

B. PITON
Y. MAGNIER

**SUR LA DÉTERMINATION
DE LA CHLOROPHYLLE "A"
DANS L'EAU DE MER CÔTIÈRE TROPICALE**



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

DOCUMENTS SCIENTIFIQUES DU CENTRE DE NOSY-BÉ

Document n°20



février 1971

ESSAIS SUR LA DETERMINATION DE LA CHLOROPHYLLE "A"

DANS L'EAU DE MER COTIERE TROPICALE

par B. PITON (x) et Y. MAGNIER (x)

R E S U M E

Ce rapport décrit et discute les méthodes de prélèvement et de mesure de la chlorophylle "a" utilisées pendant un an au cours d'une étude ayant pour but la description sommaire du cycle du phytoplancton dans les baies et sur le plateau continental du nord-ouest de Madagascar.

Pour une étude de ce genre, il semble suffisant de mesurer les extinctions des extraits acétoniques à 665 et 750 nm. Par contre, une très grande densité de prélèvements dans l'espace et le temps est indispensable pour pouvoir suivre l'évolution des populations phytoplanctoniques tropicales près des côtes.

A B S T R A C T

The methods of sampling and measuring the chlorophyll "a" used for one year's investigation on Madagascar N.W. coastal waters are described and discussed. For such a succinct approach of the phytoplankton cycle, the absorption measurements at 665 and 750 nm of acetonic extracts have been seemed satisfactory. However, a high density and frequency of sampling is necessary to follow the evolution of the phytoplanktonic populations near the coasts.

(x) Océanographes physiciens au Centre ORSTOM de Nosy-Bé.

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

L'étude physico-chimique des baies de la côte nord-ouest de Madagascar a montré que, pendant la saison des pluies (de novembre à avril), la circulation s'y fait selon le modèle "estuaire" : circulation à deux couches, de mouvement opposé, séparées par la halocline. Les conséquences biochimiques principales sont l'appauvrissement en oxygène et l'accumulation plus ou moins grande de sels nutritifs dans la couche inférieure (PITON et MAGNIER, sous presse). Lorsque survient l'homogénéisation verticale de la salinité en avril-mai-juin, début de la saison sèche, les sels nutritifs azotés (nitrate et nitrite) disparaissent à tous les niveaux. C'est pour savoir si cette disparition est reliée à de fortes poussées phytoplanctoniques ("bloom") automnales qu'une étude a été entreprise comprenant des mesures simultanées de T, S, O₂, NO₂, NO₃, chlorophylle "a" tout au long de l'année 1970, sur des prélèvements faits à plusieurs immersions, à des stations situées de l'embouchure du Sambirano, dans la baie d'Ampasindava, jusqu'au bord du talus continental. Les résultats de ces travaux feront l'objet de publications ultérieures.

Nous nous bornerons dans ce rapport à décrire la méthode choisie pour la mesure de la chlorophylle et à discuter de certains problèmes soulevés par quelques expériences effectuées au cours de cette année d'observation.

2-DESCRIPTION DE LA METHODE UTILISEE

2-1 Choix de la méthode

En l'absence de phytoplanctologiste au Centre de Nosy-Bé, il nous fallait prendre une méthode simple et rapide qui nous donne une bonne estimation de la biomasse du phytoplancton. Nous voulions étudier les mécanismes de minéralisation de la matière organique et de l'utilisation des sels nutritifs et tenter de différencier la chlorophylle active de la chlorophylle dégradée. A défaut de pouvoir utiliser la technique par fluorescence de YENTSCH et MENZEL (1963), proposée par WAUTHY et LE BOURHIS (1966), le choix s'est porté sur la méthode décrite par STRICKLAND et PARSONS (1968), intitulée "Spectrophotometric determination

of phaeo-pigments". Cette méthode fournit la chlorophylle "a" active et la chlorophylle "a" dégradée en terme de phéopigments. Elle a été adaptée aux conditions particulières de travail à Nosy-Bé.

2-2 Manipulations à bord du "Vauban"

Immédiatement après chaque station hydrologique comprenant des prélèvements à l'aide de bouteilles Niskin non métalliques de 1,5 litre, à 8 immersions au plus, par des fonds de 25 à 100 mètres, dans la baie et sur le plateau, on prélève de l'eau pour le dosage de la chlorophylle aux mêmes immersions, à l'aide de bouteilles du même type, en une ou deux palanquées successives (prélèvements de 1,5 ou 3 litres). Cette eau est transférée dans des bidons en filtrant au travers d'un filet de 0,4 mm de maille; on y ajoute 4-5 gouttes de carbonate de magnésium à 1%. Cette eau est ensuite filtrée, sous vide partiel (30-40 mm de mercure) à travers des filtres Millipore AA 0,8 μ . Les filtres sont pliés et placés, dans destubes en polyéthylène non bouchés et stockés dans des boîtes étanches à la lumière contenant du silicagel. Ces boîtes sont mises dans le congélateur du bord (-20° C).

2-3 Manipulations à terre

A terre, les filtres sont aussi stockés dans un congélateur jusqu'à analyse, durant moins de 8 jours. Avant une série de déterminations spectrophotométriques, on prépare de l'acétone à 90% avec de l'eau déminéralisée. Les filtres sont placés dans des tubes à centrifuger en verre, avec bouchons en plastique, de 12 ml environ, et dissous dans 6 ml d'acétone à 90% après une première agitation vigoureuse. Ces tubes sont stockés en réfrigérateur (7° C) dans des boîtes étanches à la lumière, pendant 15-20 heures; ils sont agités une seconde fois quelques heures après l'addition de l'acétone.

Avant l'analyse spectrophotométrique des extraits acétoniques les tubes sont centrifugés à 5.000 tours/minute pendant 15-20 minutes. Ces extraits sont ensuite versés dans des cuves de 5 ml, de 10 cm de trajet optique, avec porte-cuves spéciaux, la cuve de référence étant remplie d'acétone à 90%.

Les lectures spectrophotométriques sont faites à 750 puis 665 nm (m/μ).

Les extraits contenus dans les cuves de mesure sont ensuite acidifiés en ajoutant 1 goutte d'acide chlorhydrique à 5% (environ 0,5 N) et en agitant. Les lectures sont de nouveau faites à 665 puis 750 nm, 4-5 minutes après l'acidification.

2-3 Calculs

En désignant par "665_o" et "665_a" les extinctions lues avant et après acidification, corrigées des lectures à 750 nm, on a :

$$\text{Chlorophylle "a" active (mg/m}^3\text{)} = \frac{26,7 ("665_0" - "665_a") \times 6}{q \times 10}$$

$$\text{Phéopigments (mg/m}^3\text{)} = \frac{26,7 (1,7 \times "665_a - "665_0) \times 6}{q \times 10}$$

q étant la quantité d'eau filtrée (1,5 ou 3 litres).

On n'acidifie que les échantillons fournissant des lectures corrigées "665_o" supérieures à 0,150 unité d'extinction.

Pour ne pas avoir à tenir compte de l'effet de l'acidification dans le calcul de la chlorophylle "a" et pour comparer les teneurs en chlorophylle "a" de ces échantillons à celles trouvées dans la littérature selon une autre méthode plus généralement employée, sans distinction entre la chlorophylle "a" active et les phéopigments, il a été retenu qu'une extinction en cuve de 1 cm, de 89,31 à 663 nm correspond à une concentration de 1 g de chlorophylle "a" dans un litre d'acétone à 90% (SCOR-UNESCO, 1966). De plus, des essais ont montré que les lectures d'extinction des mêmes extraits acétoniques à 663 nm (pic chlorophyllien) sont supérieures de 3% environ à celles effectuées à 665 nm. D'où la formule simple pour avoir une estimation globale de la chlorophylle "a" :

$$\text{Chlorophylle "a" (mg/m}^3\text{)} = \frac{1,03 (665_0) \times 6}{0,08931 \times 10 \times q}$$

Une formule de ce type (lecture à 663 nm), a déjà été utilisée, en particulier par STEELE et BAIRD (1968). Les quantités ainsi déterminées seront désignées par la suite de cet article par l'abréviation : "Chla S-B".

3-PREMIERE EXPERIENCE : COMPARAISON DE RESULTATS FOURNIS PAR DIFFERENTES METHODES DE DETERMINATION DE LA CHLOROPHYLLE "a".

Sur six échantillons, il a été déterminé les extinctions à 750, 665, 663, 640 et 630 nm, et à 665 nm après acidification. Ceci a permis de calculer les teneurs en chlorophylle "a" et phéopigments par les diverses

formules trouvées dans STRICKLAND et PARSONS (1968) et celles proposées plus haut. Les résultats de ces calculs sont rassemblés dans le tableau suivant :

N° éch.	665_o	663_o	Chla R-T	Chla S-P	Chla S-U	Chla S-B	Chla "a"	Pheo	Chla + pheo	$\frac{665_o}{665_a}$
1	0,167	0,169	0,79	0,58	0,57	0,87	0,51	0,59	1,10	1,32
2	0,183	0,192	1,08	0,81	0,80	0,86	0,40	1,32	1,72	1,21
3	0,228	0,241	1,33	1,00	0,98	1,08	0,50	1,64	2,14	1,21
4	0,340	0,347	2,00	1,51	1,49	1,55	0,80	2,40	3,20	1,23
5	0,812	0,852	4,75	3,60	3,72	3,82	2,53	2,79	5,32	1,33
6	1,273	1,308	7,47	5,65	5,72	5,86	4,80	2,95	7,95	1,43

- 665_o et 665_a = lectures corrigées à 665 et 663 nm

-Chla R-T, Chla S-P, Chla S-U et Chla S-B = chlorophylle "a" calculée respectivement par les formules de RICHARDS et THOMPSON, STRICKLAND et PARSONS, SCOR-UNESCO, et STEELE et BAIRD.

