

L'oxygène au large de Grand Bassam

par J. M. Verstraete

R E S U M E

La présente publication étudie les variations de l'oxygène dissous au large de Grand Bassam (11 milles à l'est d'Abidjan, Côte d'Ivoire) pendant environ cinq ans (de mars 1966 à septembre 1970).

Sur le plateau continental, au niveau du fond, on trouve les teneurs en oxygène les plus faibles et on y observe un minimum absolu pendant l'upwelling.

Il existe une bonne corrélation entre la profondeur Secchi et la profondeur de la couche bien oxygénée. Pour des teneurs en oxygène dissous au moins égales à 80% de celles de surface, l'éclairement est voisin de 10% de l'éclairement en surface.

S U M M A R Y

The present paper deals with the variations of the dissolved oxygen content off Grand Bassam (11 miles east of Abidjan, Ivory Coast), during nearly five years (march 1966 to september 1970).

Although we find in general the low oxygen values near the bottom, the dissolved oxygen content is at its absolute minimum during the upwelling.

There is a good correlation between the Secchi depth and the depth of the well ventilated layer. About 10% of surface irradiance is found at the layer where the dissolved oxygen content equals 80% of the oxygen content found at surface.

I N T R O D U C T I O N

La radiale de Grand Bassam (3° 49'W) située à 11 milles à l'est d'Abidjan a été visitée à partir de mars 1966 avec une fréquence légèrement supérieure à une fois par mois, sur les fonds de 15, 30, 50, 80, 100 et 200 m. En 1968, trois sorties ont été poursuivies plus au large, de même toutes les sorties faites en 1969 et 1970. L'étude présente utilise les données de mars 1966 à octobre 1970.

Toutes les autres données disponibles dans un périmètre proche de cette radiale de Grand Bassam (entre $3^{\circ}49'W$ et $4^{\circ}04'W$) ont aussi été utilisées, en particulier celles recueillies sur la radiale d'Abidjan-Vridi ($4^{\circ}02'W$).

L'étude des variations saisonnières de l'oxygène dissous présente un double intérêt :

1) - En biologie, elle permet la description de la zone euphotique sur le plateau continental, la plus importante pour la vie marine en général et qui intéresse en premier lieu l'économie de la pêche.

2) - En océanographie physique, elle aide à caractériser les eaux d'upwelling : la teneur en oxygène des eaux ne varie que très lentement pendant le temps relativement court où se développent ces mouvements verticaux vers le haut. On peut donc l'utiliser comme indicateur, au même titre que la température et la salinité.

Dans la région étudiée :

- La pression atmosphérique reste pratiquement constante toute l'année.
- La salinité augmente entre juin et octobre, ce qui entraîne une décroissance de la solubilité de l'oxygène.
- La température de surface est en moyenne supérieure à $25^{\circ}C$. La thermocline n'est jamais absente, et les mouvements verticaux de convection sont inexistants.

Cette région est caractérisée par un régime d'upwelling saisonnier entre juillet et octobre (MORLIERE, 1970). On observe sur la figure 1 la montée des faibles teneurs en oxygène pendant cette période de l'année. En même temps, cet upwelling assure le retour de sels nutritifs dans la zone euphotique, favorables à la croissance du phytoplancton : les réactions de photosynthèse sont une source importante d'oxygène dissous, et on observe également des sursaturations dans la couche superficielle en fin de saison froide.

DISTRIBUTION DE L'OXYGENE AU LARGE. - SITUATION GENERALE

Les eaux de surface sont en général toujours saturées, avec des concentrations voisines de $4,60$ ml/l. La figure 2 montre les variations de la teneur en oxygène avec la profondeur au large du plateau continental par $4^{\circ}02'W$ (radiale d'Abidjan - Vridi), en avril, mai et juin 1967 , en dehors de la saison froide.

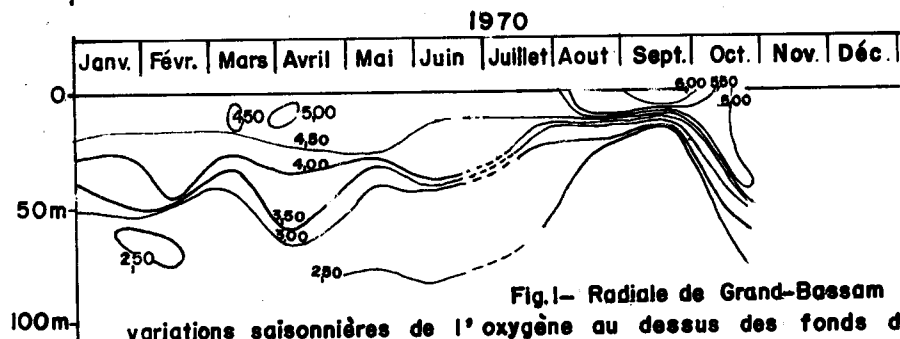
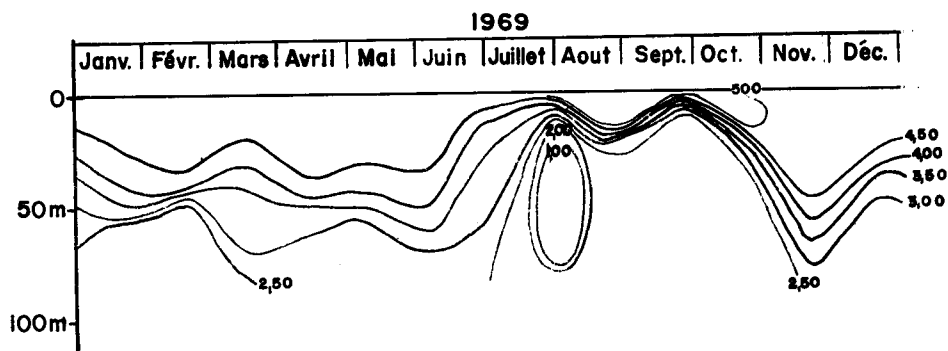
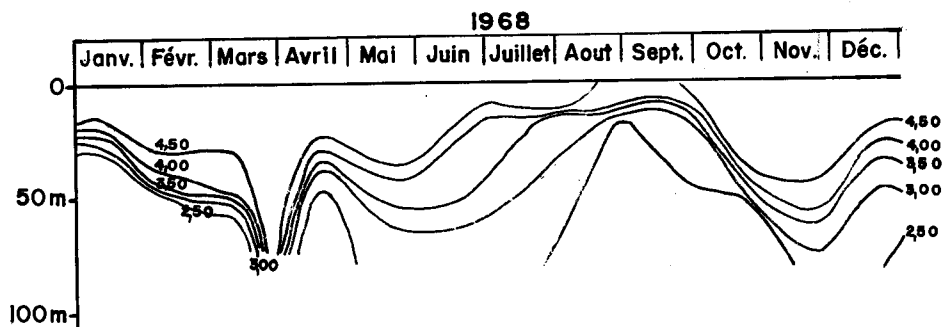
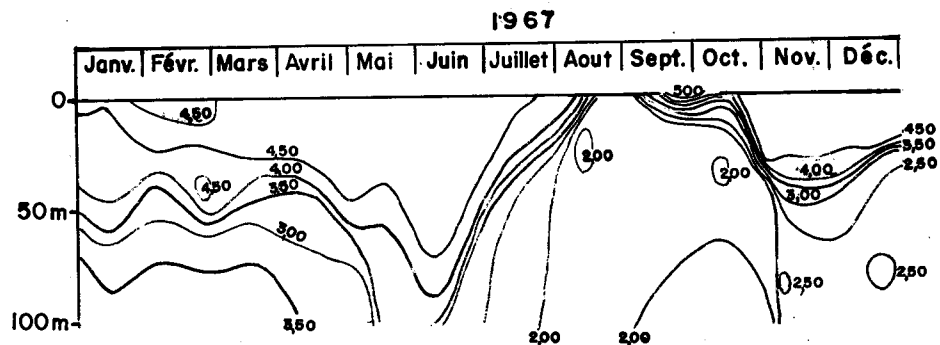
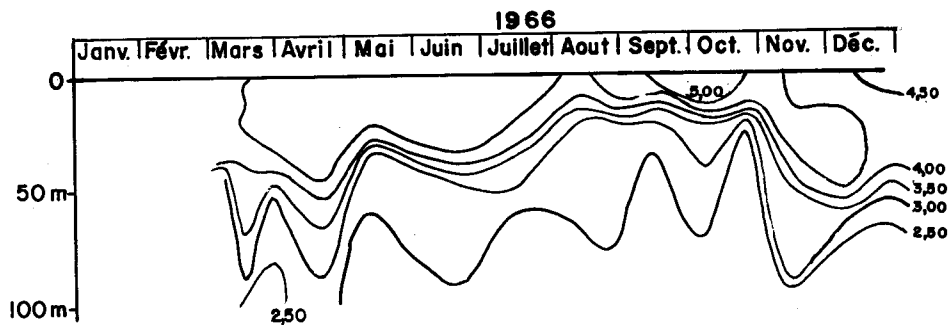


