

COURANTOMETRIE COTIERE DANS LE NORD-OUEST DE MADAGASCAR
PREMIER RESULTAT ET PERSPECTIVE DE DEVELOPPEMENT
DE L'OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE A MADAGASCAR

Par

STELLARIO CREAZZO

Expert UNESCO d'océanographie physique

RESUME

Les études sur la courantométrie directe ici présentées, ont été effectuées en plusieurs campagnes à partir du mois de novembre 1983 jusqu'au mois d'avril 1984 (été austral).

Les observations ont été effectuées aux alentours de Nosy-Be, dans la Baie d'Ambaro et dans la Baie d'Ampasindava. Les données recueillies représentent les premières investigations d'un vaste programme, lequel doit établir une carte de courant des eaux baignant la côte Ouest de Madagascar. Ces méthodologies découlent d'une des deux stratégies élaborées et précisées en détail dans la suite de cette communication, et comblent le manque de données de courantométrie directe des études précédentes concernant les côtes et les eaux du large.

En analysant les données recueillies dans les trois zones côtières (importantes particulièrement pour la pêche aux crevettes et le contrôle de pollution) et malgré le manque d'observations sur une longue période, on a mis en évidence l'influence de la marée sur le courant de la côte et sur une partie des eaux continentales. Cette influence semble être nette pour les eaux moyennes et du fond.

On peut mettre encore en évidence l'influence des vents dominants (mousson), sur les eaux en général, et en particulier sur le courant de surface jusqu'à 15 mètres de profondeur. L'influence du vent pendant la période des minimums d'extension de la marée, modifie complètement le courant de surface imprimant un mouvement nettement opposé à l'eau du fond, qui au contraire est dominée par les effets de la marée. Si toutefois l'entité de cette influence est évidente dans des conditions atmosphériques particulières, elle semble varier suivant les différentes hauteurs de marées.

INTRODUCTION

La quasi-totalité des études de courantométrie, le long des côtes et des zones de mer ouverte, faites jusqu'à présent autour de Madagascar, ont été conduites par la méthode d'élaboration indirecte. C'est à dire l'hydrologie, l'océanographie chimique, les calculs géostrophiques, etc.

Ces études ont été effectuées par plusieurs auteurs et ont permis la proposition de différentes cartes de courants pour la zone comprise entre 12°S et 25°S, relatives à des conditions saisonnières. Ces recherches ont été arrêtées ou deviennent plus rares aux environs de l'année 1972, quand les chercheurs de l'ORSTOM ont quitté Madagascar. Il en résulte un manque de données pendant une douzaine d'années, concernant soit les eaux côtières que celles du large. Cet état de choses est d'autant plus grave, si on considère le développement des techniques modernes dans le domaine de l'océanographie physique, dans ces vingt dernières années.

Un des buts du projet UNESCO MAG/81/T.01, auquel nous travaillons, est de reprendre cette tradition d'études profitables, avec l'aide des techniques récentes, mais surtout de combler le vide relatif aux observations de courantométrie directe. Le but sera aussi de

préciser les mouvements des masses d'eau côtière qui ont une nette influence soit sur les ressources marines, soit sur le climat, soit sur le contrôle de la pollution. En conséquence, il a été adopté deux stratégies ou lignes de conduites en fonction des moyens offerts par le projet en cours et par le CNRO.

- 1)- Etudes directes et détaillées de la circulation côtière (hydrographie, évaluation et identification des masses d'eau, mesures sur petite échelle des courants locaux ou zonaux).
- 2)- Précision par mesures et observations échelonnées sur une longue période des grandes circulations autour de Madagascar et délimitation de la zone d'influence entre ces circulations et les eaux côtières.

L'ensemble des stratégies est, à l'heure actuelle, en cours dans le cadre du projet MAG/81/T.01.

La première stratégie s'est concrétisée par des campagnes mensuelles de courantométrie directe qui ont débuté au mois de novembre 1983, et qui se poursuivent dans des zones côtières limitées au Nord-Ouest malgache.

La deuxième stratégie sera effectuée (comme il a été fait lors de la dernière croisière MD 4/SINODE 18 - octobre/novembre 1984-, grâce au bateau océanographique français "Marion Dufresne") et basée sur l'organisation de croisières à caractère international et avec la participation active des chercheurs du CNRO.

CARACTERES GENERAUX DES COURANTS AUTOUR DE MADAGASCAR

Il est bien connu que les courants intéressant les côtes de Madagascar, dépendent des grandes circulations qui se situent au niveau des latitudes 5°S et 30°S. En considérant les résultats des

différents auteurs qui se sont occupés de la courantologie de cette large zone, on pourra préciser les causes principales et l'effet des courants, surtout superficiels, dans la zone Ouest de l'Océan Indien.

Dans la figure 1 est reportée la distribution des courants de surface pendant l'été austral. Dans cette période, de novembre à mai, il a été constaté une zone de basse pression comprise entre deux anti-cyclones : le premier situé entre les 30°S et 40°S, le deuxième évoluant dans la zone Sud du continent asiatique (figure 2-3). Une région de confluence inter-tropicale s'observe durant cette saison autour de 10°S. Le courant Sud-Equatorial (C.S.E.) venant de l'est de l'Océan Indien bute sur les côtes malgaches au voisinage de la 15°S et donne naissance à deux branches principales :

- la première remonte vers le Nord-Ouest, déferle sur le Cap d'Ambre et atteint ainsi les côtes africaines, à la parallèle 10°S, où elle se divise de nouveau.
- la deuxième branche évolue en direction du Sud, le long de la côte Est et contourne le Sud-Est malgache, créant des perturbations locales. Cette dernière rejoint par la suite le courant des Algulhas et le renforce.

Encore au Nord, on constate, autour du 5°S, une confluence des eaux du Contre Courant Equatorial (C.C.E.) venant du Nord-Ouest, avec la branche Nord du C.S.E. et le courant de Somalie descendant de la côte Est africaine. Plus au Sud, à l'Ouest de Madagascar, des cellules anti-cycloniques se forment au Nord et au Sud du Canal de Mozambique dont la nature des masses d'eau reste encore contreversée. Cette circulation fermée demeure fortement dépendante des conditions climatiques régionales. En particulier, on constate entre 5°S et 15°S, de considérables variations.

Dans la figure 4 est reportée la distribution des courants de surface pendant l'hiver austral (juin - octobre).