-Chla a et phéo : chlorophylle "a" active et phéopigments.

On note que :

1°) les extinctions lues à 663 nm sont en moyenne de 3,5% plus élevées que celles lues à 665 nm.

2°) sauf pour l'échantillon 1, les valeurs "Chla S-B" ne sont en moyenne que 5% plus élevées que la moyenne entre "Chla S-P" et "Chla S-U".

3°) les teneurs en chlorophylle "a" active sont, dans les exemples choisis, bien inférieurs (jusqu'à 2 fois) à celles calculées classiquement (rapport moyen $\frac{665_o}{665_a}$ de 1,29).

En conclusion, on peut admettre que les valeurs obtenues par la formule de STEELE et BAIRD, les mesures à 665 nm étant majorées de 3%, donnent une aussi bonne appréciation des teneurs en chlorophylle "a" que celles obtenues par les formules plus classiques.

4-DEUXIEME EXPERIENCE : REPRODUCTIBILITE DE LA METHODE

De l'eau de mer côtière est recueillie dans une bonbonne de 30 litres environ. En maintenant cette eau en agitation permanente, on échantillonne des quantités variant de 1,0 à 3,0 litres. Ces prélèvements sont aussitôt

filtrés, et les filtres divisés en deux lots, l'un est immédiatement dissous dans l'acétone, l'autre est placé en congélateur pendant 2 à 8 jours. Cette expérience a été répétée deux fois.

Les écarts entre les valeurs mesurées et la moyenne pour chaque groupe d'analyses considéré se répartissent comme l'indique la figure 1. Les écarts-types calculés sont respectivement 0,14 - 0,19 - 0,10 mg/m³ pour les déterminations de chlorophylle "a" active, des phéopigments et de la chlorophylle "a" selon la formule de STEELE et BAIRD. On voit donc que dans cette dernière détermination, l'erreur-type sur une seule détermination est de $\pm 0,20$ mg/m³ au niveau 95%, du même ordre de grandeur que celle donnée (0,21 mg/m³) par STRICKLAND et PARSONS (1968). Par contre, les résultats obtenus dans la détermination de la chlorophylle "a" active et les phéopigments ne sont pas encourageants.

Il a été constaté que, en partant d'une même eau, les extraits acétoniques de filtres non congelés peuvent être moins denses que ceux provenant de filtres ayant séjourné au congélateur. Pour savoir si les valeurs moyennes trouvées à chaque lot sont statistiquement différentes, on considère le système formé par chaque série de valeurs. Soit, par exemple, x_a , \bar{x}_a , x_b et \bar{x}_b les valeurs mesurées et les moyennes calculées de chaque lot (non congelé et congelé), n_a et n_b le nombre de mesures effectuées. La variance du système considéré est :

$$v_t = \frac{(x_a - \bar{x}_a)^2 + (x_b - \bar{x}_b)^2}{(n_a - 1) + (n_b - 1)}$$

L'écart-type de la différence d des deux moyennes est :

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{v_t}{n_a} + \frac{v_t}{n_b}}$$

On calcule le rapport :

$$t_{\text{exp}} = \frac{d}{\sigma_d}, \text{ que l'on compare à la}$$

valeur t fournie par la table de FISHER, pour $N = (n_a - 1) + (n_b - 1)$ degrés de liberté, au niveau de probabilité 0,05. Si cette valeur calculée t_{exp} est supérieure à t, la différence entre les deux moyennes considérées est significative au niveau 95% (LACROIX, 1962). Les valeurs trouvées pour chaque système considéré sont rassemblées sur le tableau suivant :

	filtres non congelés	filtres congelés	σ_t	σ_d	$t_{exp.}$	t
: Chla "a"	:n=8 $\bar{x} = 0,21$:n=6 $\bar{x} = 0,34$:0,0033	: 0,031	: 4,2	:2,18
:	:	:	:	:	:	:
:	:n=8 $\bar{x} = 0,51$:n=8 $\bar{x} = 0,64$:0,0319	: 0,089	: 1,5	:2,15
:	:	:	:	:	:	:
: phéo	:n=8 $\bar{x} = 0,42$:n=6 $\bar{x} = 0,38$:0,0129	: 0,061	: 0,7	:2,18
:	:	:	:	:	:	:
:	:n=8 $\bar{x} = 0,71$:n=8 $\bar{x} = 1,05$:0,0589	: 0,121	: 2,8	:2,15
:	:	:	:	:	:	:
: Chla	:n=8 $\bar{x} = 0,47$:n=6 $\bar{x} = 0,59$:0,0032	: 0,031	: 3,9	:2,18
:	:	:	:	:	:	:
: S-B	:n=8 $\bar{x} = 0,99$:n=8 $\bar{x} = 1,31$:0,0199	: 0,071	: 4,5	:2,15
:	:	:	:	:	:	:

On voit que 4 fois sur 6, la différence entre les valeurs obtenues à partir de filtres non congelés et de celles provenant de filtres congelés est statistiquement différente ; dans ces quatre cas, les filtres ayant été congelés libèrent plus de chlorophylle : la congélation en faisant éclater les cellules, peut faciliter l'extraction acétonique.

5-TROISIEME EXPERIENCE : VARIABILITE DANS L'ESPACE

Etant donné la précision obtenue dans sa détermination, quelle doit être la distance entre les prélèvements pour avoir la meilleure image de la répartition horizontale de la chlorophylle dans une baie ?.

Le lieu choisi pour tenter de répondre à cette question est la baie d'Ambaro, par des fonds variant de 12 à 25 mètres. Un prélèvement d'eau de 1,5 litre est effectué quatre fois de suite à 10 mètres d'immersion à chaque station située comme le montre la figure 2 (selon une idée originale de S.FRONTIER).

A l'époque de l'expérience (7 juillet 1970), en première moitié de la saison sèche, la baie d'Ambaro peut fonctionner comme un "anti-estuaire" (PITON et MAGNIER, sous presse), dont le trait principal est l'homogénéité verticale en salinité et en oxygène (jusqu'à sursaturation). En effet, la salinité moyenne de tout le volume d'eau échantillonné est de 34,95‰ à $\pm 0,03\%$ près, et les teneurs en oxygène dissous varient autour de la valeur moyenne 4,66 ml/l à $\pm 0,10$ ml/l près (saturation : 4,58 ml).

A une des stations, par 13 mètres de profondeur, des prélèvements pour la détermination de la chlorophylle ont été effectués à 0,5, 10 et

12 mètres d'immersion. Pour les teneurs en chlorophylle "a" S-B, l'écart-type calculé est de 0,08 mg/m³, de même ordre de grandeur que celui trouvé dans l'expérience précédente (0,10). On peut émettre l'hypothèse que, à l'époque de l'expérience, les teneurs en chlorophylle "a" sont les mêmes dans toute l'épaisseur de la couche.

Les résultats de mesures de chlorophylle "a" active, de phéopigments et de chlorophylle "a" S-B sont rassemblés dans le tableau suivant, avec les moyennes (\bar{x}), les variances (V) et les écarts-types (σ) calculés à chaque série de quatre mesures en une même station.

