

LE CYCLE ANNUEL DES SELS NUTRITIFS ET DES PIGMENTS DANS LES BAIES DE LA COTE NORD-OUEST DE MADAGASCAR

PAR

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

FICHE SIGNALÉTIQUE

Lié à la circulation de type estuaire ou anti-estuaire selon la saison, le cycle annuel des sels nutritifs dans les baies du nord-ouest de Madagascar est caractérisé par leur accumulation dans l'eau de fond en saison des pluies (de novembre à avril) et leur disparition en saison sèche (de mai à octobre).

*L'évolution des teneurs en chlorophylle *a* dans la baie d'Ampasindava montre de fortes concentrations en avril et en mai. La relation sels nutritifs/pigments est décrite et discutée.*

RÉSUMÉ

La circulation nette dans les baies de la côte nord-ouest de Madagascar est de type estuaire en saison des pluies, de novembre à avril. Durant la saison sèche, cette circulation devient très faible ou de type anti-estuaire selon le débit des rivières et l'évaporation. Lié à cette circulation typique, le cycle annuel des sels nutritifs azotés est caractérisé par leur accumulation dans l'eau du fond en saison des pluies (de novembre à avril) et leur disparition en saison sèche (de mai à octobre). Dans la baie d'Ampasindava, la concentration moyenne en chlorophylle *a* est de 0,7 mg/m³ de juillet à mars. Au mois d'avril, en fin de saison des pluies, on observe une poussée phytoplanctonique : la teneur moyenne en chlorophylle *a* est de 3,9 mg/m³ ; les valeurs maximales, observées vers 20 mètres d'immersion, atteignent 10 mg/m³. Cette poussée dure tout le mois de mai, sans que l'on observe une diminution nette en sels nutritifs ; ceux-ci ne disparaissent qu'un mois plus tard, en juin, en même temps que la teneur moyenne en chlorophylle *a* retombe à 0,7 mg/m³.

ABSTRACT

The net non-tidal circulation in the embayments of the N-W coast of Madagascar is of the estuarine type during the rainy season, from november to april. During the dry season, according to the amount of fresh discharge and evaporation, the circulation may slaken to stop or even reverse to anti-estuarine pattern. A consequence of such a mode of transport is the formation of a highly nitrogenated bottom layer during the rainy season (from november to april) ; this accumulation disappears during the dry season (from may to october). In the Ampasindava bay, the average concentration of chlorophyll *a* is 0.7 mg/m³ during july to march. At the end of the rainy season, in april, phytoplanktonic blooms occur, with a chlorophyll *a* mean value of 3.9 mg/m³ and maximum value of 10 mg/m³ about 20 meters deep. This situation keeps steady for may without noticeable change of the nutrients salts, which vanish only one month later, in june, when the chlorophyll *a* value drops down to 0.7 mg/m³.

INTRODUCTION

Une étude des variations de la teneur en chlorophylle *a* dans une baie de la côte nord-ouest de Madagascar a été entreprise en 1970 avec un rythme mensuel d'observation dans le but de relier la croissance du phytoplancton aux caractères physico-chimiques particuliers aux baies de cette région.

1. GÉOGRAPHIE ET CLIMATOLOGIE DE LA RÉGION

Entre le cap d'Ambre et le cap Saint-André, la côte nord-ouest de Madagascar est découpée par de nombreuses baies débouchant sur un plateau

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

continental de 15 à 20 milles de large (*fig. 1*) ; toutes reçoivent une ou plusieurs rivières d'importance inégale.

Le trait climatique le plus caractéristique est une opposition très marquée entre la saison humide, de novembre à avril, où il tombe de 1,5 à 2,0 mètres d'eau et la saison sèche, de mai à octobre, où les précipitations sont cinq à six fois plus petites. Le régime des rivières suit étroitement celui de la pluie : des crues très fortes se produisent en février-mars, et les étiages sont très marqués en octobre.

La température moyenne de l'air est de 24° C en juillet et 27° C en janvier.

2. LA CIRCULATION

Elle a été décrite dans PITON et MAGNIER (1971b) ; nous en reprenons ici l'essentiel.

En saison humide, l'apport important d'eau douce induit dans les baies une circulation de type estuaire : une eau superficielle dessalée de 5 à 15 mètres d'épaisseur coule vers le large à une vitesse moyenne estimée de 4 à 6 cm/s, tandis qu'un courant inférieur d'eau salée remonte les baies à une vitesse moyenne de l'ordre de 2 à 4 cm/s ; la halocline, généralement supérieure à 0,5 p. 1000 par mètre, sépare ces deux couches.

Dès que l'arrivée d'eau douce diminue, les baies deviennent des bassins de concentration et le gradient vertical de salinité s'affaiblit rapidement jusqu'à presque disparaître, et même parfois s'inverser quand l'évaporation excède l'apport d'eau douce.

MÉTHODES

Les études physico-chimiques des différentes baies de la côte nord-ouest de Madagascar ont montré que la baie d'Ampasindava (x) est la plus typique d'entre elles quant à sa circulation et à ses conséquences biochimiques.

La coupe longitudinale représentant le mieux l'état de cette baie suit le thalweg allant de l'embouchure de la rivière Sambirano jusqu'au talus continental. Le long de cette ligne ont été choisies 9 stations fixes (*fig. 2*), dont 5 situées en baie d'Ampasindava. Cette radiale a été effectuée 11 fois de décembre 1969 à septembre 1970.

(x) Faisant suite à l'article sur la baie d'Ambaro (PITON et MAGNIER, 1971 b), celui sur la baie d'Ampasindava est actuellement en cours de rédaction et paraîtra dans les *Cah. ORSTOM, série océanogr.*

A chaque station, à huit niveaux au plus de la surface jusqu'au voisinage du fond, ont été effectuées les mesures de la température, de la salinité, des teneurs en oxygène dissous et en nitrate et nitrite ; nous appellerons « anions azotés » la somme des teneurs de ces deux sels exprimée en milli-atomegrammes d'azote par mètre cube.

Les méthodes utilisées et les résultats obtenus ont été publiés au Centre ORSTOM de Nosy-Bé (MAGNIER et al., 1970 — MAGNIER et PITON, 1971) (xx).

