

J. CITEAU

B. PITON

Y. MAGNIER

**SUR LA CIRCULATION GÉOSTROPHIQUE
DANS L'OUEST DE L'OCEAN INDIEN
SUD-ÉQUATORIAL**



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

DOCUMENTS SCIENTIFIQUES DU CENTRE DE NOSY-BÉ

Document n° 31



mars 1973

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE NOSY-BE MADAGASCAR

SUR LA CIRCULATION GEOSTROPHIQUE
DANS L'OUEST DE L'OCEAN INDIEN
SUD-EQUATORIAL

par

J. CITEAU (*)

B. PITON (*)

Y. MAGNIER (*)

Document n° 31 : mars 1973

(*) Océanographes physiciens. Centre ORSTOM de Nosy-Bé, B.P. 68, Nosy-Bé, Madagascar.

SUR LA CIRCULATION GEOSTROPHIQUE
DANS L'OUEST DE L'OCEAN INDIEN SUD-EQUATORIAL

par

Jean CITEAU[✱], Bernard PITON[✱], Yves MAGNIER[✱].

RESUME

Un millier de stations hydrologiques ont à ce jour été effectuées dans l'ouest de l'océan Indien entre l'équateur et 20°S, la côte est-africaine et 57°E, dont près de la moitié par le N.O. "VAUBAN" du Centre ORSTOM de Nosy-Bé entre 1967 et 1972. Après examen des variations à court terme des propriétés hydrologiques au voisinage de la côte malgache, dans le nord du canal de Mozambique, des cartes trimestrielles de circulation géostrophique de la surface par rapport à 500 décibars sont présentées, ainsi que des cartes de transport d'eau dans les 300 premiers mètres, après introduction de la notion de "fonction de transport".

ABSTRACT

After repeated observations on two fixed points in order to filtrate the short-term variations and to approximate the steady state, the results of a thousand hydrographic stations, of which 400 have been made by the R.V. "VAUBAN" (ORSTOM Centre of Nosy-Bé), are used to propose quaterly charts of the surface geostrophic circulation and the 0-300 m volume transport in the area extending from the equator to 18° South and from the African coast to 57° East.

✱ Océanographes au Centre ORSTOM de Nosy-Bé (Madagascar).

I - INTRODUCTION

WYRTKI (1971) a utilisé toutes les données physico-chimique disponibles en fin 1966 pour établir l'"Atlas océanographique de l'Expedition internationale dans l'océan Indien". Il a en particulier dressé des cartes bimestrielles de la circulation géostrophique superficielle et du transport de masse dans les 300 premiers mètres par rapport à 1000 décibars.

Dans la zone étudiée par le Centre ORSTOM de Nosy-Bé, limitée par l'équateur et 20°S, la côte africaine et 57°E, il a été dénombré[⊘], en fin 1966, près de 450 stations hydrologiques (fig. 1) où les prélèvements et les mesures ont été faits jusqu'à 500 m ou au-delà de cette immersion. De 1967 à 1972, le N.O. "VAUBAN", de Nosy-Bé, a effectué plus de 400 stations nouvelles (fig. 2) et il nous a paru intéressant d'en insérer les résultats à l'ensemble utilisé par WYRTKI.

Cependant, avant de tracer les nouvelles cartes de circulation, nous avons analysé les résultats de mesures faites en deux points fixes, pendant 48 heures, au large de la côte malgache dans le nord du canal de Mozambique.

II - OBSERVATIONS AU POINT FIXE

Pour estimer l'ordre de grandeur des variations à court terme (de l'ordre de l'heure) des propriétés hydrodynamiques, il a été effectué deux séries de stations au point fixe (fig. 3) :

- l'une, station A, à 10 milles dans le nord du cap d'Ambre, au cours de la campagne AMBRE III (13-18 mars 1972),
- l'autre, station B, à 50 milles dans l'ouest de Nosy-Bé, au même endroit que la station dite de "référence" par DONGUY et FITON (1969).

D'après MAGNIER et PITON (1973), la station A est située dans une région à structure verticale complexe, à la rencontre d'eaux

⊘ Toutes les données utilisées proviennent du N.O.D.C.. Les résultats obtenus par le "VAUBAN" ont été aussi traités par le N.O.D.C.

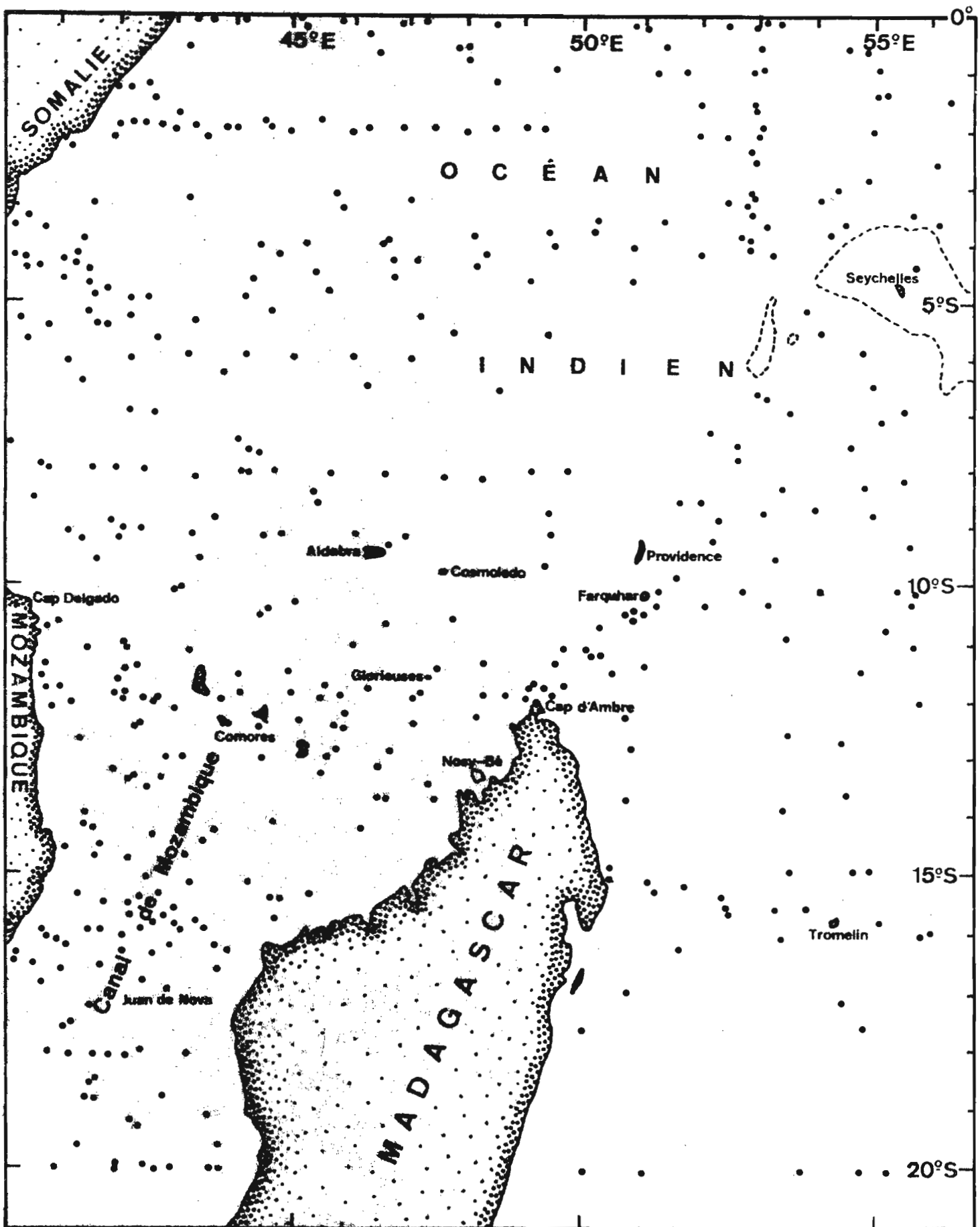


Fig. 1 - Position des stations effectuées dans l'ouest de l'Océan Indien à la fin de l'année 1966.

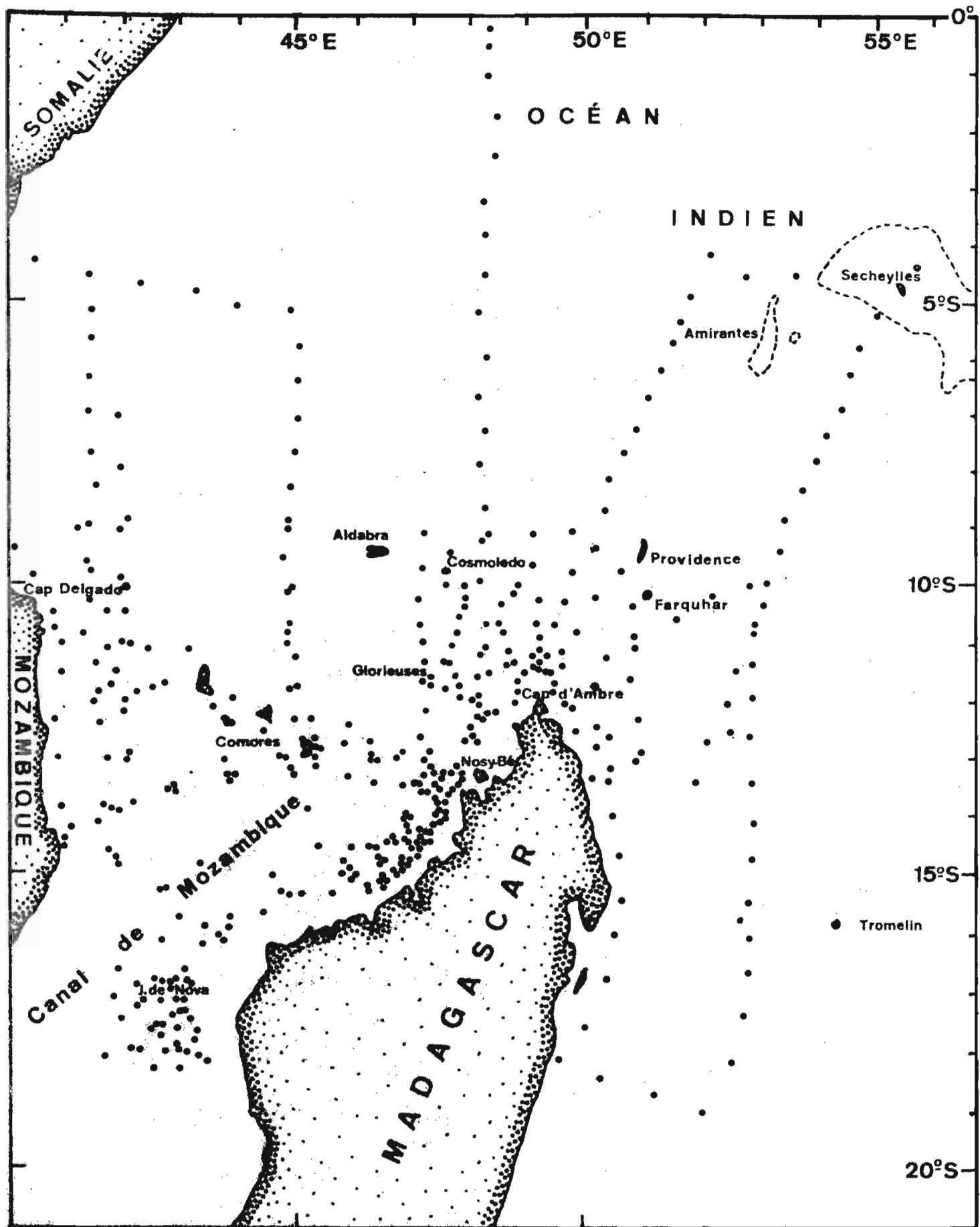


Fig. 2 - Position des stations hydrologiques effectuées par le "VAUBAN", de 1967 à 1972, dans l'ouest de l'Océan Indien sud-équatorial.