	Chla a	phéo	Chla ST-B	Chla a	phéo	Chla S-B	Chla a	phéo	Chla S-B	Chla a	phéo	Chla S-B
	station 1			station 5			station 9			station 13		
1	0,31	1,08	0,85	0,46	1,46	1,19	0,19	1,42	0,92			0,36
2	0,65	0,74	0,97	0,46	1,82	1,38	0,62	0,67	0,91			0,37
3	0,16	1,07	0,72	0,92	0,37	1,03	0,34	0,96	0,91			0,26
4	0,44	0,86	0,84	0,74	1,11	1,25	0,66	0,52	0,87			0,27
\bar{x}	0,390	0,938	0,845	0,645	1,190	1,213	0,452	0,892	0,878			0,315
v	0,0431	0,0276	0,0104	0,0511	0,829	0,0211	0,0509	0,1579	0,0025			0,0031
σ	0,21	0,17	0,10	0,23	0,62	0,15	0,23	0,40	0,05			0,06
	station 2			station 6			station 10			station 14		
1	0,10	1,02	0,63	0,57	1,37	1,23	0,42	0,72	0,76			0,37
2	0,20	0,90	0,65	1,48	0,97	1,85	0,36	0,64	0,66			0,36
3	0,24	0,41	0,43	0,74	1,96	1,68	0,41	0,80	0,79			0,29
4	0,22	0,90	0,68	0,77	2,02	1,76	0,59	0,30	0,78			0,27
\bar{x}	0,190	0,808	0,598	0,890	1,580	1,630	0,445	0,615	0,748			0,323
v	0,0039	0,0734	0,0129	0,0128	0,254	0,079	0,0100	0,0484	0,0036			0,0025
σ	0,06	0,27	0,11	0,35	0,50	0,28	0,10	0,22	0,06			0,05
	station 3			station 7			station 11			station 15		
1	0,30	1,28	0,95	0,93	3,15	2,51	0,88	0,00	0,72			0,39
2	0,46	0,36	0,92	2,04	1,22	2,48	0,60	0,31	0,70			0,34
3	0,16	1,72	1,05	1,26	2,60	2,51	0,56	0,36	0,69			0,36
4	0,47	1,18	1,05	2,03	1,20	2,46	0,71	0,34	0,85			0,34
\bar{x}	0,348	1,285	0,993	1,565	2,043	2,490	0,687	0,252	0,740			0,358
v	0,0217	0,1173	0,0046	0,3127	0,974	0,006	0,0205	0,0287	0,0055			0,0006
σ	0,15	0,34	0,07	0,55	0,99	0,02	0,14	0,17	0,08			0,03
	station 4			station 8			station 12			station 16		
1	0,36	1,05	0,88	0,71	1,40	1,37	0,65	0,37	0,78			0,27
2	0,49	0,70	0,80	0,72	1,48	1,42	0,46	0,64	0,75			0,28
3	0,45	0,83	0,84	0,37	1,00	1,39	1,02	0,04	0,94			0,26
4	0,42	0,76	0,78	0,15	2,34	1,36	0,45	0,60	0,72			0,33
\bar{x}	0,430	0,835	0,825	0,637	1,555	1,385	0,645	0,412	0,798			0,285
v	0,030	0,0235	0,0020	0,1201	0,318	0,007	0,0710	0,0758	0,0096			0,0010
σ	0,06	0,15	0,05	0,35	0,56	0,03	0,27	0,28	0,10			0,03

La moyenne des écarts-types trouvés dans les déterminations de chlorophylle "a" active, de phéopigments et de chlorophylle "a" S-B sont respectivement 0,23 - 0,38 et 0,08 mg/m³. On voit donc, encore une fois, que les mesures de chlorophylle "a" S-B semblent plus dignes de confiance que celles de chlorophylle "a" active et de phéopigments : au niveau 95%, l'erreur type sur une seule détermination de chlorophylle "a" selon la formule de STEELE et BAIRD est, dans cette expérience de $\pm 0,16$ mg/m³.

Pour voir si la valeur moyenne trouvée à chaque station est statistiquement différente de celle trouvée à la station voisine de 1 mille, on fait le même test de FISHER que précédemment, en prenant les stations deux à deux. Dans ce cas, la valeur de t est égale à 2,45 et les valeurs obtenues pour t_{exp.} sont rassemblées sur le tableau suivant :

Couple de stations	Chl "a" active	phéo	Chla S-B	!!	Couple de stations	Chl "a" active	phéo	Chl "a" S-B
1-2	1,7	0,8	3,1	!!	9-10	0,1	1,2	3,3
2-3	2,1	2,2	6,0	!!	10-11	2,8	2,7	0,2
3-4	0,1	2,3	4,1	!!	11-12	0,5	1,0	0,7
4-1	0,3	0,9	0,4	!!	12-9	1,4	2,3	1,5
5-6	1,1	0,9	3,8	!!	13-14			0,2
6-7	2,0	0,8	10,8	!!	14-15			1,3
7-8	2,8	0,8	7,5	!!	15-16			3,8
8-5	0,1	0,9	2,3	!!	16-13			1,0

On voit que dans huit cas sur seize, les valeurs moyennes de chlorophylle "a" S-B à deux stations voisines de un mille sont statistiquement différentes ($t_{exp.} > 2,45$), et ce plus fréquemment au voisinage de la côte. Par contre, les valeurs des variances calculées à partir des mesures de chlorophylle "a" active et de phéopigments ne permettent pratiquement pas de distinguer les moyennes de chaque couple de stations.

On peut donc conclure que, même en saison sèche où les conditions hydrologiques sont homogènes, il est souhaitable d'effectuer des prélèvements à des stations rapprochées (de l'ordre du mille), surtout près des côtes, si l'on veut une description valable de la répartition du phytoplancton. Il serait intéressant d'effectuer le même type d'expérience en saison humide où les conditions hydrologiques sont bien plus complexes.

Au cours de l'expérience décrite ci-dessus, des prélèvements

répétés de zooplancton ont aussi été effectués.

6-QUATRIEME EXPERIENCE : ESSAI DE DETECTION DE VARIATIONS A COURT

TERME

6-1 But de l'expérience

Au cours de l'étude du cycle annuel du phytoplancton le long d'une radiale de 9-10 stations allant de l'embouchure du Sambirano en baie d'Ampasindava, jusqu'au talus continental, il a été détecté, dans la baie, des populations phytoplanctoniques denses (jusqu'à 10 mg de chlorophylle "a" par mètre cube), en avril, au début de la saison sèche, au commencement de l'homogénéisation verticale de la salinité.

Comme KETCHUM et CORWIN (1965), nous avons voulu suivre l'évolution de ce phytoplancton en plein développement par l'analyse de la chlorophylle "a" et de quelques propriétés physico-chimiques sur des échantillons provenant d'une même masse d'eau marquée par une drogue dérivante.

Nous pensions, à partir des variations observées pendant une période de 8 jours, pouvoir estimer la productivité de cette eau à cette époque. Malheureusement, après un premier cycle d'observation de 24 heures, le fil reliant la drogue à la bouée de repérage de surface a été coupé. Cependant, le dépouillement des résultats obtenus sur 24 heures (cycle nycthéral) a montré les difficultés d'une telle étude dans les eaux tropicales côtières.

6-2 Déroulement de l'expérience - Le 22 mai 1970, nous avons mouillé au milieu de la baie d'Ampasindava (fig.3) une drogue constituée d'un croisillon entoilé de 1,5 mètre de haut et de 1 mètre de large. Une série préalable de mesures qualitatives de nitrate et de chlorophylle "a" sur des prélèvements tous les cinq mètres jusqu'au fond (35 mètres) a suggéré que le maximum de chlorophylle "a" devait être situé entre 15 et 20 mètres d'immersion; la drogue a été placée à 16-17 mètres.

Au proche voisinage de cette bouée (à moins de 100 mètres) ont été effectuées, toutes les quatre heures, une ou deux stations hydrologiques et phytoplanctoniques (de part et d'autre de la bouée par rapport au vent dans le cas de deux stations) avec prélèvements à 0, 10, 16, 17 et 25 mètres d'immersion. Les mesures effectuées sont : température, salinité, oxygène dissous, phosphate, phosphore particulaire, nitrate, nitrite et la chlorophylle "a" selon la méthode exposée précédemment. Certains résultats : salinité, densité, oxygène, utilisation apparente de l'oxygène, nitrate + nitrite et chlorophylle "a" S-B sont rassemblés dans le tableau ci-après et l'évolution de leur distribution est représentée sur les figures 4 et 5.

Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Z
heure	10.33	10.57	14.15	18.12	18.40	22.10	02.10	06.00	06.20	10.20	
fond	32	32	38	37	37	33	34	37	37	30	
S	33,23	32,58	32,97	33,46	33,48	33,68	33,61	32,89	32,76	33,43	0
%	34,60	34,62	34,57	34,70	34,62	34,58	34,67	34,58	34,59	33,66	10
	34,61	34,62	34,64	34,63	34,61	34,61	34,63	34,61	34,61	34,67	16
	34,62	34,61	34,62	34,64	34,61	34,62	34,62	34,61	34,62	34,65	17
	34,73	34,71	34,74	34,70	34,69	34,70	34,76	34,70	34,70	34,83	25
G _t	20,84	20,42	20,60	21,00	21,02	21,15	21,13	20,80	20,79	21,08	0
	22,02	22,06	21,96	22,08	22,06	22,03	22,11	22,04	22,08	22,13	10
	22,18	22,13	22,12	22,13	22,16	22,15	22,14	22,14	22,15	22,24	16
	22,19	22,17	22,13	22,16	22,16	22,19	22,15	22,16	22,18	22,23	17
	22,34	22,32	22,34	22,30	22,29	22,31	22,33	22,31	22,31	22,43	25
O	4,44	4,53	4,67	4,52	4,51	4,36	4,33	4,46	4,44	4,42	0
	4,29	4,23	4,20	4,28	4,18	4,04	3,98	3,84	3,78	4,01	10
	3,06	3,72	3,99	3,72	3,40	3,26	3,48	3,36	3,42	3,14	16
2	2,95	3,03	3,98	3,66	3,28	3,19	3,32	3,31	3,17	3,03	17
ml/l	3,51	3,48	3,92	3,29	3,11	3,09	2,82	3,17	3,20	3,64	25
UAO	0,02	-	-	-	-	0,08	0,13	0,08	0,11	0,06	0
ml/l	0,18	0,24	0,26	0,18	0,29	0,43	0,49	0,63	0,70	0,46	10
	1,45	0,77	0,49	0,77	1,10	1,24	1,01	1,13	1,08	1,36	16
	1,56	1,47	0,51	0,83	1,22	1,32	1,17	1,19	1,33	1,47	17
	1,01	1,04	0,60	1,22	1,40	1,43	1,69	1,35	1,32	0,88	25
NO	0,00	0,07	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00	0
3	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,04	0,04	0,00	10
+ NO ₂	4,31	0,53	0,02	0,15	1,91	1,96	0,16	0,81	1,22	4,01	16
matg/m ³	4,44	3,71	0,21	0,59	2,16	3,17	0,65	1,60	2,69	4,11	17
	3,45	3,61	2,81	4,03	4,33	4,62	4,76	4,00	4,02	3,15	25
"Chla SB"	0,59	0,86	0,86	0,71	0,64	0,58	0,57	1,37	1,09	0,81	0
mg/m ³	1,60	1,39	1,31	2,19	1,93	2,46	3,54	4,92	4,69	3,41	10
	6,91	3,09	1,77	4,10	5,41	6,13	7,75	7,01	8,33	3,75	16
	4,73	4,91	5,62	4,30	5,87	5,02	7,64	7,43	5,45	4,51	17
	1,35	1,56	1,03	1,61	1,48	1,46	3,34	2,20	2,10	1,02	25

