

LES TENEURS EN CHLOROPHYLLE  
DES EAUX DE SURFACE  
A LA STATION COTIERE DE DAKAR  
(RESULTATS DES MESURES DE 1973 A 1977)

par

J. P. REBERT

Communication n° 102

Symposium sur le Courant des Canaries  
Upwelling et Ressources Vivantes  
N° 102

LES TENEURS EN CHLOROPHYLLE DES EAUX DE SURFACE  
A LA STATION COTIERE DE DAKAR  
(RESULTATS DES MESURES DE 1973-1977)

par

J.P. REBERT

Océanographe physicien de l'ORSTOM

C.R.O.D.T. BP 2241 DAKAR

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

## R E S U M E

Des mesures de surface à la côte sont effectuées deux fois par semaine depuis 1973 dans la baie de Gorée. Les teneurs en chlorophylle "a" totale, active et en phéophytine sont étudiées. Le cycle annuel de ces quantités est décrit. Des teneurs très fortes sont observées toute l'année (5 à 20 mg/m<sup>3</sup>) même en l'absence d'upwelling. Divers mécanismes de production sont proposés pour expliquer ces fortes valeurs en saison chaude. Il existe en particulier un vortex de courant au sud du cap Vert qui peut créer une accumulation de phytoplancton à la côte.

Les variations interannuelles des teneurs ont été comparées aux fluctuations de deux facteurs d'enrichissement possibles : les variations d'intensité de l'upwelling et celles des apports côtiers dues aux pluies. Les résultats sont dans l'ensemble négatifs.

Une augmentation continue des teneurs a été observée au cours de la période de mesures. Elle est attribuée à une pollution des eaux de surface due à la proximité de Dakar.

## A B S T R A C T

Surface samples have been collected nearshore twice a week since 1973 in the Bight of Gorée. The total and active chlorophyll a content and phaeopigments are studied. The annual cycle for these quantities is described. Very high levels are observed throughout the year (5 to 20 mg/m<sup>3</sup> even when upwelling is missing. Various mechanisms of production are proposed to explain these high levels during the summer season. In particular a current vortex located southward of the Cap Vert could cause an accumulation of phytoplankton at the coast.

Interannual variations of the chlorophyll content have been compared to the fluctuations of two possible factor of enrichment : the upwelling intensities variations and alluvial deposits due to rainfalls. The results are in general negative.

A continual increase of chlorophyll content has been observed during the period under study. It is attributed to an increasing pollution of surface waters near Dakar.

LES TENEURS EN CHLOROPHYLLE DES EAUX DE SURFACE  
A LA STATION COTIERE DE DAKAR  
(Résultats des mesures de 1973 à 1977)

I. INTRODUCTION

La forte productivité des eaux côtières au sud de la Presqu'île du Cap-Vert a été mise en évidence dans les travaux de SCHEMAINDA et al (1975). Plus localement une première étude du cycle annuel de la productivité de la baie de Gorée avait été réalisée par ROSSIGNOL et ABOUSSOUAN (1965) et SEGUIN (1966). Depuis décembre 1972 sont effectuées au Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye des évaluations de la biomasse phytoplanctonique des eaux de surface par la mesure des teneurs en chlorophylle. Les résultats de ces mesures sont présentés et discutés dans cette étude.

II. TECHNIQUES ET METHODES

Des prélèvements de surface sont réalisés deux fois par semaine à 8 h du matin dans la baie de Gorée en face du CRODT (position en figure 1) sur un wharf à environ 50 mètres du rivage. Les mesures de chlorophylle sont faites au spectrophotomètre après filtration et extraction par l'acétone. Pour le calcul des concentrations en chlorophylle à partir des densités optiques deux relations différentes ont été employées.