Immédiatement après chaque station hydrologique, et aux mêmes immersions, ont été effectués les prélèvements devant servir à la détermination des teneurs en chlorophylle (résultats non publiés).

Pour les raisons invoquées dans PITON et MAGNIER (1971 a), il a été choisi, pour suivre l'évolution de la biomasse phytoplanctonique, de déterminer uniquement les teneurs en chlorophylle *a* en n'effectuant des lectures qu'à 665 nm, et à 750 nm pour la correction de turbidité et de cuve. La formule utilisée est la suivante :

$$\text{chl } a \text{ en mg/m}^3 = \frac{1,03 \times 665_0 \times 6}{0,08931 \times 10 \times q}, \text{ où :}$$

— « 1,03 » est le terme correctif tenant compte du fait que la lecture au spectrophotocolorimètre utilisé est effectuée à 665 nm, et non à 663 nm (pic chlorophyllien) ;

— « 665 » est l'extinction à 665 nm corrigée de la lecture à 750 nm ;

— « 6 » est la quantité d'extrait acétonique, en millilitre ;

— « 0,08931 » est le coefficient, adapté aux conditions présentes d'analyse, tenant compte qu'en cuve de 1 cm, une extinction de 89,31 à 663 nm correspond à une concentration de 1 g chlorophylle *a* dissous dans 1 litre d'acétone à 90 p. 100 (ANONYME, 1966) ;

— « 10 » est la longueur de la cuve de mesure utilisée, en centimètre ;

— « *q* » est la quantité d'eau filtrée (1,5 ou 3), en litre.

La précision obtenue sur une seule détermination est de $\pm 0,20 \text{ mg/m}^3$ au niveau de probabilité 95 p. 100.

Il est évident que le choix de cette méthode de prélèvement et de mesure ne peut donner qu'une image approximative du cycle réel du phytoplancton.

(xx) Ces données peuvent être obtenues au Centre ORSTOM de Nosy-Bé.

RÉSULTATS

1. CHOIX DES ILLUSTRATIONS DES RÉSULTATS OBTENUS

Pour suivre l'évolution pendant un an de tous les paramètres mesurés, nous avons choisi de présenter leurs variations à la station B, située au milieu de la baie (*fig. 3*). Les états hydrologiques et biochimiques les plus typiques sont illustrés par les coupes de distribution verticale obtenues en décembre, début de la saison des pluies (*fig. 4*), en février, mois correspondant aux plus abondantes précipitations (*fig. 5*), en avril, fin des grosses pluies (*fig. 6*) et en septembre, au cœur de la saison sèche (*fig. 7*). Quant au cycle de la chlorophylle *a* au travers de la baie et jusqu'au talus continental, il peut être suivi à l'aide de l'ensemble des coupes verticales de la figure 8, sur lesquelles nous avons ajouté les traits physiques (isohalines 34,0 et 35,0 p. 1000) et chimiques (isoplèthes des anions azotés 0,1 et 3 matg/m³) rendant le mieux compte de l'état de la baie.

Enfin, pour avoir une vue plus générale de l'évolution des propriétés physiques, chimiques et biologiques de la baie proprement dite considérée comme un tout, nous avons calculé, à chacune des 5 stations situées dans la baie, la moyenne de chaque paramètre de la surface au fond, et partant de là, la moyenne générale de ce paramètre, ramenée à toute l'eau de la baie, correspondant au jour des observations.

2. ÉVOLUTION DES PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES

Dans la baie, la température de l'eau est toujours supérieure à 25°C : la moyenne varie de 25,9°C en septembre à 28,7°C en fin du mois d'avril (*fig. 9 a*). C'est en effet en fin de saison humide (*fig. 6*) que la température de l'eau est la plus élevée ; elle décroît ensuite relativement vite en mai-juin (*fig. 3 a*) jusqu'à atteindre un minimum vers la fin de la saison sèche (*fig. 7*).

L'eau superficielle est toujours dessalée par rapport à l'eau sous-jacente (*fig. 3 b*) et à l'eau superficielle du large (*fig. 4 à 7*) ; la plus grande dilution observée (salinité inférieure à 30 p. 1000) a lieu en février (*fig. 5*) et la plus petite (salinité voisine de 34 p. 1000 à la station A) en septembre (*fig. 7*). La salinité de l'eau du fond varie beaucoup moins (*fig. 3 b*) : de 34,5 p. 1000 en avril, elle monte jusqu'à 35,08 p. 1000 en septembre. La salinité moyenne de l'eau de la baie varie de 34,0 p. 1000 en avril à 35,07 p. 1000 en septembre (*fig. 9 b*), donc relativement peu compte tenu du volume d'eau douce qui la traverse (PITON et MAGNIER, 1971 *b*).

L'immersion de la halocline, qui coïncide avec la pycnocline (*fig. 3 b et c*), est de 2 - 3 mètres en face de la rivière Sambirano, et de 10 - 15 mètres plus au large (*fig. 4 à 7*) et elle est plus grande en saison sèche qu'en saison humide (*fig. 3 b*). Retenons que c'est à partir du mois d'avril, où la salinité moyenne est la plus petite, que le gradient vertical maximum de salinité, et de densité, diminue.

L'eau superficielle reste presque toujours saturée en oxygène, c'est-à-dire contient plus de 4,4 millilitres d'oxygène par litre, sur une épaisseur de 5-10 mètres en janvier-février (*fig. 3 d et 5*) et de 40 mètres en septembre (*fig. 3 d et 7*). On note cependant en juin-juillet une légère sous-saturation de l'eau superficielle (*fig. 3 d*).

DISCUSSION

La principale conséquence de la circulation estuaire est la formation d'une eau de fond pauvre en oxygène et riche en sels nutritifs. Ceci est le résultat de l'oxydation des débris organiques terrestres ou marins tombant de la surface et transportés vers la côte par le sous-courant. Les petites vitesses d'écoulement et le grand gradient de densité limitent la diffusion et permettent la stabilité de ces poches pendant la saison humide. A la fin de cette saison se produit un « bloom », caractérisé par l'apparition de hautes teneurs en pigments chlorophylliens sans que la quantité de sels nutritifs disponible diminue. Ceux-ci ne disparaissent que lorsque le bloom s'achève et on atteint ainsi l'équilibre de saison sèche caractérisé par l'homogénéité de l'eau, la saturation en oxygène et l'absence de sels nutritifs.