Durant cette période, les basses pressions s'installent sur le continent asiatique, tandis que les hautes pressions se maintiennent au-dessous du 30°S. Cette condition météorologique va favoriser le changement régional : les alizés du Sud-Est s'intensifient jusqu'à une force de 6 à l'échelle Beaufort, et ils arrivent jusqu'à l'équateur, poussés par les moussons du Sud-Ouest (figure 5 - 6). Par conséquent, on constate un renforcement de la branche Nord du C.S.E., et un affaiblissement du C.C.E.. Cette condition favorise une confluence des masses d'eaux vers le Nord. Plusieurs masses d'eau avec des paramètres hydrologiques différents sont concernées par de tels courants et les conditions très variables du climat, rendent l'individualisation de ces masses très difficile.

Il est reporté (figures 7, 8, 9) ci-dessous, des schémas de distribution des eaux dans les zones Nord-Est de Madagascar et du Canal de Mozambique, d'après Ivanoff et Gludine (1960) et Piton et Magnier (1973), Saetre-Lorge-Da-Silva (1982). Les différences essentielles entre ces représentations portent sur :

- 1)- La mise en évidence au Nord-Ouest de Madagascar d'une eau subsuperficielle et intermédiaire provenant de l'est, contournant le Cap d'Ambre, et compliquant le front trouvé à cette latitude 11°30'S.
- 2)- L'hypothèse que l'eau subsuperficielle à maximum de salinité et à minimum d'oxygène vient du Nord de l'Océan Indien et non du mélange d'eau à la latitude 10°S. Cette eau faisant sentir son influence jusqu'à 27°S.
- 3)- L'extension à 8°S de l'influence de l'eau antarctique intermédiaire.

A la lumière de ces conditions controversées et variables selon les saisons, une stratégie de courantométrie directe prend naissance. Elle a déjà été mise en place sur une grande étendue de l'Océan Indien lors de la campagne océanographique MD 41/SINODE 18, précédemment mentionnée.

Pendant cette campagne, fruit d'une collaboration internationale (France - USA et Madagascar), plusieurs courantomètres enregistreurs ont été installés. Ils ont été positionnés en des points particuliers des côtes malgaches. Ainsi, il sera possible de vérifier d'une manière directe les branches principales du courant Sud-Equatorial. Assemblées avec les courantomètres, des sondes de température et de conductivité permettront de spécifier la nature des masses d'eau persistant ou s'alternant dans les différentes couches. Ces données seront disponibles au début du mois de novembre 1985, date à laquelle seront remontés les mouillages des courantomètres.

METHODE D'ETUDES ADOPTEES POUR LA COURANTOMETRIE COTIERE

Les observations ont été effectuées sur 43 stations de mesure selon la figure 1, à bord du B/R "Telonify" du CNRO qui a 19 m de longueur et 350 CV de moteur, lequel est spécialement adapté pour la pêche et non pour l'océanographie. Les mesures ont été effectuées pendant le mois de novembre durant trois jours (21-22-23), le mois de décembre durant deux jours (6 - 7), le mois de janvier durant deux marées consécutives (12 - 13) et le mois de février durant deux jours (17 - 18). Le mois de mars, on a effectué deux campagnes avec des flottants, respectivement les (12 - 13 et 19 - 20). Les mesures ont été reprises en avril (3 - 4).

Pendant les deux premières campagnes (novembre-décembre), les observations ont été faites sur différentes stations suivant un parcours conditionné par la situation météorologique. La campagne

Electric source : AC 100 V \pm 15 V 50/60 Hz
OR DC battery case
(24 X C celle)

The system is composed by : Underwater unit, cable on board unit, battery case accessory et un enregistrement de la même firme

GEOGRAPHIE ET CLIMAT

La zone intéressée par ces mesures, comprend deux baies principales (Baie d'Ambaro et Baie d'Ampasindava) et un canal fermé entre l'île Nosy-Faly et la côte Est de Nosy-Be qui est délimitée au Sud par l'île de Nosy-Komba.

Baie d'Ambaro

Elle est située sur la côte Ouest de Madagascar (figure 10), présente une ouverture sur le plateau de 20 milles de large; avec une profondeur moyenne à peu près 13 mètres. La partie la plus grande de la baie, 31%, présente pendant les marées basses, une profondeur inférieure à 5 mètres.

Deux bassins hydrologiques débouchent dans la baie. Au Nord se trouve le bassin qui est formé par la rivière Mahavavy, lequel présente une surface de 3125 km² ; le deuxième bassin de 2522 km² au Sud, est principalement drainé par les petites rivières Ifasy et Ambazoana.

Concernant le climat de cette zone, pendant la saison humide qui va de novembre à la fin d'avril, on a relevé une température moyenne de 29 et des précipitations comprises entre 12 et 500 mm.

La région étudiée est protégée des alizés du Sud-Est par le

massif Tsaratanana de 1880 m. Le vent souffle uniquement de deux secteurs : Est-Nord-Est (ENE) et Ouest-Nord-Ouest (ONO), il alterne souvent dans la même journée avec des calmes de quelques heures lors de changement de direction. On note cependant que durant la saison sèche (régime d'alizé), c'est le vent d'Est qui domine, tandis qu'en saison humide, c'est le vent du secteur Ouest-Nord-Ouest (ONO). La vitesse du vent est généralement inférieure à 10 noeuds sauf dans les grains assez nombreux en période de pluies.

Baie d'Ampasindava

Elle est située à 10 milles dans le Sud de Nosy-Be (figure 10), est plus encaissée et est entourée de collines ; sa profondeur atteint à peu près 60 mètres dans la partie Nord-Ouest.

La température moyenne de la zone pendant la saison humide est de 29 et la seule rivière qui débouche dans la baie est la Sambirano. On note une brise de mer et, une brise de terre. Le vent alterne également dans une même journée entre le Nord-Ouest et le Sud-Ouest.

Canal

La partie du canal entre Nosy-Faly et Nosy-Be, avec une profondeur maximum de 25 mètres dans la partie centrale, présente des caractéristiques climatiques qui sont à peu près les mêmes que celles des deux zones voisines. Elle est protégée par l'île de Nosy-Be, des vents de Nord-Ouest/Sud-Ouest.