6-3 Présentation des résultats

En 24 heures (deux cycles de marée), la drogue a dérivé de 0,8 mille dans le nord (fig.3) du même ordre de grandeur que la distance parcourue entre une pleine mer et une basse mer. L'eau superficielle est nettement déssalée (salinité moyenne de 33,22 ‰) par rapport à l'eau à 25 mètres de profondeur (34,73‰). Le niveau inférieur de la halocline est situé (fig.6) vers 10 mètres d'immersion. Par contre, la zone à fort gradient vertical en oxygène et nitrate+nitrite est à quelques mètres en-dessous, entre 11 et 18 mètres;

le niveau où les teneurs en chlorophylle "a" sont maximales est à 16- 17 mètres. Le maximum mesuré de chlorophylle "a" est trouvé soit à 16 mètres soit à 17 mètres d'immersion, tout au long de l'expérience, les différences entre les deux valeurs étant statistiquement différentes dans 6 cas sur 10.

Au-dessous de 10 mètres, les grandeurs physiques (salinité, densité) sont plus stables que les grandeurs biochimiques (oxygène, sels nutritifs et chlorophylle). Si l'on représente les variations de la moyenne à 16 et 17 mètres d'immersion des propriétés étudiées (fig.7), on voit que les conditions hydrologiques (T, S, σ_t) restent pratiquement les mêmes tout au long de l'expérience, tandis que les propriétés biochimiques subissent d'importantes variations, tant dans les intervalles de 4 heures que dans les intervalles de 20-30 minutes entre les couples de stations rapprochées.

6-4 Discussion

Ce sont ces dernières variations que nous nous proposons d'étudier. Mais, bien que le milieu physique soit resté apparemment stable, les variations simultanées des sels nutritifs et de la chlorophylle "a" ne semblent avoir aucune signification océanographique apparente et ne permettent pas en particulier de conclure à un cycle quelconque; et il apparaît que la méthode de marquage d'une masse d'eau par la drogue utilisée soit imparfaite. L'étude critique de cette expérience suggère au moins deux raisons à cet échec :

1°) le rapport de la surface du maître-couple de l'ensemble de repérage de la drogue, c'est-à-dire câble, bouées, perche, réflecteur-radar, à celle de la drogue elle-même était trop grand (KNAUSS, 1963). Or, hydrologiquement, nous pouvons penser être en période "estuaire". Ceci implique des vitesses résultantes non oscillatoires très variables avec la profondeur : dans le cas présent, elles sont inverses entre la surface et 16-17 mètres de profondeur, dans l'hypothèse où la halocline est la limite entre les deux couches ayant des mouvements contraires. De plus, la vitesse des courants de marée varie de la surface au fond. Enfin le vent agit aussi sur les parties émergées. Il est donc possible que le système de repérage placé dans un courant plus fort et au vent ait entraîné de façon sensible la drogue immergée dans un courant plus faible. Ceci peut expliquer la dérive de 0,8 mille dans le nord, alors qu'en régime

"estuaire", nous pouvions espérer au contraire la retrouver plus près de la Côte est et que son point d'immersion. Dans ce cas, il est difficile d'affirmer que la drogue a bien marqué une même masse d'eau tout au long de l'expérience. Avec l'hypothèse que la répartition horizontale du phytoplancton se fait en essaim ("patchiness" de CUSHING, 1962), une déviation de l'ordre de la centaine de mètres par rapport au point initial peut avoir une signification dans la mesure de chlorophylle "a" à l'endroit où, verticalement, le développement des phytoplanctes est maximum.

2°) Dans un ensemble de coupes verticales au travers de la baie d'Ampasindava en saison humide (fig.8) on voit que les isolignes sont inclinés et, dans le cas des propriétés biochimiques que la pente est descendante vers le large. Comme il y a déplacement de la masse d'eau avec la marée, si l'on représente les variations de ces propriétés en un point fixe (fig.9), il est normal de trouver, en prenant la surface comme niveau de référence, une dépression à la pleine mer et un dôme à basse mer. Dans le cas observé, on trouve par exemple des oscillations allant jusqu'à 5 mètres de part et d'autre d'une immersion moyenne de 20 mètres, d'un tout autre ordre de grandeur que les oscillations de la marée autour du niveau moyen (0,5 mètre à cette époque). A cette immersion de 20 mètres, le courant moyen mesuré était de l'ordre de 9 cm/s. Le déplacement de la masse d'eau en 6 heures de temps est donc de l'ordre de 2 kilomètres, ce qui, en profil "instantané", (BERTHOIS et CROSNIER, 1966) donnerait à cet endroit de la baie d'Ampasindava une pente des isolignes d'oxygène ou de sels nutritifs de l'ordre de 0,5‰. Etant donné le fort gradient vertical, deux prélèvements effectués à la même immersion, mais à 200 mètres l'un de l'autre peuvent ne pas être comparables, car ils correspondent à deux endroits distants de un mètre sur un profil vertical.

Dans le cas où le gradient vertical de propriété étudiée est grand, des décrochements dans les répartitions verticales peuvent être observés entre les coupes de stations effectuées en moins de 30 minutes (fig. 3 et 4), mais distantes l'une de l'autre de 200 mètres environ seulement.

En conclusion, il semble bien difficile de détecter des variations nyctémérales, avec les moyens de prélèvements dont nous disposons, durant une "explosion" phytoplanctonique en baie d'Ampasindava.

Comme le souligne SOURNIA (1968), il faudrait des mesures en continu, et STRICKLAND (1968) donne un exemple où l'on voit nettement la différence entre un profil point par point et un profil en continu. Cependant avec une drogue améliorée, en faisant des séries de stations (3 ou 4) très près de cette drogue (20 mètres) avec prélèvements rapprochés (de moins de 1 mètre) dans la zone de son immersion, dans le maximum de chlorophylle, on doit pouvoir espérer détecter des variations réelles dans les propriétés biochimiques de l'eau. Un essai en septembre 1970 avec la drogue améliorée a montré un sous-courant remontant vers le fond de la baie.

7-CONCLUSION

Les baies et le plateau continental de la côte nord-ouest de Madagascar offrent la possibilité de travailler sur la chaîne alimentaire en zone tropicale. En effet, entre la saison humide et la saison sèche, les variations des divers paramètres permettant d'approcher ce problème sont mesurables par les méthodes à notre disposition. De plus, il est possible dans une baie comme celle d'Ampasindava d'évaluer les différents flux entrant dans un bilan d'eau ou d'une propriété physique, chimique ou biologique de l'eau. Par contre, la fréquence des prélèvements dans le temps et dans l'espace doit être choisie avec soin à la lumière des résultats déjà acquis.

8-BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1966 - Determination of photosynthetic pigments. In : Determination of photosynthetic pigments in sea-water, UNESCO, ed., Report of SCOR-UNESCO, working group 17, pp.11-18.
- BERTHOIS (L.), CROSNIER (A.), 1966 - Etude dynamique de la sédimentation au large de l'estuaire de la Betsiboka. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., vol. IV, n°2, pp.49-130.
- CUSHING (D.H.), 1962 - Patchiness. Rap. Proc. verb. Cons. perm. int. Exp. Mer, vol. 153, n°26, pp. 152-164.
- KETCHUM (B.H.), CORWIN (N.), 1965 - The cycle of phosphorus in a plankton bloom in the gulf of Maine. Limn. and Oceano., suppl. vol.X, pp. R 148-R 161.

- KNAUSS (J.A.), 1963 - Drogues and neutral-buoyant floats. In : The Sea, HILL (M.N.), ed. John Wiley and Sons, New-York, vol. 2, pp. 303-305.
- LACROIX (Y.), 1962 - Analyse chimique : interprétation des résultats par le calcul statistique. MASSON et Cie, éd. Paris, 68 p.
- PITON (B.), MAGNIER (Y.) - Les régimes hydrologiques de la baie d'Ambaro (nord-ouest de Madagascar) - en préparation. A paraître dans Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.
- SOURNIA (A.), 1968 - Variations saisonnières et nycthémerales du phytoplancton marin et de la production primaire dans une baie tropicale à Nosy-Bé (Madagascar). Int. Rev. Ges. Hydrobiol. vol. 53, n°1, pp. 1-76.
- STEELE (J.H.), BAIRD (I.F.), 1968 - Production ecology of a sandy beach. Limn. and Oceano, vol. 13, n°1, pp. 14-25.
- STRICKLAND (J.D.H.), PARSONS (T.R.), 1968 - A practical handbook of sea-water analysis. Bull. Fish. Res. Board of Canada, n°167, 311 p.
- STRICKLAND (J.D.H.), 1968 - A comparaison of profils of nutrient and chlorophyll concentrations taken from discrete depts and by continnous recording. Limn. and Oceano, vol.13, n°2, pp. 388-391.
- YENTSCH (G.S.), MENZEL (D.W.), 1963 - A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. Deep Sea Res., vol.10, pp. 221-231.
- WAUTHY (B.), LE BOURHIS (J.), 1966 - Considérations sur l'étude des pigments du phytoplancton marin en zone tropicale oligotrophe. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., vol. IV, n°4, pp. 3-19.

