues à l'échelle de l'année : il existe une très forte corrélation (0,93) entre les anomalies de vent à Nouadhibou et Dakar, moyenne (0,53) entre Nouakchott et Saint-Louis. Les anomalies de température au niveau du cap Vert sont pratiquement indépendantes du vent local et sont reliées aux anomalies nord-sud des vents observés aux stations situées plus au nord, principalement à Nouadhibou. Ces derniers vents expliqueraient 50% de la variance des moyennes annuelles des températures de surface au cap Vert. Ces fluctuations ont cependant un écart-type de 0,6°C seulement, c'est-à-dire faible par rapport aux fluctuations à court terme (plusieurs degrés) et à la variation saisonnière (12°C).

### V. Conclusion

Le régime général des vents, donc les phénomènes d'upwelling côtiers, devant la Mauritanie et le Sénégal ne peut pas être considéré comme homogène. En fait le régime d'alizés dans la région côtière est caractérisé par un fort gradient zonal, puisqu'il pénètre assez peu sur le continent. Le fait que les deux groupes de stations bien corrélées aient des situations méridiennes voisines indique que de tels gradients existent sans doute également pour les anomalies. Les vents aux stations de Nouakchott et Saint-Louis subissent vraisemblablement des effets continentaux qui ne se retrouvent que très atténués aux stations de Nouadhibou et Dakar qui seraient représentatives du régime d'alizés existant plus au large. Se pose alors évidemment le problème de la limite exacte en mer de ces deux catégories d'anomalies. Toutefois le plateau continental étant très étroit au sud du cap Timiris on peut supposer que les anomalies de vent observées à la côte se retrouveront bien sur l'ensemble du plateau donc induiront l'upwelling côtier.



Les températures de surface et leurs fluctuations présentent par contre une grande homogénéité pour toute la zone sud. Comme celles-ci paraissent d'autre part assez mal corrélées et de façon très variable au cours de l'année avec l'ensemble des vents dominants dans la région, plusieurs interprétations restent possibles.

La base de temps choisie - ~~moyenne mensuelle~~ - peut être inadéquate. Etant donnée la forte variabilité du phénomène moteur et ~~compte - tenu~~ du fait que les interactions ne sont pas linéaires (l'upwelling étant théoriquement proportionnel au carré de la vitesse du vent) on peut se trouver dans un domaine de fréquence où la cohérence est très faible. D'autres paramètres océaniques peuvent être plus importants (stratification, courant géostrophique) pour les fluctuations à long terme. L'upwelling côtier ne représenterait qu'une petite contribution au refroidissement de surface venant se superposer aux phénomènes précédents. Les analyses futures devront donc porter sur l'ensemble des domaines de fréquence.

Les fluctuations de vent ~~obéissant~~ à des lois différentes le long de la côte, il faudrait pour calculer le transport vertical connaître l'ensemble du champ de vent afin d'en déduire la totalité des convergences et divergences qui en résultent. La couche de surface en intégrant l'ensemble de ces effets pourrait alors présenter des anomalies relativement homogènes sur des échelles de temps et de distance plus forte. Cela expliquerait notamment que les anomalies de température observées sont corrélées à l'ensemble des vents côtiers plus au nord.

Enfin une partie des anomalies de température de surface ne résulte vraisemblablement pas de l'upwelling côtier, en particulier quand les vents sont faibles et irréguliers. Le fait que les anomalies peuvent persister, bien qu'atténuées, même dans les eaux chaudes du contre-courant équatorial en l'absence d'upwelling tend à prouver qu'elles feraient partie d'ensembles plus vastes intéressant toute la circulation de l'est-atlantique. Il n'est d'ailleurs pas impossible que les fluctuations à long terme des températures de surface déterminent une partie du champ de vent dans la zone côtière.

B I B L I O G R A P H I E

- HALPERN B., 1977.- Description of wind and of upper ocean current and temperature variations on the continental shelf off North-West Africa during March and April 1974. J. Phys. OC. Vol. 7 N° 3.
- HUYER A., 1976.- A comparison of upwelling events in two locations : Oregon and North-West Africa.  
J. Mar. Res. Vol 34 N° 4.
- E. MITTELSTAEDT E., PILLSBURY D., SMITH R.L., 1975.- Flow patterns in the North-West African upwelling area.  
D.T. Hydrogr. Zeit. Band 28, reft 4.
- MITTELSTAEDT E., 1974.- Some aspects of the circulation in the Nord-West African upwelling area off Cap Blanc.  
Tethys 6 (1-2).
- REBERT J.P. (1978).- Vents et températures de surface dans l'Upwelling côtier Ouest-Africain.  
Soumis aux cahiers O.R.S.T.O.M.
- W.S. WOOSTER, A. BAKUN, D.R. Mc LAIN ; 1976.- The seasonal Upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic.  
J. Mar. Res. Vol. 34 N° 2.