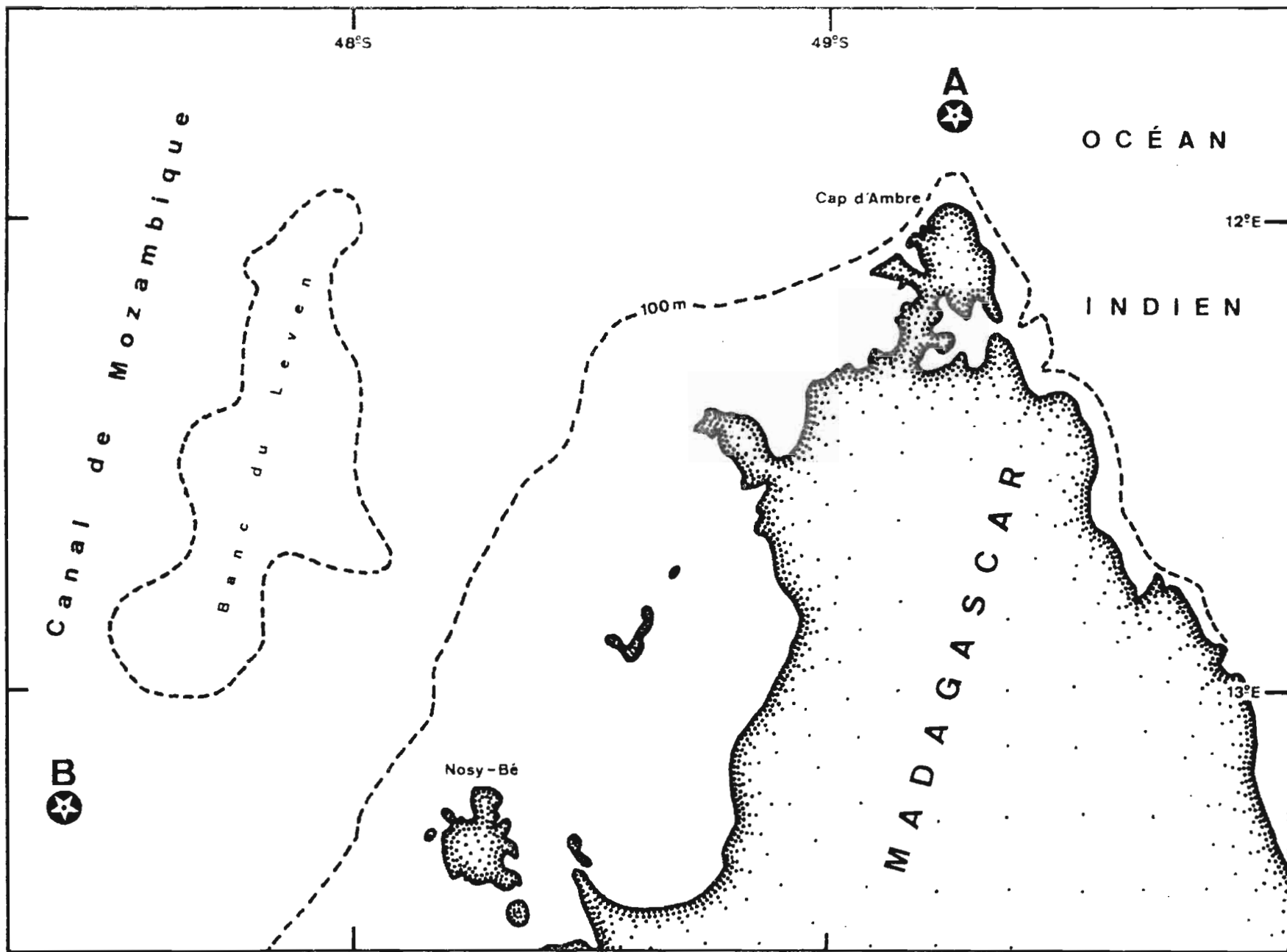


Fig. 3 - Position des stations en point fixe A et B.

d'origines différentes, venant de part et d'autre de Madagascar et du nord, et où les courants sont assez forts (1,5 à 2 noeuds) et fluctuants, par contre, la station B est située dans une région plus calme.

La station A fut occupée 27 fois, toutes les heures pour les 21 premières fois, puis toutes les 4 heures, et la station B, 47 fois en 48 heures (résultats non publiés), avec 15 niveaux de prélèvements et mesures, jusqu'à 700 mètres d'immersion.

Les deux diagrammes T - S obtenus sont présentés sur les figures 4 et 5. On retrouve les formes de courbe T - S classiques pour cette zone (MAGNIER et PITON, 1973) : maximum subsuperficiel de salinité, entre 35,4 et 35,5 ‰ à la station A, voisin de 35,3 ‰ à la station B.

Les figures 6 et 7 montrent l'évolution de l'immersion de quelques isothermes aux stations A et B; on voit que les variations sont beaucoup plus importantes à la station A qu'à la station B : si l'on admet que les fluctuations de ces immersions ont une distribution normale, on a les moyennes et écarts-types suivants pour les isothermes 25°C et 11°C :

	25°C		11°C		
	St. A	St. B	St. A	St. B	
Z	38	78	397	438	Z : immersion moyenne en mètres
σ	16,6	5,4	47	10	σ : écart-type.

En particulier, on voit d'après ce tableau que l'écart-type de l'immersion de l'isotherme 11°C* est plus de 4 fois plus grand à la station A qu'à la station B.

* Il a été tenté de faire une fonction d'autocorrélation sur l'immersion de l'isotherme 11°C à la station A afin de déterminer des périodes privilégiées, selon la méthode préconisée par MAUVAIS et LE FLOCH (1969); les calculs ont été effectués à partir de valeurs mesurées ou interpolées sans chercher à filtrer les données, ni à les représenter par un paramètre à valeur moyenne nulle.

Il s'est avéré que la durée d'observation et la fréquence d'échantillonnage étaient trop petites pour faire apparaître des périodes privilégiées.

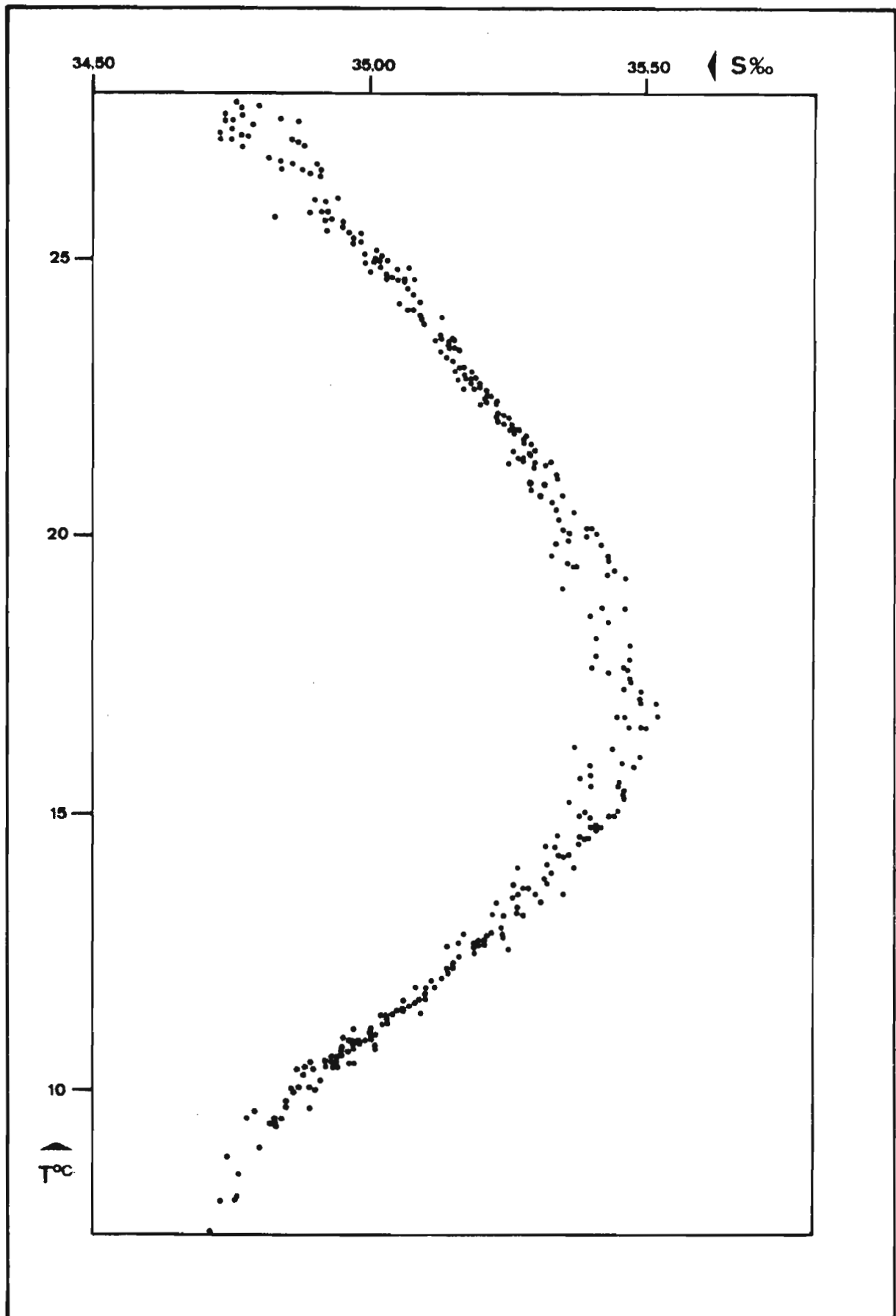


Fig. 4 -- Diagramme T - S à la station A.