Les résultats obtenus pendant la période de mai à juillet laissent irrésolues plusieurs questions importantes, et en particulier :

1 — Quel est le facteur qui déclenche le « bloom » à la fin de la saison humide ?

On peut penser qu'à cette époque les apports terrigènes diminuant brusquement, l'eau devient beaucoup moins turbide et que l'éclairement aux niveaux où les sels nutritifs sont abondants devient donc suffisant pour permettre une croissance rapide du phytoplancton. Mais ceci soulève une autre question :

2 — Pourquoi la forte poussée de la teneur en chlorophylle n'est-elle pas liée à une consommation simultanée des sels nutritifs ?

Pour vérifier l'hypothèse explicative de la première question et préciser les mécanismes de production mis en jeu au cours du passage d'une saison à l'autre, une nouvelle série d'observations a été entreprise

en avril 1971 et se poursuivra jusqu'en août. Les mesures porteront cette fois, en plus de celles effectuées précédemment, sur : la pénétration de la lumière, les teneurs en ammoniacque, la productivité au ^{14}C , la biomasse et la répartition spécifique du phytoplancton et du zooplancton.

Cette étude apportera sans doute de nouveaux éléments d'appréciation pour la compréhension des phénomènes biochimiques se produisant dans ces baies tropicales.

Manuscrit reçu, le 30 juin 1971.

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1966. — Determination of photosynthetic pigments. *In* : Determination of photosynthetic pigments in seawater, UNESCO, ed., Report of SCOR-UNESCO, working group 17, pp. 11-18.
- MAGNIER (Y.), PITON (B.), 1971. — Résultats des observations physico-chimiques le long de la côte nord-ouest de Madagascar. *Doc. sci. Centre ORSTOM de Nosy-Be*, n° 21, 126 p. (multigr.).
- MAGNIER (Y.), PITON (B.), TERAY (A.), AU-KAM (D.), 1970. — Résultats des observations physico-chimiques en baies d'Ambaro et d'Ampasindava, de juin 1969 à février 1970. *Doc. sci. Centre ORSTOM de Nosy-Be*, n° 17, 66 p. (multigr.).
- PITON (B.), MAGNIER (Y.), 1971 *a*. — Essais sur la détermination de la chlorophylle « a » dans l'eau de mer côtière tropicale. *Doc. sci. Centre ORSTOM de Nosy-Be*, n° 20, 24 p. (multigr.).
- PITON (B.), MAGNIER (Y.), 1971 *b*. — Les régimes hydrologiques en baie d'Ambaro (nord-ouest de Madagascar). Sous-*presse*, *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*

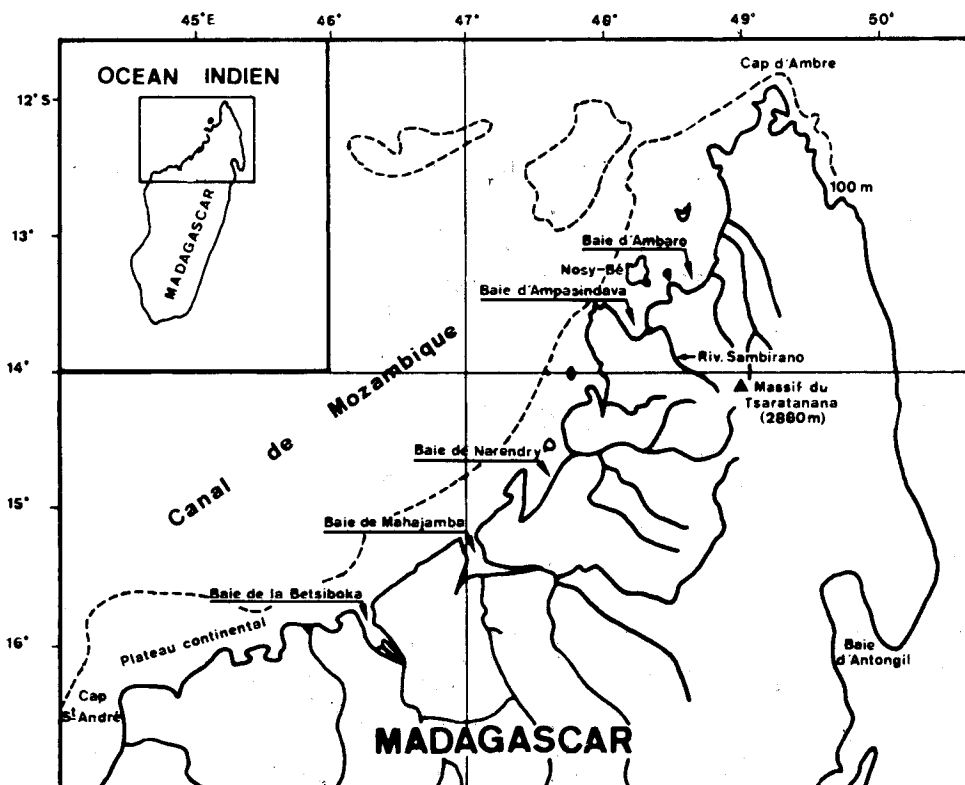
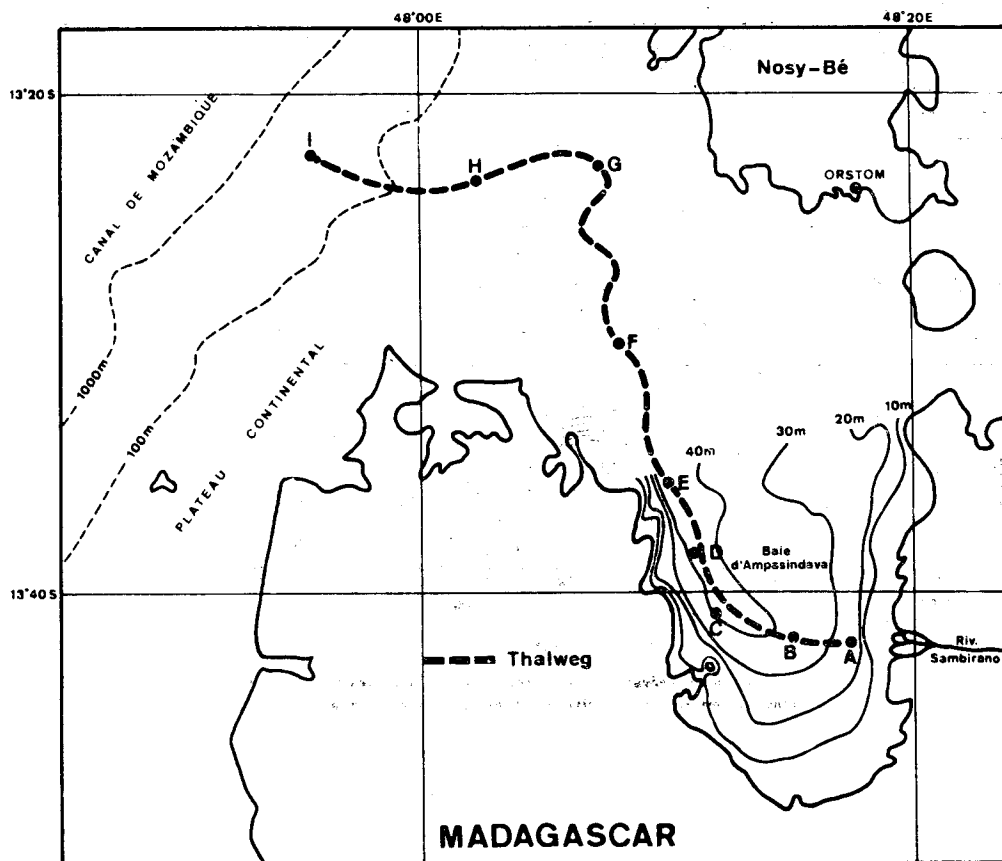