Fig.1- Radiale de Grand-Bassam
variations saisonnières de l'oxygène au dessus des fonds de 80-100m.

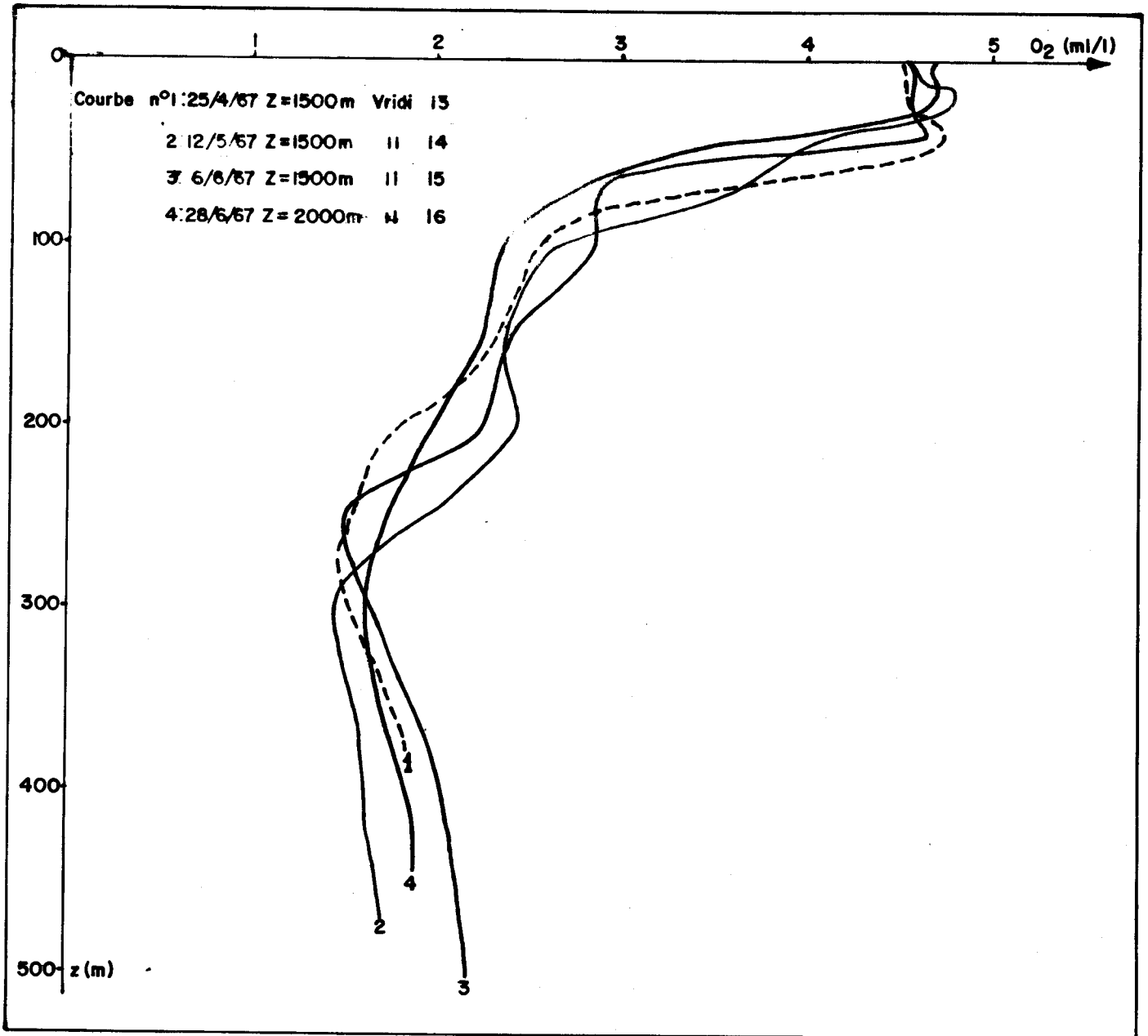


Fig.2 - L'oxygène au large au dessus des fonds de 1500 à 2000m et radiale d'Abidjan - Vridi 1967.

Entre 10 et 40 m, on observe un maximum d'oxygène, sauf en septembre où le gradient atteint la surface (des teneurs supérieures à 5,00 ml/l ne sont alors pas rares). Au dessous de ce maximum se trouve la zone à gradient maximal : en 20 ou 30 m, on passe de 4,50 ml/l environ à des valeurs voisines de 3,00 ml/l. Le minimum d'oxygène est compris entre 250 et 300 m, avec des valeurs voisines de 1,50 ml/l, puis la teneur en oxygène augmente avec la profondeur et peut atteindre ou dépasser 2,00 ml/l vers 450 - 500 m.