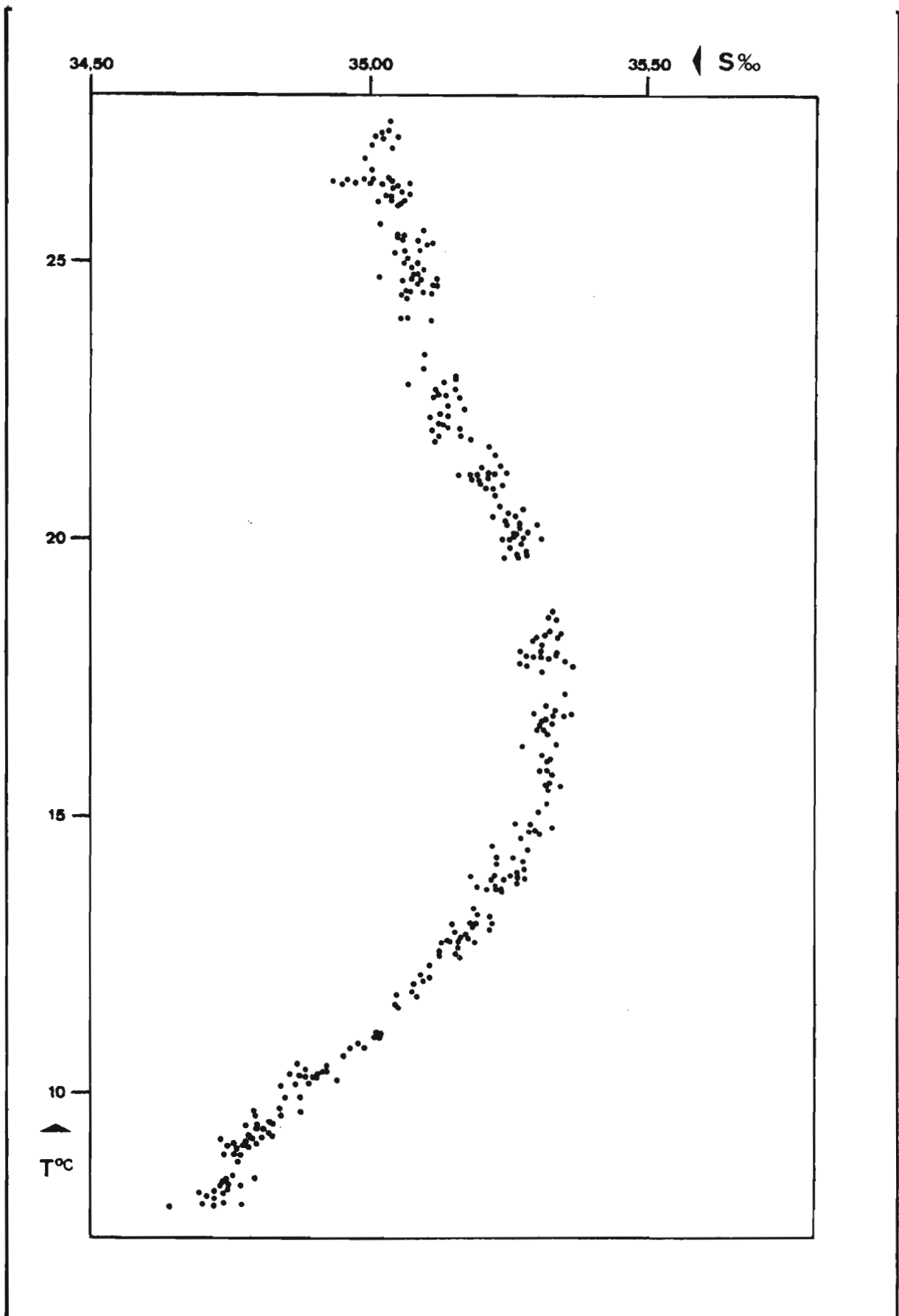


Fig. 5 - Diagramme T - S à la station B.

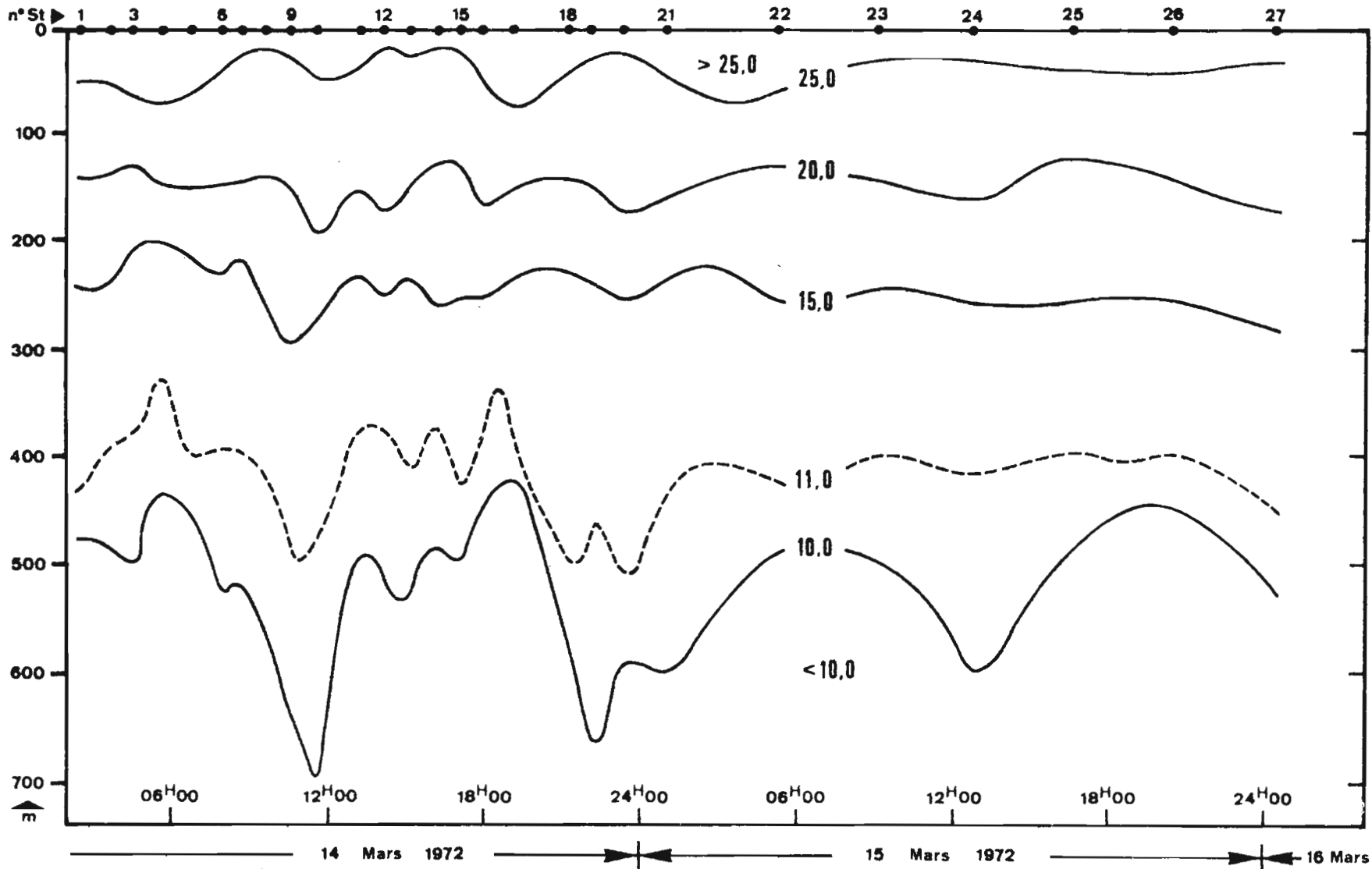


Fig. 6 - Evolution de l'immersion de quelques isothermes à la station A durant 48 heures.

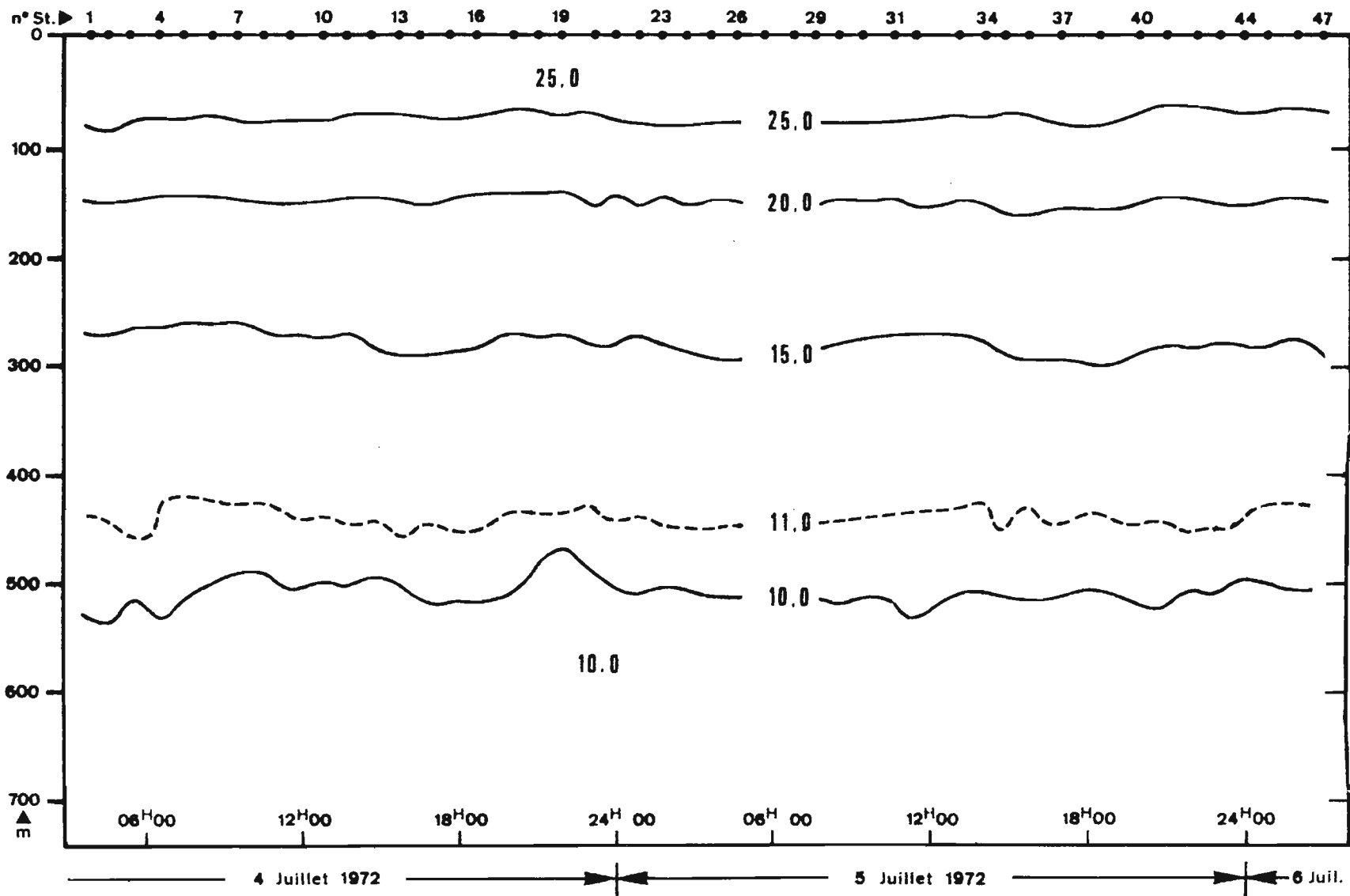


Fig. 7 - Evolution de l'immersion de quelques isothermes à la station B durant 48 heures.

On a sur la figure 8 l'évolution de la hauteur dynamique de la surface par rapport à 500 décibars aux deux stations. L'écart-type est de 0,034 mètre-dynamique à la station A, et de 0,015 mètre-dynamique à la station B. L'estimation de l'écart-type de l'erreur instrumentale faite par WOOSTER et TAFT (1958), en admettant les précisions $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ sur la température, $\pm 0,01^{\circ}/\text{oo}$ sur la salinité et ± 5 m sur la profondeur, est de 0,003 mètre-dynamique pour la hauteur dynamique de la surface par rapport à 500 décibars. On a ainsi une idée de la valeur que l'on peu accorder aux calculs de hauteurs dynamiques dans la région étudiée. Mais nous pensons que la région voisine du cap d'Ambré est assez exceptionnelle, et nous ne retiendrons que le résultat obtenu à la station B, à savoir : l'erreur $\pm 2 \sigma$ que l'on fait sur la hauteur-dynamique à une station est de $\pm 0,03$ mètre-dynamique au niveau de confiance 95%.

III - LA CIRCULATION GEOSTROPHIQUE DE SURFACE

WYRTKI (1971) donne des cartes bimestrielles de la circulation en surface. L'examen de ces cartes montre que cette circulation n'évolue pas beaucoup au cours de l'année dans la zone que nous étudions. Rappelons ici que le climat dans cette zone est caractérisée par l'alternance de deux saisons :

- l'une, du mois de novembre au mois d'avril, où les alizés de sud-est faibles rencontrent, dans une zone de convergence (basses pressions) située vers 10°S , la mousson de nord-est,
- l'autre, du mois de mars au mois d'octobre, où les alizés plus forts se prolongent au nord de 10°S par la mousson de sud-ouest.