RESULTATS ET DISCUSSION

Observations sur carte 10 (marée montante) carte 11 (marée descendante)

Cette zone a été examinée plusieurs fois en six mois, de novembre au mois d'avril 1984, pendant les jours de grande marée. Elle est le résultat global de différentes campagnes qui ont été

exécutées dans les mêmes conditions de marée. On peut noter l'écartement des vecteurs relatifs au courant de surface et de fond dans presque toutes les stations de mesure. Ils ont presque la même direction uniquement à mi-marée quand celle-ci donne le maximum de contribution. On peut noter que le courant de fond suit toujours l'évolution de la marée et que le courant de surface s'écarte de ce dernier, par l'effet de la dérive du vent. Cette situation est très accentuée quand il y a du vent fort et persistant. L'intensité du courant varie entre 5cm/sec au minimum et 45-50 cm/sec avec un maximum à la station 5 secteur IV et à peu près 90 cm/sec entre le canal de Nosy-Komba et Nosy-Be. Pour bien quantifier les phénomènes, il faut disposer d'un bon relevé de conditions météorologiques. L'effet de ces dernières pendant la grande marée, en particulier, l'effet du vent, ne modifie pas beaucoup la direction du courant de surface qui forme un angle par rapport à celui du fond et intensité différente.

Mesures supplémentaires ont été effectuées à la Station 4 secteur III et N.8 secteur III.

La station 4 secteur III a été examinée en continue pendant le cours de deux marées/mois de janvier, durant une période minimale de marée. On observe encore la nette influence de la marée sur les vecteurs du courant de fond, tandis que s'affirme d'une manière très claire, l'hypothèse de l'influence du vent sur le courant de surface. Les vecteurs de ce courant sont disposés parallèlement à la direction du vent dominant au moment de la marée (marée descendante) et ils prennent, dans le même temps, une direction opposée au courant de fond qui continue à suivre la marée. Au changement de la marée (marée montante) on a observé la concordance des directions du vent et du courant de marée. En conséquence, les vecteurs de surface se renforcent en intensité grâce à la somme du courant de la marée et du composant des courants dû à la dérive du vent. Les vecteurs du fond, comme on peut le prévoir, résultent du courant dominant des marées et le suivent. Par les données obtenues, on peut voir que la dernière-

re couche mesurée s'oriente presque toujours, dans la même direction que la marée, mais avec une intensité et un sens déplacé de quelques dizaines de degrés par rapport à la couche immédiatement supérieure. Cette différence peut être attribuée à la morphologie du fond en certains points et peut être variable.

Station N.8, secteur III

Elle a été examinée en continue pendant le cours de deux marées du mois de février, dans les conditions de maximum de marée. On peut noter l'influence de la marée sur les eaux de fond et on note encore la différence de direction de quelques dizaines de degrés dans les vecteurs de surface. Pendant ces mesures, on a eu des conditions de vent fort qui ont réussi à modifier un peu la direction du courant de la marée. On peut noter une petite augmentation de l'intensité de la vitesse de surface par rapport à la vitesse du fond. Cette dernière ne subit pas l'influence du vent, mais suit toujours la direction de la marée. Il n'était pas possible de compléter les observations pendant la marée descendante parce que l'état de la mer n'a pas permis de continuer les mesures.

CONCLUSION

Sur la base des données recueillies jusqu'à présent, on peut mettre en évidence les particularités suivantes de l'influence de la marée et du vent sur le courant du fond et sur celui de surface. Il faut faire une distinction entre les différentes conditions atmosphériques des marées et des vents. Il y a lieu de préciser que les observations concernant le développement des courants journaliers:

Premier cas : absence de vent ou vent de faible vitesse et marée à son maximum d'extension

Dans ces conditions, seule la marée est responsable du courant. Les courants enregistrés apparaissent avec une certaine anticipation

(presque une demi-heure) et dans la même direction que la marée qui est en train d'approcher.

L'effet est noté lentement surtout au fond ; après, l'arrivée de la marée, le courant apparaît à la surface. A mi-marée, dans les conditions indiquées ci-dessus, on peut s'attendre à une concordance de direction entre l'eau de surface et l'eau de fond, mais à des vitesses différentes. D'autre part, on note une différence de salinité entre les couches de fond et les couches de surface.

Deuxième cas : présence de vent soutenu et marée à son maximum d'extension

On note encore dans ces conditions, comme seule cause de courant, l'effet de la marée ; la présence du vent ne réussit pas à modifier substantiellement la direction imprimée par la marée. Un effet de dérive de quelques dizaines de degrés peut être noté uniquement sur les vecteurs de surface. Mais ce dernier effet se produit avec un renforcement de la vitesse quand le vent souffle dans la même direction que la marée et comme précédemment avec un déplacement de quelques degrés quand le vent souffle en direction opposée à la marée.

Troisième cas : présence de vent soutenu et marée à son minimum d'extension

Dans ce cas, on note une forte dérive due au vent quand il souffle en direction contraire à la marée. Il peut réussir à produire un contre-courant avec une direction opposée à celle que le courant aurait eu du fait de la marée, laquelle en revanche, est libre d'agir au fond. L'influence du vent peut être notée jusqu'à 15 mètres. Pendant les mesures effectuées dans ces conditions, une nette opposition a été notée entre le courant de surface et celui de fond. Quand vent et marée ont eu la même direction, on a enregistré l'augmentation des valeurs des courants de surface.

On note encore que dans certains cas, la morphologie très variable des fonds, peut modifier de quelques dizaines de degrés en plus ou en moins, la direction du courant de fond. On enregistre un ralentissement dû au frottement du courant avec le fond. Ces conditions existent en général à quelques dizaines de milles de la côte ; mais il faut corriger ces évaluations près de cette dernière dont la morphologie irrégulière crée des conditions locales difficilement prévisibles.

Pendant les mois d'août, septembre, et octobre, des croisières ont été effectuées au large, dans la région de Nosy-Be en utilisant un courantomètre à registration continue pour une période de 24 heures (correspondant à quatre oscillations de marée). Les résultats obtenus, en cours d'élaboration feront partie du prochain rapport technique.

Il faut ajouter à cette note que les études jusqu'ici effectuées sont partielles, du point de vue de la méthodologie systématique des mesures, cependant après passage à l'ordinateur, on pourra classifier plus en détail la situation courantométrique de la zone. On remarque encore que faute d'équipements suffisants, on n'a pu que recueillir des informations partielles sur l'influence des eaux du large vis à vis de celles du plateau. Les rares informations disponibles en ce moment se trouvent dans la bibliographie des travaux de l'ORSTOM.