FIGURE 1

Les principales baies de la côte nord-ouest de Madagascar

FIGURE 2
Position des stations



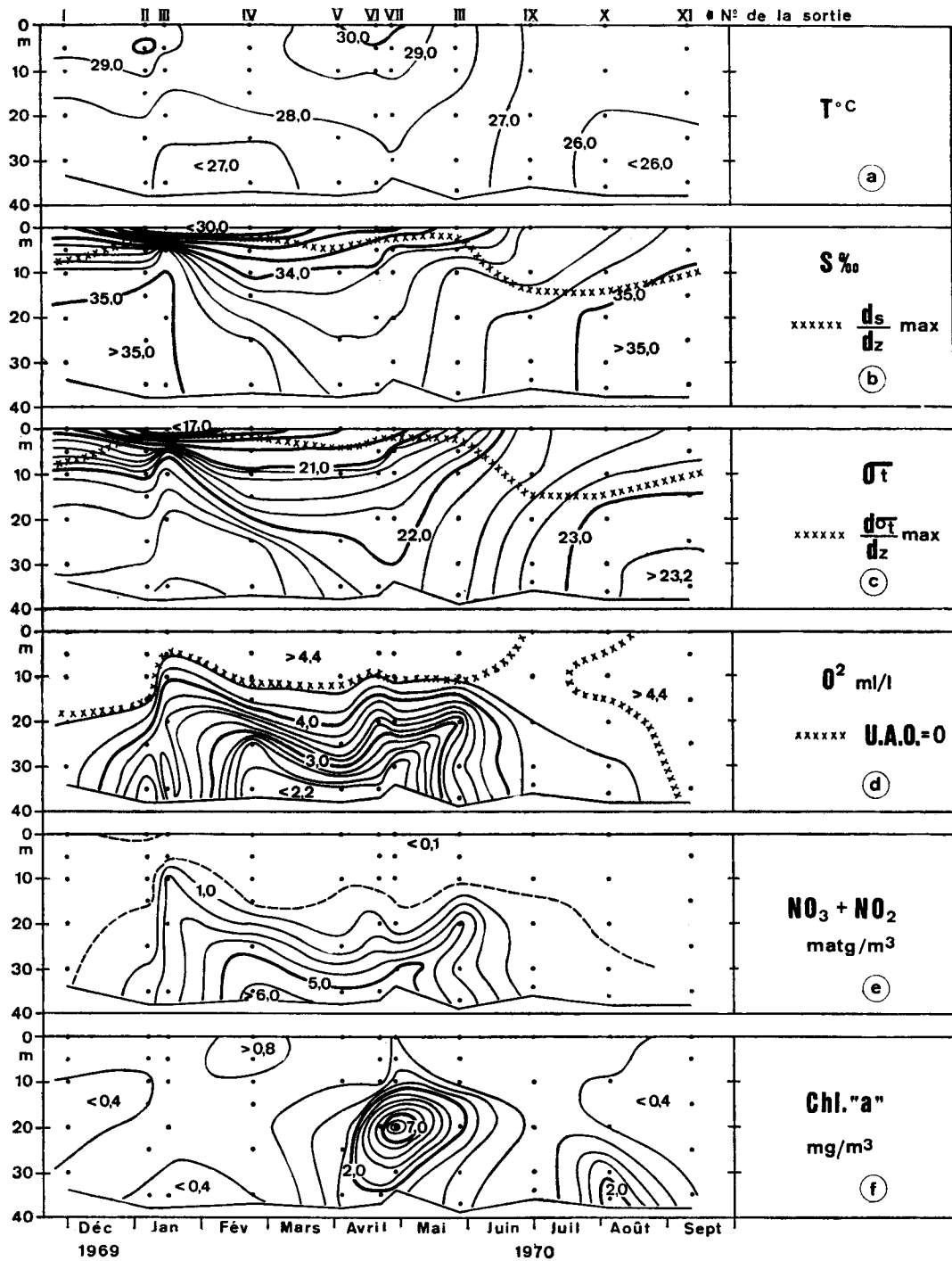


FIGURE 3

Évolution de la température, la salinité, la densité, des teneurs en oxygène dissous, en nitrate et nitrite, et en chlorophylle a à la station B