Tableau 1 : Composantes nord-sud moyennes du vent (1967-1976) aux stations côtières, et écart-type interannuel en m/s

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nouadhibou nord-sud $\bar{m}$	4,1	5,7	7,1	7,9	9,5	9,3	7,7	7,2	6,7	6,3	4,9	4,3
s	1,6	1,4	1,5	1,5	1,4	1,8	2,5	1,2	1,0	1,6	1,2	1,1
Nouadhibou est-ouest $\bar{m}$	2,4	1,5	0,5	0,2	0,3	0	-0,3	-0,5	-0,1	0,6	0,9	1,8
s	1,3	1,8	2,2	1,7	2,2	1,6	1,6	1,1	1,0	1,0	1,5	1,0
Nouakchott $\bar{m}$	3,2	3,4	3,9	3,9	4,0	2,5	0,5	0,3	1,1	2,4	2,9	3,1
s	0,5	0,7	0,6	0,6	0,9	0,5	1,3	0,8	0,6	0,7	0,4	0,5
Saint-Louis $\bar{m}$	2,7	3,6	4,6	5,0	4,3	2,1	1,1	0,9	1,0	2,1	3,0	2,1
s	0,7	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,4	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
Dakar $\bar{m}$	4,3	4,5	5,2	5,3	4,5	2,3	1,3	0,4	0,9	2,2	3,9	4,5
s	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	0,5	0,6	0,4	0,7	0,6	0,6	0,6

Tableau 2 : Coefficients de corrélations entre les anomalies mensuelles de vent (nord-sud) observées aux différentes stations.

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nouadhibou Nouakchott	0,36	-0,29	0,43	0,08	0,06	0,42	0,08	-0,07	0,51	0,36	0,20	0,61
Nouakchott Saint-Louis	0,68	0,84	0,39	0,15	0,53	0,26	0,45	0,52	0,46	0,80	0,14	0,17
Saint-Louis Dakar	0,49	0,33	0,25	0,27	0,52	0,56	0,20	0,21	0,48	0,62	-0,08	-0,03
Dakar Nouadhibou	0,71	0,46	0,80	0,57	0,47	0,38	0,81	0,69	0,55	0,73	0,30	-0,01

Tableau 3 : Coefficients de corrélation r et pente de la droite de régression (°C/m/s) entre les températures de surface mensuelles à Thiaroye et les vents (nord-sud) aux stations côtières.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nouadhibou r	-0,50	-0,31	-0,84	-0,81	-0,56	-0,52	-0,40	-0,23	0,35	-0,32	-0,18	-0,59
p	-0,33	-0,14	-0,61	-0,66	-0,66	-0,50	-0,12	-0,12	0,18	-0,13	-0,18	-0,62
St-Louis r	-0,66	-0,39	-0,25	-0,71	-0,32	-0,12	-0,73	-0,78	0,51	-0,39	-0,78	-0,54
p	-1,07	-0,78	-0,37	-1,08	-1,32	-0,27	-1,48	-0,85	0,44	-0,49	-1,45	-1,31
Dakar r	-0,43	-0,70	-0,63	-0,59	-0,86	0,18	-0,27	-0,48	0,08	-0,79	0,02	0,22
p	-0,59	-0,59	-0,80	-0,82	-1,35	0,61	-0,37	-0,75	0,14	-0,91	0,20	0,48

Tableau 4 : Corrélations entre anomalies annuelles (1967-1976)

VENTS N-S	NOUAK- CHOTT	St. LOUIS	DAKAR	Température Thiaroye	
				r	p(°C/m/s)
NOUADHIBOU	0,22	0,30	0,93	- 0,72	- 0,4
NOUAKCHOTT		0,53	0,05	- 0,53	- 0,9
St-LOUIS			0,08	- 0,58	- 1,1
DAKAR				- 0,25	- 0,3