Tous les protocoles relatifs aux campagnes de courantométrie jusqu'ici effectuées sont gardées aux archives du projet MAG/81/T.01 au CNRO de Nosy-Be.

En ce qui concerne les perspectives de développement de l'océanographie physique à Madagascar, il a été déjà tracé dans l'introduction les stratégies des mesures qui seront poursuivies. Mais notons également que ce plan de travail qui englobe la côte Ouest est très onéreux pour le CNRO.

Par conséquent, une collaboration respectivement avec :

- L'Etablissement d'Enseignement Supérieur Polytechnique d'Antananarivo et
- la Station Marine de Tuléar est en train d'être élaborée.

Cette collaboration sera concrétisée par l'envoi d'étudiants pour formation dans le domaine d'océanographie physique au CNRO à Nosy-Be. Aux deux partenaires sera confiée par la suite respectivement une partie de la côte Ouest où seront effectuées des observations de courants.

BIBLIOGRAPHIE

- IVANENKOV (V.N.), GUBIN (F.A.), 1960 - Water masses and hydro-chemistry of the western and southern part of the Indian Ocean. Trans. Mar. Hydrophysical Inst., Vol.22:33-115
- KIMITSA (V.A.), 1968.- On water masses and hydrochemistry of the Mozambique strait. Okeanol Issled., N.19 : 180-188.
- DONGUY (J.R.), PITON (B.), 1969 - Aperçu des conditions hydrologiques de la partie nord du Canal de Mozambique. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr., vol. 7, N.2 : 3-26.
- MAGNIER (Y.), PITON (B.), CITEAU (J.), 1972 - Observations physicochimiques faites par le VAUBAN dans l'Océan Indien, de novembre 1970 à mars 1971. Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Be doc. N.26 (multigr.).
- PITON (B.), MAGNIER (Y.) - Remarques sur la circulation et les caractéristiques hydrologiques de la couche superficielle entre Madagascar et l'équateur. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr., vol XIII, N.2, 1975 : 117-132.

DONGUY (J.R.) - Les eaux superficielles tropicales de la partie occidentale de l'Océan Indien en 1966-1967. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr., vol. XIII, N.1, 1975 : 31-47.

ROAL SAETRE, JORGE DA SILVA. - Water masses and circulation of the Mozambique Channel. Instituto de Desenvolvimento Pesqueiro Maputo - Mozambique. Novembre 1982.

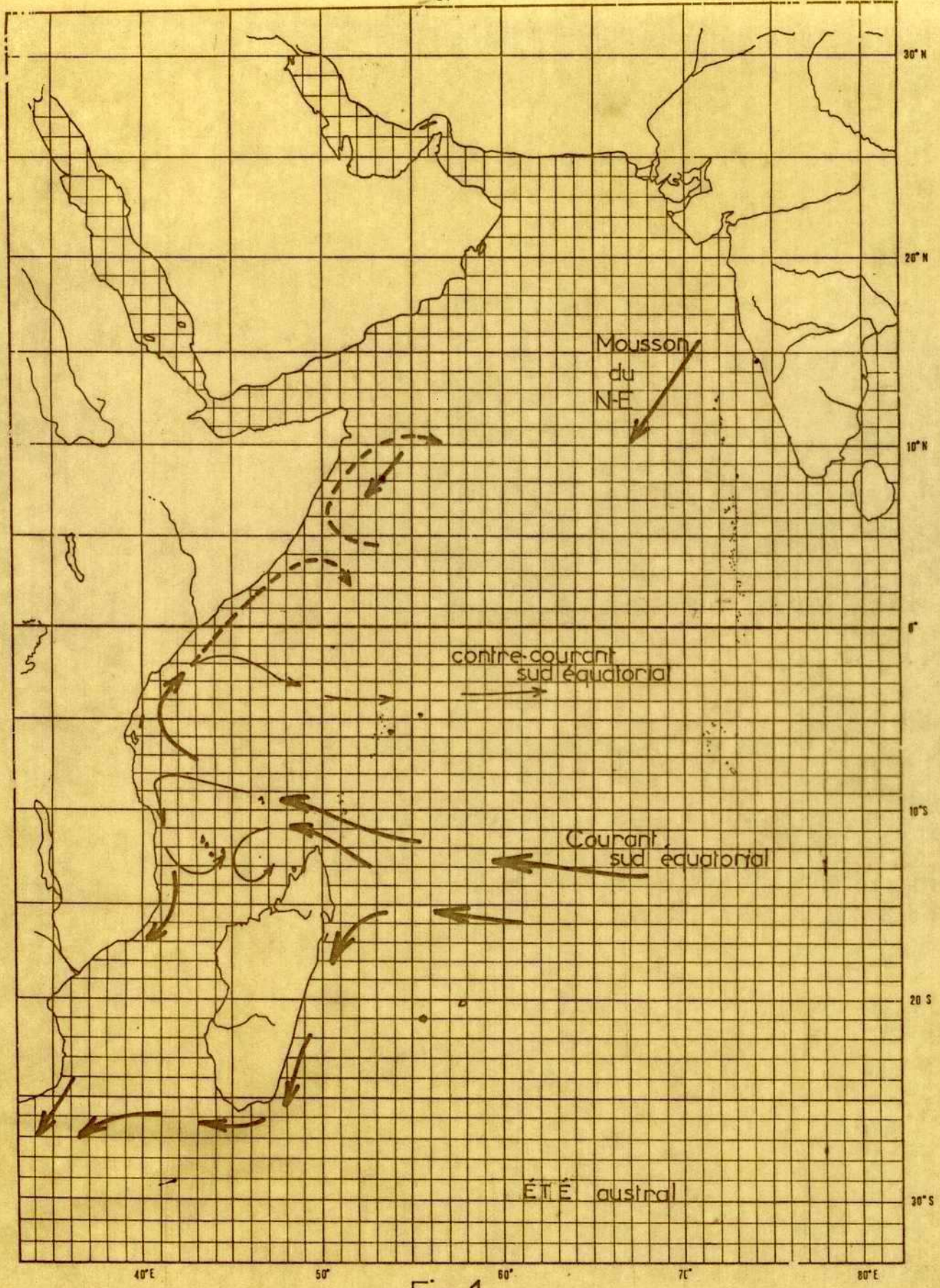
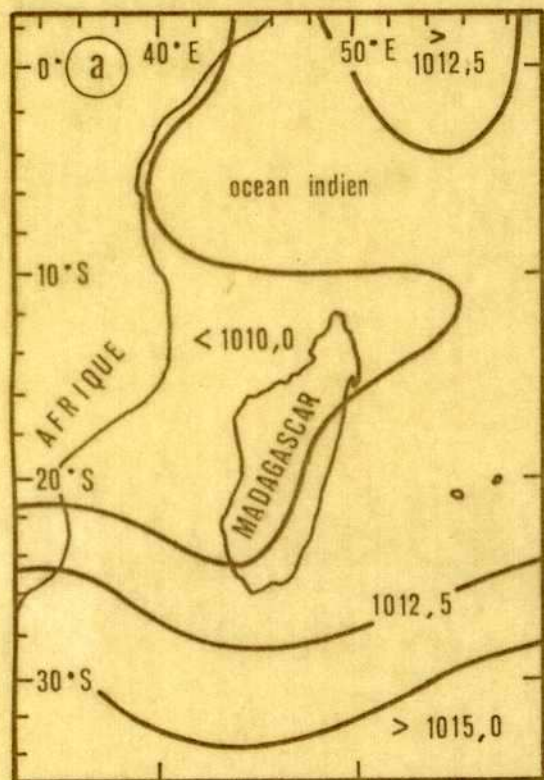
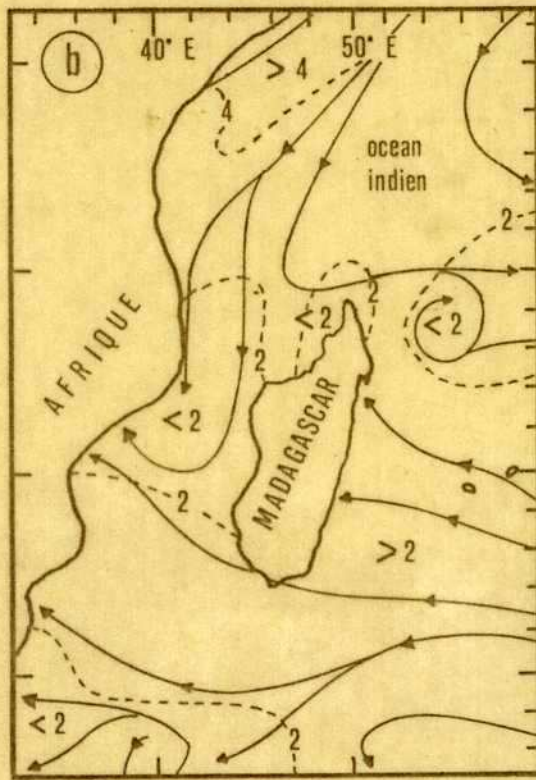