DISTRIBUTION DE L'OXYGENE SUR LE PLATEAU CONTINENTAL

- L'oxygène sur le fond

La situation a été étudiée sur les fonds de 25-30 m, 50 m, 100 m et 200 m; en règle générale, elle donne lieu aux constatations suivantes (voir fig. 3) :

- la teneur en oxygène sur le fond décroît à mesure que l'on va vers le large. Ceci est normal puisque le minimum d'oxygène est compris entre 250 et 300 m
- sur les fonds de plus de 100 m elle reste à peu près constante pendant toute l'année : à 150 - 200 m, elle est toujours voisine de 2,00 ml/l et, sur les fonds de 80 - 100 m, elle est comprise entre 2,00 et 3,00 ml/l.

En période d'upwelling (juin à octobre), la concentration sur les fonds de 100 à 200 m ne semble pas diminuer; même en année de fort upwelling comme en 1967, on n'y décèle pas de minimum d'oxygène.

Au contraire, sur les fonds de 25 et de 50 m, les variations sont très sensibles et jusque sur les fonds de 80 m. À partir de début juin, la quantité d'oxygène dissous sur le fond ne cesse de décroître pour atteindre un minimum vers septembre - début octobre, suivant la durée et la force de l'upwelling. Ce minimum d'oxygène est lié à une forte production de phytoplancton, de zooplancton et à une reminéralisation importante. De plus la thermocline fait barrage aux échanges et arrête la diffusion de l'oxygène atmosphérique. Toutes les conditions sont donc réunies pour qu'il existe alors un minimum d'oxygène accusé. Le tableau suivant donne les valeurs des minima observés sur les fonds de 25 - 30 m et de 50 m.

Date approximative du minimum	Fonds de 25-30 m	Fonds de 50 m
Fin septembre 1966	0,50 ml/l	2,30 ml/l
Début octobre 1967	0,30 ml/l	1,00 ml/l
Fin septembre 1968	2,20 ml/l	2,30 ml/l
septembre octobre 1969	1,70 ml/l (septembre)	1,80 ml/l (octobre)
août septembre 1970	1,80 ml/l (août)	1,70 ml/l (septembre)

Les variations se font en général dans le même sens sur les fonds de 25 - 30 m et sur les fonds de 50 m, mais il arrive parfois qu'elles se produisent en sens opposé : ainsi en octobre 1969, la teneur en oxygène décroît sur les fonds de 50 m, tandis qu'elle croît sur ceux de 25 m. Ceci semble lié à un développement plus rapide du phytoplancton dans la zone côtière ou à un retrait de l'upwelling plus précoce sur les petits fonds. Sur ceux de 80 m, on observe sur les diagrammes température-oxygène, une légère diminution de la teneur en O₂ pendant l'upwelling : on passe de valeurs comprises entre 2,40 et 3,00 ml/l à des valeurs groupées entre 2,00 et 2,40 ml/l.

Les différences observées entre les fonds de 25 - 50 m et ceux de 80 m et au-dessous peuvent s'expliquer. A partir de 80 m, on se trouve au-dessous de la zone euphotique et la production primaire est pratiquement nulle. Il s'ensuit que les variations de la teneur en oxygène dépendent surtout de l'intensité de l'upwelling.

Comme à 80 m et au-dessous, nous nous trouvons toujours au-dessous de la couche d'eau où se situe le gradient maximum d'oxygène, les eaux qui remontent feront peu varier les teneurs. A 150 et 200 m de profondeur, les mouvements verticaux sont pratiquement imperceptibles.

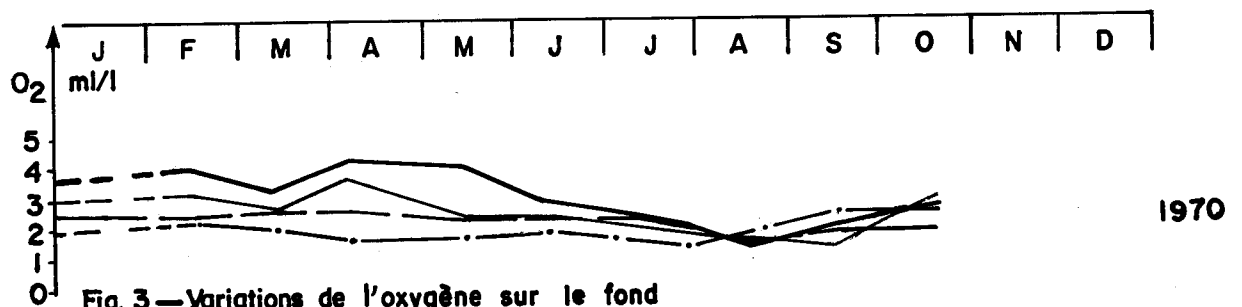
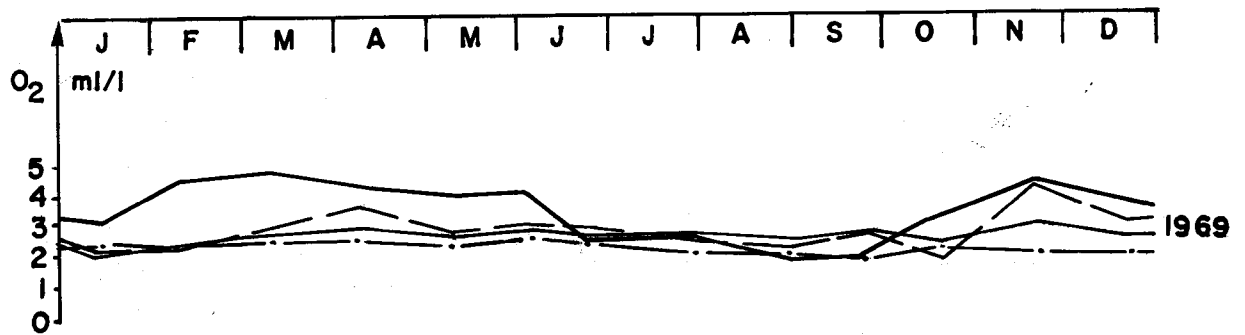
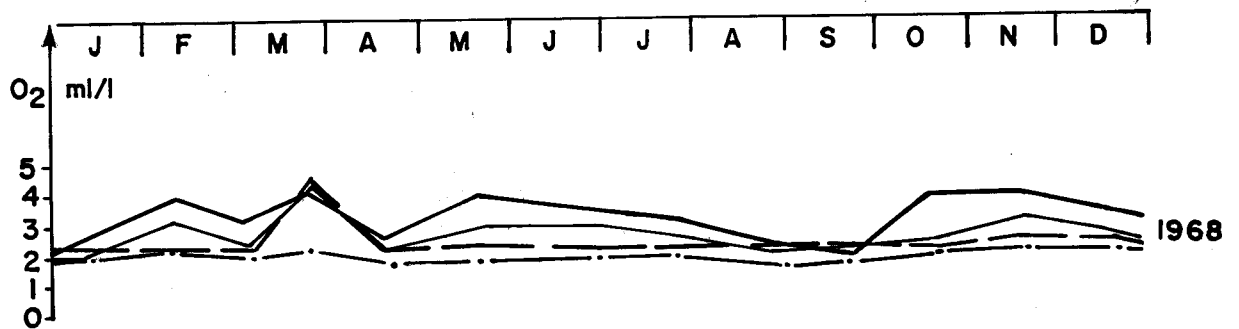
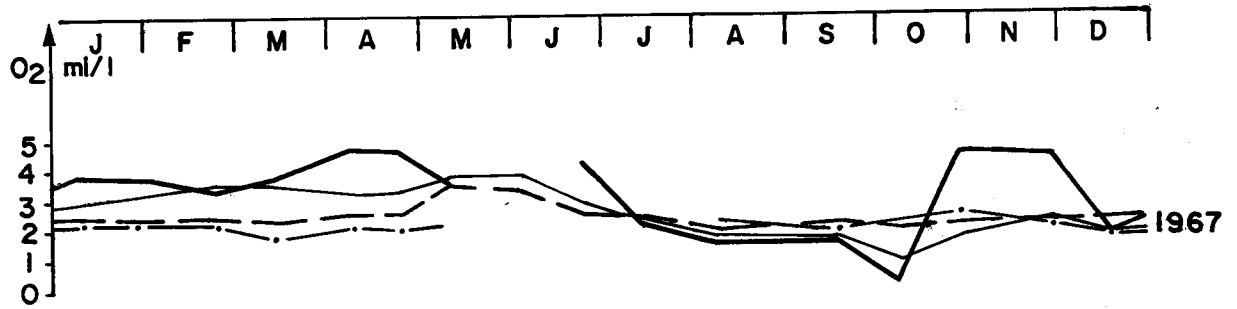
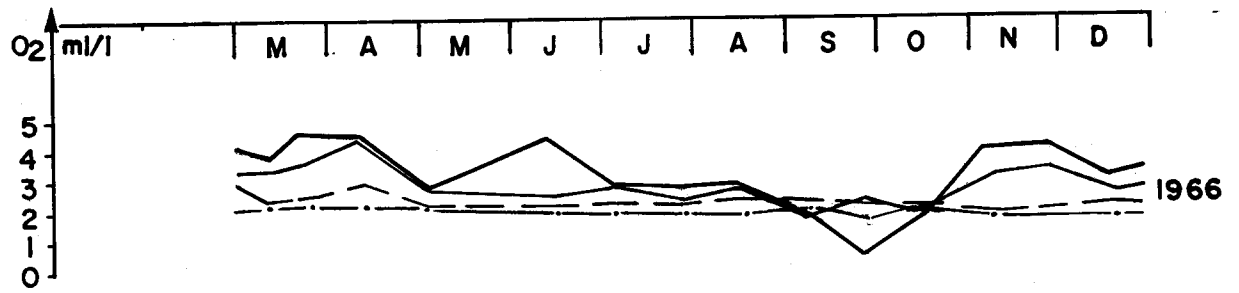


