

REGIME THERMIQUE DE L'HYDROLOGIE DE LA BAIE DE GOREE (SENEGAL)

Par

Diafara TOURE

Chercheur *de l'ISRA*

Direction *des* Recherches sur les Productions Halieutiques



RESUME

Le régime thermique de l'hydrologie de la baie de **Gorée** (Dakar-SENEGAL) est principalement déterminé par les vents qui gouvernent la dynamique des masses d'eau. Dans le régime des vents on distingue trois moments principaux :

- la période des vents irréguliers en force comme en direction (Juin-Septembre) où le rayonnement solaire détermine le réchauffement des eaux de surface ;
- la période où les vents sont de secteur nord mais irréguliers en intensité (Octobre-Novembre). Le refroidissement des eaux de surface se fait principalement par **convection** thermique ;
- la période des vents forts de secteur nord (Décembre-Mai) qui engendrent un upwelling et provoquent une baisse sensible de la température des eaux de surface.

SUMMARY

The thermal regime of hydrology in the bay of Gorée (Dakar-SENEGAL) is mainly determined by

the winds, which **control** the dynamics of the water masses and which show three separated periods :

- the period of **irregular** winds (both **velocity** and direction) (June- September) where the **solar** radiation determines the heat content of surface water ;
- the period of **north** winds with unstable speed (Oct.-Nov). The cooling of the surface waters is mostly due to thermal **convection** ;
- the period of strong stable north winds (December to **May**) which generate an upwelling with markedly lower **sea-surface** temperature.

RESUMO

O regime térmico de hidrologia da bahia de Gorée (Dakar-Senegal) é principalmente determinado pelos **ventos** que governam a dinâmica das massas d'água. No regime dos **ventos** destacam-se três momentos principais :

- o período dos **ventos** irregulares em força como em **direcção** (junho-setembro) em que a **irradiação** solar determina o aquecimento das águas superficiais.
- o período em que os **ventos** são do sector norte com irregulares em intensidade (outubro-Novembro). O esfriamento das águas superficiais acontece principalmente por **convecção** térmica
- o período dos **ventos** fortes do sector norte (Dezembro-Maio) que **causam** um upwelling e provocam uma baixa **sensível** da temperatura das águas **superficiais**.

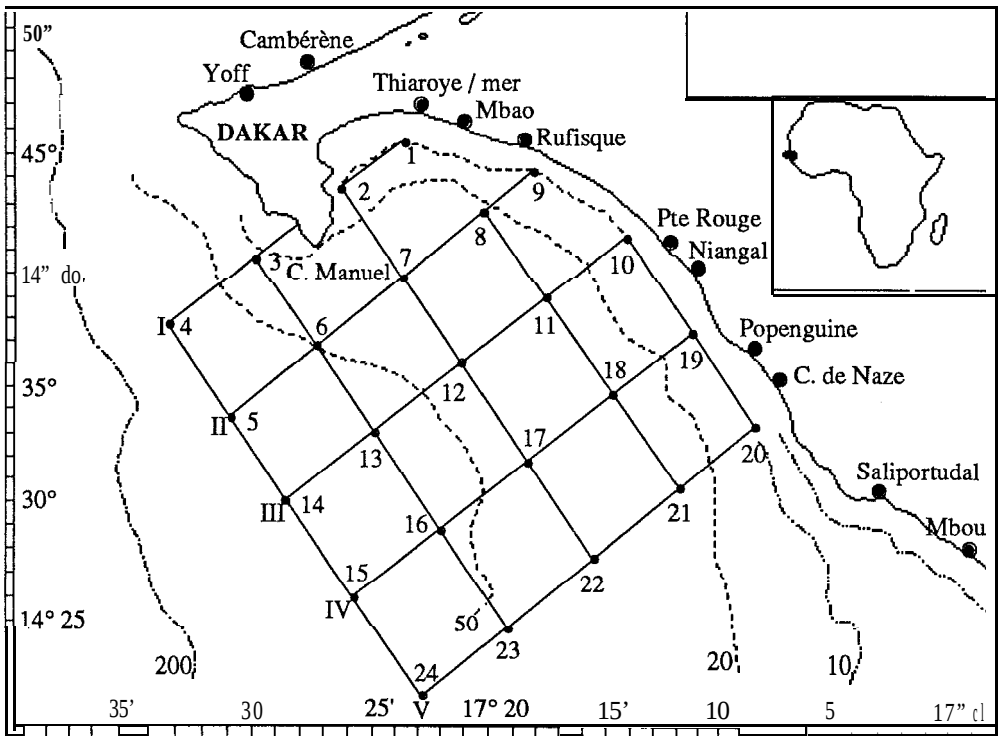
Palavras chaves : Senegal - upwelling - vento - hidrologia