Des schémas de circulation superficielle pour chaque saison ont déjà été proposés par plusieurs auteurs; certains sont reproduits par MAGNIER et PITTOI (1973); celui proposé par DEFANT (1961) est représenté sur la figure 9. On retrouve aux deux saisons le courant sud-équatorial, plus fort en hiver austral qu'en été; ce courant se divise une première fois devant la côte nord-est malgache, une seconde fois devant la côte africaine à la hauteur du cap Delgado (10°S). La branche nord de cette dernière divergence est bien plus importante en hiver (austral) qu'en

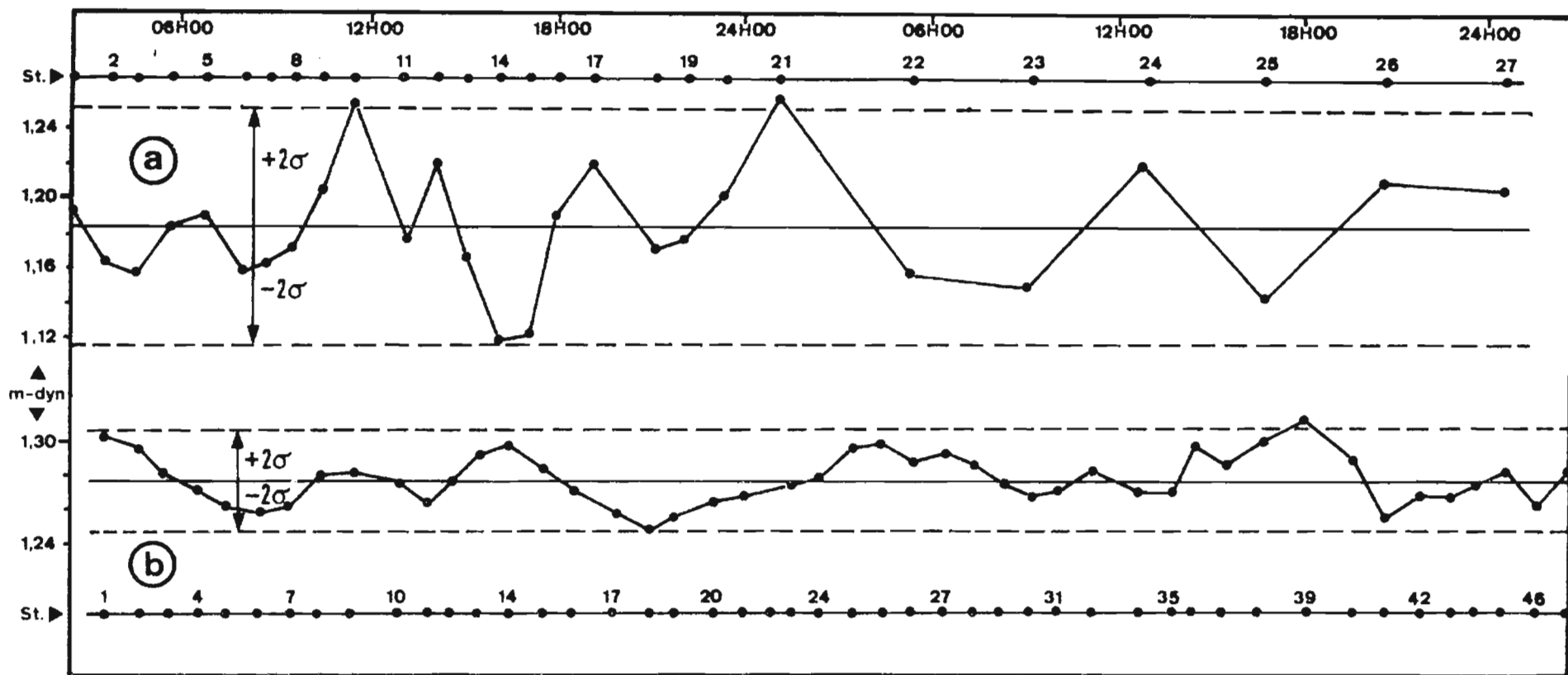
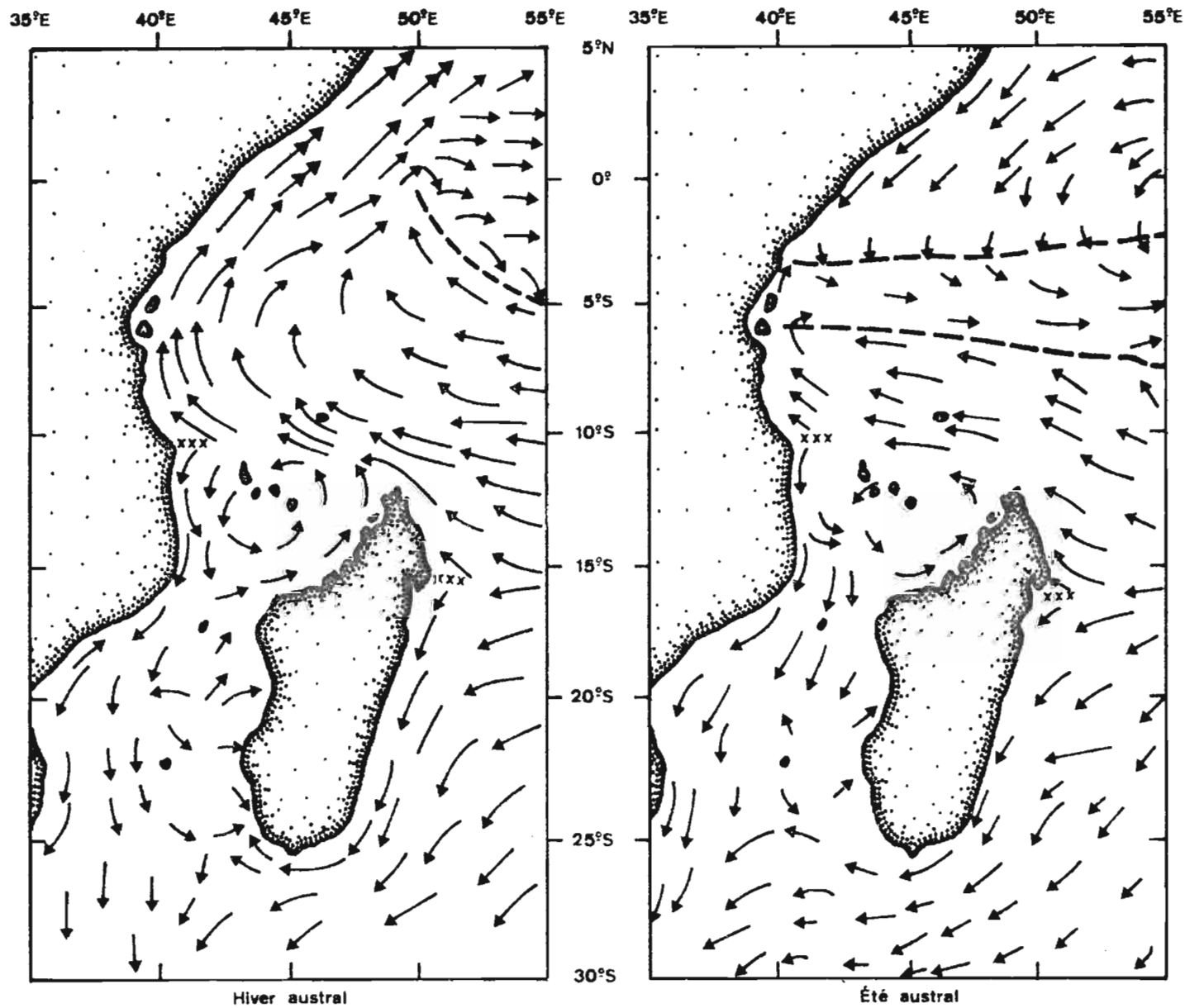


Fig. 8 - Evolution de la hauteur dynamique de la surface par rapport à 500 décibars aux stations A et B durant 48 heures.

Fig. 9 - La circulation de surface dans l'ouest de l'Océan Indien en hiver et en été austral, d'après DEFANT (1961).



D'après DEFANT

XXXX Divergence
 ---- Limites du contre-courant équatorial

été. En été, le contre-courant équatorial se situe entre 5°S et 7°S, tandis qu'en hiver, il se confond avec le courant de mousson de sud-ouest. Dans le nord du canal de Mozambique, la circulation anticyclonique autour des Comores est permanente, et le long de la côte est-africaine, dans le canal de Mozambique, le flux vers le sud se renforce en été.

Pour illustrer la petitesse des variations annuelles, nous avons porté sur la figure 10 les valeurs de la hauteur dynamique de la surface par rapport à 500 décibars à la station "référence" à 13°15'S et 47°23'E, occupée 27 fois de 1966 à 1968. L'écart-type n'est que de 0,048 mètre-dynamique, avec des valeurs minimales en juin-juillet et maximales en janvier, alors que la température et la salinité de surface ont varié respectivement de 25,5°C - 35,1 ‰ en août à 29,1°C - 34,4 ‰ en mars.

Pour présenter la topographie dynamique de la surface dans l'ensemble de la région considérée, nous avons choisi une représentation trimestrielle et un mode d'approximation identique à celui de MYRTKI (1971), qui consiste à adopter la moyenne des résultats obtenus dans chaque carreau de 1 degré de côté en latitude et en longitude, en rejetant, lorsqu'il y a plus de quatre valeurs, celles qui diffèrent de la moyenne de plus de deux fois l'écart-type.

Ce procédé conduit aux cartes des figures 10 à 13. On peut noter sur ces cartes que :

1°) le courant sud-équatorial se divise devant la côte malgache à 15°S (cartes 11 et 14),

2°) du cap d'Ambré au cap Delgado le courant sud-équatorial est très stable au cours de l'année, en direction (W/N-W) et en largeur (250 à 300 milles), avec une intensité maximum de 80 cm/s pendant la période de juillet à septembre (fig. 13),

3°) la séparation entre le courant sud-équatorial et le contre-courant équatorial est une zone assez large entre 5°S et 9°S, occupée par de grandes cellules cycloniques de peu de relief.

4°) le courant nord-équatorial provoqué par la mousson de nord-est est visible sur la figure 11 au nord de 5°S,

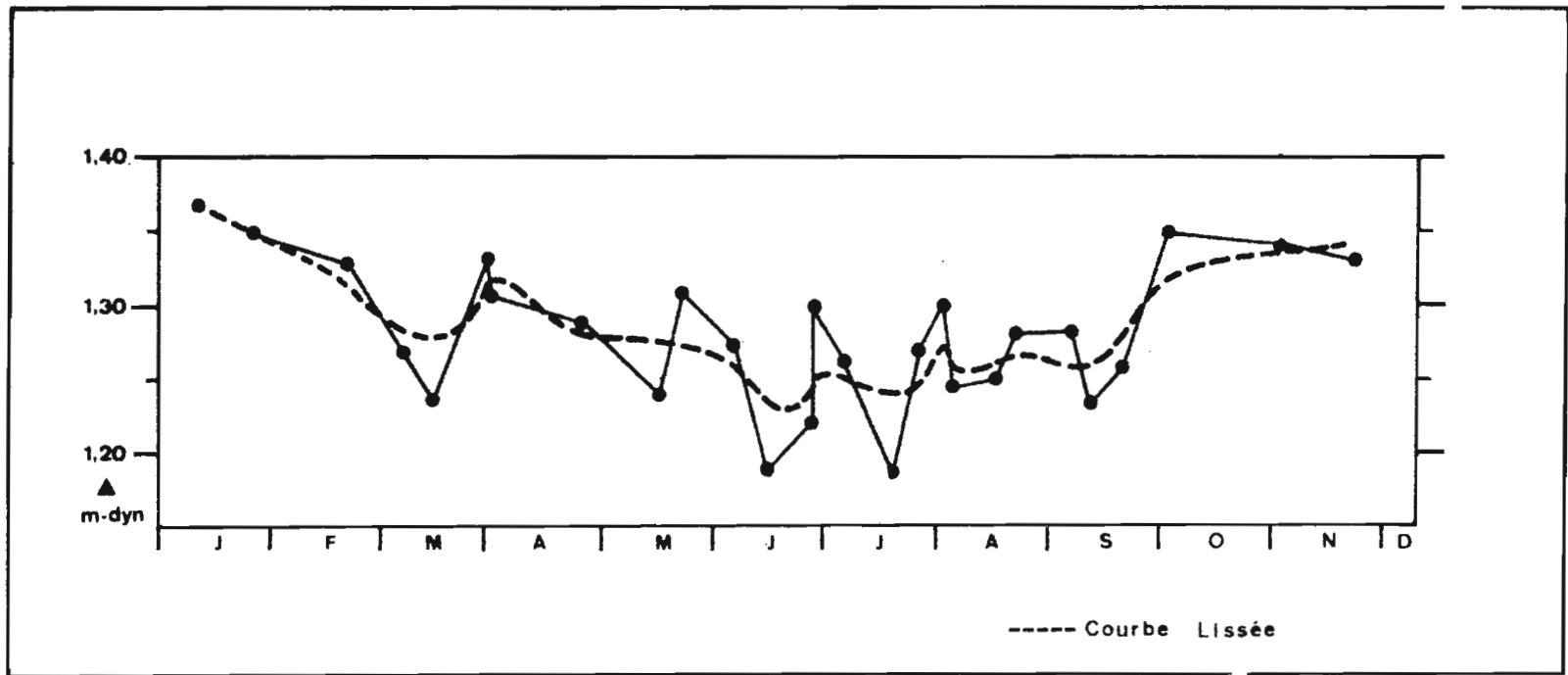


Fig. 10 - Evolution de la hauteur dynamique de la surface par rapport à 500 décibars à la station de référence au cours de l'année.