Fig. 3 — Variations de l'oxygène sur le fond

—————	fonds de	30 m
-----	" "	50 m
- . - . - .	" "	80 — 100 m
.....	" "	150 — 200 m

- L'oxygène dans la couche superficielle : épaisseur de la couche d'eau bien oxygénée (fig. 4)

La profondeur de la couche superficielle oxygénée est l'un des facteurs directement liés à la production primaire; il s'établit en effet un équilibre entre la photosynthèse dans la zone euphotique et la respiration dans toute la couche d'eau bien oxygénée; l'étude des variations d'épaisseur de celle-ci présente donc un grand intérêt en biologie.

Il est possible de définir la couche bien oxygénée comme étant la couche superficielle où la teneur en oxygène est proche de celle de la surface; plus précisément, on peut choisir de désigner ainsi une couche comprise entre la surface et le point haut de la couche d'eau contenant le gradient maximum d'oxygène. Les teneurs y sont sensiblement constantes, et les pourcentages de saturation sont supérieurs à 80 %.

Les variations d'épaisseur de la couche superficielle oxygénée ainsi définie ont été étudiées sur le plateau continental (fonds de 80 - 100 m) et au large lorsque c'était possible. Lorsqu'aucune station au large n'est disponible, les données de la station faite sur les fonds de 200 m sont utilisées. On constate deux faits caractéristiques :

- 1) - Les variations d'épaisseur de la couche oxygénée sont en général de plus faible amplitude au large que sur le plateau continental
- 2) - Pendant la période d'upwelling, entre juillet et octobre, la couche oxygénée est fortement réduite. Sur les fonds de 80 - 100 m, elle ne dépasse pas en général une dizaine de mètres d'épaisseur; il peut même arriver qu'elle disparaisse complètement, comme ce fut le cas en 1967 pendant près de trois mois.

Il est évident que cette diminution d'épaisseur de la couche bien oxygénée est liée aux mouvements verticaux observés pendant cette période de l'année; en effet, les mouvements de la thermocline et de la couche à fort gradient d'oxygène sont liés : lorsque la thermocline se déplace vers le haut ou vers le bas, la couche à fort gradient d'oxygène entreprend des mouvements semblables; ceci apparaît clairement sur les graphiques où l'on porte en abscisse la profondeur de la thermocline H_1 (fig. 5). La couche du gradient maximum se trouve presque toujours au-dessous de la thermocline.

Lorsque l'upwelling est établi, la thermocline peut atteindre la surface, et la couche superficielle bien oxygénée se réduit à quelques mètres d'épaisseur.