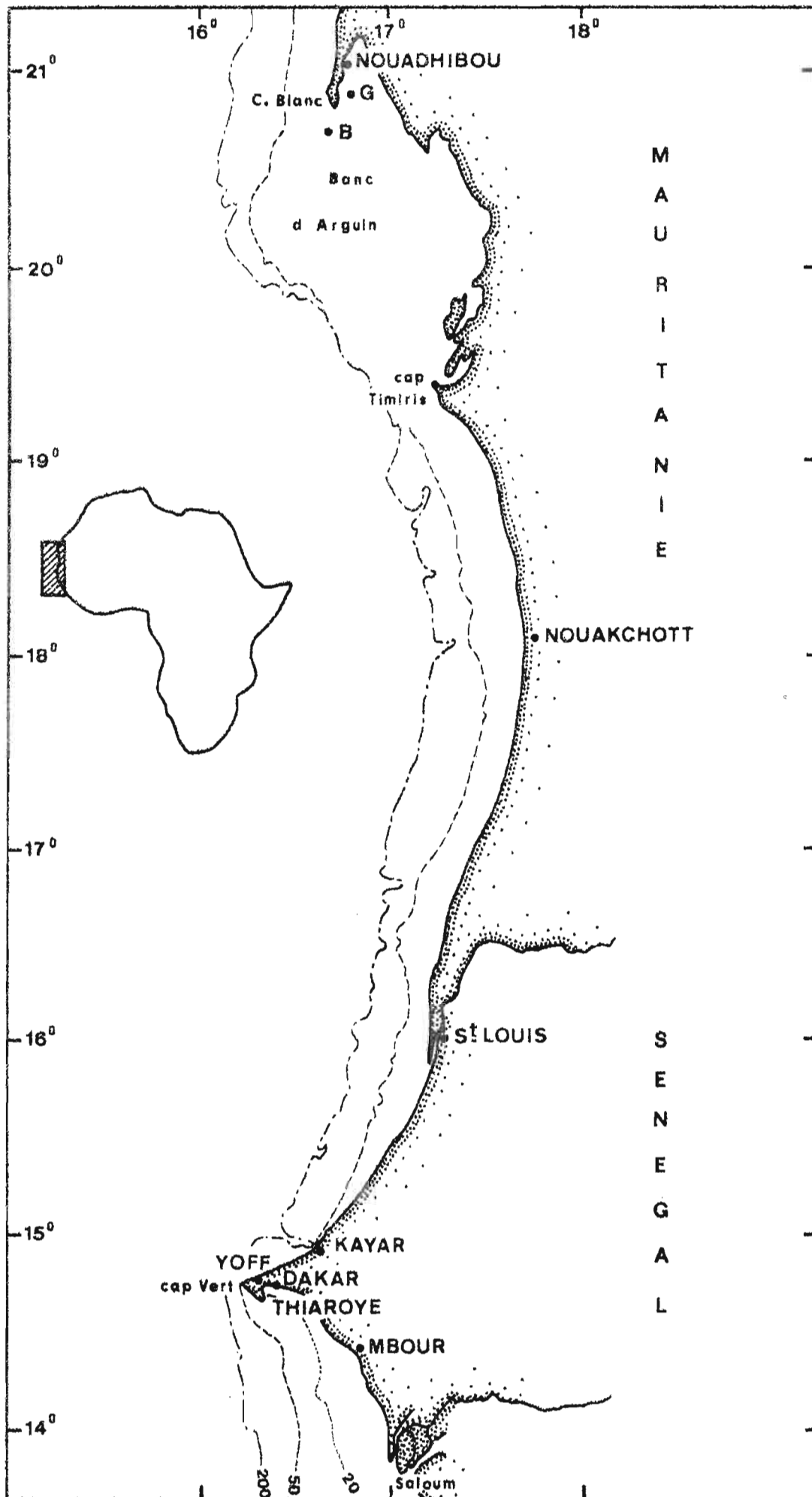


Fig. 1- Position des stations de mesures des vents et des températures de surface.