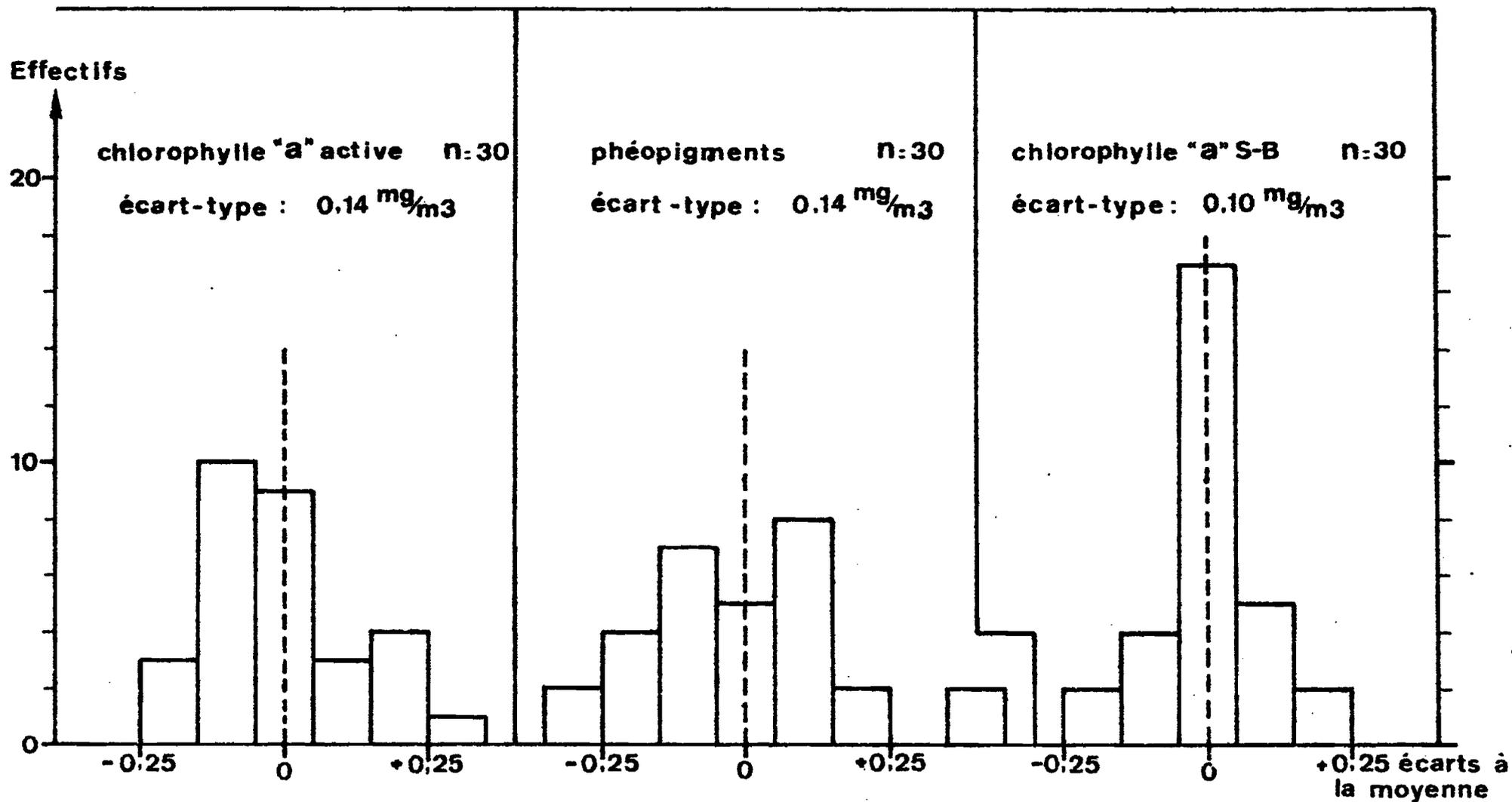


Fig. 1 - Répartition statistique des écarts à la moyenne de la détermination de la chlorophylle "a" active, des phéopigments et de la chlorophylle "a" S-B.

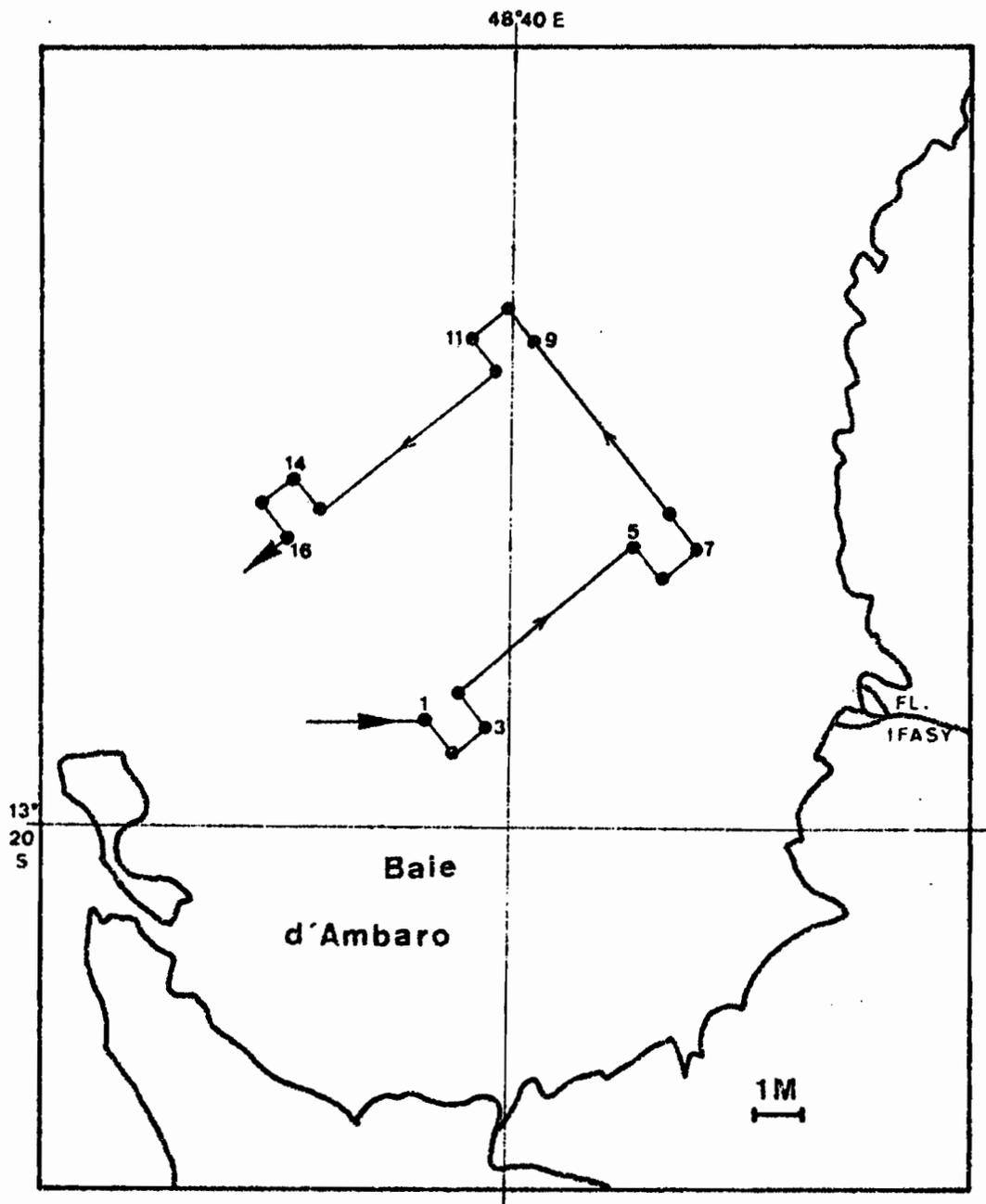
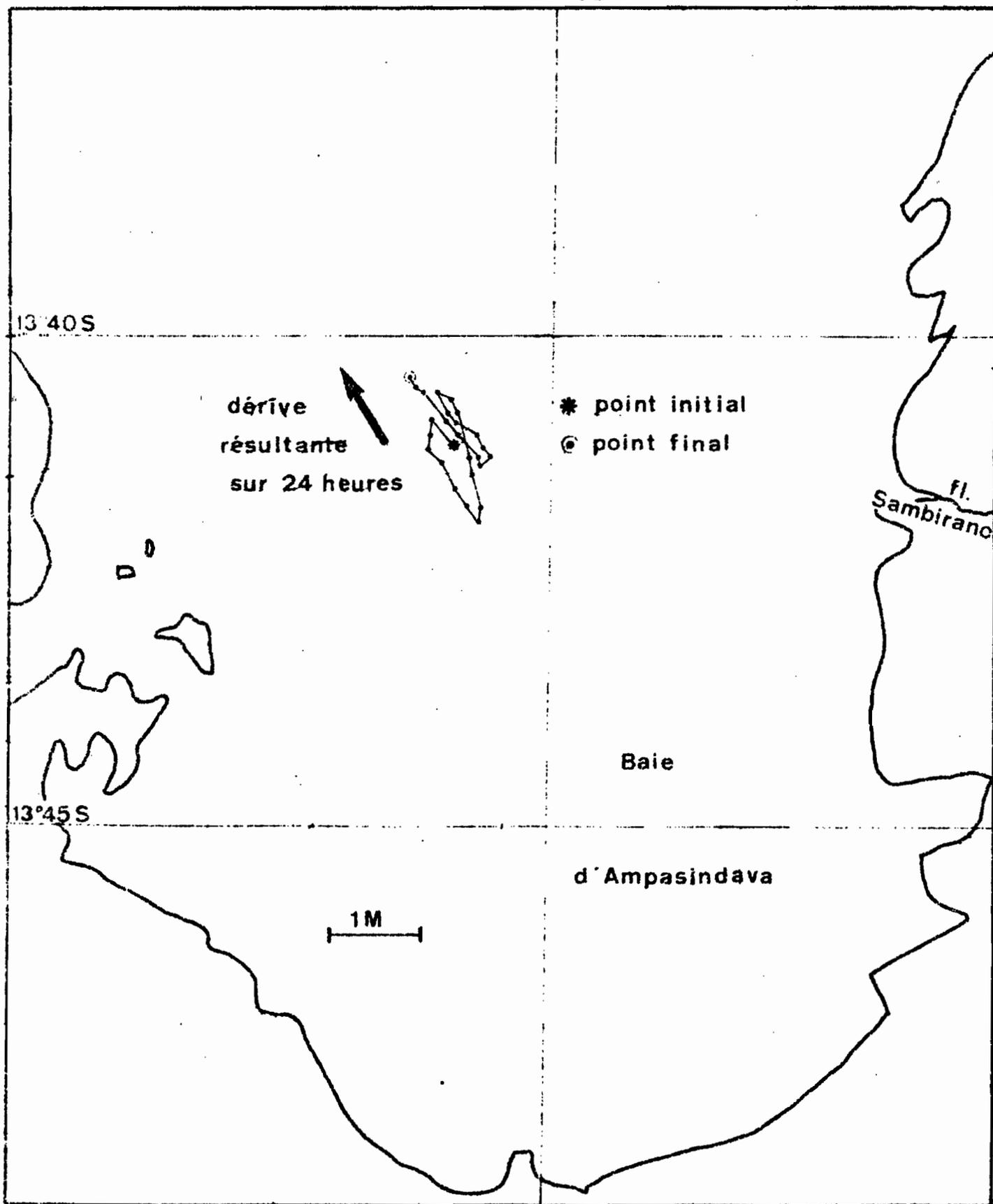