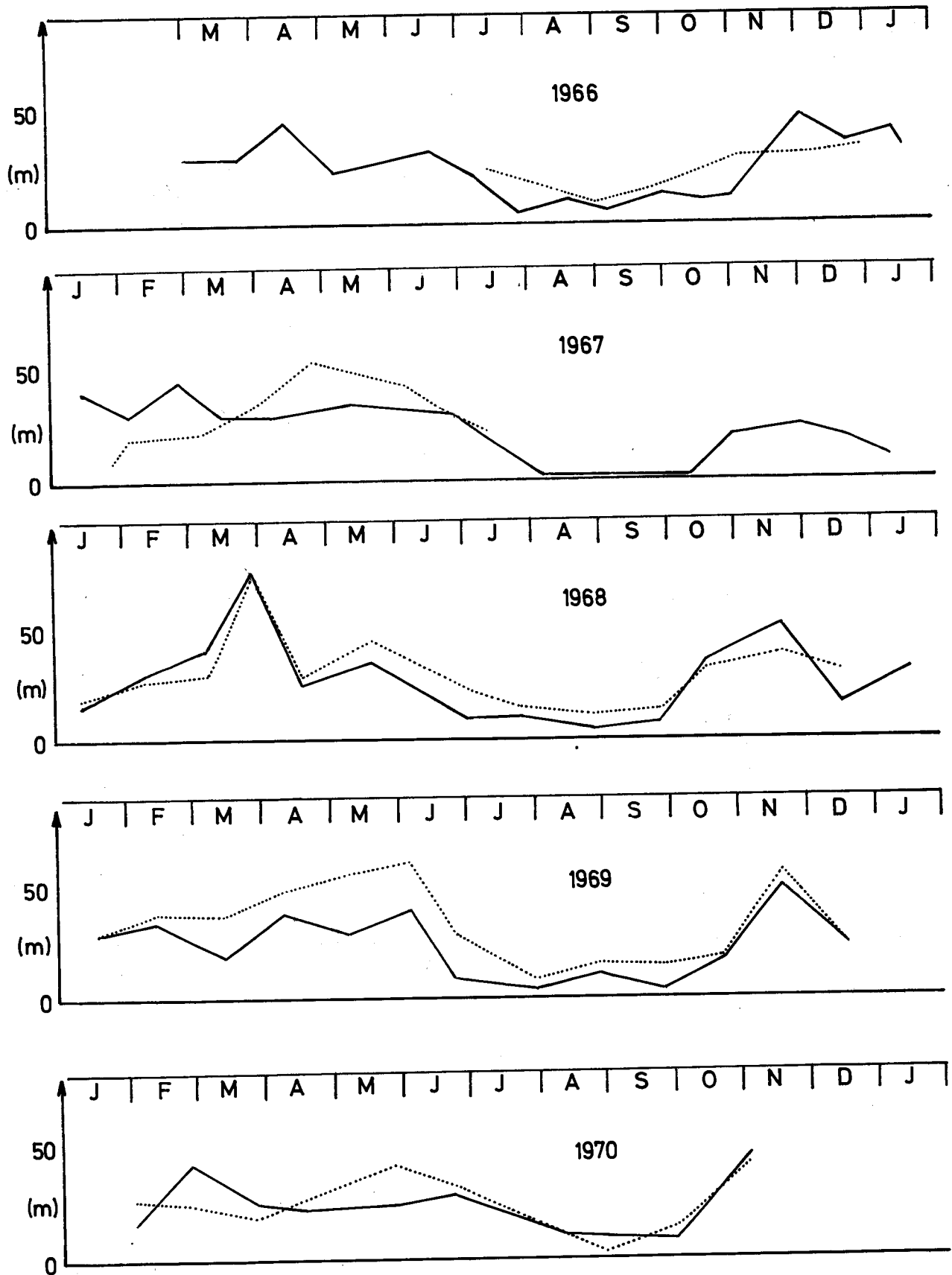


Fig. 4—Variations d'épaisseur de la couche bien oxygénée; fonds de 80 100m, trait continu; au large, pointillés.

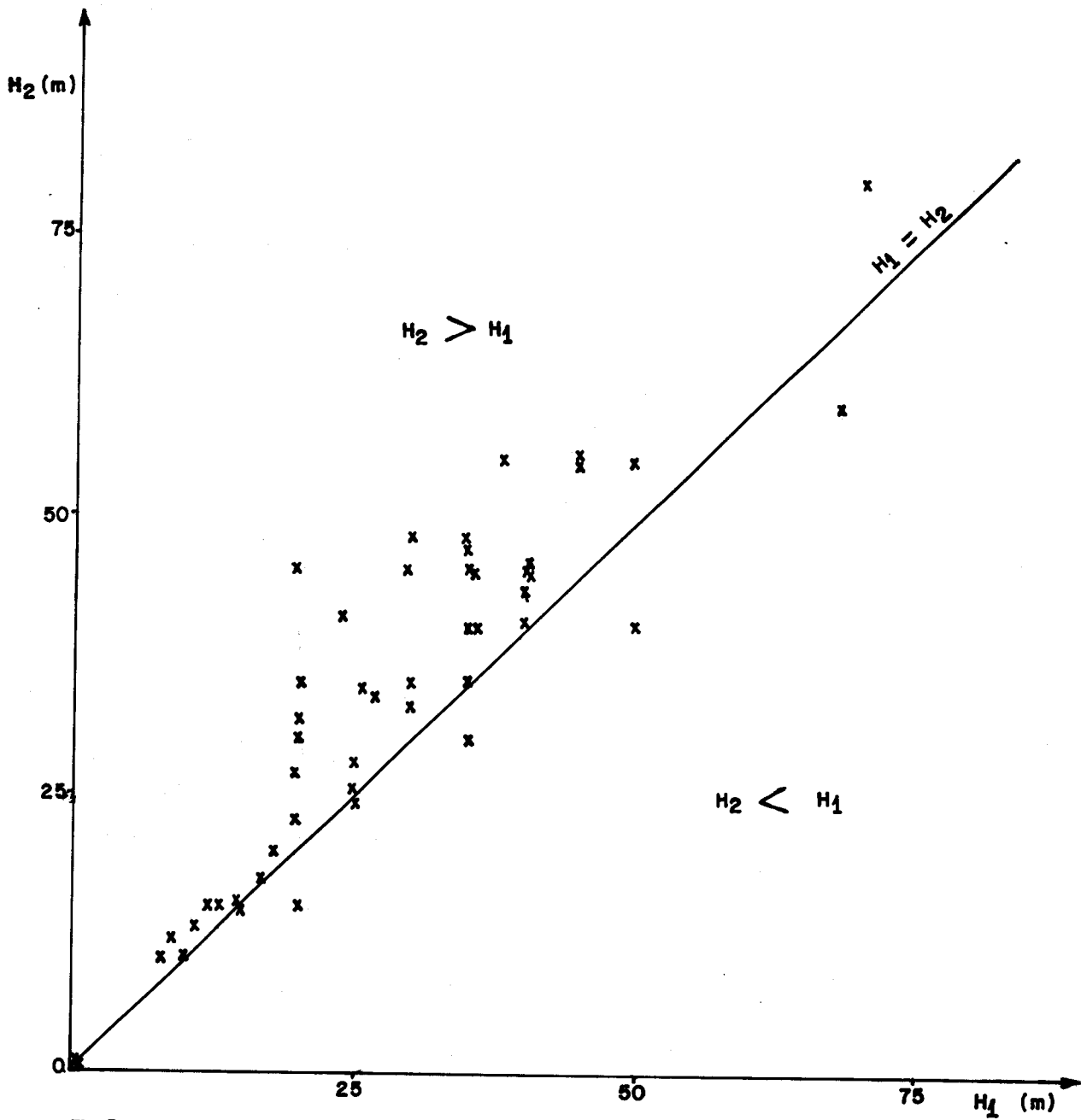


Fig. 5 - Radiale de Grand Bassam.