Les mesures étant faites à 665 nm et 750nm, la première relation donnant la chlorophylle "a" (qualifiée ici de totale) est une adaptation de la formule proposée par le groupe de travail SCOR-UNESCO (1966) à la mesure à 665 nm par PITON et MAGNIER (1971) soit : 
$$\text{Chl a} = 11,53 (D_{665} - D_{750}) \frac{v}{V \times l} \text{ mg/m}^3 \quad (1)$$

le deuxième groupe de relations fournit la chlorophylle a active et les phéopigments d'après LORENZEN (1967)

Si  $E_1$  et  $E_2$  sont les extinctions à 665 nm avant et après acidification de l'extrait, corrigées de l'extinction à 750 nm

$$\text{Chla} = 26,7 (E_1 - E_2) \frac{v}{Vx_1} \text{ mg/m}^3 \quad (2)$$

$$\text{Phéo} = 26,7 (1,7 E_2 - E_1) \frac{v}{Vx_1} \text{ mg/m}^3 \quad (3)$$

Les chlorophylles "a" calculées par la première méthode sont obtenues depuis décembre 1972, avec une interruption de juillet à septembre 1973. La détermination des phéopigments n'est effectuée que depuis décembre 1975.

### III. RESULTATS DES MESURES

Les résultats des mesures regroupés par moyennes mensuelles sont présentés dans le tableau 1.

Le cycle annuel moyen de la chlorophylle totale (relation (1)) est représenté en figure 2. On voit qu'il est caractérisé par de très fortes teneurs - supérieures à 10 mg/m<sup>3</sup> - de février à septembre et un minimum moyen de novembre à janvier de 6 mg/m<sup>3</sup> environ. Les températures moyennes de surface à la même station sont également représentées en figure 2. La comparaison des deux courbes indique que le cycle de la chlorophylle ne coïncide pas avec le cycle thermique des eaux de surface.

Le cycle annuel de la chlorophylle "a" active et des phéopigments (relations (2) et (3)) pour 1975 et 1976 est représenté en figure 3. La comparaison avec les teneurs globales en chlorophylle montre que cette dernière quantité cache en fait une réalité plus complexe. En effet la chlorophylle active présente ici une variation bi-annuelle avec deux maximums situés en février et en octobre et des minimums en janvier et en mai. La phéophytine présente par contre une variation unimodale. Elle est maximum de février à mai et décroît ensuite jusqu'en novembre avec un palier voisin de 6 mg/m<sup>3</sup> de juin à septembre. Il existe donc au cours de l'année deux périodes distinctes: de janvier à mai les taux de phéophytine sont plus élevés que ceux de chlorophylle active et vice-versa de juin à décembre.

Remarquons qu'aucune de ces quantités ne coïncide avec les saisons hydrologiques de la région définies par les températures de surface.

En résumé toute l'année les teneurs en chlorophylle sont extrêmement élevées par rapport à celles qui existent au large à la même latitude. On a reporté, à titre de comparaison sur la figure 3 l'ensemble des mesures réalisées par le CRODT et le "A. VON HUMBOLT" sur la radiale 14°45'N au niveau du talus continental. Les teneurs n'y dépassent pas 2 mg/m<sup>3</sup>. Dans la baie de Gorée on n'observe au contraire pratiquement jamais de teneurs inférieures à 2mg/m<sup>3</sup>. Ces teneurs sont d'ailleurs marquées par une très forte variabilité à court terme pouvant conduire à des valeurs beaucoup plus élevées. Ainsi des quantités supérieures à 60 mg/m<sup>3</sup> ont été observées en février et octobre 1977.

Ces très fortes teneurs ont d'abord été attribuées au fait que le prélèvement était réalisé trop près du rivage. Cependant une série de campagnes qui a été réalisée dans la baie de Gorée en 1976 a montré que les teneurs des eaux de surface, quoique inférieures à celles observées au wharf, pouvaient néanmoins être très élevées (de 2 à 25 mg/m<sup>3</sup>) et sont caractérisées par d'importants gradients spatiaux (fig. 1). Pour expliquer l'ensemble de ces phénomènes il faut donc tenter de les relier aux caractères de la circulation marine propres à la baie.

#### IV HYDROLOGIE DE LA BAIE DE GOREE ET MECANISMES DE PRODUCTION

On décompose classiquement au niveau du cap Vert l'année en deux grandes périodes aux caractéristiques bien distinctes.