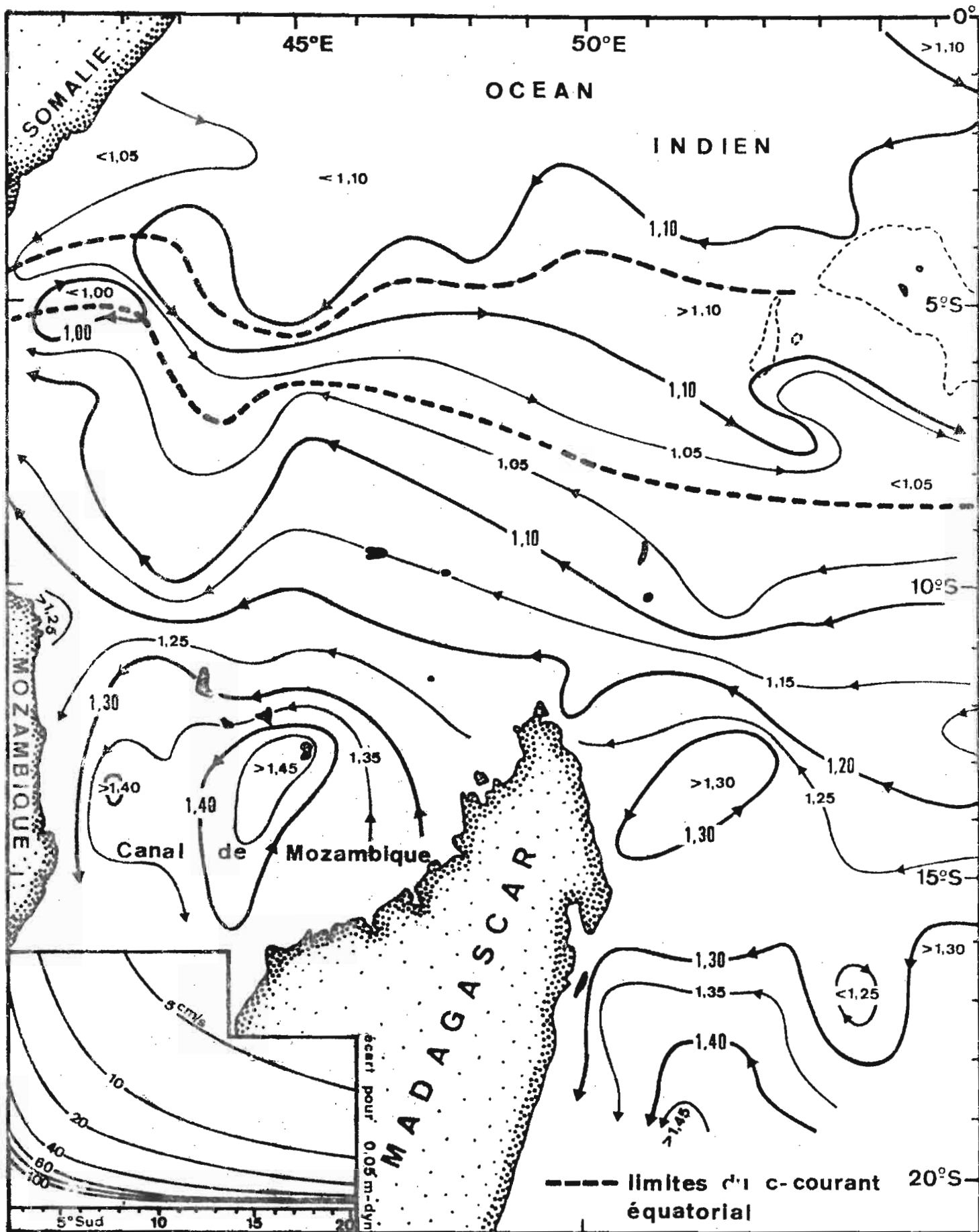


Fig. 1 - La circulation géostrophique de surface par rapport à 500 décibars dans l'ouest de l'Océan Indien sud-équatorial en janvier-février-mars.

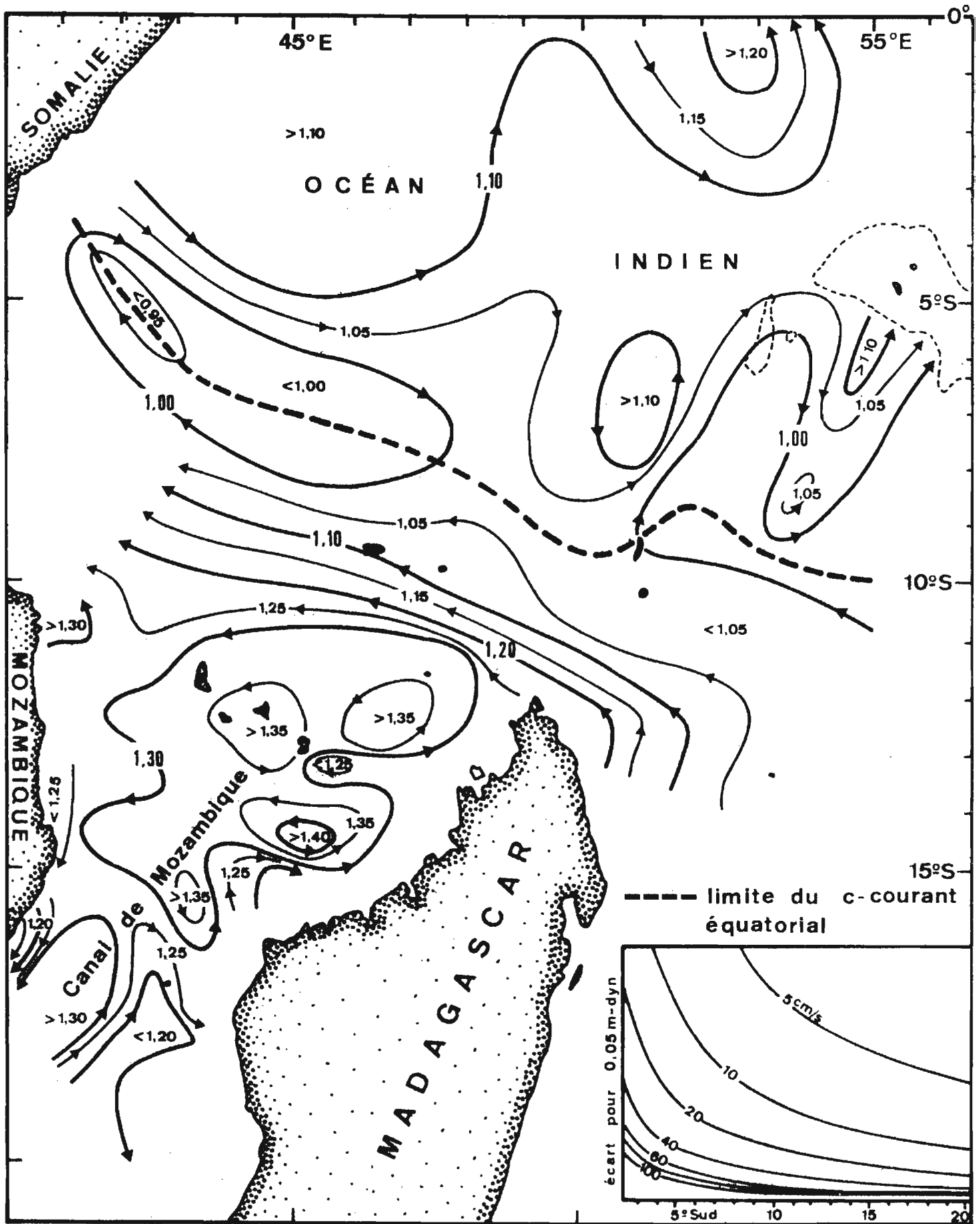


Fig. 12 - La circulation géostrophique de surface par rapport à 500 décibars dans l'ouest de l'Océan Indien sud-équatorial en avril-mai-juin.

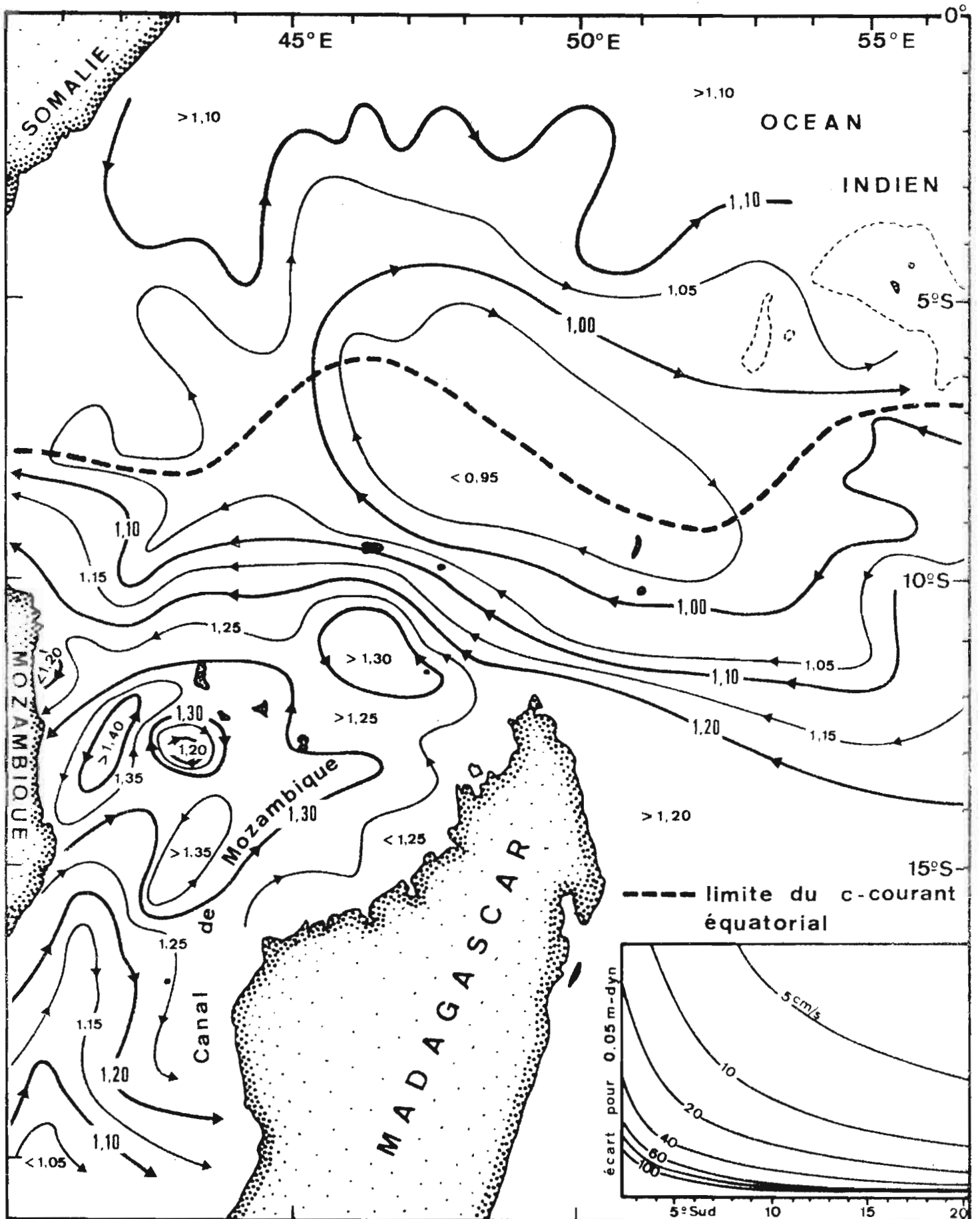


Fig. 13 - La circulation géostrophique de surface par rapport à 500 décibars dans l'ouest de l'Océan Indien sud-équatorial en juillet-août-septembre.