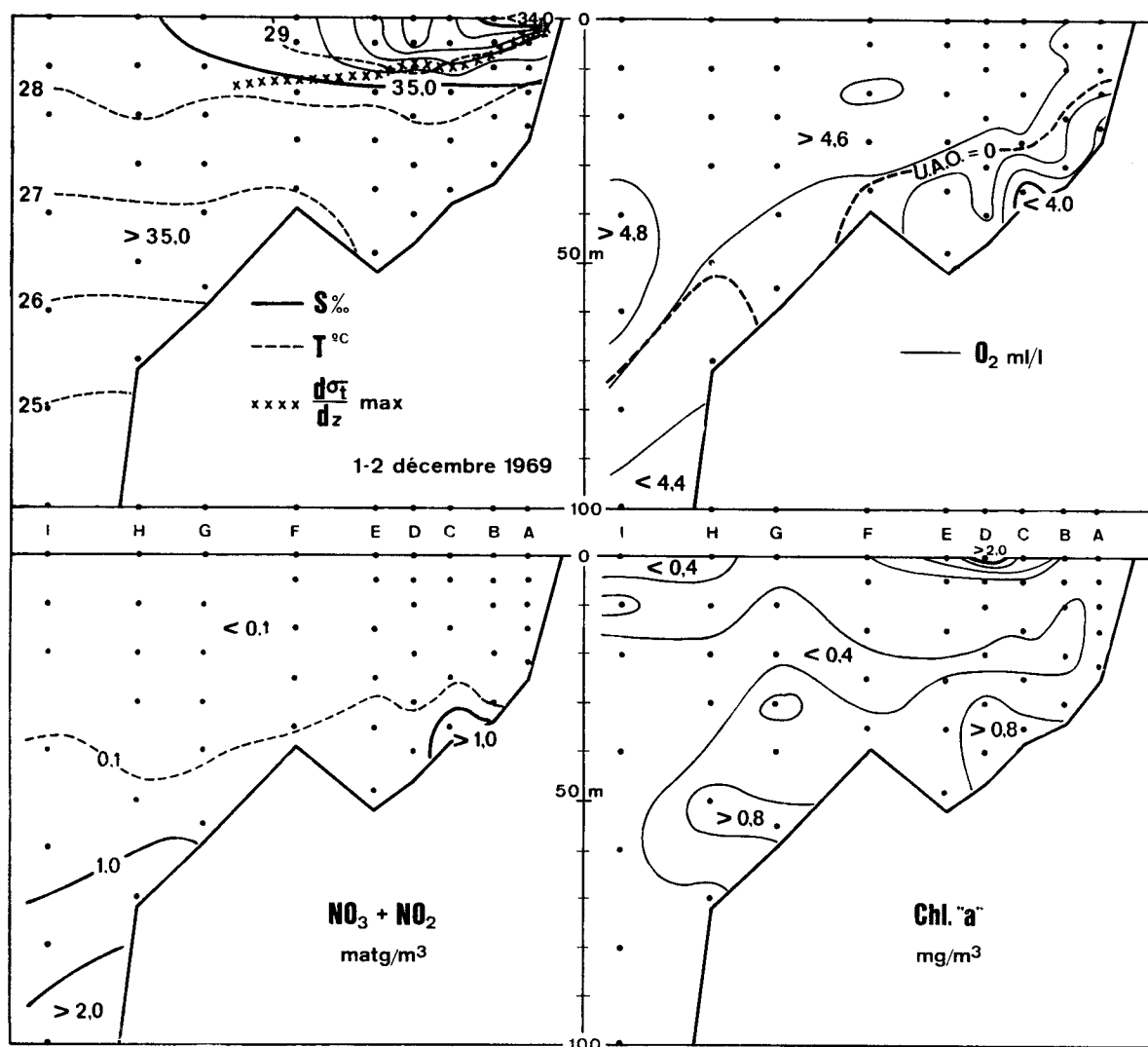


FIGURE 4

Distribution verticale de la température, la salinité, des teneurs en oxygène dissous, en nitrate et nitrite, et en chlorophylle a en début de saison humide