De novembre à mai on se trouve en période d'alizés. Le courant côtier porte au sud et un upwelling côtier refroidit les eaux de surface, upwelling particulièrement intense de février à mai quand les alizés sont réguliers et bien établis.

De juin à septembre le cap Vert est situé dans la zone intertropicale de convergence. Le courant côtier est une branche du contre-courant équatorial et porte alors au nord. Les eaux de surface sont caractérisées par une couche d'eau chaude isotherme d'épaisseur variable (20 à 50 m). Les vents sont d'ouest, faibles et irréguliers.

## 1. Saison froide

L'apparition des eaux froides en octobre se traduit par un pic de chlorophylle active (fig. 2) suivi d'une décroissance rapide pendant la période d'upwelling faible. C'est à cette époque qu'on observe les plus faibles biomasses végétales. Ce fait confirme d'ailleurs que le refroidissement observé à cette saison résulte principalement de l'advection horizontale.

De février à mars, période d'upwelling fort, la baie de Gorée est le siège de phénomènes assez particuliers. Il se forme dans la baie un vortex cyclonique, sans doute par transfert de moment latéral avec le courant côtier portant au sud. Un tel vortex s'accompagne normalement d'une structure en dôme au niveau de la thermocline. La circulation verticale s'effectue vers le haut au centre du vortex, favorisant la production primaire et causant une accumulation du phytoplancton sur le bord externe du vortex, c'est-à-dire à la côte (on observe d'ailleurs fréquemment à cette saison une accumulation d'algues au rivage).

D'autre part le vent est dans la baie perpendiculaire à la côte. On a donc un phénomène d'upwelling par petits fonds. La circulation des eaux de surface, en application de la théorie d'EKMAN se fait vers le sud, dans la direction du vent sur les petits fonds, avec une déflexion progressive vers la droite due à la force de CORIOLIS quand le fond et la vitesse du courant augmentent. Ceci conduit à un accroissement de la biomasse végétale vers le large et son accumulation dans la partie nord-sud de la presqu'île.

La combinaison de ces deux phénomènes peut expliquer la répartition des chlorophylles de surface dans la baie par fort vent d'alizés, comme celle qui est représentée en figure 1 (d'après AMADE, 1976) et qui a été observée en mai 1976 par un vent de 7 m/s. Les fortes teneurs en phéopigments observées à la côte à cette saison correspondraient à une accumulation par le vortex de cellules végétales relativement vieilles.

Si la structure en dôme du vortex n'a pas pu être clairement établie, des mesures de courant effectuées en 1977 ont confirmé le caractère cyclonique de la circulation, les vitesses étant de 10 à 20 cm/s.

## 2. Saison chaude

A partir du mois de juin le courant s'inverse et la presque île du Cap Vert est baignée par les eaux très pauvres du contre-courant équatorial. Cependant la biomasse végétale reste très élevée dans la zone côtière. ROSSIGNOL (1965) avait déjà relevé cette anomalie et l'attribuait à une production due à des cellules de convection. Cette explication semble cependant peu satisfaisante car ces fortes teneurs ont une extension limitée à la zone côtière de la baie de Gorée et ne sont pas observées au large (fig. 3). Plusieurs autres mécanismes peuvent être mis en jeu que nous allons tenter d'examiner.

Il est à remarquer tout d'abord que cette biomasse est de production récente ainsi que l'atteste le rapport de la chlorophylle aux phéopigments, ce qui permet d'écarter l'hypothèse d'un processus d'accumulation par convergence des eaux de surface au niveau de la presque île du Cap Vert. Une telle accumulation se produirait d'ailleurs plutôt au niveau de la thermocline et non en surface.