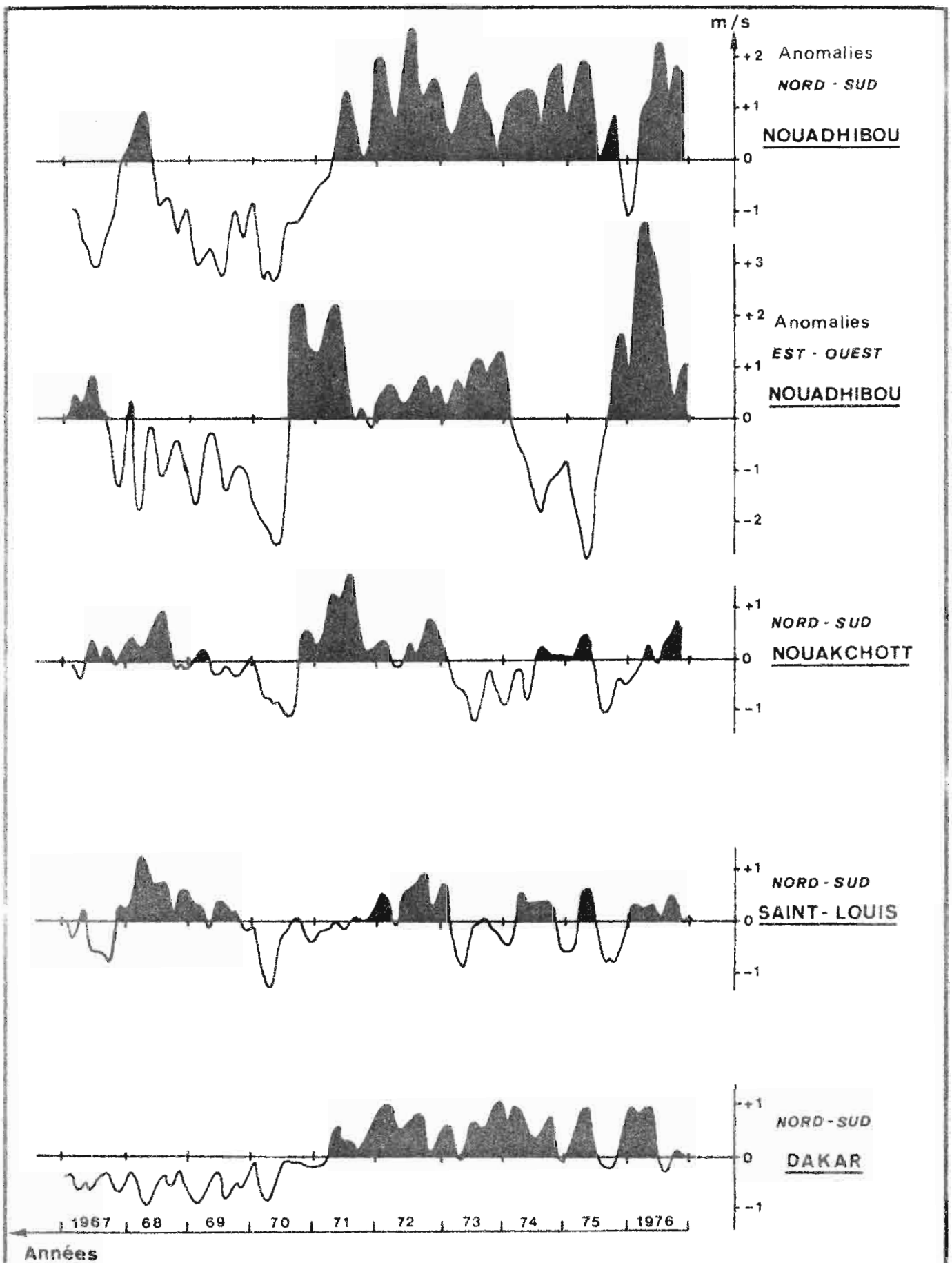


Fig. 2- Anomalies filtrées des composantes Nord- sud et Est- ouest des vents observés aux stations côtières (positives vers le Nord et l' Est ).