Fig:1

course



a) pression atmosphérique (mb) en été austral



b) direction et force du vent (degré Beaufort) en été austral

Fig: 2-3

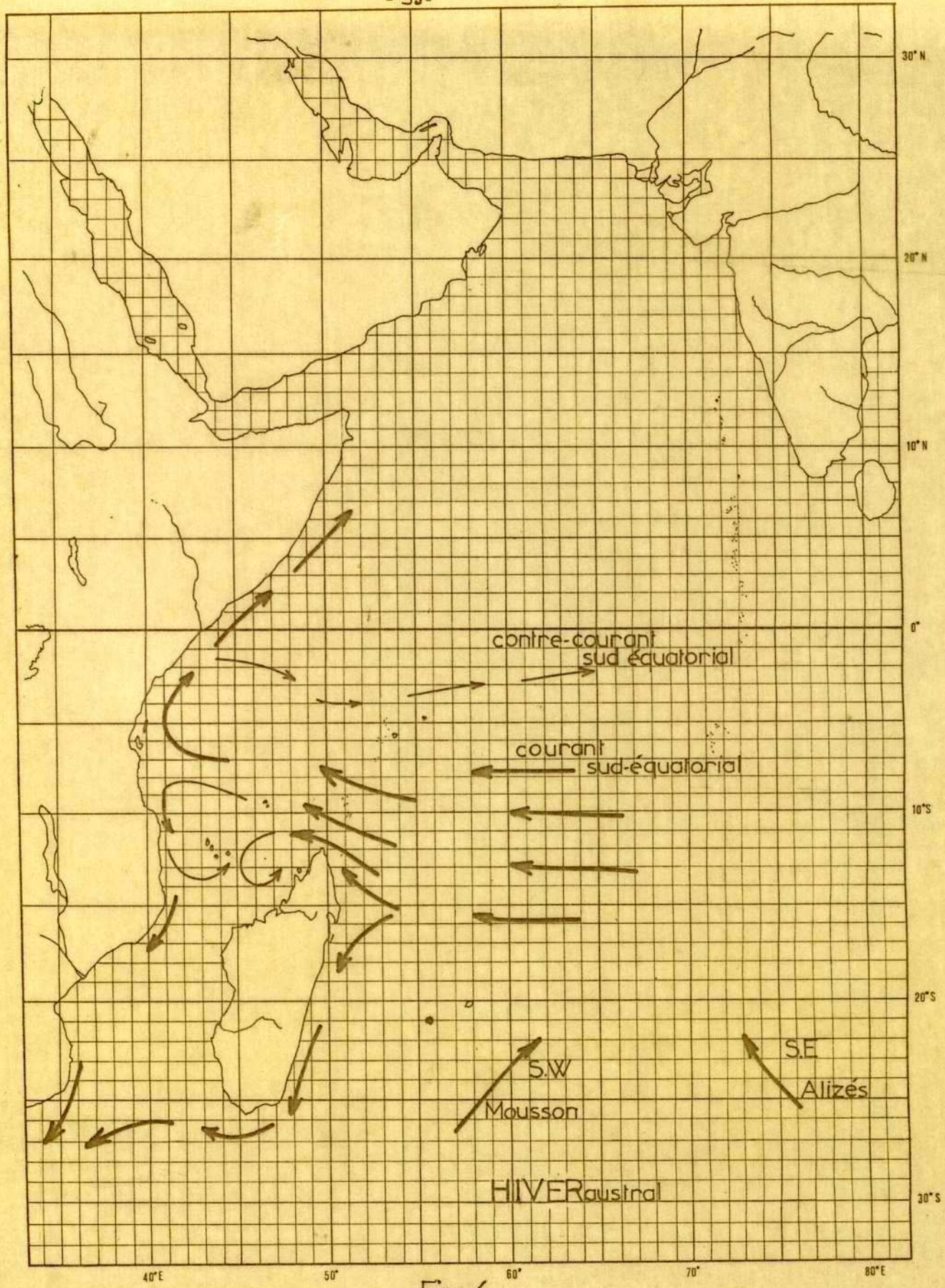
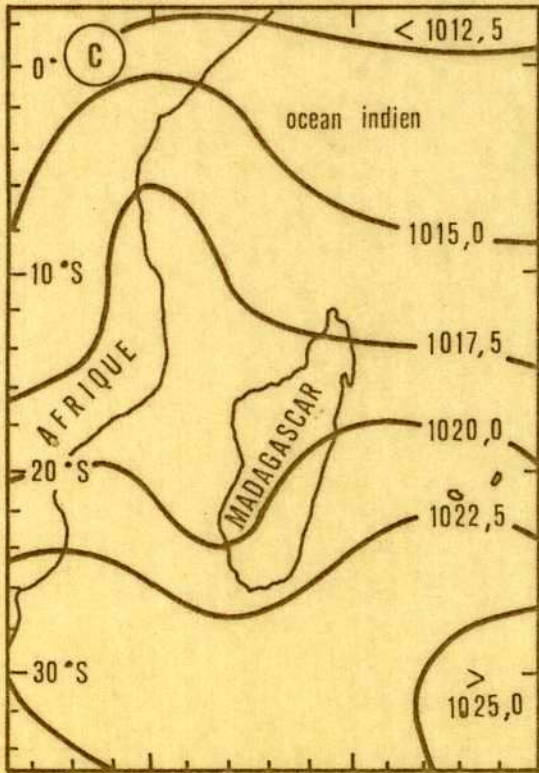
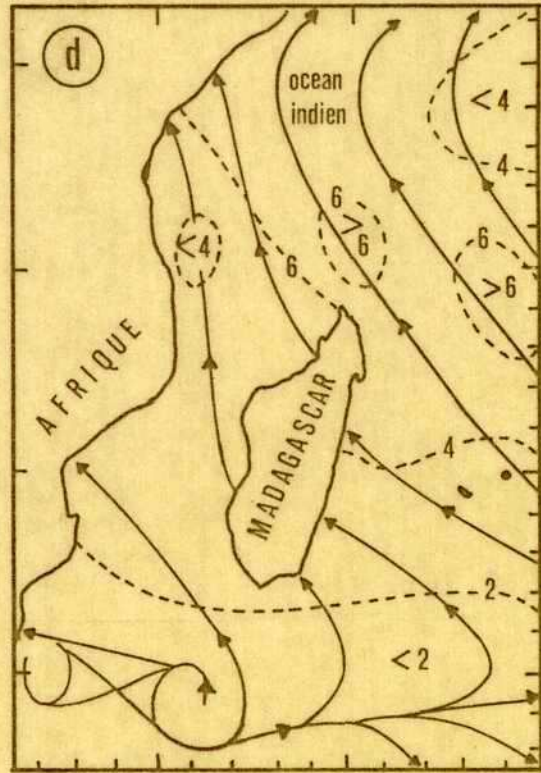


Fig: 4

corn 5/2



(c) pression atmospherique (mb) en hiver austral



(d) direction et force du vent (degre Beaufort) en hiver austral

Fig:5-6

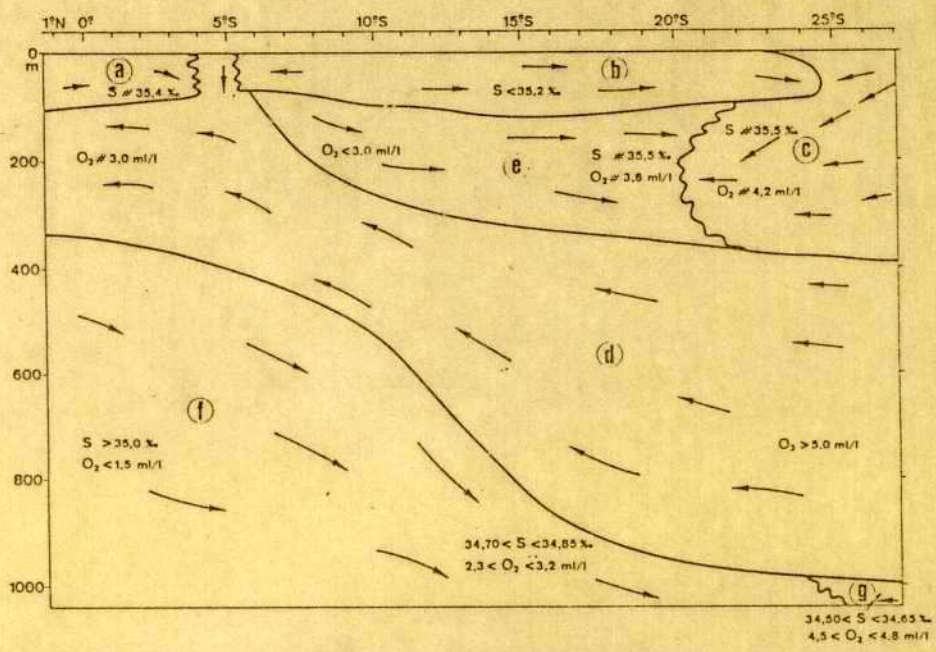


Fig. 7. — Les masses d'eau, et leurs caractéristiques principales, dans l'ouest de l'océan Indien et dans le canal de Mozambique d'après KIMITZA (1968) et IVANENKOV et GUBIN (1960) : a) eau superficielle nord-équatoriale, b) eau superficielle sud-équatoriale, c) eau tropicale de surface, d) eau subsuperficielle subtropicale, e) eau subsuperficielle sud-équatoriale, f) eau nord-indienne profonde, g) eau intermédiaire sub-antarctique.