INTRODUCTION

L'hydrologie de la baie de Gorée est principalement déterminée par un «upwelling» saisonnier qui dure en général de Octobre-Décembre à Mai-Juin. Il s'agit d'un phénomène particulier des océans et des mers qui se manifeste par la remontée en surface des eaux profondes froides et riches en sels nutritifs. L'hydrologie de cette région a déjà fait l'objet de nombreuses études (1, 7, 5, 2 et 3, 4, 9, 10 et 6).

La baie de Gorée (fig. 1) est située dans la zone tropicale nord. C'est dans les zones tropicales que s'effectuent les plus importants échanges de chaleur (par convection et par évaporation) entre océan et atmosphère. Comme tout le reste du plateau continental sud du Sénégal, cette baie subit de Juin à Octobre un réchauffement intense des eaux de surface et, de Décembre à Mai, un refroidissement. Sa structure thermique, sa salinité et, par conséquent, son champ de densité vont donc beaucoup dépendre du rayonnement solaire et des échanges avec l'atmosphère. Naturellement, elles dépendent également de l'advection horizontale dans la genèse de laquelle les vents jouent un rôle prépondérant. Pour une meilleure compréhension de l'hydrologie de la baie de Gorée, une étude de l'action des vents sur la température des eaux de surface nous semble indispensable.

Figure 1: La baie de Gorée avec la position des stations hydrologiques.



REGIME METEOROLOGIQUE ET TEMPERATURE DE SURFACE

Pour déterminer le rôle de l'atmosphère dans le réchauffement ou le refroidissement des eaux de surface de la baie de Gorée, nous avons représenté sur les figures 2 les données météorologiques journalières (vents, température de l'air, nébulosité et rayonnement solaire direct) recueillies à la station de **Dakar-Yoff** et les mesures correspondantes de la température de l'eau de surface à la station côtière de Thiaroye. La distance entre ces deux stations (une dizaine de kilomètres environ) n'empêche pas d'observer certaines relations entre les données.

Le réchauffement et le refroidissement des eaux de surface par l'atmosphère dépendent d'une part du rayonnement solaire ou plus précisément de l'excès de ce rayonnement reçu sur le rayonnement réfléchi et émis (infrarouge) et, d'autre part, de l'échange de chaleur par convection et par évaporation entre atmosphère et eau. Si le réchauffement des eaux de surface **est principalement déterminé par le rayonnement solaire, en retour leur refroidissement par l'atmosphère** va beaucoup dépendre de l'action des vents (évaporation, conduction-convection).

Ce refroidissement des masses d'eaux superficielles par les vents se fait de deux manières.

D'une part, en soufflant du Nord, ils peuvent amener aux basses latitudes des masses d'air plus froides qui, au contact des masses d'eaux superficielles les refroidissent par convection. D'autre part, par effet de frottement les eaux de surface vont être chassées vers le large provoquant une remontée d'eaux froides compensatrices à la côte. Dans le régime des vents, nous pouvons distinguer trois moments principaux :

- ◆ la période des vents irréguliers en force comme en direction (Juin-Septembre) ;
- ◆ la période où les vents sont de secteur nord mais irréguliers en intensité (Octobre-Nov) ;
- ◆ la période des vents forts de secteur nord (Décembre-Mai).

❶ **Pendant la première période, c'est le rayonnement solaire qui détermine le réchauffement** des eaux de surface. Comme le montre la figure 2 au mois de Juin lorsque les vents commencent à devenir irréguliers alors que le rayonnement solaire a une valeur moyenne de 1 300 joules/cm², on assiste à un début de réchauffement de l'air et de l'eau qui, à ce moment, ont presque **la même** température (24). L'accalmie des vents en cette période d'ensoleillement va favoriser une augmentation de la température de l'air et de l'eau qui de 25° C en Juin, atteint 30° C en fin Septembre-début Octobre. Exprimée en **octat**, la nébulosité, bien qu'assez importante (7/8), présente en ce moment de grandes fenêtres de transparence qui varient de 1 à 4 jours. Il ne nous a pas été possible de déterminer à ce moment le temps de réponse des eaux de surface à l'excitation des vents.