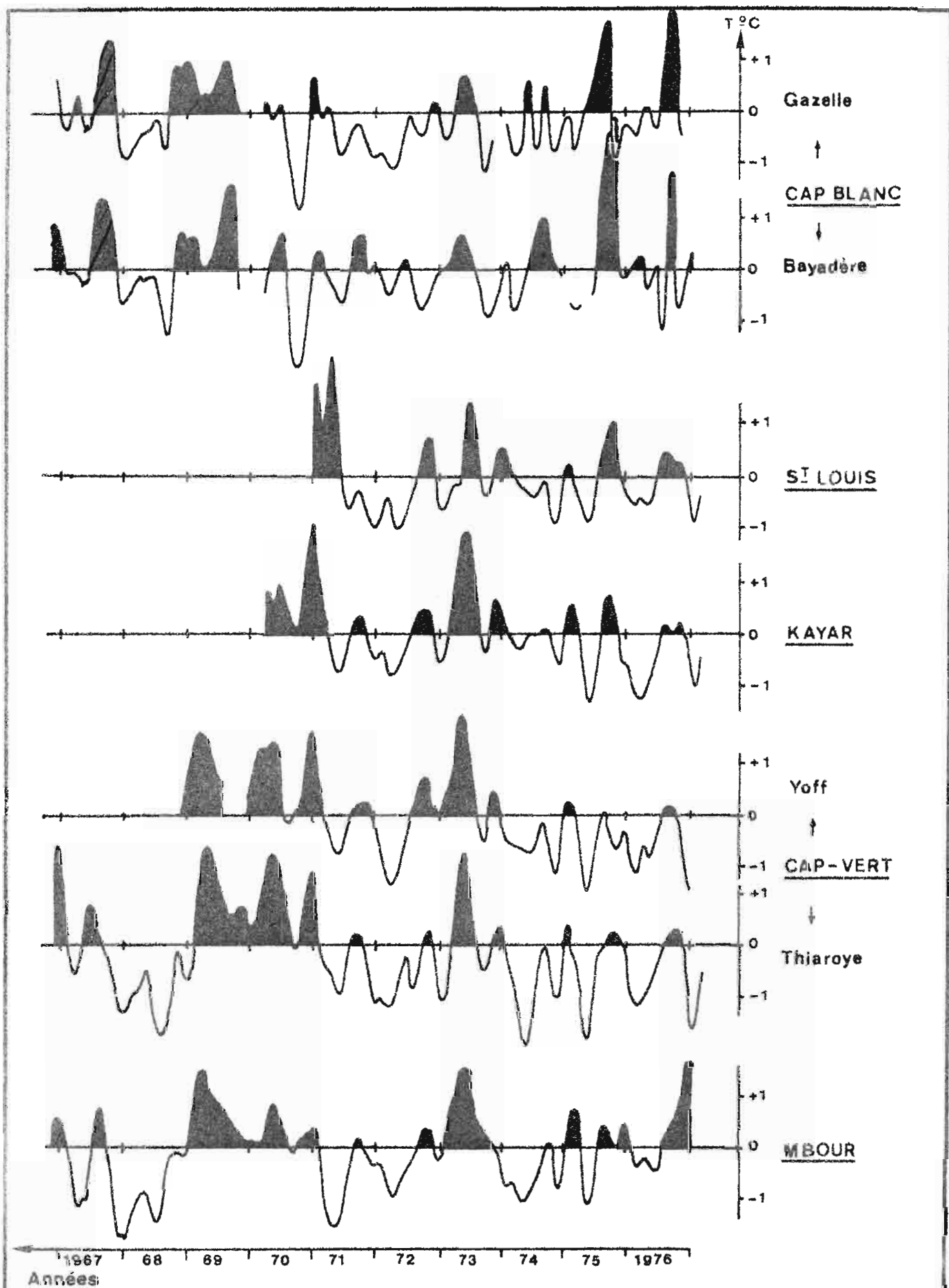


Fig. 3- Anomalies filtrées des températures de surface le long des côtes du Sénégal, et au cap- Blanc.



Vent à DAKAR : composante N.-S. en m/s

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1967	3,5	4,7	3,9	4,9	3,9	1,5	1,0	0,0	0,6	1,9	3,0	3,9
1968	4,0	3,9	4,9	3,8	3,5	1,9	0,4	0,5	0,2	1,3	4,0	4,0
1969	3,0	3,8	3,8	5,0	3,5	2,6	0,4	-0,4	0,2	1,9	3,0	4,0
1970	4,6	3,3	4,8	3,9	3,8	2,1	1,2	0,4	0,6	2,2	3,6	4,5
1971	3,9	4,1	5,1	5,2	5,6	1,9	2,0	0,4	1,2	1,8	4,7	4,7
1972	5,2	5,3	6,1	5,9	4,9	2,8	2,0	1,0	2,2	2,3	3,9	4,6
1973	4,5	5,1	5,5	5,7	3,6	2,9	2,0	0,7	1,7	2,6	4,9	5,7
1974	5,0	4,8	6,2	6,3	4,9	2,9	1,4	0,9	1,2	3,3	4,3	4,0
1975	4,1	4,5	5,5	6,1	5,7	2,2	1,1	0,4	0,8	1,8	4,2	4,5
1976	5,2	5,6	5,9	6,0	6,0	2,3	1,5	0,0	0,3	2,9	3,5	4,7
Moy.	4,3	4,5	5,2	5,3	4,5	2,3	1,3	0,4	0,9	2,2	3,9	4,5