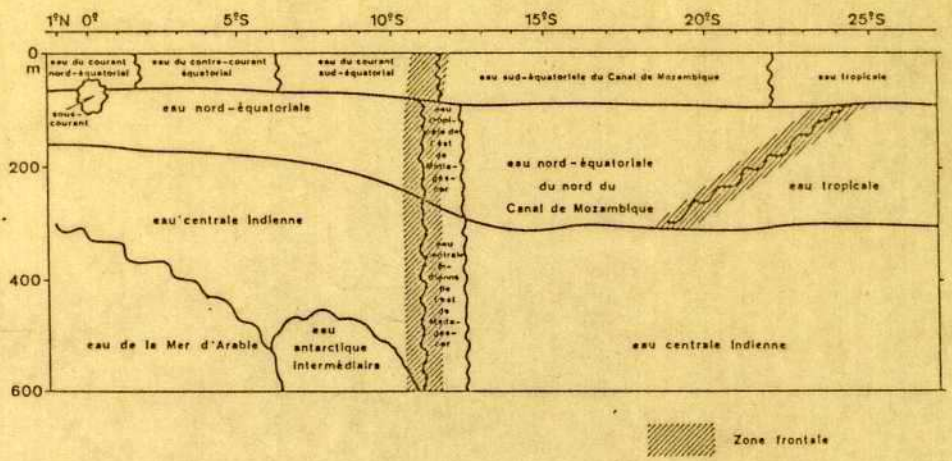


Fig. 8 — Schéma des masses d'eau dans l'ouest de l'océan Indien et dans le canal de Mozambique en novembre-décembre 1960.

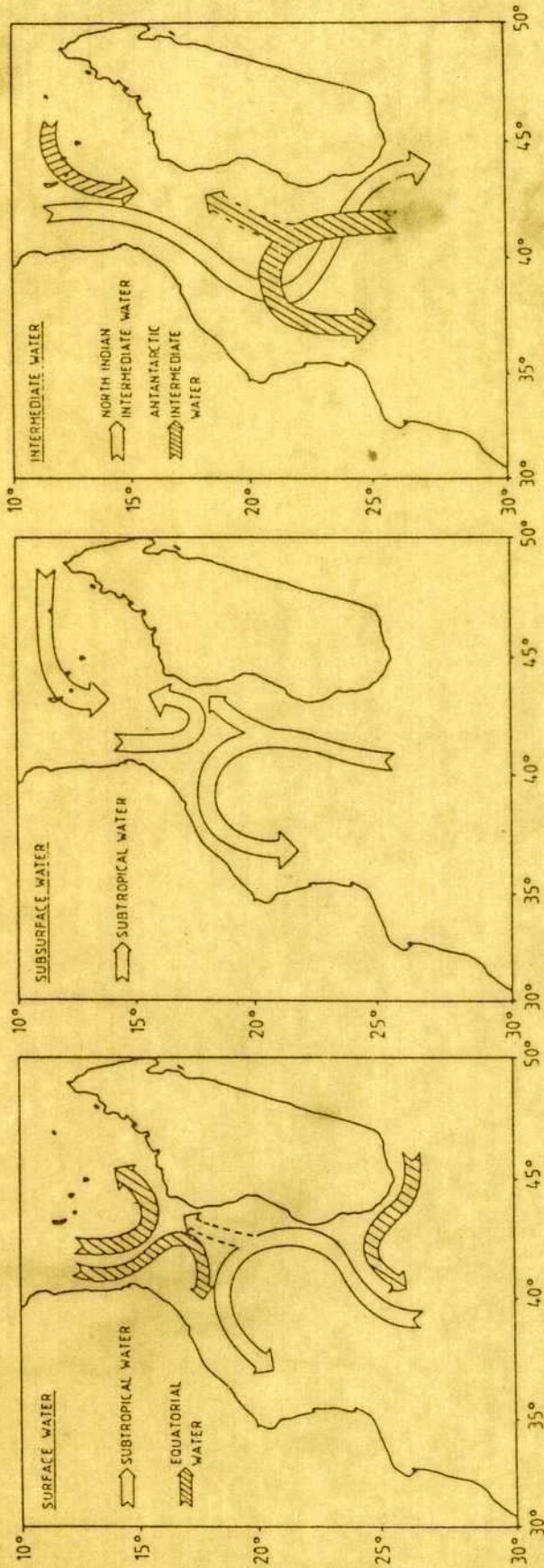
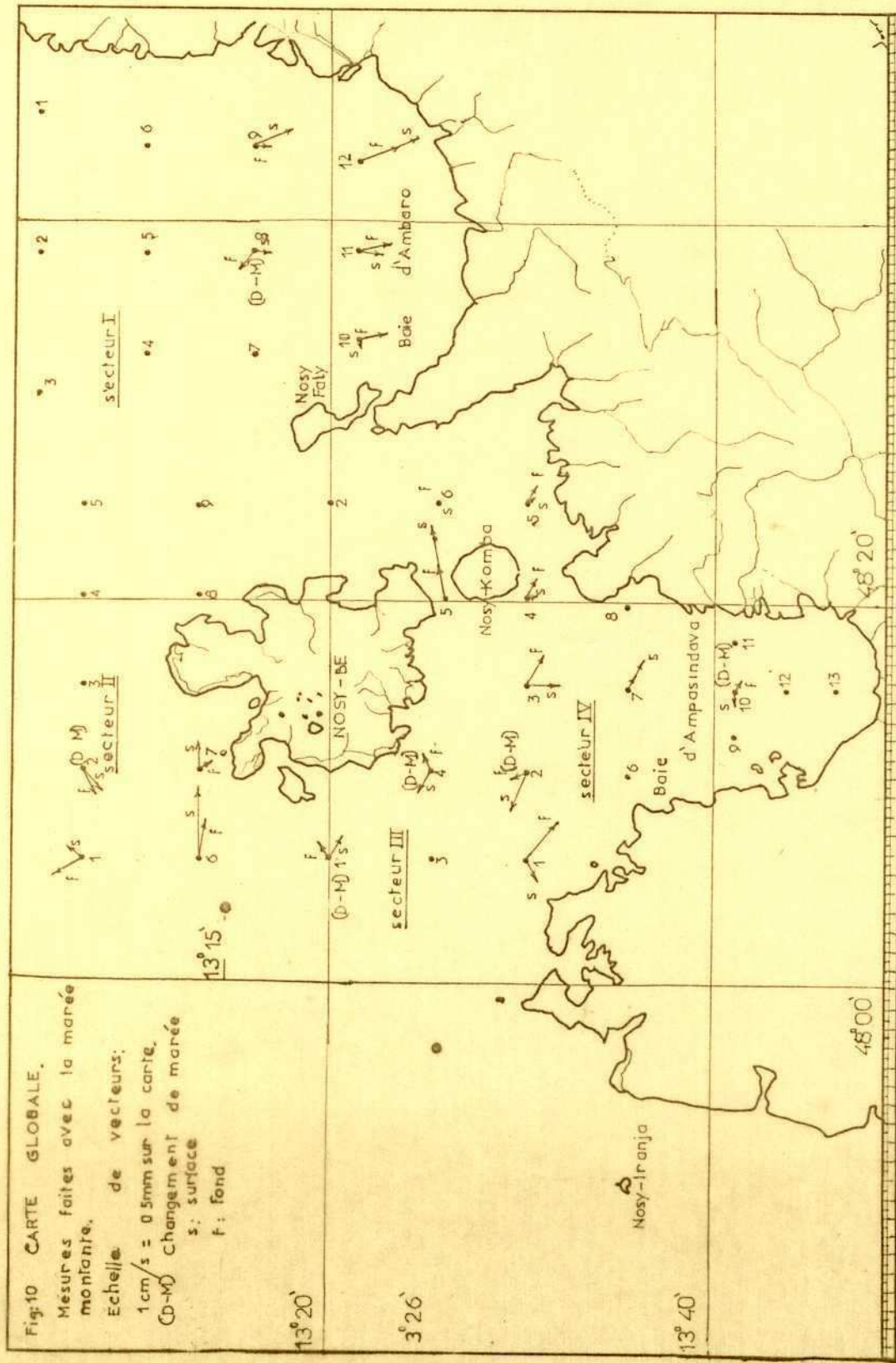