Fig. 2 - Positions des stations effectuées au cours de l'expérience sur la variabilité de la chlorophylle "a" dans l'espace.

48°15E



5264

Fig. 3 - Dérive de la drogue immergée pendant 24 heures en baie d'Ampasindava au cours de l'essai de détection des variations de la chlorophylle "a" à court terme.

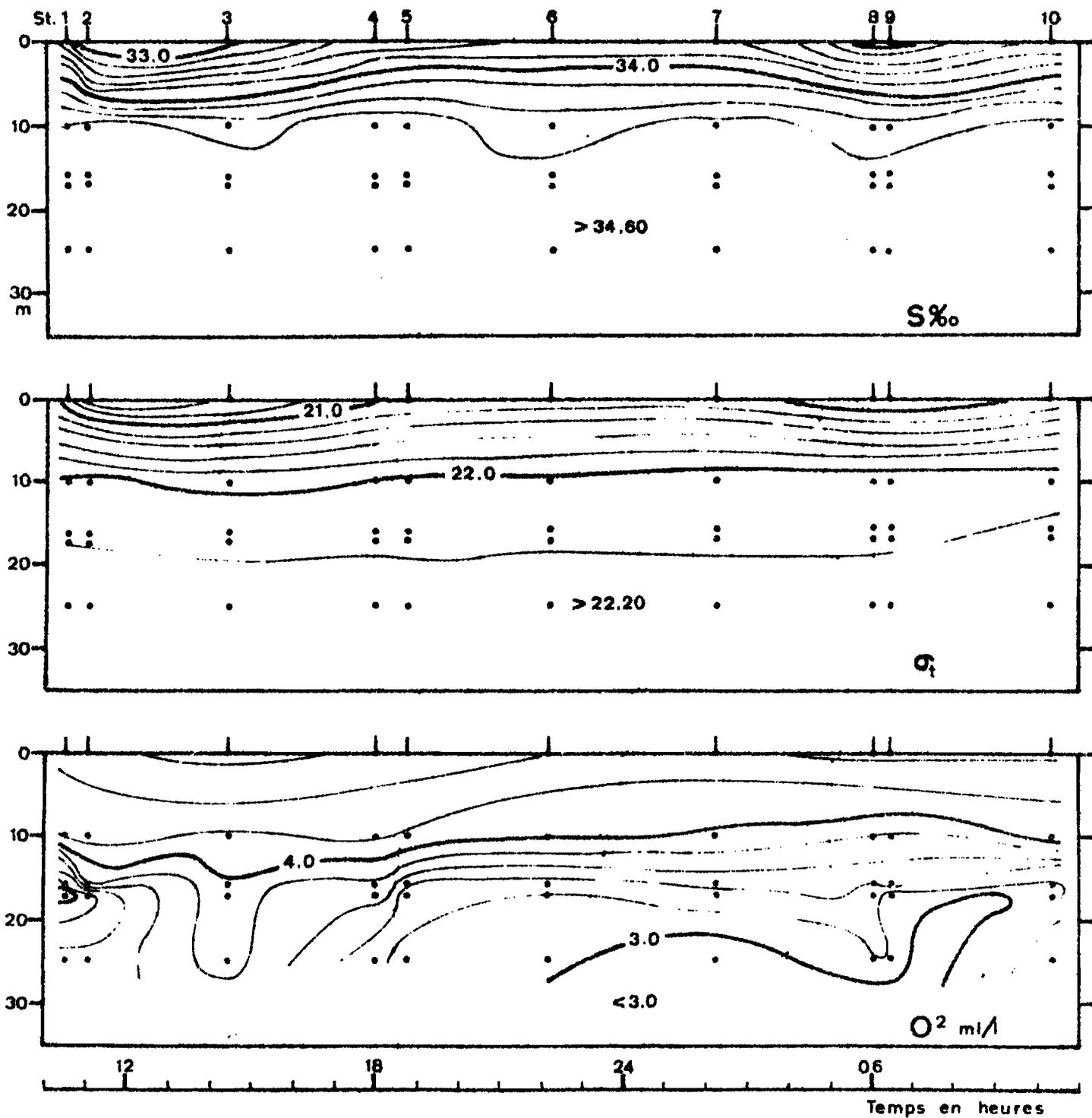


Fig. 4 - Evolution de la salinité, de la densité et de l'oxygène dissous aux stations effectuées près de la drogue dérivante.