❷ La seconde période, (Octobre-Novembre) se caractérise aussi par de forts rayonnements solaires (1 300 **joules/cm²**) et un maximum de nébulosité de 7/8 avec de grandes fenêtres de transparence. Cependant, l'apport des masses d'air froides par ces vents du nord est **très** important et explique le refroidissement de l'atmosphère et des eaux superficielles que l'on observe à ce moment là. De 29° C en début d'**Octobre**, la température tombe à 25° C en Novembre. Il s'agit d'un refroidissement par convection thermique.

Pendant cette période, nous avons aussi essayé de déceler le temps de réponse des eaux de surface aux fluctuations du vent. Ainsi, nous avons constaté que deux jours de vent de secteur nord de plus de 5 m.s⁻¹ suivis de deux autres jours de vent de même secteur bien que moins forts (4 ms⁻¹) se traduisent trois jours plus tard par une baisse de près de 1,5° C de la température des eaux de surface. En retour, une accalmie d'un seul jour suffit pour que 3 jours plus tard on observe un réchauffement de 0,5° C des eaux de surface. Avec l'augmentation de la durée d'accalmie, comme nous pouvons le constater du 6 au 10 Novembre, les eaux de surface se sont réchauffées de 3° C. Cette **élévation** se serait sans doute poursuivie jusqu'à ce que ces eaux aient atteint leur température maximale **de la période précédente** si les vents de secteur nord n'avaient pas commencé à souffler.