Fig. 9 . Tentative paths of propagation for the different water masses of the Mozambique Channel.



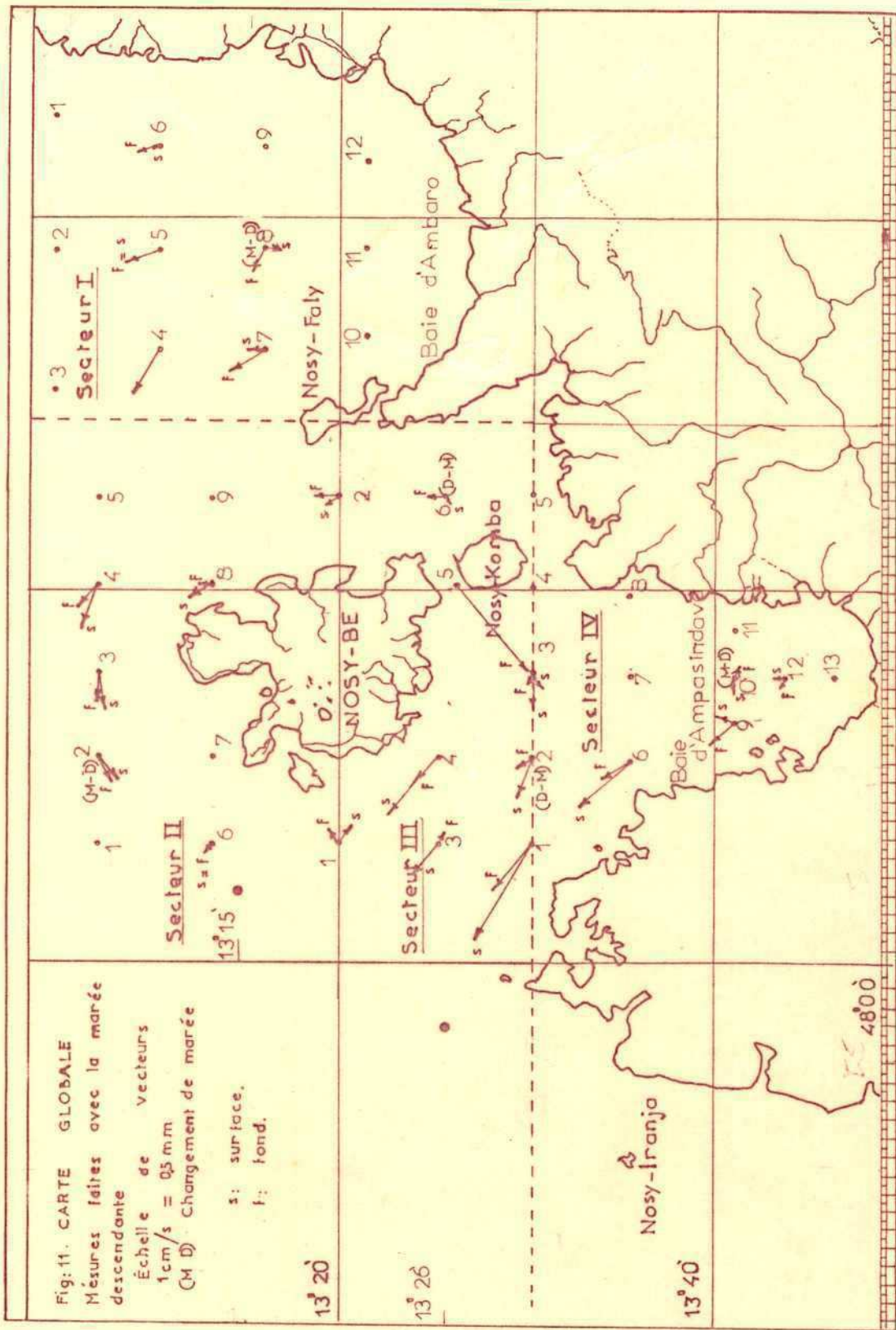


Fig: 11. CARTE GLOBALE
 Mésures faites avec la marée
 descendante
 Échelle de vecteurs
 1cm/s = 0,5 mm
 (M D) Changement de marée

s: surface.
 f: fond.

13° 20'

13° 26'

13° 40'

48° 00'

Nosy-Iranja

Secteur I

Secteur II

Secteur III

Secteur IV

Nosy-Faly

NOSY-BE

Nosy-Komba

Baie d'Ampasindava

Baie d'Ambaro