5°) la circulation générale dans le nord du canal de Mozambique est toujours anticyclonique mais peut inclure un ou deux vortex plus petits dans un sens ou dans l'autre,

6°) dans la partie centrale du canal de Mozambique la circulation semble être "contra-solem", la ligne de séparation d'avec la cellule nord se situant au voisinage du Cap St-André (cartes 12, 13, 14).

IV - FONCTIONS DE TRANSPORT

1- La notion de fonction de transport

D'une façon générale, la connaissance de la topographie dynamique entraîne celle du champ de vitesse, donc celle des transports (de masse ou de volume) par intégration verticale des vitesses calculées couche par couche. On voit que lorsque la densité de stations hydrologiques est élevée, le calcul des transports peut devenir fastidieux.

Une méthode plus commode permet aussi ce calcul sans passer par celui de la vitesse aux différentes immersions. Indiquée par DEFAINT (1961) et utilisée par WYRTKI (1971), elle consiste à intégrer verticalement, non pas la vitesse, mais l'anomalie de hauteur dynamique ; l'intégrale ainsi calculée est appelée "fonction de transport". La carte de distribution de cette fonction de transport permet de déterminer, à l'aide d'un abaque, les flux dans une épaisseur d'eau donnée. (Cet abaque qui n'est qu'une table de multiplication est construit une fois pour toutes, indépendamment de l'échelle des cartes).

2 - Etablissement d'une formule simple de calcul.

Soit "L" la distance entre deux stations A et B, "V" la vitesse moyenne normale à la ligne des stations, "f" le paramètre de coriolis, "D_z" la hauteur-dynamique à un niveau "z" par rapport à une surface de référence ; on a la relation :

$$f.V = \left| \frac{\Delta D_z}{L} \right| \begin{matrix} A \\ B \end{matrix}$$

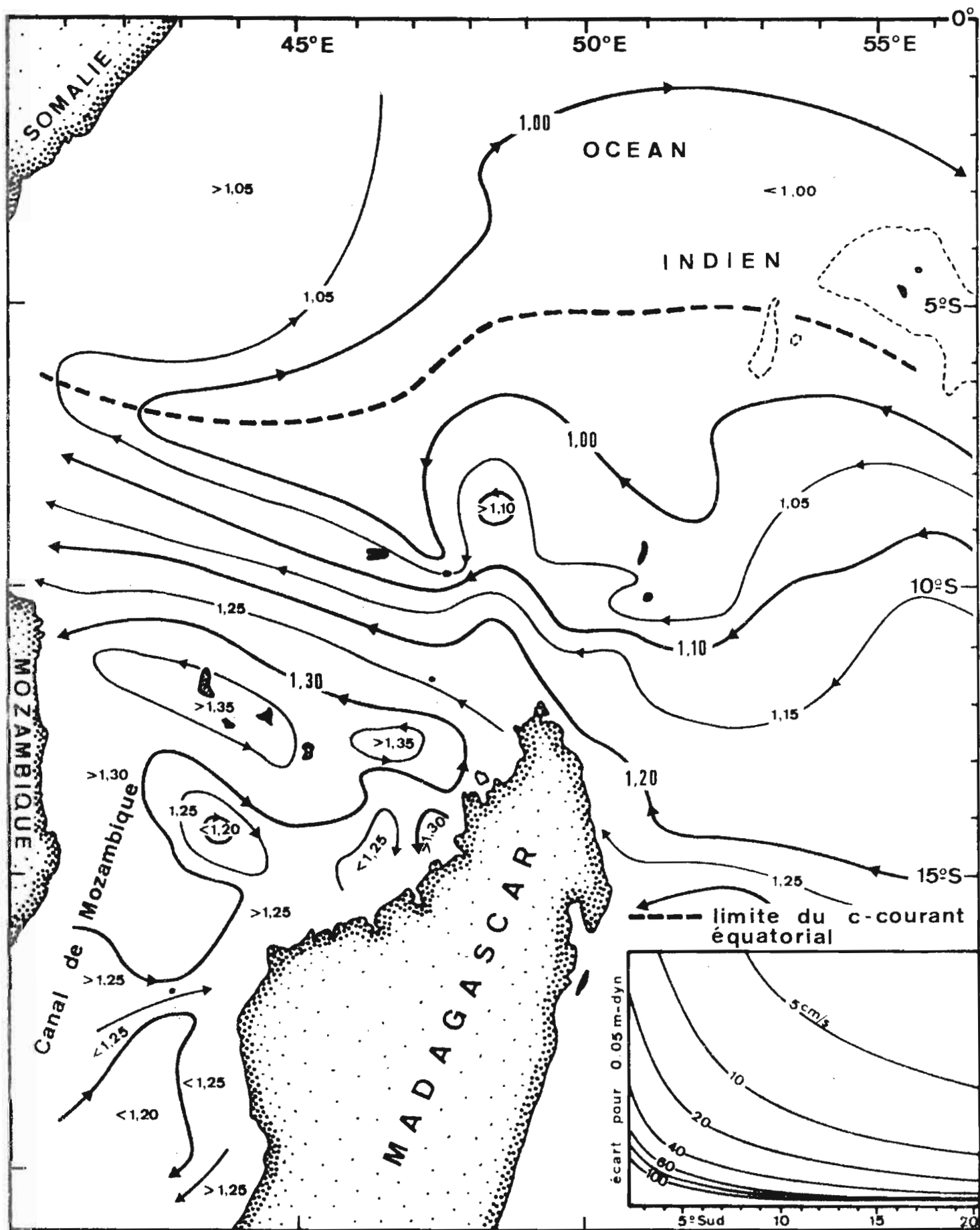


Fig. 14 - La circulation géostrophique de surface par rapport à 500 décibars dans l'ouest de l'Océan Indien sud-équatorial en octobre-novembre-décembre.

Entre la surface et une immersion "h", le transport en volume "Q" entre les stations A et B est donné par :

$$Q = \int_0^h L.V.dz = \int_0^h \frac{1}{f} \left| \Delta D \right|_B^A dz.$$

Appelons "fonction de transport" la quantité $q = \int_0^h \Delta D dz$, il vient :

$$fQ = q_A - q_B$$

La quantité "q" ne dépend que des propriétés hydrodynamiques de la station qu'elle représente, et la différence " $q_A - q_B$ " est indépendante de "L".

Dans un réseau de stations, le tracé des isolignes de "q" donne la direction des courants géotrophiques moyens entre la surface et l'immersion "h". Le flux total entre deux stations, ou entre deux isolignes, sur l'épaisseur "x" est obtenu en entrant dans un abaque (fig. 15) avec la latitude moyenne et la différence des deux valeurs de fonction de transport.

Formule pratique. A l'instar de WYRTKI (1971), nous avons choisi de représenter le mouvement moyen de l'eau dans les 300 premiers mètres. Si nous désignons par " \sum_z " la hauteur dynamique à l'immersion "z" par rapport à la surface, un niveau de référence étant choisi, on a :

$$q = \int_0^{300} \Delta D dz = \int_0^{300} (\sum_{\text{réf}} - \sum_z) dz = 300 \sum_{\text{réf}} - \int_0^{300} \sum_z dz$$

Si l'on prend des couches de 50 mètres pour intégrer de 0 à 300 mètres et 500 mètres comme surface de référence, il vient :

$$q = 300 \sum_{500} - 25 \sum_{300} - 50 (\sum_{50} + \sum_{100} + \sum_{150} + \sum_{200} + \sum_{250})$$

Equations aux dimensions et unités. " ΔD ", ou " \sum ", exprime un travail par unité de masse ($L^2 T^{-2}$), "q" est identique à $L^3 T^{-2}$, et "Q" à $L^3 T^{-1}$. Si l'unité de masse est le kilogramme, " ΔD " s'exprime en mètre-dynamique, ou $m^2 s^{-2}$, "q" s'exprime en m.m-dyn., ou $m^3 s^{-2}$, et "Q" en $m^3 s^{-1}$.

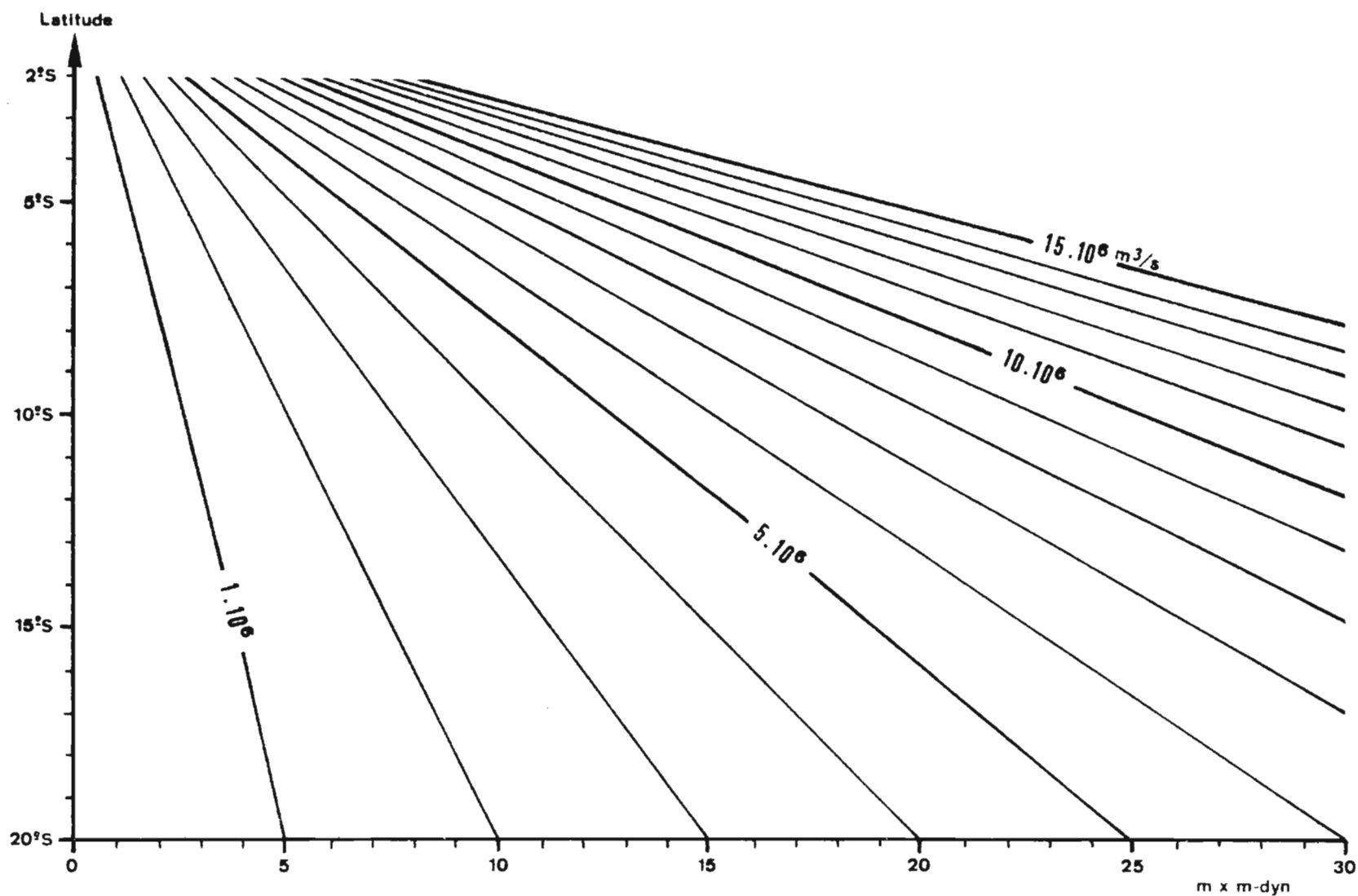


Fig. 15 - Abaque donnant les transports d'eau entre deux stations hydrologiques représentées chacune par une "fonction de transport".