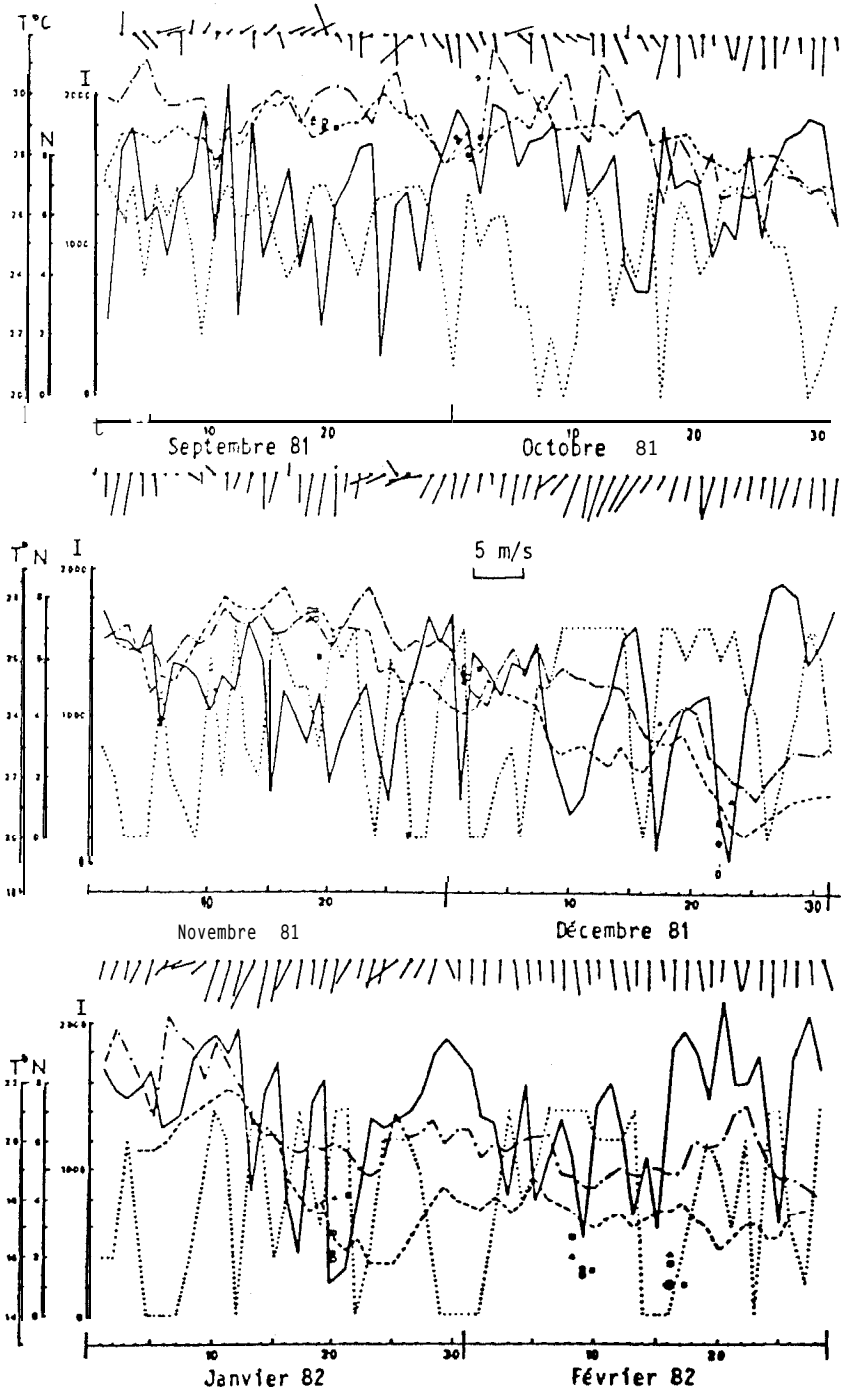


Fig.2a-Variation temporelle de la température de l'air (T_a ---) de la température de l'eau (T_w ---), de la nébulosité (N ...) et de l'insolation (I -) aux stations côtières de Dakar-Yoff et Thiaroye/mer. Les valeurs de la température de surface à quelques stations du large (Δ -st.2; $\square$ -st.8; $\bullet$ -st.9; $\circ$ -st.10; $\blacksquare$ -st.21) sont également indiquées.