Par contre il peut exister un ensemble de phénomènes générateurs de divergences, liés à la déformation des lignes de courant au niveau du cap Vert. Parmi ceux qui sont propres à la baie de Gorée, notons qu'avec un courant côtier se dirigeant vers le nord, un vortex anticyclonique peut s'y développer d'autant plus facilement que la configuration de la côte favorisera la formation d'un courant d'inertie stationnaire. En effet, la géométrie de la baie de Gorée impose un diamètre de 7 à 8 milles pour ce vortex. Un cercle d'inertie de rayon 7 km aurait une vitesse de 26 cm/s à cette latitude, ce qui est de l'ordre de grandeur des courants côtiers nord observés à cette époque (0,5 noeuds).

Un tel vortex a cependant peu de chances d'être très productif car la couche de surface est très peu stratifiée et la thermocline se trouve à une profondeur supérieure à celle de la baie. D'autre part ce vortex peut exister sans nécessiter de gradient de pression, puisque la force centrifuge équilibre la force de CORIOLIS, contrairement au vortex cyclonique ; il n'y a donc pas nécessairement d'élévation de la thermocline. Remarquons qu'un tel vortex peut être divergent ou convergent (structure en dôme ou en cuvette) suivant la vitesse du courant. En outre ce vortex semble plus faible et plus irrégulier que celui de saison froide d'après les quelques mesures de courant qui ont été réalisées.

Par contre ce vortex peut être à l'origine d'un enrichissement au niveau du point de mesure par entrainement vers l'est à la côte des eaux de surface. Ces eaux ont donc au préalable longé la grande agglomération de Dakar et y ont subi une forte pollution. La pollution locale, qui est principalement d'origine organique, est favorable à un développement excessif du phytoplancton. Nous reviendrons sur cet aspect de la productivité plus loin.

Enfin il faut noter que les vents quoique faibles (2 à 3 m/s) viennent en majorité du secteur ouest et peuvent de ce fait induire un upwelling faible sur les petits fonds situés dans toute la zone sous le vent de la presqu'île du Cap Vert c'est-à-dire la baie de Gorée. Ceci expliquerait également un taux de chlorophylle active fort par rapport à celui des phéopigments.

De juillet à septembre on se trouve en saison des pluies. Les eaux de surface subissent à partir du mois d'août une dessalure variable, fonction de la pluviométrie. SCHEMAINDA et al (1975) ont estimé que cela pouvait mener à un processus de fertilisation des eaux côtières plus au sud (12°N). Cela ne semble pas être le cas dans la région du Cap Vert. En effet les masses d'eaux dessalées en provenance du sud sont à ce niveau épuisées en sels nutritifs. Quant à la pluviométrie locale qui pourrait fertiliser la surface par les eaux de ruissellement, elle est faible (550 mm en moyenne). Aucun bloom intense de phytoplancton n'a d'ailleurs été observé consécutif à de fortes pluies.

Aucun des mécanismes précédents ne paraît donc satisfaisant pour expliquer, à lui seul, les fortes biomasses observées en saison chaude. Il est possible que d'autres phénomènes entrent en jeu, ou qu'il faille considérer les combinaisons des divers phénomènes précédents.

#### V. VARIATIONS INTERANNUELLES ET CORRELATIONS

Les moyennes mensuelles des cinq années de mesures font apparaître de très fortes fluctuations interannuelles ; les écarts-type varient de 1 à 10 mg/m<sup>3</sup> (tabl. 1), l'écart moyen se situant autour de 5 mg/m<sup>3</sup>. La variance est minimum en saison chaude et maximum en période d'alizés (février à mai).

On a tenté de relier ces variations de richesse des eaux aux fluctuations des paramètres météorologiques ou hydrologiques de surface mesurés simultanément. De façon générale les fluctuations des teneurs en chlorophylle totale semblent très erratiques et aucune relation bien nette n'a pu être établie.