Vent à SAINT-LOUIS composante N.-S. en m/s

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1967	1,5	3,9	4,0	5,9	3,8	1,4	0,7	0,0	0,0	1,5	3,9	3,1
1968	2,6	4,9	5,9	5,9	5,6	2,6	1,7	2,0	1,0	1,9	4,0	3,8
1970	2,8	4,0	5,0	4,7	3,9	3,1	1,0	1,0	1,3	1,9	3,0	2,8
1971	3,1	2,1	3,8	3,2	3,5	1,7	1,0	0,7	1,0	2,3	2,5	2,6
1972	3,6	3,9	4,9	4,7	4,3	3,1	1,6	1,3	2,1	2,8	2,9	3,8
1973	3,3	4,7	3,9	4,6	2,8	1,9	1,2	0,5	1,3	2,0	2,7	2,9
1974	2,2	2,8	5,6	5,5	4,5	2,6	1,3	1,3	1,3	2,4	3,1	2,4
1975	2,1	3,1	4,1	5,8	5,6	1,0	0,4	0,1	0,1	1,2	2,7	3,1
1976	3,1	3,8	5,0	4,9	4,9	2,0	0,9	1,4	1,3	3,0	1,9	
Moy.	2,7	3,6	4,6	5,0	4,3	2,1	1,1	0,9	1,0	2,1	3,0	3,1

FIRATA - Au lieu de 1970 et 1971, lire respectivement 1969 et 1970  
Ajouter la ligne suivante pour l'année 1971 :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2,7	3,2	4,6	4,8	4,6	4,5	1,4	0,7	1,0	2,0	3,2	3,0

Vent à NOUADHIBOU : composante N.-S. en m/s

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1967	1,9	5,6	5,9	6,0	7,9	6,9	4,9	6,0	5,0	5,0	4,7	4,7
1968	3,8	6,9	7,5	9,0	10,0	9,0	5,6	6,9	5,9	4,0	4,0	4,0
1969	1,9	4,0	5,0	6,0	8,0	6,9	4,7	5,6	5,9	4,9	3,0	3,0
1970	4,5	3,2	4,7	5,9	6,9	6,9	6,7	5,6	5,6	4,7	4,4	3,4
1971	3,9	5,3	6,7	7,5	9,9	10,6	8,8	8,0	7,5	5,6	4,5	5,3
1972	7,0	7,2	8,6	8,7	9,7	10,7	10,5	9,3	7,6	7,2	6,3	6,2
1973	4,8	6,4	7,7	7,8	11,2	9,6	10,0	7,7	7,5	7,3	4,7	3,8
1974	5,4	6,8	8,1	9,3	10,5	10,8	8,4	7,4	7,5	7,7	7,2	5,1
1975	5,0	6,9	9,1	9,8	10,8	10,8	5,8	8,5	6,7	7,7	4,8	3,0
1976	3,2	4,5	7,8	9,4	10,3	10,8	11,8	7,0	8,0	8,9	5,6	
Moy.	4,1	5,7	7,1	7,9	9,5	9,3	7,7	7,2	6,7	6,3	4,9	4,3

Vent à NOUAKCHOTT : composante N.-S. en m/s

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1967	2,6	3,9	3,0	3,8	4,9	2,0	0,7	0,7	1,3	2,0	3,0	3,5
1968	3,5	4,0	4,0	3,8	4,9	3,1	1,4	1,5	1,0	2,0	2,8	3,0
1969	2,8	3,9	3,8	4,0	3,8	2,0	0,7	0,0	1,0	1,7	2,8	3,1
1970	3,5	2,1	3,4	3,3	2,7	2,2	-1,0	-0,5	-0,2	3,4	3,2	3,4
1971	3,6	3,4	4,9	5,2	5,3	3,3	3,0	1,2	1,4	2,1	3,3	3,0
1972	3,7	3,8	4,0	3,7	3,6	3,2	0,8	-0,1	2,2	2,8	3,5	3,8
1973	3,5	3,6	3,2	3,6	3,0	2,3	-1,2	-0,7	1,2	2,1	1,9	2,5
1974	2,2	2,4	4,5	2,9	2,9	2,5	0,4	0,9	1,2	2,3	2,9	3,2
1975	3,2	3,3	4,4	4,5	4,1	2,2	-0,7	-0,8	0,6	1,8	2,7	2,2
1976	3,2	3,1	3,9	4,3	4,3	1,9	1,0	0,5	1,3	3,8	2,8	
Moy.	3,2	3,4	3,9	3,9	4,0	2,5	0,5	0,3	1,1	2,4	2,9	3,1