H_1 = profondeur de la thermocline

H_2 = profondeur du gradient maximum d'Oxygène

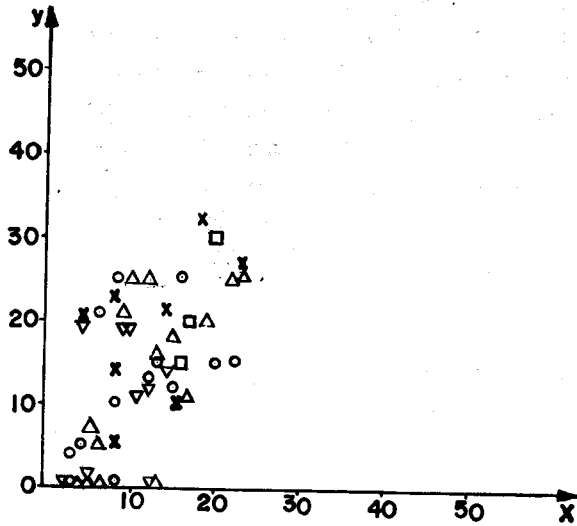
Il est intéressant lorsqu'on étudie la couche superficielle oxygénée de la comparer avec la profondeur Secchi, puisque celle-ci donne une approximation, grossière certes, de l'épaisseur de la zone euphotique (STRICKLAND, 1958). Les eaux d'upwelling sont caractérisées par leur forte turbidité : la profondeur Secchi diminue et reste souvent inférieure à 10 m; il existe une certaine corrélation entre celle-ci et l'épaisseur de la couche bien oxygénée. Cette corrélation a été étudiée de mars 1966 à septembre 1970 (fig. 6) sur les fonds de 30, 50, 80 et 100 m et au large sur 200 - 300 m.

Pour les années considérées, l'équation de la droite de régression et le coefficient de corrélation sont donnés dans le tableau suivant où x représente la profondeur Secchi en mètres, et y l'épaisseur de la couche superficielle oxygénée, en mètres.

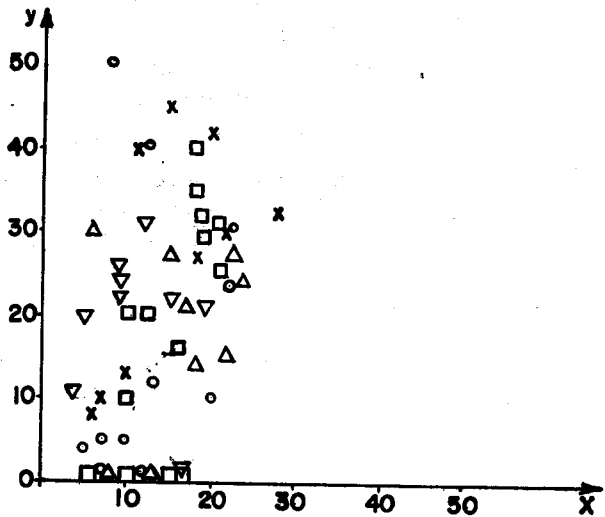
Fond (m)	30	50	80-100	200-300
y	$0,76x + 5,77$	$1,21x + 1,78$	$1,55x - 0,84$	$1,94x - 8,53$
r	0,50	0,59	0,58	0,75
r_s *	0,46	0,63	0,59	0,76

* r_s : coefficient de corrélation de Spearman

On constate que le coefficient de corrélation est meilleur vers le large que sur les petits fonds, et que la pente de la droite de régression augmente vers le large. En effet, par petits fonds la turbidité des eaux est fortement accrue par les particules en suspension soit par action de l'upwelling et des courants, soit par la houle, soit enfin par apports fluviaux; il s'ensuit que la croissance du phytoplancton n'est pas la seule cause de turbidité des eaux et que la profondeur Secchi ne donne plus une idée aussi exacte de l'épaisseur de la couche bien oxygénée. Sur petits fonds, on constate parfois que l'épaisseur de la couche bien oxygénée est encore importante alors que la profondeur Secchi est faible : ceci a lieu en saison des pluies, pendant laquelle la turbidité est importante, alors que la thermocline se trouve à son immersion normale. C'est sans doute pour cette raison que l'on observe une ordonnée à l'origine positive sur les petits fonds (5,77 sur fonds de 30 m et 1,78 sur fonds de 50 m), tandis que plus au large les faibles profondeurs Secchi (10 m environ) signifient toujours que la couche bien oxygénée est peu profonde.



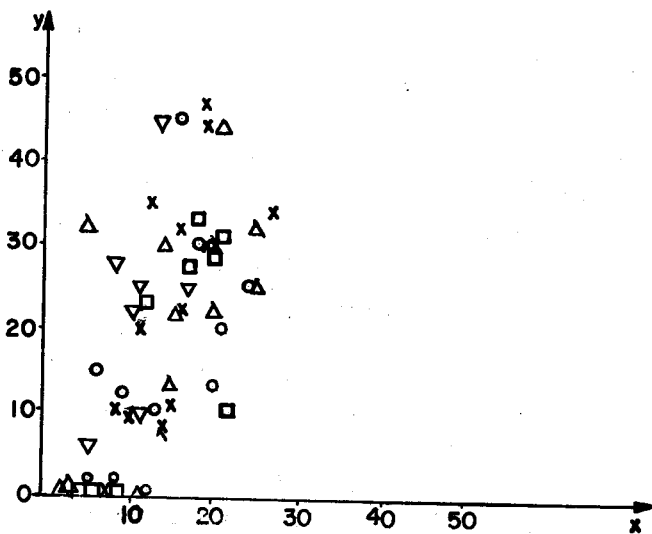
Fonds de 30—35 m



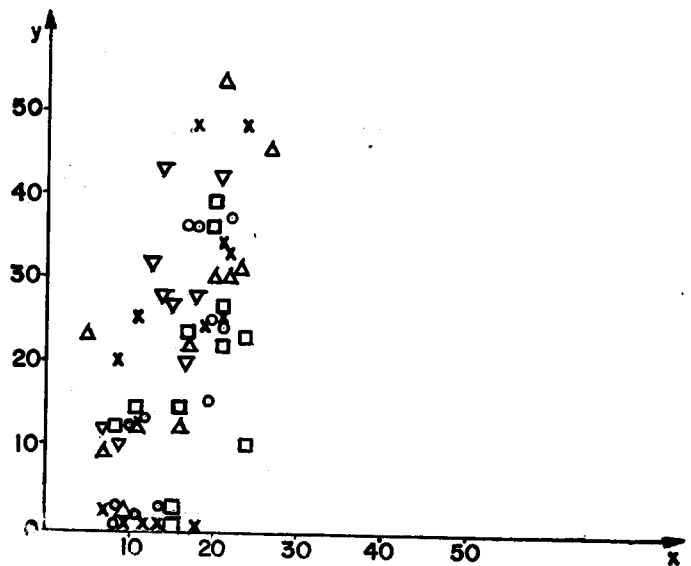
Fonds de 50 m

Fig.6 — Corrélation entre la profondeur de Secchi(x) et l'épaisseur de la couche bien oxygénée(y)

1966	x
1967	□
1968	△
1969	○
1970	▽



Fonds de 80—100 m.