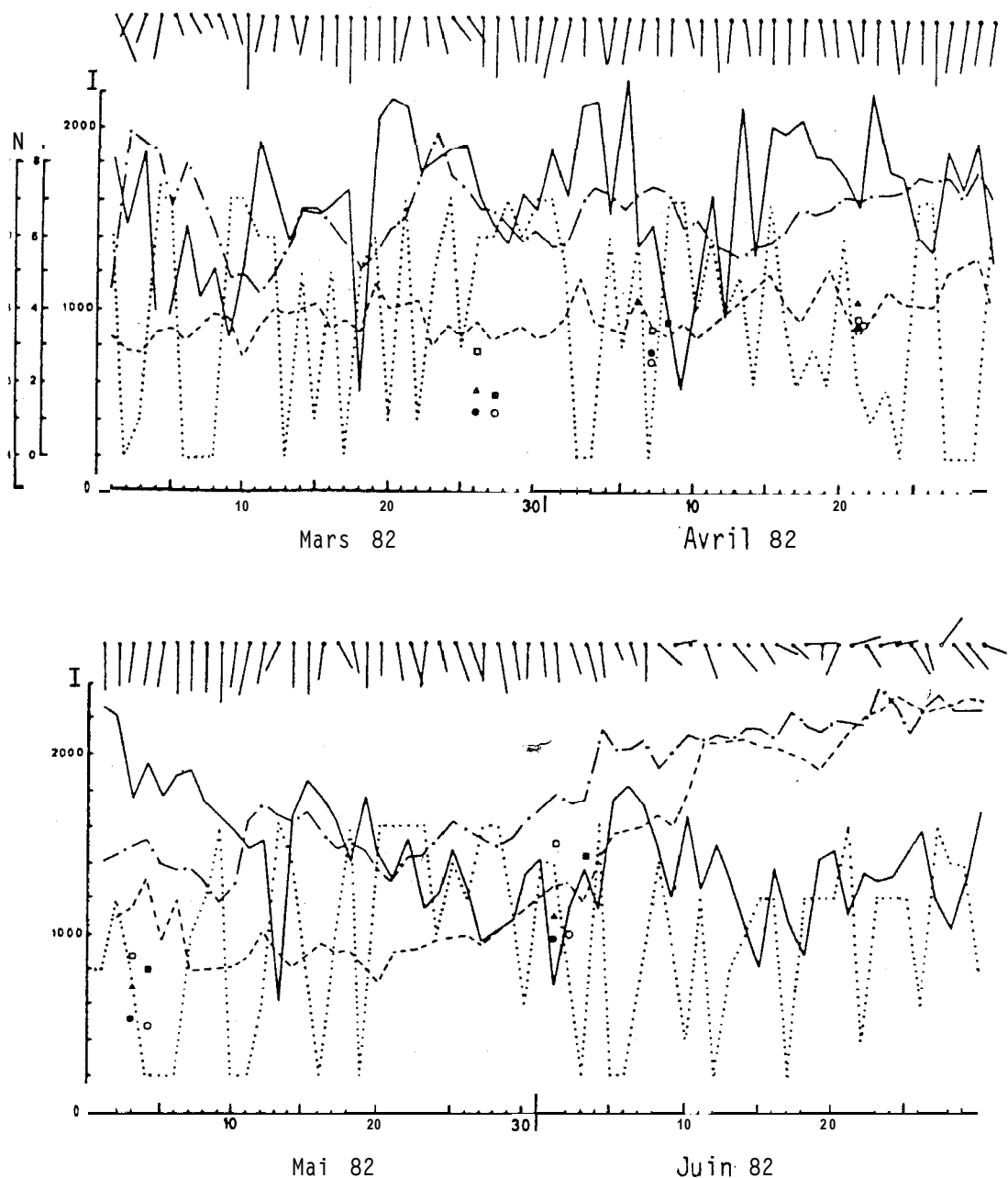


Fig. 2b - Variation temporelle de la température de l'air (T_a - - -) de la température de l'eau (T_w ---), de la nébulosité (N ...) et de l'insolation (I - |) aux stations côtières de Dakar-Yoff et Thiaroye/mer. Les valeurs de la température à quelques stations du large ($\blacktriangle$ - st.2; $\square$ - st.8; $\bullet$ - st.9; $\circ$ - st.10 $\blacksquare$ - st 21) sont également indiquées.

0 • L'installation des vents réguliers et assez forts de secteur nord en Décembre a pour conséquence une baisse sensible de la température de l'air et de l'eau. Cette période est surtout marquée par une diminution de la température de l'eau qui devient inférieure à celle de l'air de 2° C. Ceci prouve l'existence d'une autre source de refroidissement des eaux, différente de la simple conduction thermique vers l'atmosphère. L'observation, à ce moment de l'orientation des vents, nous révèle qu'ils sont de secteur nord-est donc favorables à l'évacuation des eaux de surface vers le large et, par conséquent, à l'établissement d'un phénomène de compensation amenant à la côte des eaux profondes plus froides. C'est le phénomène d'upwelling qui, non seulement refroidit les eaux de surface, mais les fertilise aussi en augmentant leur teneur en sels nutritifs. Dans le refroidissement des eaux, la fonction dynamique des vents semble être, à ce moment, plus importante que la conduction thermique.

Durant cette période, nous avons observé ce même déphasage de 3 jours entre la période (2-3 jours) de vents de secteur nord de plus de 5 m.s⁻¹, et le début de la baisse de la température superficielle. Le réchauffement journalier des eaux de surface en période d'accalmie se fait encore dans les mêmes proportions (0,5° C). Ceci s'explique aisément par les fortes valeurs de rayonnement solaire (une moyenne mensuelle de 1800 joules/cm²) qu'on observe encore à ce moment. Le minimum de température (15,5° C) est observé après une semaine de vents de plus de 7 m.s⁻¹, et lorsque l'éclairement solaire est le plus faible.

Par ailleurs, le réchauffement de ces eaux de surface de plus de 2,5° C en fin Janvier, après le minimum de température, fait suite à cinq jours de vent faible de l'ordre de 3 m.s⁻¹ alors que la moyenne mensuelle du rayonnement solaire est de l'ordre de 1600 joules/cm². A partir de fin Mars et jusqu'à la fin du mois de Mai, bien que les vents soient de secteur nord, leur effet sur la température des eaux de surface est atténué par les fortes valeurs d'insolation (1 800 joules cm²) observées à cette période. Ainsi de 17° C en Mars, la température des eaux de surface atteint 20° C en fin Mai.