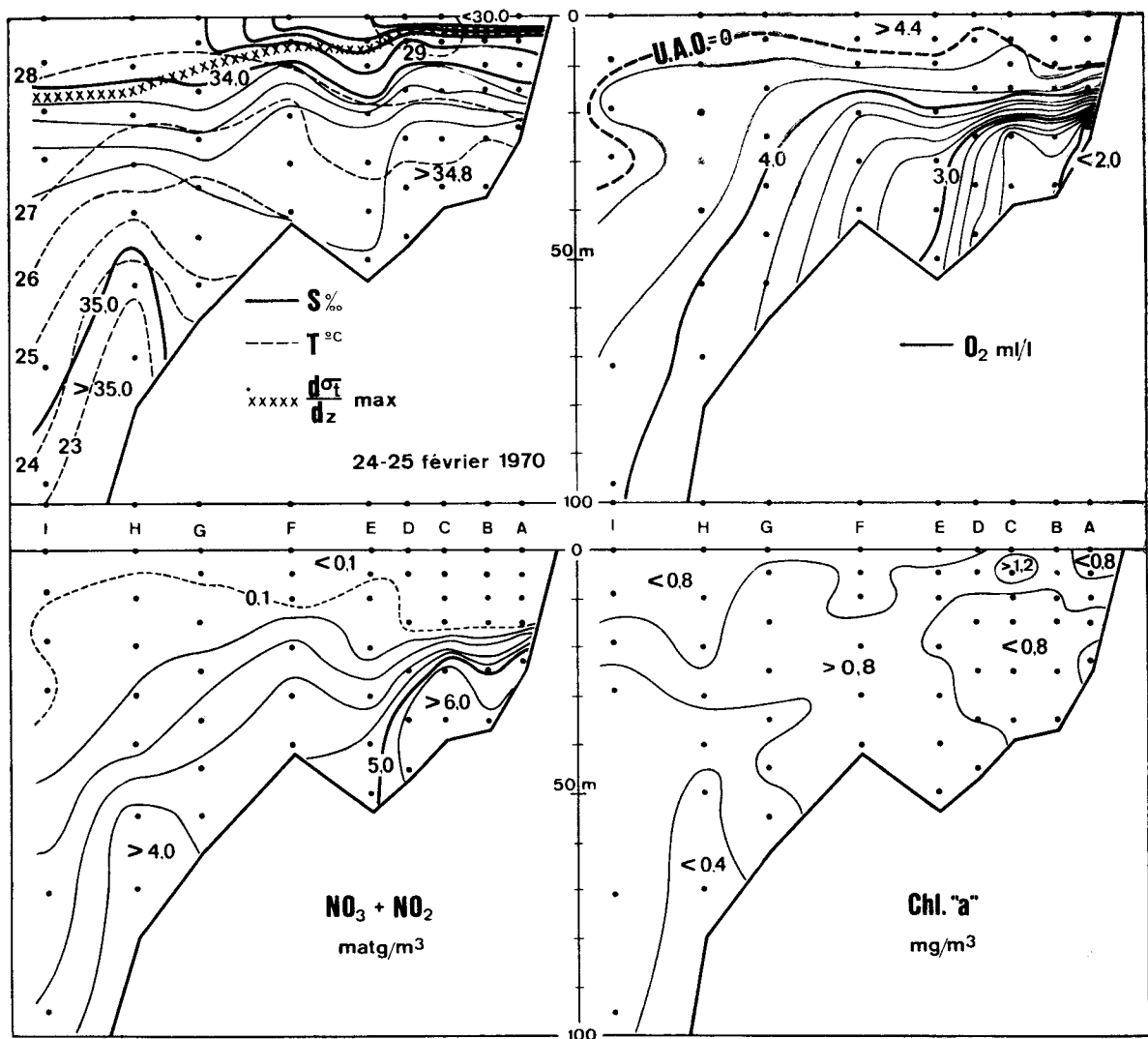


FIGURE 5

Distribution verticale de la température, la salinité, des teneurs en oxygène dissous, en nitrate et nitrite, et en chlorophylle a en milieu de saison humide

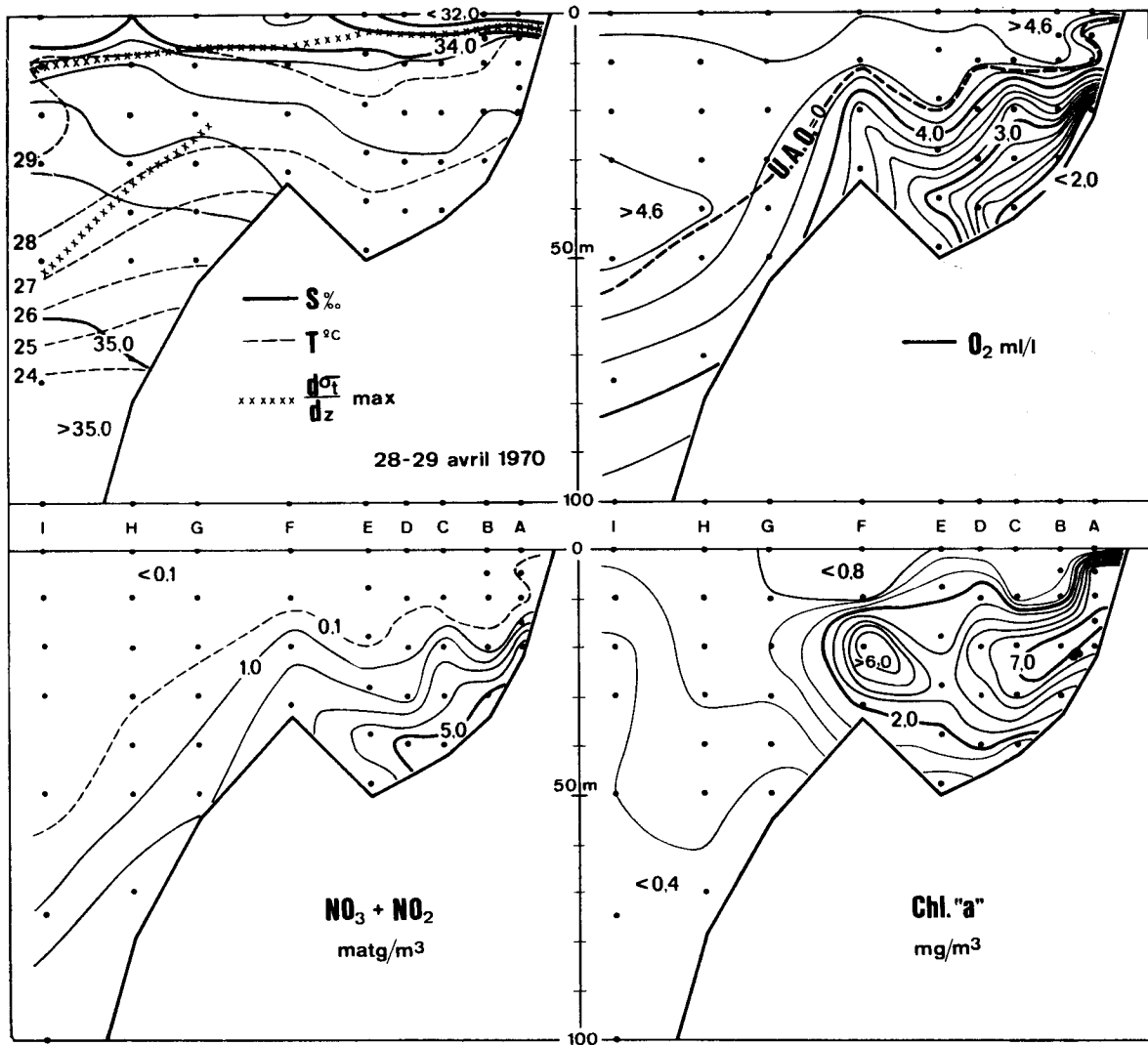


FIGURE 6

Distribution verticale de la température, la salinité, des teneurs en oxygène dissous, en nitrate et nitrite, et en chlorophylle a en fin de saison humide