Les paramètres de milieu les plus variables et a priori les plus importants sont les variations d'intensité de l'upwelling en saison sèche et de pluviométrie en été. Ce sont donc avec les anomalies de ces facteurs qu'on a calculé des corrélations. Il apparaît qu'il n'y a aucune corrélation entre les anomalies mensuelles des vents à Dakar en période d'alizés forts (février à mai) et les anomalies de teneurs en chlorophylles. Il existe par contre une corrélation faible mais significative ( $r = - 0,44$ ) avec les températures de surface au cours de ces mêmes mois ; la pente de droite de régression est de  $- 0,7$  mg/m<sup>3</sup>/°C. Ces deux faits ne sont pas contradictoires car on a vu par ailleurs (REBERT, 1978) que les vents locaux et les températures de surface ne sont pas corrélés.

En saison chaude il n'apparaît pas non plus de corrélation avec les vents. Aucune corrélation significative n'existe entre les salinités des eaux de surface ou les hauteurs des précipitations mensuelles et les teneurs en chlorophylle.

## VI. TENDANCE

La variation dans le temps des teneurs en chlorophylle totale moyennées par mois de 1973 à 1977 est représentée en figure 4 (échelle gauche). Les fluctuations lissées par une moyenne mobile sur 12 mois y figurent à une échelle agrandie (échelle droite) afin de dégager la tendance de l'évolution de la production primaire.

Il apparaît de façon frappante une forte augmentation au cours de ces dernières années. Même en écartant les premières mesures effectuées en 1973-1974 qui sont peut-être anormalement basses à cause d'un mode de conservation peu satisfaisant, on note que depuis 1974 la chlorophylle augmente à une vitesse moyenne supérieure à 1 mg/an. Bien que des fluctuations à long terme de divers paramètres tels que les vents aient été observées dans cette région (REBERT, 1978), il est fort peu probable que cette augmentation soit due à des causes naturelles. Il est plus vraisemblable de l'attribuer à des phénomènes de pollution croissants, dûs à l'expansion de la communauté urbaine de Dakar. Cette pollution fertiliserait l'ensemble de la baie de Gorée de façon à peu près continue au cours de l'année par un brassage des eaux grâce au vortex. En effet il n'apparaît pas d'augmentations caractéristiques à certains mois de l'année.

Un tel accroissement tend évidemment à occulter les corrélations qui pourraient exister entre les teneurs en chlorophylle et les variations de conditions de milieu. Ceci pourrait expliquer les mauvais résultats que nous avons obtenus dans ces calculs. Il n'existe malheureusement pas d'autres séries de mesures réalisées plus au large pendant la même période.

Les mesures se poursuivent donc à la station côtière de Thiaroye afin de suivre l'évolution de la biomasse végétale. Cette station peut en effet donner de bonnes indications sur la richesse de la baie de Gorée. Par contre elle ne peut sans doute pas être considérée comme représentative des variations de production à l'échelle des côtes du Sénégal.

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

- AMADE P. , 1977.- Etude biochimique de la baie de Gorée. Résultats de mesures.  
Non publié. Archive n° 42 du CRODT.
- LORENZEN C.J., 1967.- Determination of chlorophyll and phaeopigments : Spectrophotometric equations. Limnology and Oceanography ; 12, 343.
- PITON B., MAGNIER Y., 1971.- Sur la détermination de la chlorophylle a dans l'eau de mer côtière tropicale.  
Doc. Scient. Centre ORSTOM, Nosy-Bé n° 20.
- REBERT J.P., 1978.- Variabilité des conditions de surface dans l'upwelling ouest-africain. Symposium sur le courant des Canaries. Upwelling et Ressources Vivantes.  
Communication n° 100.
- ROSSIGNOL M., ABOUSSOUAN M.T., 1965.- Hydrologie marine de la presqu'île du Cap Vert. Contribution à l'étude de la productivité des eaux.  
Centre Océanographique de Dakar-Thiaroye.
- SCHEMAINDA R., NEHRING D., SCHULTZ S., 1975.- Ozeanologische untersuchungen zum production potenzial der nord west africanischen wasserauftriebs region 1970-73.  
Geodätische U. Geophys. Veröff. 4 (16) : 4-88
- SEGUIN G., 1966.- Contribution à l'étude de la biologie du plancton de surface de la baie de Dakar (Sénégal). Etude quantitative, qualitative et observations écologiques au cours d'un cycle annuel.  
Bull. IFAN, série A, 28 (1) : 1 - 90