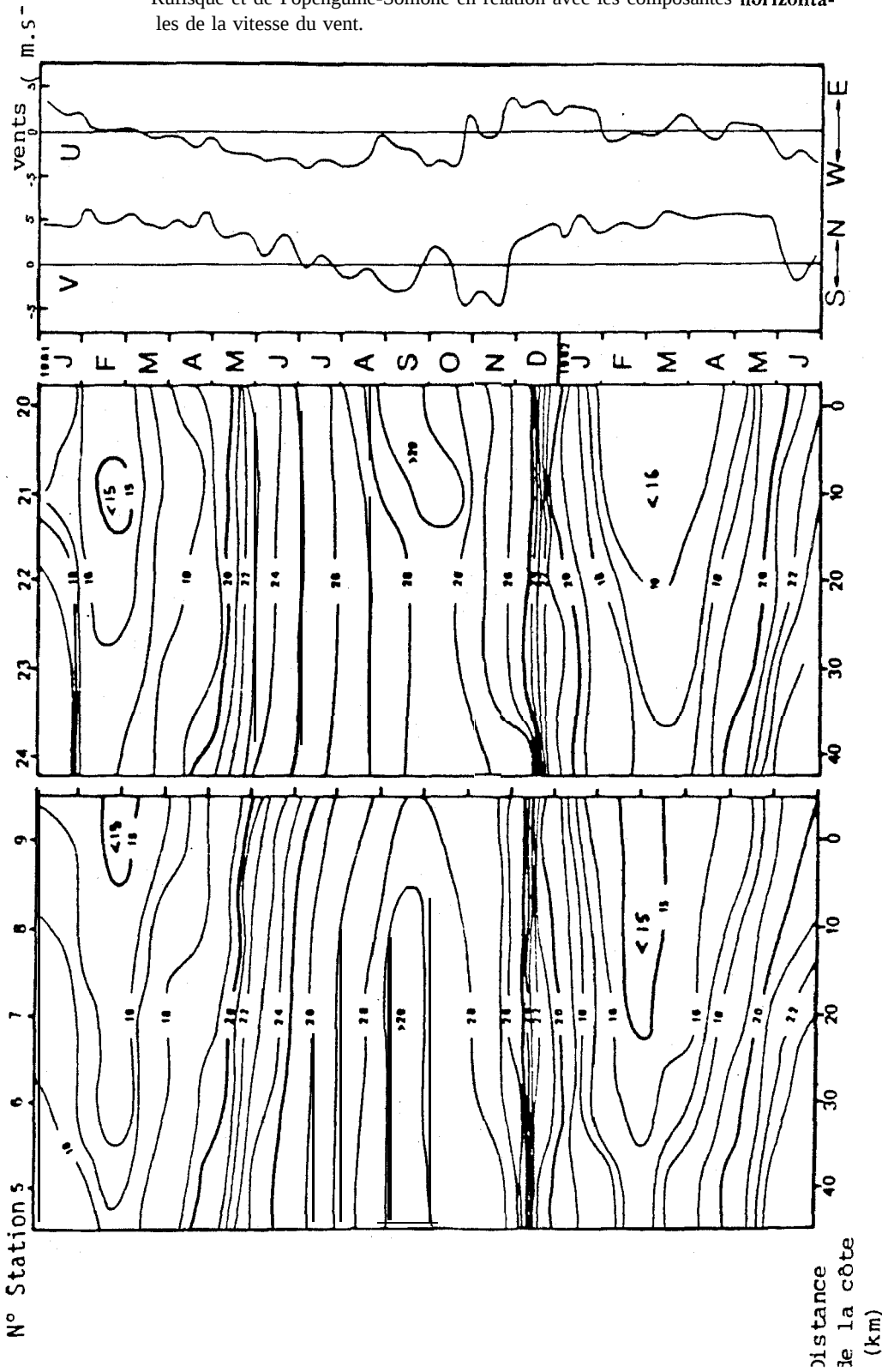
ORIENTATION DES VENTS ET TEMPERATURE DE SURFACE

Pour bien mettre en relief le rôle de l'orientation des vents dans le refroidissement des eaux de surface de la baie de Gorée, nous avons composé la figure 3. Elle montre la variation dans le temps de l'intensité des composantes méridiennes et **zonales** de la vitesse du vent en relation avec les données de température de surface recueillies le long des radiales hydrologiques de Rufisque et Somone-Popenguine de Janvier 1981 à Juin 1982.