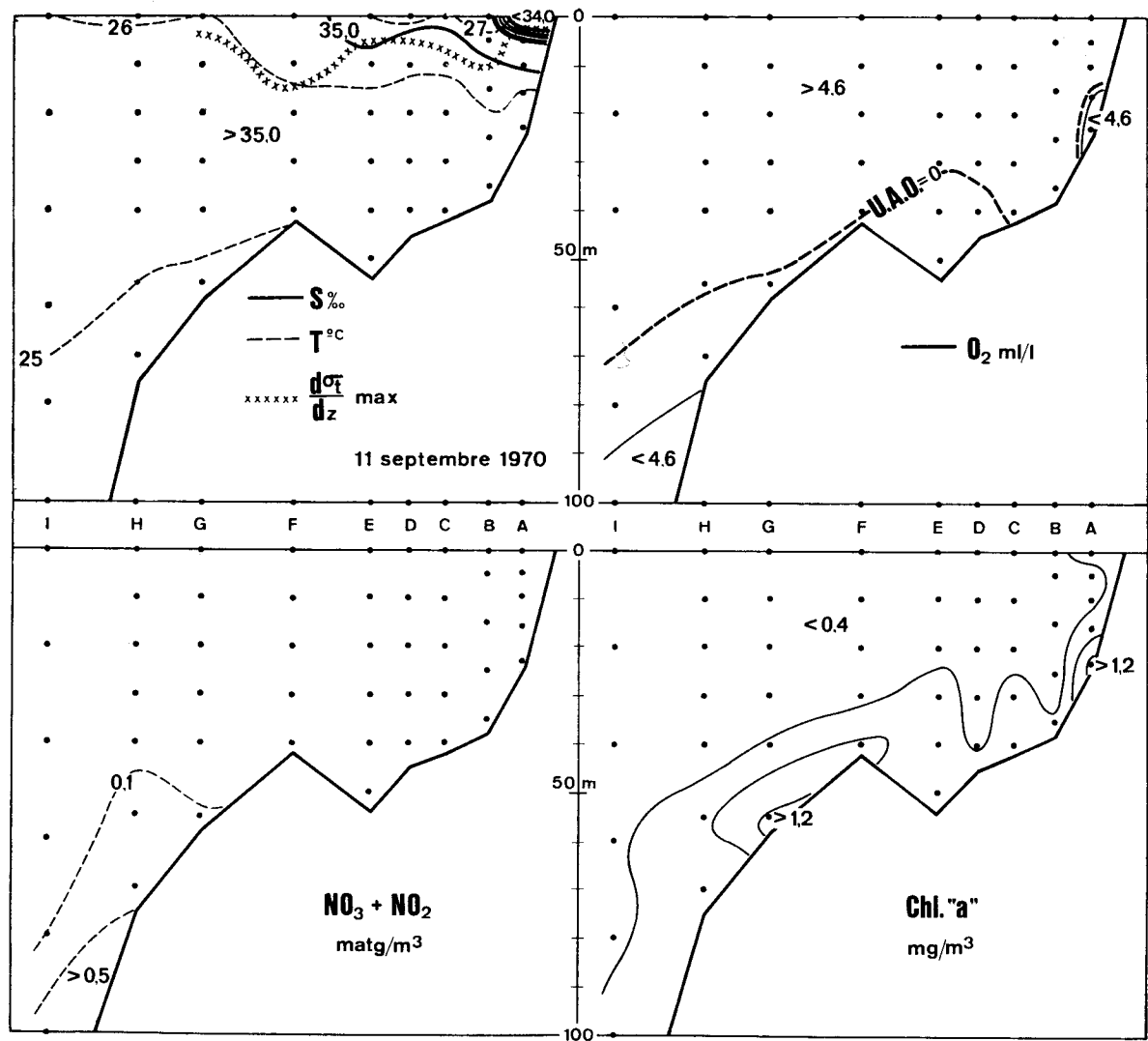


FIGURE 7

Distribution verticale de la température, la salinité, des teneurs en oxygène dissous, en nitrate et nitrite, et en chlorophylle a en milieu de saison sèche