Fonds de 200—350 m

Pour avoir une idée sur l'éclairement de la couche bien oxygénée, ces résultats ont été comparés à ceux obtenus par W. NELLEN (1967) dans le golfe de Guinée (croisière du "Geronimo", de février à mai 1964, stations des groupes 1, 2 et 3, presque toutes comprises entre les longitudes de Freetown et de Cotonou). NELLEN a mesuré la profondeur Secchi et les profondeurs où l'éclairement est égal à 1 %, 10 %, 25 %, et 50 % de l'éclairement en surface. Si l'on adopte la classification de N. G. JERLOV (1968) il y a au large de la région des eaux du type II du point de vue des propriétés optiques : en moyenne, 1 % de l'éclairement de surface à 60 m et 10 % à 30 m, valeurs qui concordent bien avec celles trouvées par NELLEN.

Si l'on prend pour zone euphotique l'épaisseur de la couche d'eau où l'éclairement est supérieur à 1 % de l'éclairement de surface, et si l'on suppose comme ci-dessus qu'elle est proportionnelle à la profondeur Secchi, on peut calculer le rapport suivant :

$$A = \frac{\text{épaisseur de la couche où } E \geq 1\% E_s}{\text{profondeur Secchi}}$$

De même pour une couche où l'éclairement est $\geq 10\%$ de l'éclairement en surface on peut calculer le rapport :

$$B = \frac{\text{épaisseur de la couche où } E \geq 10\% E_s}{\text{profondeur Secchi}}$$

où E_s désigne l'éclairement en surface.

A et B correspondent à la pente de la droite de régression. Le tableau suivant groupe les résultats. On constate que A et B, calculés à partir des mesures de NELLEN, encadrent nos résultats pour les stations des groupes 2 et 3.

	d'après NELLEN (Croisière du "Geronimo", 1964)			résultats présents	d'après NELLEN ("Geronimo", 1964)	
	Secchi (m)	profondeur ou E = 1% ES	A		pente droite régression	profondeur ou E = 10% ES
Groupe 1	12,2	36,6	3,00	1,21 (fond à 50m)	15,8	1,30
Groupe 2	21,0	57,8	2,75	1,55 (fond à 80-100m)	28,8	1,37
Groupe 3	26,5	72,0	2,72	1,94 (fond à 200-350m)	40,5	1,53

Les résultats présentés dans ce tableau montrent que l'éclairement au bas de la couche bien oxygénée où la teneur en oxygène est au moins égale à 80 % de celle de surface, est voisine de 10 % de l'éclairement en surface.

- Etude du diagramme T/O₂

L'étude des diagrammes température-oxygène en période d'upwelling et en période normale est intéressante, car la corrélation oxygène-température permet de caractériser les masses d'eau.

Les diagrammes des figures 7 et 8 ont tous été tracés d'après les stations faites au-dessus des fonds de 80 m. Pour éliminer les fluctuations de surface, seuls sont considérés les niveaux 20, 30, 40 et 75 m.

Au niveaux 20 et 30 m les points se divisent en deux groupes :

- En période normale, sans upwelling, les températures sont supérieures à 23°C et les teneurs en oxygène sont en général supérieures à 4,00 ml/l,
- En période d'upwelling, les températures sont inférieures à 20°C, et les teneurs en oxygène se groupent entre 2,00 et 3,00 ml/l.

Au niveau 40 m les variations sont nettes également.

Au niveau 75 m :

- Sans upwelling, les températures sont supérieures à 17°C, les teneurs en oxygène supérieures à 2,40 ml/l,
- Pendant l'upwelling, les températures sont souvent inférieures à 17°C, les teneurs en oxygène inférieures à 2,40 ml/l.

Les diagrammes permettent de constater que l'upwelling est encore sensible à cette profondeur.

Enfin il est intéressant de comparer la vitesse de montée du gradient maximum d'oxygène à celle de la thermocline dans la période transitoire pendant laquelle s'établit l'upwelling.

Pendant la période transitoire, la vitesse verticale vers le haut du gradient maximum d'oxygène est plus rapide que celle de la thermocline. Le gradient d'oxygène rattrape ensuite la thermocline et de fin juillet à septembre, il se trouve dans la thermocline. En période d'upwelling, la thermocline constitue donc une barrière thermique et biologique. Il est possible que les phénomènes de reminéralisation l'emportent sur la photosynthèse pendant cette période, et entraînent un appauvrissement rapide en oxygène dans les couches subsuperficielles.

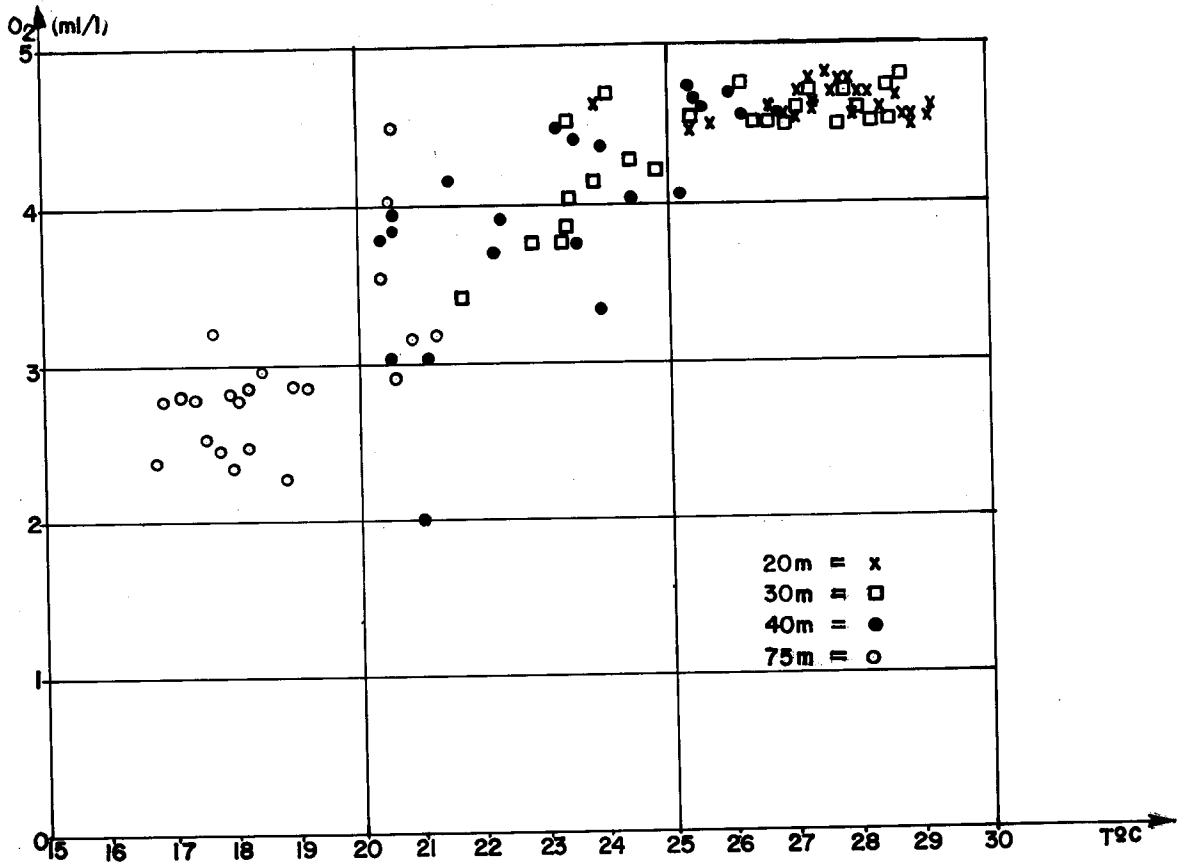


Fig. 7— Corrélation T, O₂ au dessus des fonds de 80m (sans upwelling), année 1966 à 1970