Au cours de l'année 1981, il n'a pas été possible de déceler le début de l'upwelling en baie de Gorée, les observations n'ayant commencé qu'au mois de Janvier, c'est-à-dire au milieu de la saison des eaux froides. Cependant, sur les figures nous constatons bien l'existence de deux sources de remontée d'eaux profondes dont le centre se caractérise par un minimum de température de 15° C. Si la source sur la radiale de Rufisque est complètement «plaquée» à la côte, celle de Somone-Popenguine se situe à une dizaine de kilomètres de la côte. Ces deux minima de température s'observent quand la composante **zonale** Est est presque **nulle** alors que la composante méridienne (soufflant vers le Sud) est de l'ordre de 5 m.s⁻¹. En suivant l'évolution de l'isotherme 16° C, nous remarquons qu'elle s'étend au large jusqu'à 35 km de la côte au niveau de la radiale de Rufisque, alors qu'au Sud (**Somone-Popenguine**), les eaux de moins de 16° C ne s'éloignent pas **à plus** de 25 km de la côte. Ceci montre bien que la source de remontée côtière est beaucoup plus étendue que celle du large de Somone.

Quant au début du réchauffement des eaux, il est observé en Mai-Juin au moment où la composante Ouest fait son apparition dans le champ de vents. C'est à ce moment que les eaux chaudes et salées dites eaux tropicales (T > 24 et S ‰ > 35) font leur apparition en baie de Gorée.

Figure 3 : Variation dans le temps de la température de surface le long des radiales de Rufisque et de Popenguine-Somone en relation avec les composantes **horizontales** de la vitesse du vent.



Ces eaux qui constituent, d'après ROSSIGNOL (1973), le rebord externe du contrecourant équatorial vont avancer au fur et à mesure que diminue la composante méridienne du vent. Les eaux chaudes et dessalées (eaux guinéennes) ($T > 24$ et $S \text{ ‰} < 35 \text{ ‰}$) s'observeront lorsque les vents sont de secteur Ouest pur, c'est-à-dire favorables à l'avancée vers la côte des eaux chaudes du large.

C'est au mois de Décembre (1981) que nous avons pu mettre en évidence le début du refroidissement des eaux de la baie de Gorée. Cette période qui se caractérise par un fort gradient de température s'observe au moment de l'apparition d'une composante Est dans les vents de secteur nord. Au fur et à mesure du développement des vents, la composante zonale diminue alors que la méridienne augmente. Ainsi au cours de l'année 1982, le minimum de température marquant le centre de la remontée des eaux, est encore observé en fin Février-début Mars, quand les vents sont de secteur nord pur.

Contrairement à l'année précédente, au cours de cette année 82, toutes les sources de remontée sont restées plaquées à la côte et l'upwelling de la radiale de Rufisque demeure le plus intense.

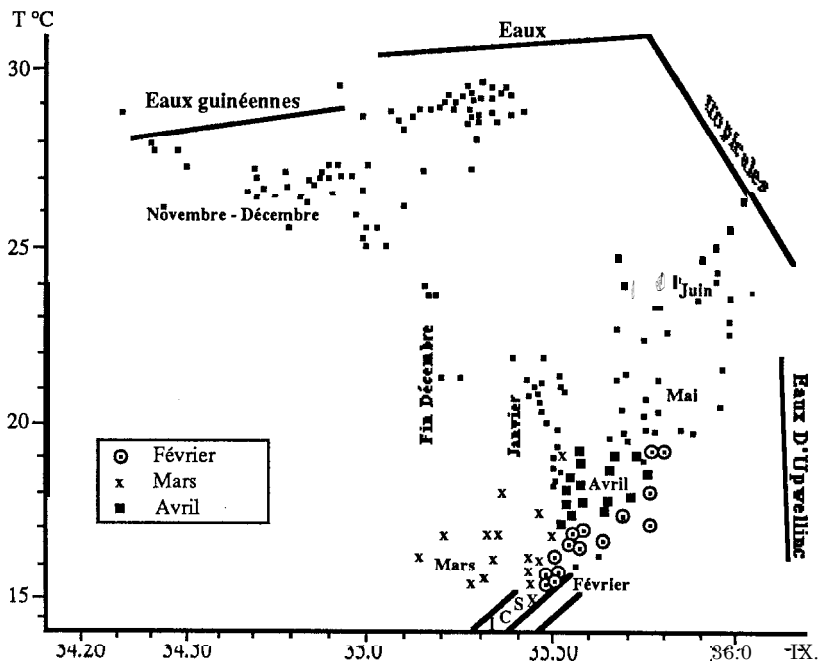
La masse d'eau caractéristique de cette période est principalement constituée par les Eaux Centrales Sud Atlantiques du sous courant profond qui longe vers le nord les côtes ouest africaines (11).