3 - Remarques : 1) Pour évaluer les transports de masse, on peut soit multiplier "Q" par la densité moyenne des 300 premiers mètres, soit calculer $\int_0^{300} p \Delta D dz$. La première méthode est suffisante.

2) L'énergie potentielle d'une colonne d'eau entre la surface et l'immersion "-h" peut s'écrire :

$$E = E_0 + P,$$

"E₀" étant la part d'énergie potentielle dans le cas de l'océan "standard", et "P" celle provenant de l'écart à l'océan "standard". Or :

$$P = - \frac{1}{g} \int_{P_h}^{p_0} p \cdot \delta \cdot dp, \text{ où } \delta \text{ désigne l'anomalie de volume spécifique et } p \text{ la pression}$$

Comme $d(\Delta D) = \delta dp$, on a aussi :
$$P = \frac{1}{g} \int_{\Delta D_h}^{\Delta D_0} p \cdot d(\Delta D).$$

WYRTKI (1971) lie les transports de masse "T" (en g.s⁻¹) aux fonctions "P" (en g.s⁻²) par la relation : $f T = P_A - P_B$.

On remarquera que la fonction "P", dans le repère (ΔD, p), est indépendante du niveau de référence choisi puisque "ΔD" est élément différentiel. Avec un nouveau changement de variable, "P" peut s'écrire :

$$P = - \frac{1}{g} \left| p \cdot \Delta D \right|_{z=h}^{z=0} + \frac{1}{g} \int_{P_h}^{p_0} \Delta D \cdot dp.$$

Dans le cas où "-h" est l'immersion du niveau de référence,

pour $z = 0, \quad p = 0$

et pour $z = -h \quad \Delta D_h = 0$ et :
$$P = \frac{1}{g} \int_{P_h}^{p_0} \Delta D \cdot dp = \int_{-h}^0 p \cdot \Delta D \cdot dz.$$

A un facteur multiplicatif près, nous retrouvons la formule de q. Dans la cas où "-h" ne désigne plus le niveau de référence, on ne peut pas dire qu'en toute rigueur la fonction "P" choisie par WYRTKI permette d'atteindre les transports de masse car rien ne permet d'affirmer que la quantité " $P_h \Delta D_h$ " soit nulle, ou invariable d'une station à l'autre.

3) Pour tenter de faire ressortir les éventuelles différences entre les saisons nous avons choisi de grouper les résultats des calculs de la fonction de transport en deux cartes : figure 16 (novembre-avril) et figure 17 (mai-octobre). En fait on voit que les différences sont de peu d'importance; aux deux époques le courant sud-équatorial est bien établi : entre le cap d'Ambre où $q = 200$ aux deux saisons et la limite sud du contre-courant où $q = 150$ en hiver et 160 en été, le flux total du courant sud-équatorial ne varie que dans la proportion de 5 à 4.

V - EXEMPLE DE CALCUL DE VITESSE VERTICALE

Bien que les hypothèses qui permettent d'évaluer les vitesses horizontales par les formules :

$$u = \frac{1}{f} \cdot \frac{\partial D}{\partial y}$$

$$v = \frac{1}{f} \cdot \frac{\partial D}{\partial x}$$

impliquent que la vitesse verticale "w" soit nulle, on peut néanmoins, en considérant ces formules comme une approximation des vitesses réelles, calculer une vitesse verticale qui satisfasse à l'équation de continuité:

$$\frac{\partial w}{\partial z} = - \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

3) Nous avons choisi de grouper les stations disponibles en deux.

On a en effet :

$$\frac{\partial w}{\partial z} = - \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{f} \frac{\partial^2 D}{\partial x \partial y} - \frac{1}{f} \frac{\partial^2 D}{\partial x \partial y} + \frac{\partial D}{\partial x} \cdot \frac{\partial(1/f)}{\partial y} = \frac{\partial D}{\partial x} \cdot \frac{-1}{f R \operatorname{tg} \varphi}$$

d'où , en intégrant, l'axe des z étant dirigé vers le haut :

$$w = \frac{1}{f.R.\operatorname{tg}\varphi} \int_0^{-h} \frac{\partial D}{\partial x} \cdot dz$$

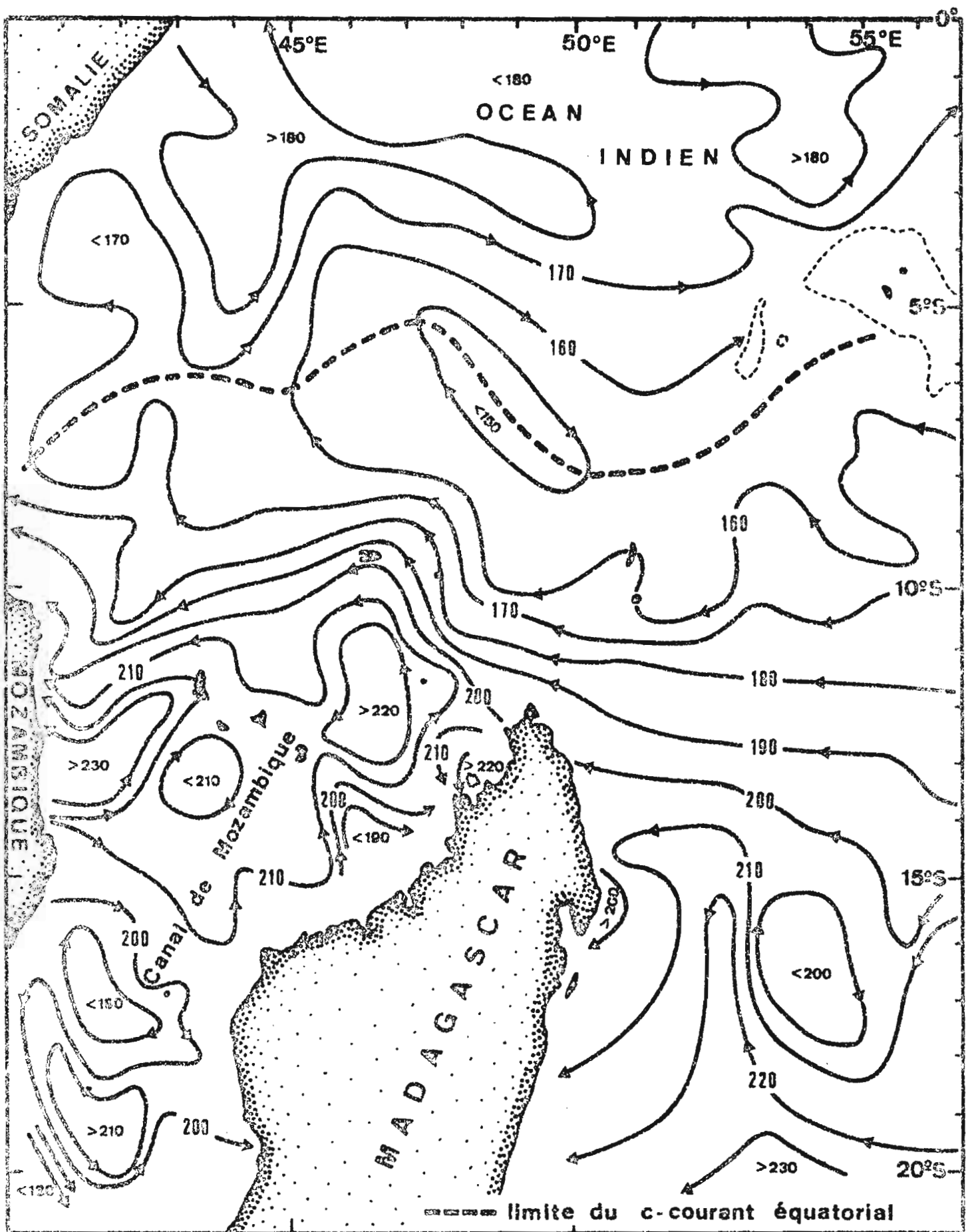


Fig. 16 - Répartition de la fonction de transport (volume) dans l'ouest de l'Océan Indien sud-équatorial en hiver austral (mai-octobre).

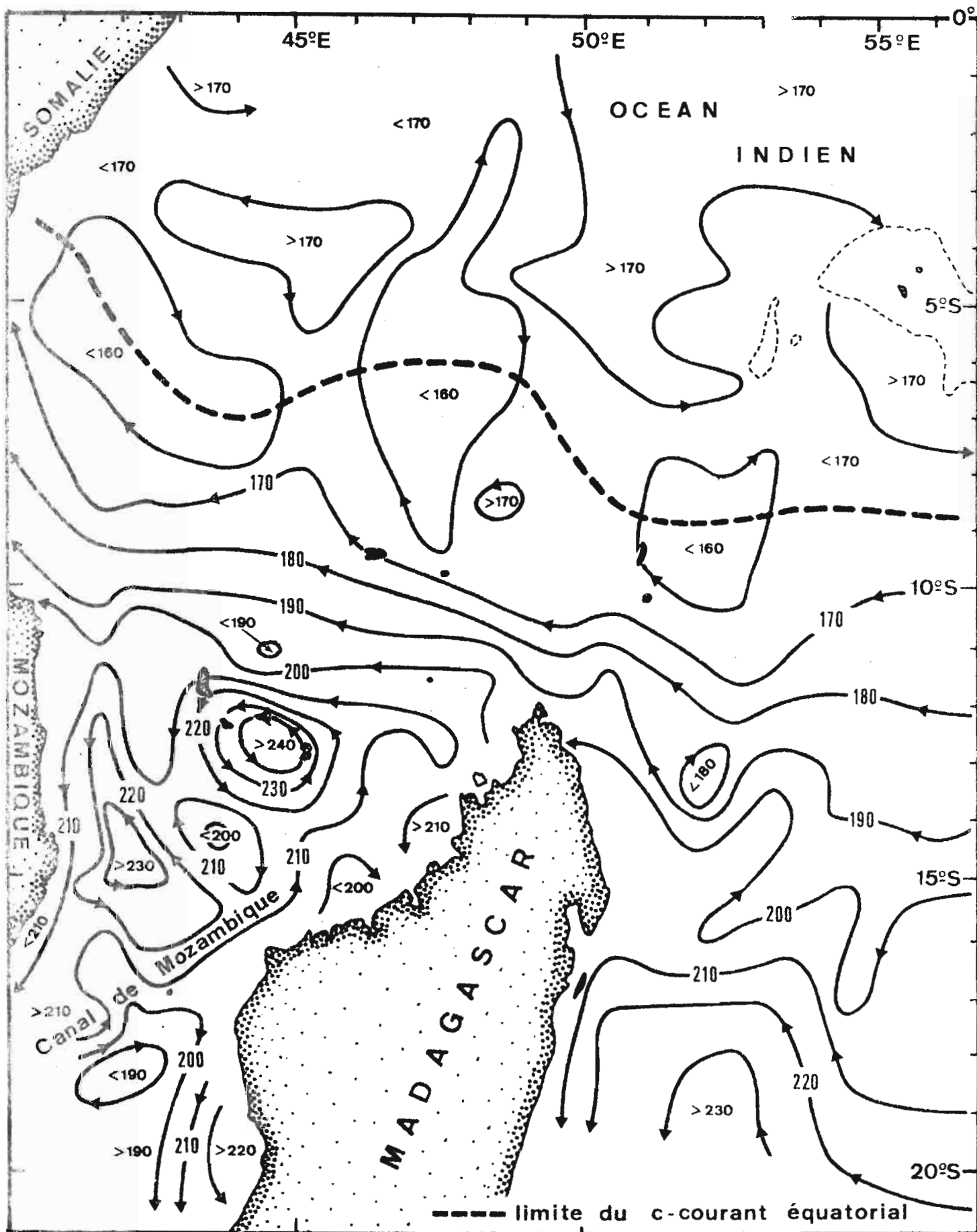


Fig. 17 - Répartition de la fonction de transport (volume) dans l'ouest de l'Océan Indien sud-équatorial en été austral (novembre-avril).