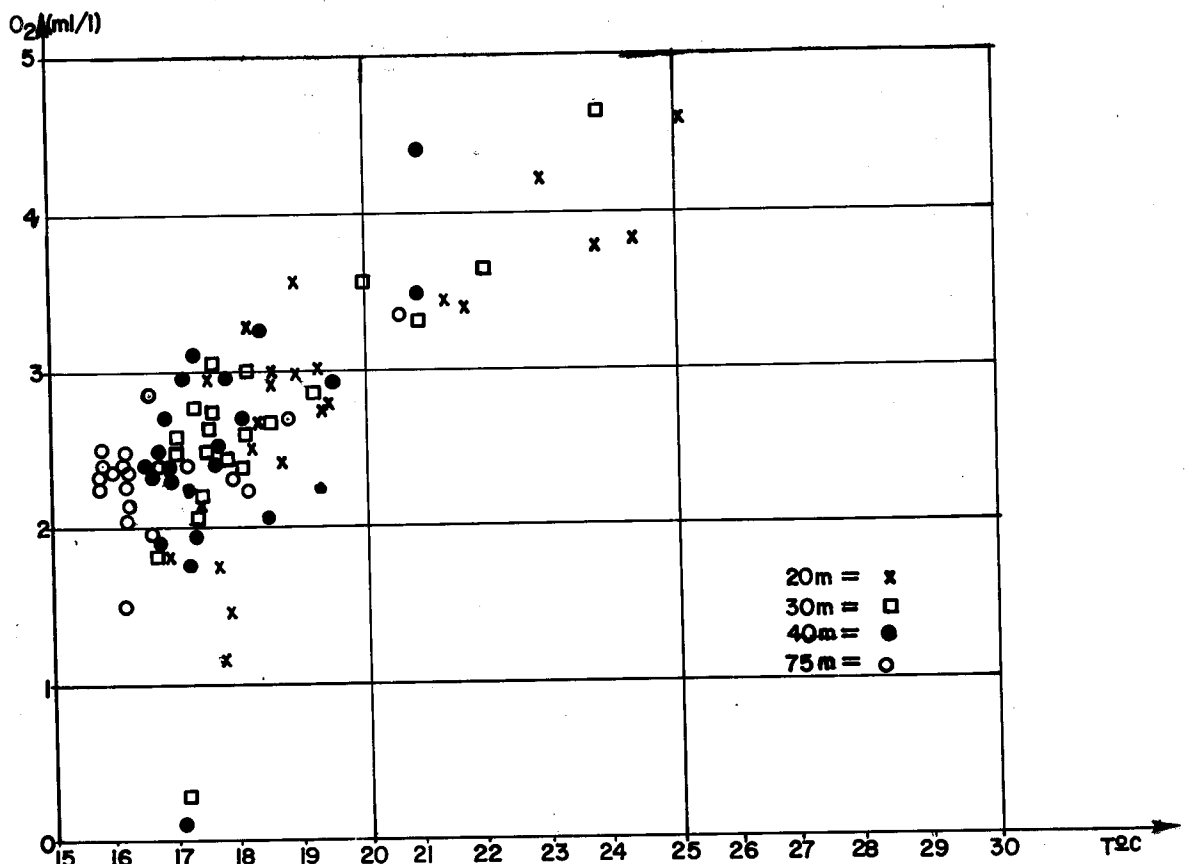


Fig. 8— Corrélation T, O₂ au dessus des fonds de 80m (avec upwelling), année 1966 à 1970

Le tableau suivant donne pour chaque année :

- les dates et la durée de la période transitoire
- les changements de niveau et les vitesses moyennes de montée de la thermocline et du gradient

Année	Période transitoire			Changements de niveau		VitesseS verticales moyennes	
	Début	Fin	Durée	Grad.Max.O2	Thermocline	Grad.Max.O2	Thermocline
1966	5-6	29-7	49 jrs	23m	17m	0,47m/jour	0,35m/jour
1967	6-6	18-7	42 jrs	60m	30m	1,40m/jour	0,70m/jour
1968	20-5	3-7	43 jrs	20m	16m	0,45m/jour	0,40m/jour
1969	5-6	31-7	56 jrs	55m	30m	1,00m/jour	0,55m/jour
1970	11-6	28-7	47 jrs	28m	25m	0,60m/jour	0,55m/jour

CONCLUSION

A partir de cette série de mesures portant sur près de cinq années, on peut conclure que l'amplitude des variations de la teneur en oxygène dissous sur le fond est faible dès 100 m. L'épaisseur de la couche bien oxygénée est toujours au moins égale à l'immersion de la thermocline, par suite de la diffusion turbulente dans les couches superficielles.

Les variations sur le fond, liées à l'upwelling de grande saison froide, concernent une bande du plateau continental comprise entre la côte et les fonds de 100 m environ. C'est sur le fond que l'on trouve les plus faibles teneurs en oxygène, et on y observe un minimum d'oxygène dissous pendant l'upwelling.

En période d'upwelling, la couche bien oxygénée devient très mince sur le plateau continental; l'épaisseur de la zone euphotique est fortement réduite par suite de la forte turbidité des eaux.

Il existe une assez bonne corrélation entre la profondeur Secchi et l'épaisseur de la couche superficielle bien oxygénée. Enfin, l'éclairement au bas de la couche bien oxygénée, où la teneur en oxygène est au moins égale à 80 % de celle de surface, est voisin de 10 % de l'éclairement en surface.

J'adresse mes vifs remerciements à M. FONTENEAU pour le calcul des coefficients de Spearman sur ordinateur, et à M. M'BAYE BA qui a bien voulu participer au fastidieux travail de compilation des données.

BIBLIOGRAPHIE

- JERLOV, N. G. (1968) - Optical oceanography. Elsevier, Amsterdam, London, New-York, 194 p.
- MORLIERE, A. (1970) - Les saisons marines devant Abidjan. Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, 1, 2, pp.1-15
- NELLEN, W. (1967) - Horizontale und vertikale Verteilung der Plankton Produktion im Golf von Guinea und in angrenzenden Meeresgebieten während der Monate Februar bis Mai 1964. Kieler Meeresforschungen, 23, 1, pp 48-66
- STRICKLAND, J. D. H. (1958) - Solar radiation penetrating the ocean. Use of the Secchi disc. J. Fish. Res. Bd. Canada, 15, 3, pp 485-487