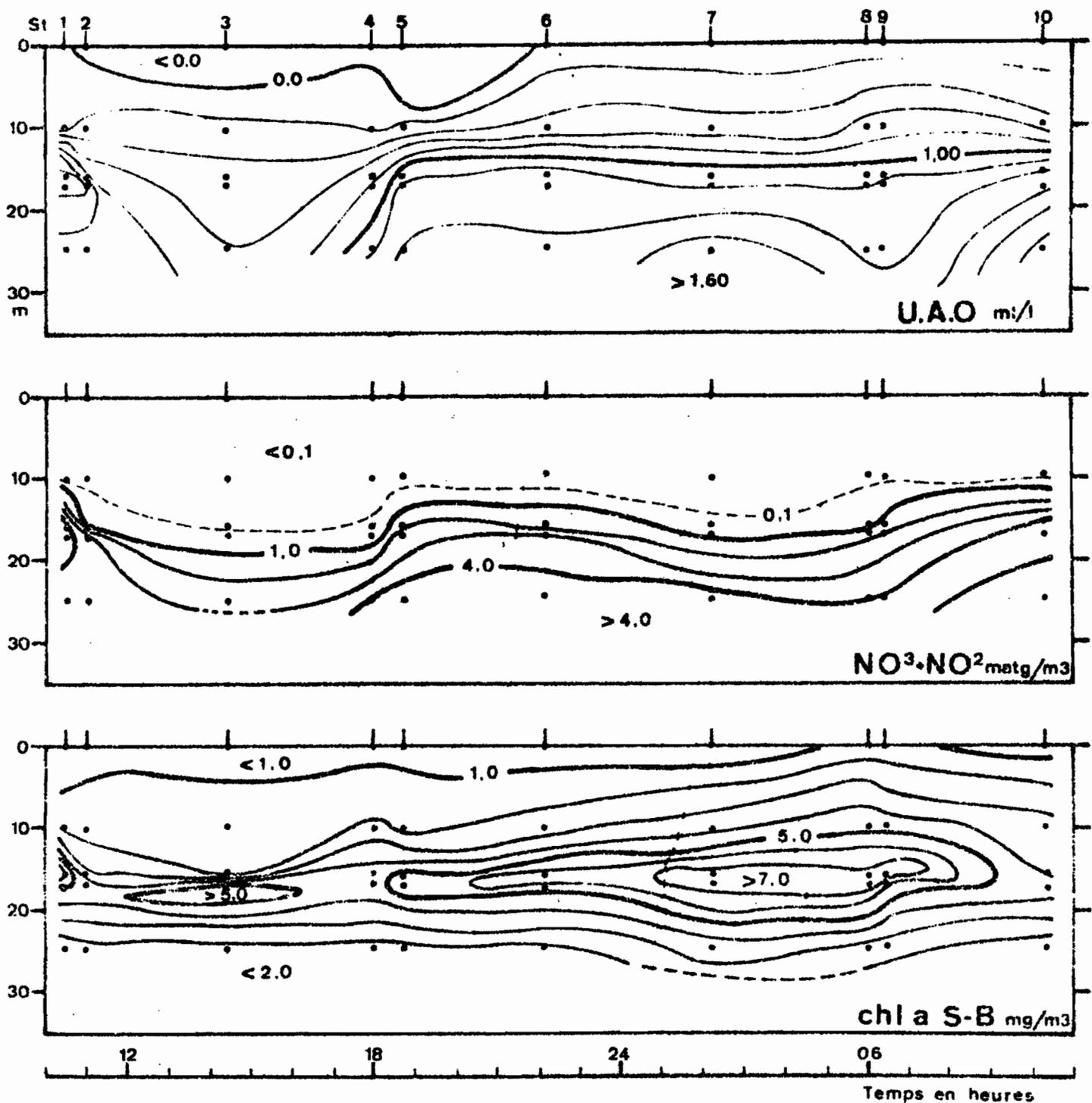


Fig. 5 - Evolution de l'utilisation apparente de l'oxygène, du nitrate + nitrite et de la chlorophylle "a" S-B aux stations effectuées près de la drague dérivante.

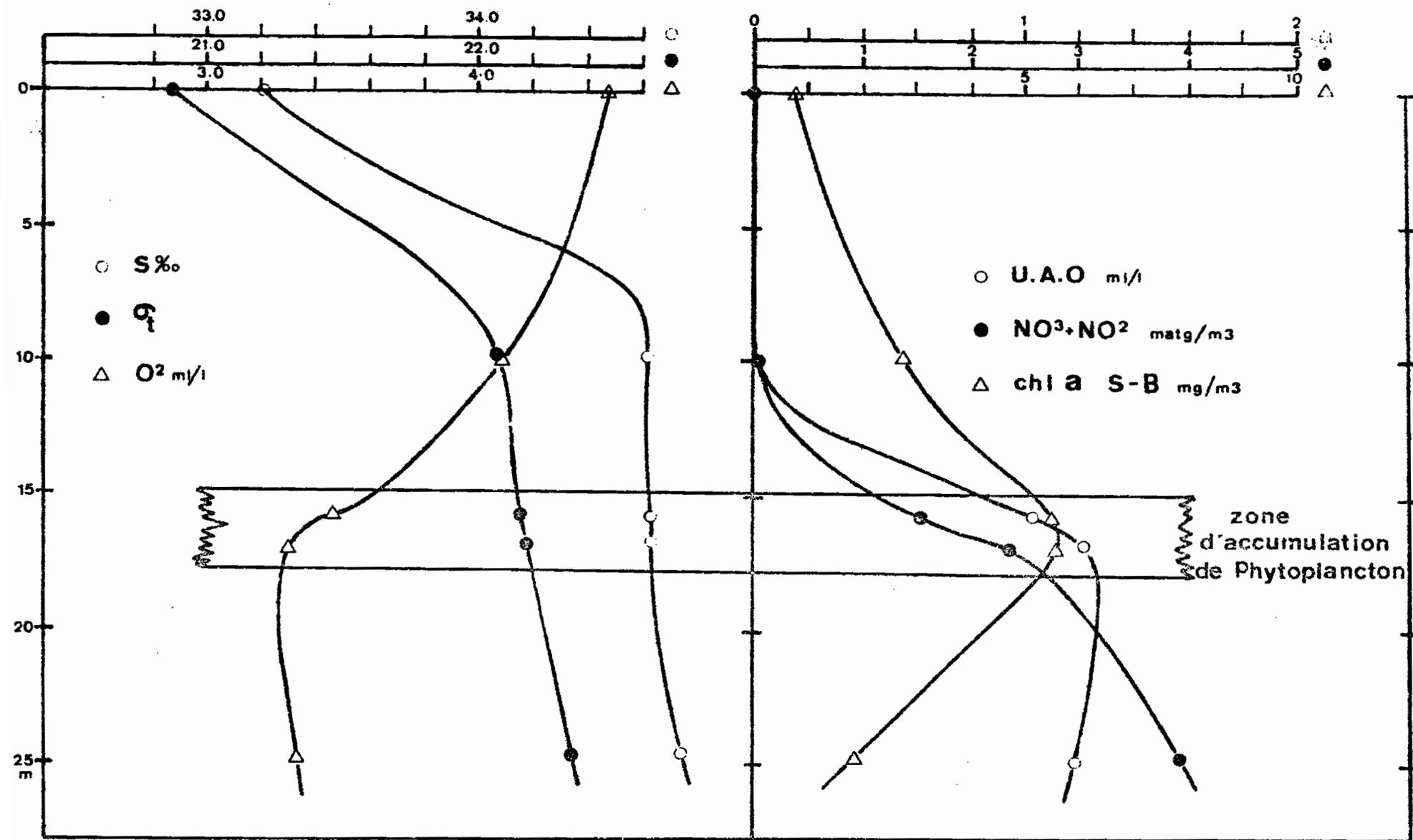


Fig. 6 - Profil vertical moyen de la salinité, la densité, l'oxygène dissous, l'utilisation apparente de l'oxygène, du nitrate + nitrite et de la chlorophylle "a" S-B aux stations effectuées près de la drogue dérivante.

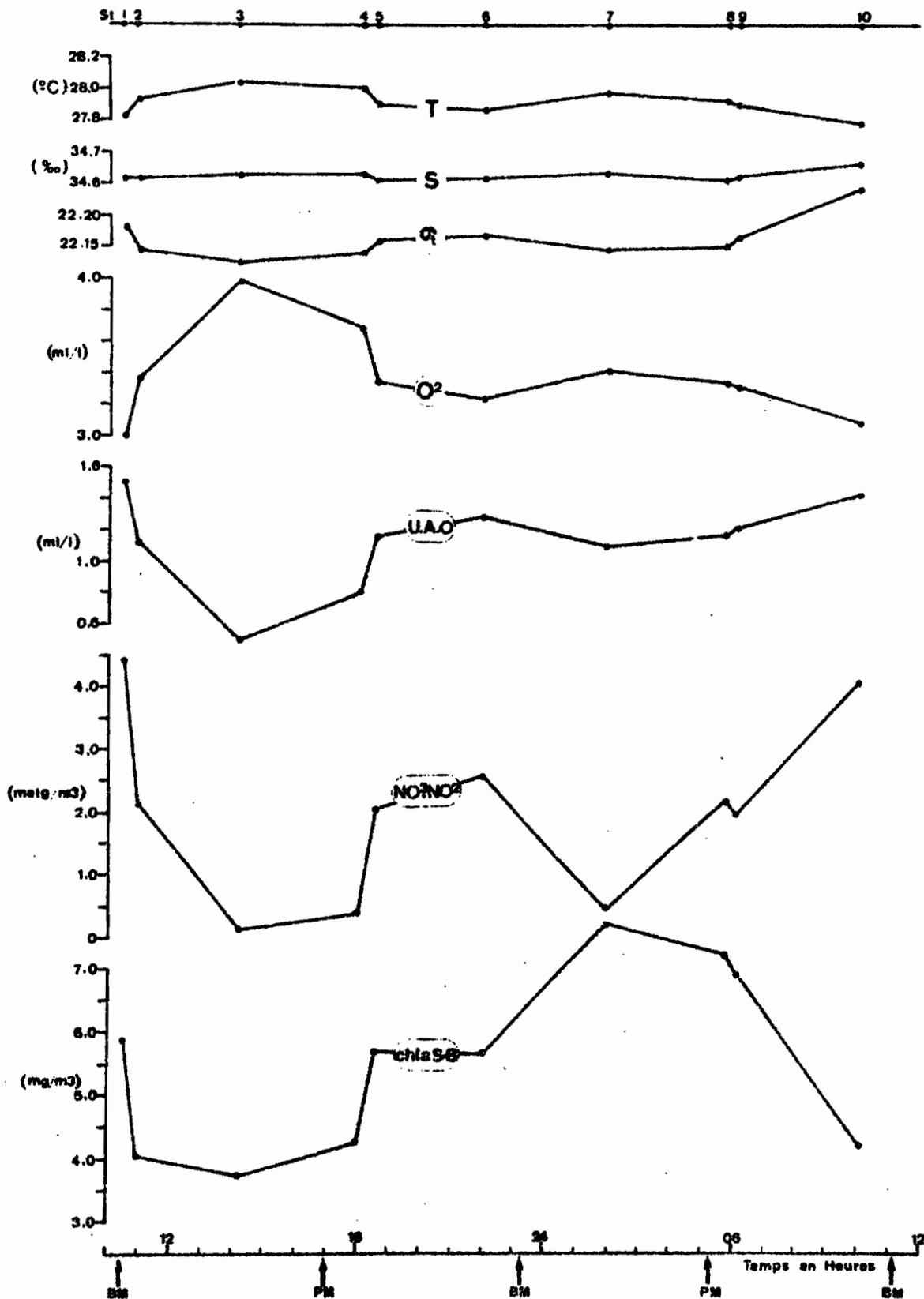


Fig. 7 - Evolution des valeurs moyennes à 16-17 mètres d'immersion de la température, la salinité, la densité, l'oxygène dissous, l'utilisation apparente de l'oxygène, du nitrate + nitrite et de la chlorophylle "a".
"a" S-B.