Soient A et B deux stations à la même latitude, et "L" la distance entre ces deux stations ; au niveau "h", la composante verticale de la vitesse est :

$$w = \frac{1}{f.R.tg\varphi} \cdot \frac{1}{L} (q_A - q_B)$$
, en introduisant les fonctions de transports q_A et q_B des stations A et B.

Exemple de calcul. L'exemple est effectué à partir des stations 15 et 17 de la croisière "DELGADO" du "VAUBAN".

Si "L" est exprimé en mètre, "q" en mètre. mètre-dynamique, "R" en mètre, on a :

$$W_{m/s} = \frac{1}{f.R.tg\varphi} \cdot \frac{10}{L} (q_A - q_B)$$

Si : $q_A - q_B = 23 \text{ m. m-dyn.}$

$L = 45 \text{ milles} = 83.400 \text{ m}$

$\varphi = 13^{\circ}45S$

$\omega = 0,729 \cdot 10^{-4} \text{ rad/s}$

$R = 6378.000 \text{ m}$

On a : $w = \underline{1,25 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}}$. Cette vitesse est du même ordre que celles des exemples donnés par DEFANT (1961).

IV - CONCLUSION

Dans la région étudiée le courant sud-équatorial est stable, à peine renforcé en période d'alizés. Entre ce courant et le contre-courant équatorial s'étend un "marais" dynamique à courants faibles. Une cellule de circulation anticyclonique occupe tout le nord du Canal de Mozambique et peut inclure des cellules plus petites dues à des accidents locaux de la topographie. La vraie circulation dans ces deux dernières régions ne correspond certainement pas à celle que fournit l'approximation géostrophique et nécessiterait des mesures directes de courant. Ces mesures sont prévues dans le programme actuel du Centre de Nosy-Bé.

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

- DEFANT (A.), 1961 - Physical oceanography. Pergamon press, vol. 1, 729 p.
- DONGUY (J.-R.), PITON (B.), 1969 - Aperçu des conditions hydrologiques de la partie nord du canal de Mozambique. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., vol. 7, n° 2 : 3-26.
- MAGNIER (Y.), PITON (B.), 1973 - Les masses d'eau de l'océan Indien à l'ouest et au nord de Madagascar un début de l'été austral (novembre-décembre). Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., vol. 11, n° 1.
- MAUVAIS (J.-L.), LE FLOCH (J.), 1969 - Traitement statistique de mesures de courant effectuées près du fond dans le golfe de Gascogne. Cah. océanogr., vol. XXI, n° 4 : 379-386.
- WOOSTER (W.S.), TAFT (B.A.), 1958 - On the reliability of field measurements of temperature and salinity in the ocean. J. Mar. Res., vol. 17 : 552-556.
- WYRTKI (K.), 1971 - Océanographic atlas of the international Indian ocean expedition. National Science Foundation, Washington, 531 p.

D O C U M E N T S D E J A P A R U S

- N° 1 - PITON (B.), PRIVE (M.), TERAY (A.) - Août 1968.
Résultats des observations physico-chimiques des croisières 6814 et 6823 du "VAUBAN". 4 p., 2 fig. ht., 19 p. ht.
- N° 2 - CHABANNE (J.), PLANTE (R.), LABOUTE (P.) - Octobre 1968.
Résultats des chalutages (crevettes et poissons) en Baie d'Ambaro (côte N.W.). Mars 1965 - Février 1967. 57 p., 2 fig. ht.
- N° 3 - FRONTIER-ABOU (D.) - Octobre 1968.
Etude du muscle de trois espèces de Carangidés : composition globale et résultats statistiques. 10 p.
- N° 4 - CHABANNE (J.), LABOUTE (P.) - Novembre 1968.
Résultats de la pêche à la traîne sur le plateau continentale de la côte nord-ouest (Avril 1965 à Octobre 1968). 17 p., 2 fig. ht.
- N° 5 - PITON (B.), PRIVE (M.), TERAY (A.) - Juin 1969.
Résultats des observations physico-chimiques en Baie d'Ambaro de Janvier 1968 à Juin 1969. 6 p., 71 p. ht.
- N° 6 - PITON (B.), PRIVE (M.), TERAY (A.) - Août 1969.
Résultats des observations physico-chimiques en Baie d'Ampasindava, sur le plateau continental et au large de la côte nord-ouest de Madagascar de Décembre 1967 à Janvier 1969. 6 p., 50 p. ht.
- N° 7 - FRONTIER (S.) - Septembre 1969.
Méthodes d'analyse statistique applicables à l'écologie du plancton. 33 p., 7 fig. ht.
- N° 8 - FRONTIER-ABOU (D.), VOLAMORA (M.A.) - Octobre 1969.
Données numériques sur 31 espèces de poissons comestibles de la région de Nosy-Bé : mensurations, composition globale du muscle blanc, valeurs caloriques, corrélations. 74 p.
- N° 9 - PETIT (D.), BHAUD (M.), BINET (D.), BOUR (W.), DESSIER (A.), FRONTIER (S.), LABOUTE (P.) - Novembre 1969.
Le filet "Lucifer". Description - Manoeuvre - Performances. 10 p., 7 fig. ht.
- N°10 - PLANTE-CUNY (M.R.) - Janvier 1970.
Données méthodologiques pour aborder la production primaire dans les sédiments marins. 36 p.
- N°11 - FRONTIER-ABOU (D.), VOLAMORA (M.A.) - Février 1970.
Données numériques sur 110 individus de l'espèce Caranx ignobilis : mensurations, composition globale des muscles blanc et rouge, du foie et des gonades. 25 p.
- N°12 - CHABANNE (J.) - Février 1970.
La pêche à la traîne sur la partie nord-ouest du plateau continental de Madagascar. 19 p., 3 fig. ht.

- N°13 - FRONTIER-ABOU (D.) - Sous presse.
Techniques d'étude d'organismes marins et de farines de poissons :
composition globale et lipides.
- N°14 - CHABANNE (J.), PLANTE (R.) - Juin 1970.
La pêche au chalut des crevettes Penaeides sur la côte ouest de Madag-
ascar - Méthodes utilisées dans l'étude de la pêche. 15 p., annexes
10 p.
- N°15 - FRONTIER-ABOU (D.) - Juin 1970.
Dosage de l'azote sur 60 échantillons de sédiments superficiels de la
baie d'Ambaro. 16 p.
- N°16 - DANIEL (J.), DUPONT (J.), JOUANNIC (C.) - Juin 1970.
Etude de la relation entre le carbone organique et l'azote dans les sédi-
ments de la baie d'Ambaro. 11 p., 9 fig. ht.
- N°17 - MAGNIER (Y.), PITON (B.), TERAY (A.), AH-KAM (D.) - Juillet 1970.
Résultats des observations physico-chimiques en baies d'Ambaro et d'Am-
pasindava de Juin 1969 à Février 1970. 66 p., 3 fig. ht.
- N°18 - ANONYME - Août 1970.
Organisation de la Bibliothèque de Nosy-Bé, 15 p., 2 p. ht.
- N°19 - PITON (B.), MAGNIER (Y.) - Octobre 1970.
Distributions horizontales et verticales de quelques propriétés physiques
et chimiques en baie d'Ambaro. 3 p., 26 p. ht.
- N°20 - PITON (B.), MAGNIER (Y.) - Février 1971.
Sur la détermination de la chlorophylle "a" dans l'eau de mer côtière
tropicale. 14 p., 9 fig. ht.
- N°21 - MAGNIER (Y.), PITON (B.) - Avril 1971.
Observations physico-chimiques faites par le "VAUBAN" le long de la côte
nord-ouest de Madagascar de Janvier à Septembre 1970. 8 p., 118 p. ht.
- N°22 - CHABANNE (J.), PRADO (J.) - Juillet 1971.
Etude des concentrations de poissons obtenues par la lumière dans la
région de Nosy-Bé - Madagascar. 19 p.
- N°23 - CHABANNE (J.), PLANTE (R.) - Octobre 1971.
Etude des rendements de la pêche au chalut des crevettes Penaeides sur
la côte N.W. de Madagascar de 1966 à 1970. 19 p., 10 fig. ht., 4 annexes
ht., 6 tabl. ht.
- N°24 - BOUR (W.), FRONTIER (S.), PETIT (D.) - Novembre 1971.
Zooplancton d'une baie eutrophique tropicale.
- 1. Indications préliminaires par FRONTIER (S.).
- 2. Méthodologie des prélèvements par PETIT (D.) et BOUR (W.).
- 3. Situation écologique de la baie d'Ambaro : Etude d'une radiale
côte-océan par FRONTIER (S.), BOUR (W.), PETIT (D.).
- 4. Cycle annuel des poids secs par PETIT (D.) et FRONTIER (S.).
- 5. Etude statistique de la dispersion du plancton par FRONTIER (S.).
95 p., 67 p. ht.

- N°25 - MARCILLE (J.) - Février 1972.
Les stocks de crevettes Pénéides côtières malgaches. 14 p., 10 fig.
- N°26 - MAGNIER (Y.), PITON (B.), CITEAU (J.) - Avril 1972.
Observations physico-chimiques faites par le "VAUBAN" dans l'Océan Indien de Novembre 1970 à Mars 1971. 1 fig. ht., 127 p. ht.
- N°27 - CHABANNE (J.) - Mai 1972.
Etudes sur la biologie des Caranx ignobilis, Caranx sexfasciatus et Caranx melampygi de la région de Nosy-Bé. 42 p., 8 fig., 2 p. ht.
- N°28 - FRONTIER (S.) - Juin 1972 (Suite du Doc. n° 24).
Zooplancton d'une baie eutrophique tropicale
- 6. Répartition spatiale et annuelle de quelques taxons.
Première partie :
Cladocères, Euphausiacés, Mollusques.
14 p., 50 fig.
- N°29 - CITEAU (J.) - Juillet 1972.
Analyse du molybdène dissous dans l'eau de mer. 14 p., 4 fig.
- N°30 - MAGNIER (Y.), PITON (B.), CITEAU (J.) - Janvier 1973.
Bathythermogrammes recueillis par le "VAUBAN" de 1968 à 1972 dans l'ouest de l'Océan Indien sud-équatorial. En avant-propos : aperçu thermique de la région et remarques sur la thermocline. 16 p., 14 fig., 61 p. ht.