CONCLUSION

La figure 4 résumant l'évolution en surface des masses d'eau permet de tirer les conclusions suivantes :

❶ Le phénomène d'upwelling débute en baie de Gorée avec l'installation des vents de secteur nord-est qui correspond à l'évacuation des eaux chaudes et dessalées dites «eaux

Figure 4 : Evolution en surface des masses d'eau



guinéennes».

0 Le maximum dans la remontée des eaux profondes se situe en Février-Mars lorsque les vents sont de secteur nord pur. Ce moment est marqué par l'apparition en surface des Eaux Centrales Sud Atlantiques (ECSA).

0 Le début du réchauffement des eaux est observé en juin avec l'arrivée en baie de Gorée des eaux chaudes et salées dites «eaux tropicales». A ce moment les vents sont de secteur nord-ouest.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 BERRIT, G.R., 1952 .- Esquisse des conditions hydrologiques du Plateau continental du Cap-Vert à la Gambie. *Bull. IFAN* XIV, 3, 1952.
- 2 DOMAIN, F., 1979 .- Le satellite METEOSAT et l'océanographie : Etude des températures de la mer au voisinage des côtes de Mauritanie et du Sénégal. *Initiation tech. serv. Teledetection*, ORSTOM-PARIS (3) u3p 77 L. concl.
- 3 DOMAIN, F., 1980 .- Contribution à la connaissance de l'écologie des poissons **démersaux** du plateau continental sénégal-mauritanien. Les ressources démersales dans le contexte général du Golfe de Guinée. Thèse de Doctorat **d'Etat** ès-sciences naturelles présenté à l'université Pierre et Marie Curie PARIS VI et au Museum d'histoire Naturelle.
- 4 GALLARDO, Y., 1981 .- On two marine ecosystem of SENEGAL separated by a **peninsule** *Doc. Cent. Rech. Océanogr.* Dakar-Thiaroye.
- 5 MERLE, J., 1973. • Hydrologie **saisonnnière** de la région de Dakar (étude descriptive). *Doc. Cent. Rech. Oceanogr.* Dakar-Thiaroye.
- 6 REBERT, J.P., 1983. • Hydrologie et Dynamique des eaux du Plateau Continental Sénégalais. *D.S. n 89 Cent. Rech. Oceanogr.* Dakar-Thiaroye.
- 7 ROSSIGNOL, Met ABOUSOVAN, MTh., 1965.- Hydrologie marine côtière de la **presqu'île** du Cap-Vert. *Doc. Cent. Rech. Oceanogr.* Dakar-Thiaroye.
- 8 ROSSIGNOL, M , 1973.- Contribution à l'étude du complexe guinéen. *Doc. Cent. ORSTOM de Cayenne.*
- 9 TEISSON, C , 1981. • Structures hydrologiques observées en période d'upwelling au large du Sénégal. Comparaison de ces structures aux modèles théoriques ou empiriques **d'upwelling**. *Doc. Centr. Rech. Oceanogr.* Dakar-Thiaroye.
- 10 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. n 93 Centr. Rech. Oceanogr.* Dakar-Thiaroye.
- 11 VOITURIEZ, B. et HERBLAND, A., 1982. • Comparaison des systèmes productifs de l'Atlantique Tropicale est : **thermique, upwelling** côtiers et upwelling équatorial. «The Canary Current : Studies of an upwelling system». Rapports et procès verbaux des réunions. vol. 180. Conseil International pour l'exploitation de la mer.