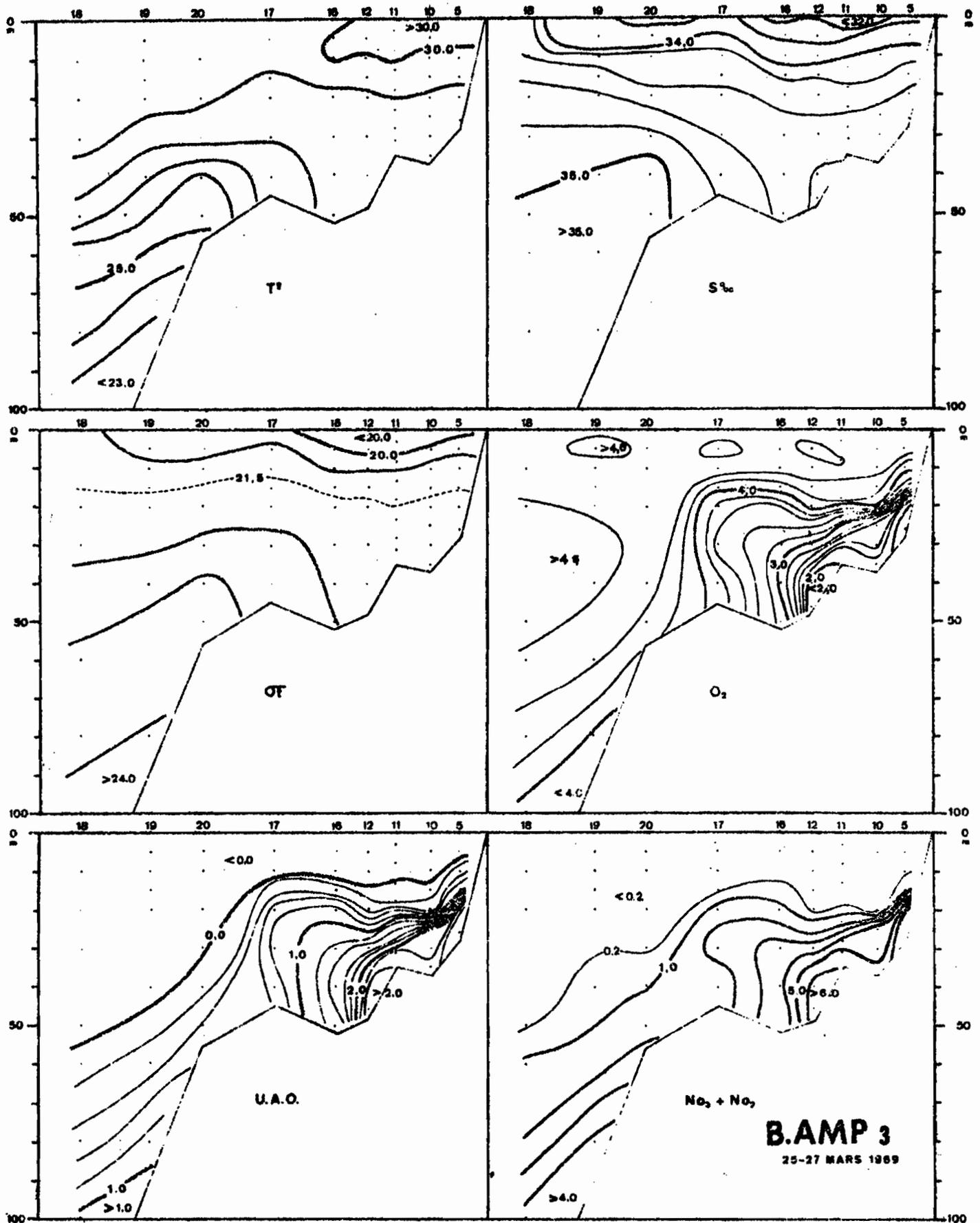


Fig. 8 - Distribution verticale, au travers de la baie d'Ampasindava et jusqu'au talus continental, de la température, la salinité, la densité, l'oxygène dissous, l'utilisation apparente de l'oxygène et du nitrate + nitrite.

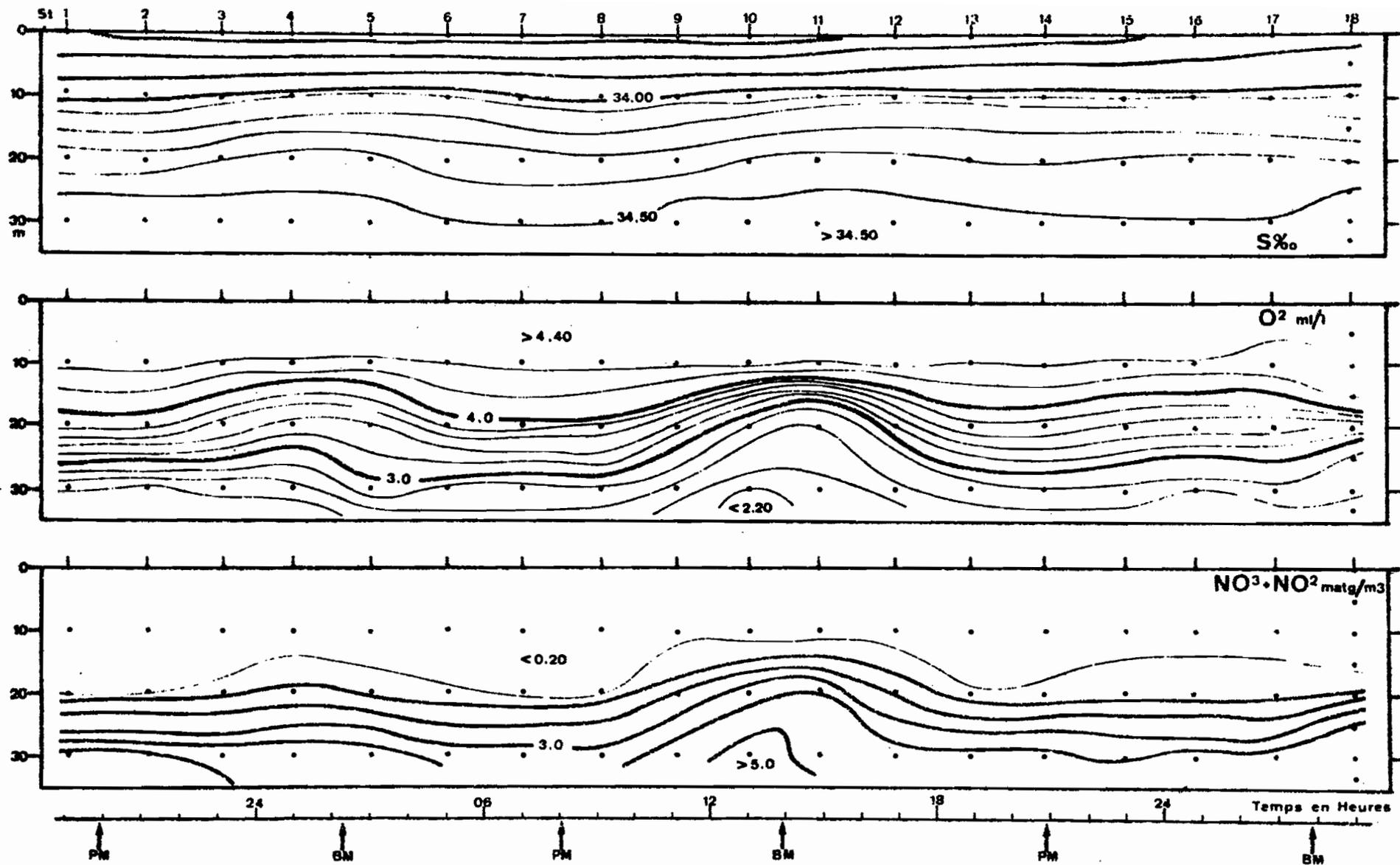


Fig. 9 - Evolution de la salinité, l'oxygène dissous et du nitrate + nitrite à une station de la baie d'Ampasindava pendant 35 heures.