	JANV.	FEV.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1972												7,32
1973	5,91	7,43	4,09	6,69	7,72	7,50	-	-	-	2,53	3,36	1,72
1974	3,26	4,68	11,60	8,93	20,41	7,26	12,28	7,75	9,01	4,06	3,38	4,20
1975	6,15	7,99	12,02	10,29	11,57	18,01	13,05	10,63	8,00	7,57	5,11	4,48
1976	5,00	7,19	17,46	18,81	9,14	8,13	12,36	14,29	11,08	14,96	8,71	7,06
1977	9,93	29,58	9,41	10,45	10,23	15,27	10,13	9,43	12,27	11,70	7,39	17,51
Moy.	6,05	11,37	10,92	11,03	11,81	11,23	11,96	10,52	10,09	8,16	5,59	7,05
Ecart type	2,4	10,3	4,8	4,6	5,0	5,0	2,3	2,8	1,9	5,2	2,4	5,5

Tableau I : Chlorophylle "a" totale au wharf de Thiaroye  
Moyennes mensuelles en mg/m3

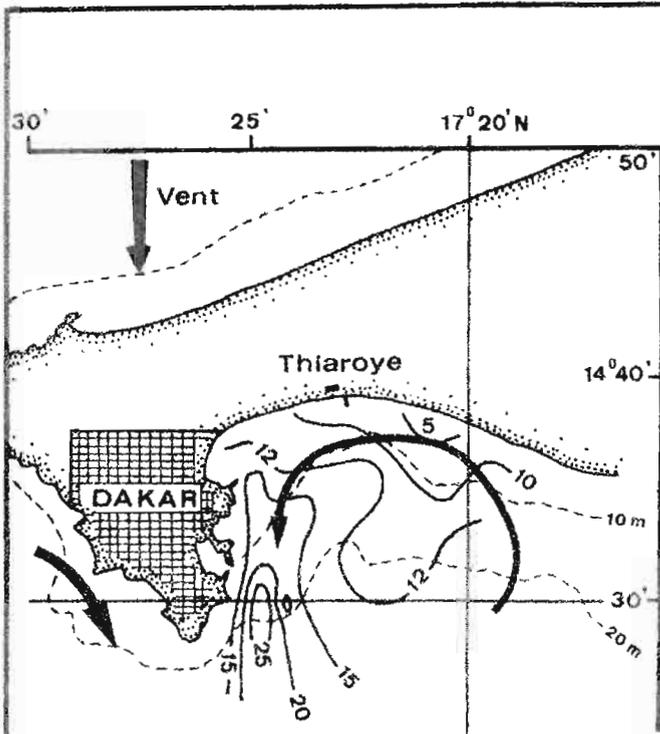


Fig. 1

Chlorophylle "a" totale de surface  
le 12-5-1976 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

→ Courants

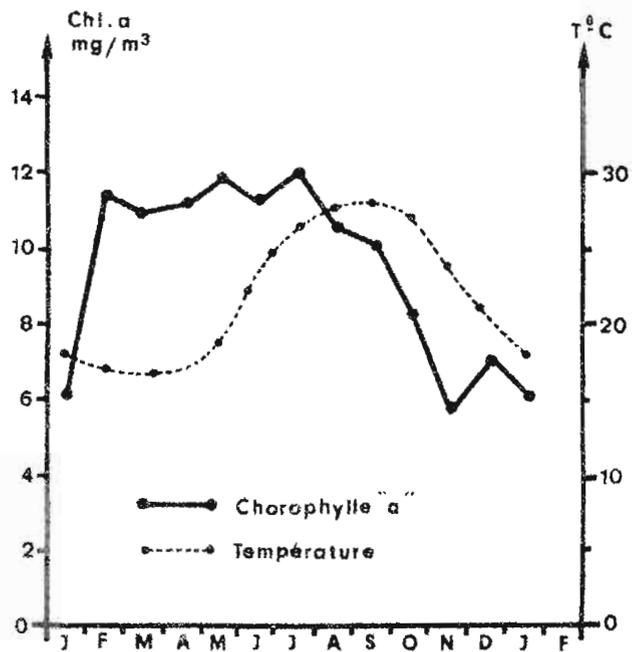


Fig. 2-

Variations saisonnières de la  
Chlorophylle totale et des  
températures de surface à Thiaroye.