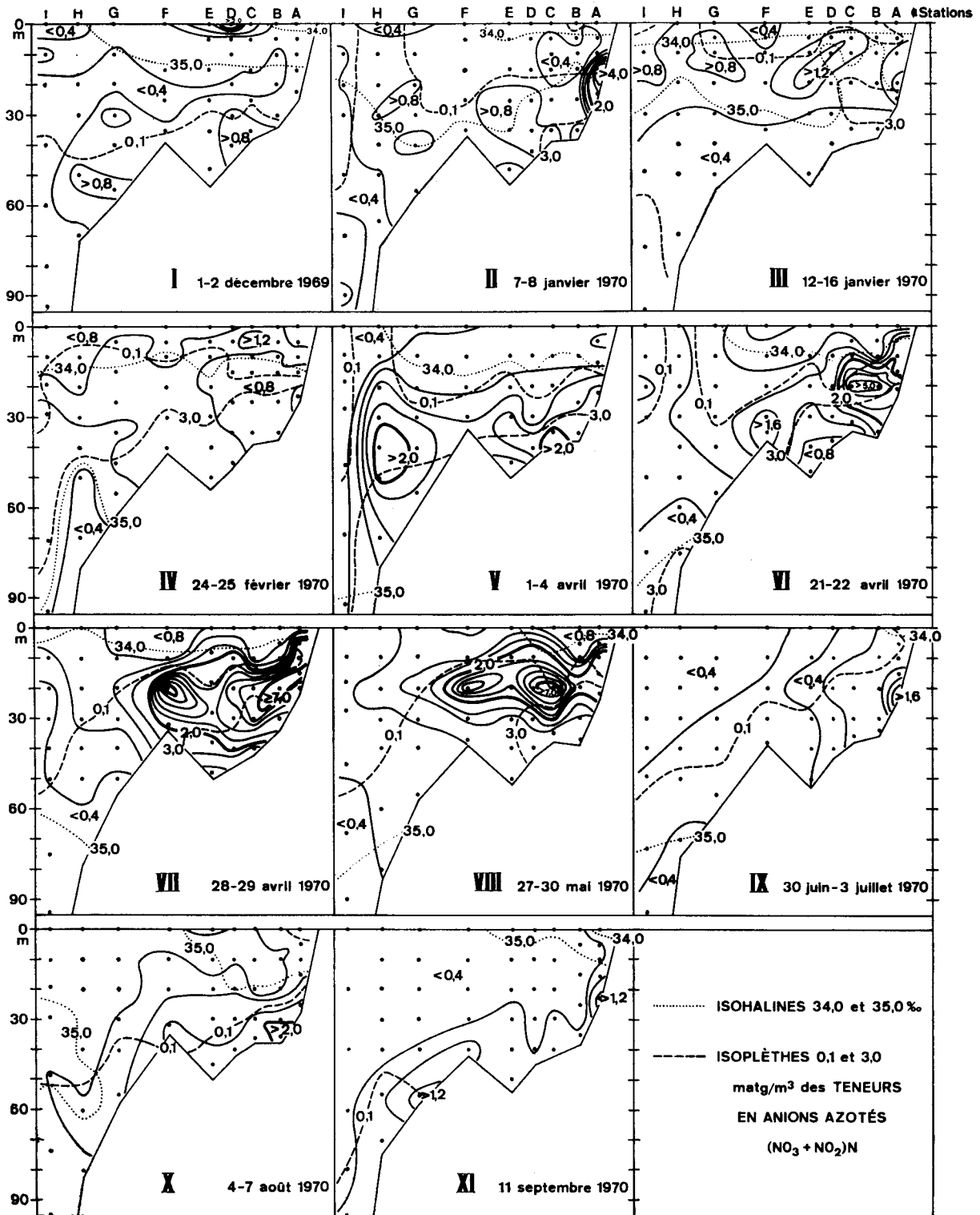


FIGURE 8

Evolution de la distribution verticale des concentrations de chlorophylle a

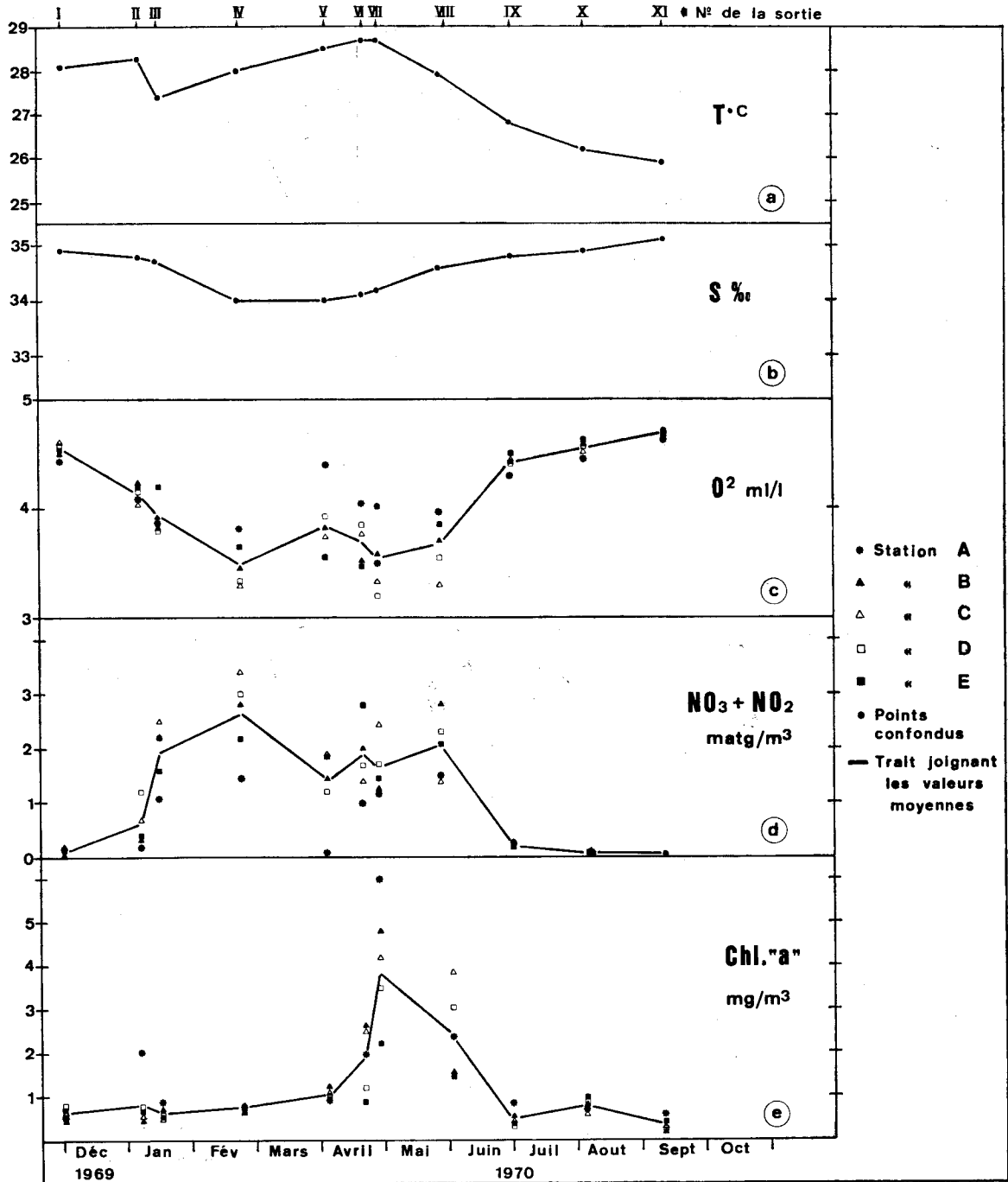


FIGURE 9

Evolution des valeurs moyennes à chaque station, et à chaque sortie, en baie d'Ampasindava, de la température, la salinité, des teneurs en oxygène dissous, en nitrate, et en chlorophylle a