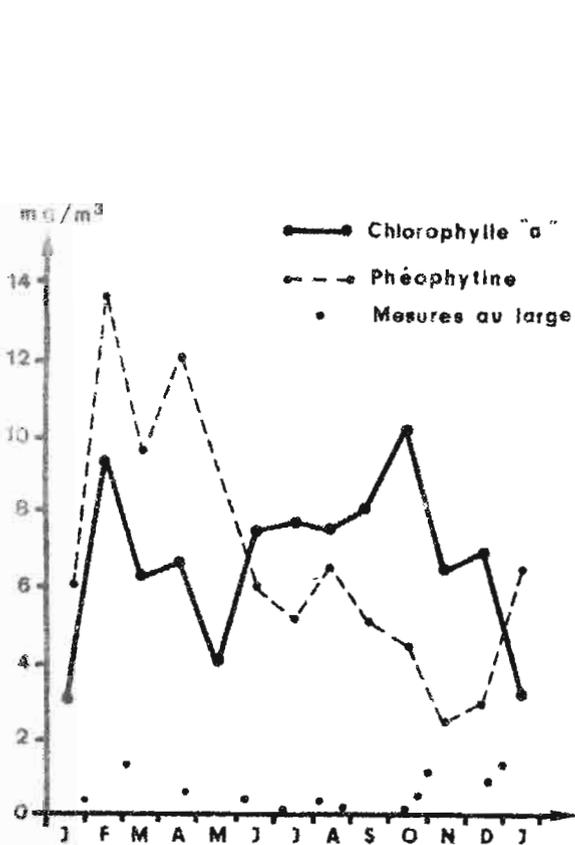


Fig. 3-

Variations saisonnières de la  
Chlorophylle "a" active et de la  
phéophytine (moyenne 1976-1977).

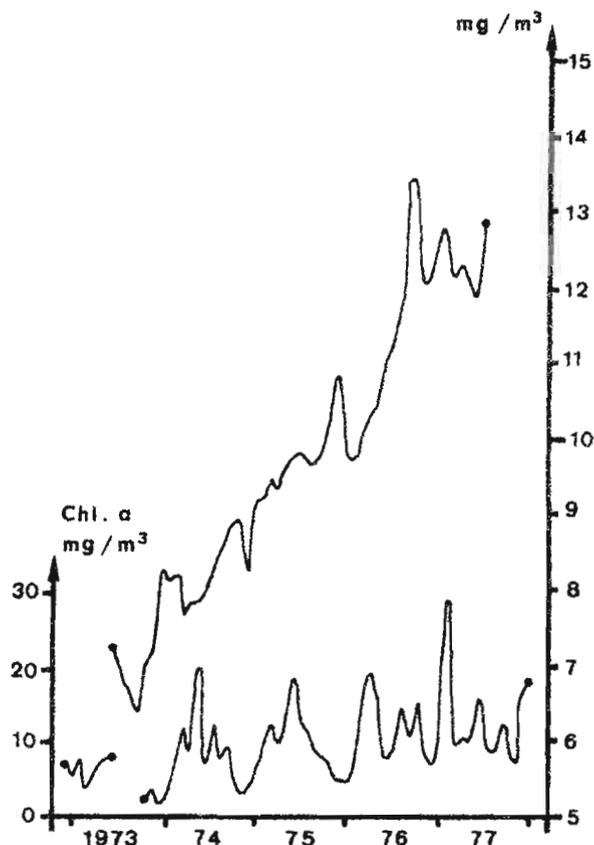


Fig. 4-

Chlorophylle de surface à  
Thiaroye; valeurs observées  
(en bas), et lissées (en haut).