TRAVAUX
ET DOCUMENTS
DE L'O.R.S.T.O.M.

ATLAS HYDROLOGIQUE DU CANAL DE MOZAMBIQUE (OCÉAN INDIEN)

B. Piton, J.-H. Pointeau et J.-S. Ngoumbi

ÉDITIONS DE L'OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Pour tout renseignement, abonnement aux revues périodiques, achat d'ouvrages et de cartes, ou demande de catalogue, s'adresser au :

SERVICE DES PUBLICATIONS DE L'O.R.S.T.O.M.
70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY (France)

Les paiements sont à effectuer par virement postal au nom de *Service des Publications ORSTOM, C.C.P. 22.272.21 Y PARIS*; (à défaut par chèque bancaire barré à ce même libellé).

Nous vous signalons, dans la même Collection :

n° 3 – Croisière du navire océanographique «Jean Charcot». Hydrologie, courantométrie, phytoplancton : GUINÉE I.
87 p. 21x27 ..... I.S.B.N. : 2-7099-0096-3

n° 19 – Les eaux du Pacifique occidental à 170° E entre 20° S et 4° N. Coupes et cartes dressées par les océanographes du centre ORSTOM de Nouméa : H. Rotschi, Ph. Hisard, F. Jarrige.
113 p. 21x27 ..... I.S.B.N. : 2-7099-0114-5

n° 82 – Atlas hydrologique saisonnier de l'Océan Atlantique Intertropical. J. Merle.
184 p. 27x42 ..... I.S.B.N. : 2-7099-0493-4

TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'O.R.S.T.O.M.
N° 132

O.R.S.T.O.M.
PARIS
1981

« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, « que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées « à une utilisation collective» et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but « d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le « consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayant cause, est illicite» (alinéa 1er de l'article 40).

« Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une « contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal».

. . . . . .

I.S.B.N. : 2-7099-603-1

© O.R.S.T.O.M. Paris, 1981

ATLAS HYDROLOGIQUE DU CANAL DE MOZAMBIQUE (OCÉAN INDIEN)

B. Piton, J.-H. Pointeau et J.-S. Ngoumbi

Océanographes au Centre O.R.S.T.O.M. de Pointe-Noire (R.P. du Congo)

1 - PRÉSENTATION

L'atlas océanographique de l'Océan Indien, préparé sous la responsabilité de WYRTKI et sorti en 1971, utilisait toutes les données disponibles fin 1966 au National Oceanographic Data Center (N.O.D.C.), Washington (U.S.A.). De 1967 à 1975, le navire océanographique VAUBAN du Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé (Madagascar) a effectué un grand nombre de stations hydrologiques supplémentaires dans le Canal de Mozambique (près de 600) qui, ajoutées aux 600 stations déjà disponibles en 1966, permettent de préciser les structures hydrologiques des eaux superficielles de cette zone bien individualisée entre Madagascar et la côte africaine. Pour compléter l'ensemble des cartes saisonnières des quelques caractéristiques hydrologiques retenues, sont en outre présentées les principales caractéristiques bathymétriques et météorologiques du Canal, ainsi qu'une coupe hydrologique nord-sud permettant l'identification des différentes masses d'eau, de la surface au voisinage du fond, généralement reconnues dans cette région de l'Océan Indien.

2 - TRAITEMENT DES DONNÉES HYDROLOGIQUES

Pour traiter les données, les auteurs se sont largement inspirés de la méthode utilisée par MERLE (1978) pour établir l'atlas hydrologique de l'Océan Atlantique, en l'adaptant aux faibles moyens de calculs du Centre O.R.S.T.O.M. de Pointe-Noire.

Dans l'espace, les valeurs ont été moyennées par carré de 1degré de latitude et 1 degré de longitude et chaque moyenne est affectée au barycentre de l'ensemble des stations du carré. Les valeurs isolées sont affectées au point géographique de la station.

Faute de moyens adéquats, les valeurs n'ont pas été validées systématiquement. Cependant, certaines d'entre elles paraissant anormales au cours du tracé manuel des isolignes ont été rejetées.

Les données ont été réparties suivant les quatre trimestres traditionnels : janvier-février-mars, avril-mai-juin, juillet-août-septembre, octobre-novembre-décembre.

3 - CARACTÉRISTIQUES GÉOGRAPHIQUES

La carte bathymétrique et les commentaires s'y rapportant proviennent principalement de la thèse de SOARES (1975).

Le Canal de Mozambique, d'une surface voisine de 1 500 000 kilomètres carrés, s'étend sur près de 1 600 kilomètres entre 12° S et 26° S ; il présente un étranglement à 16-17° S où sa largeur minimale est de 420 kilomètres, tandis qu'à 12° S et 25° S, elle est de près de 1 000 kilomètres.

Son relief sous-marin est caractérisé par la succession, du nord au sud, des traits de structure suivants (fig. 1) :

- les grands fonds (supérieurs à 4 000 mètres) de la partie sud du bassin de Somalie,
- les hauts fonds traversiers, entre 11° S et 13° S, portant les îles Comores et Glorieuses, ainsi que les bancs du Geyser et du Leven,
- le bassin des Comores où la profondeur peut atteindre 3 600 mètres,
- le seuil de la partie centrale du Canal de Mozambique (par 16° S - 19° S), où la profondeur maximale ne dépasse pas 2 800 mètres et où se trouve l'île Juan de Nova,
- les grands fonds, pouvant dépasser 4 000 mètres, correspondant à la partie nord du bassin du Natal où l'on trouve les îles Europa et Bassas da India.

Les plateaux continentaux, pratiquement inexistants autour des îles volcaniques, sont aussi relativement peu développés de part et d'autre du canal, sauf devant Beira au Mozambique par 19-20° S, où le banc de Sofala est large d'une centaine de kilomètres, ainsi qu'au large de Madagascar, devant le cap Saint-André par 16-18° S (le banc de Pracel) et dans la région de Nosy-Bé par 12-14° S, où les plateaux continentaux peuvent atteindre 90 kilomètres de large.

4 - GÉNÉRALITÉS MÉTÉOROLOGIQUES

Le Canal de Mozambique est presque entièrement soumis toute l'année au régime des alizés du sud-est de l'Océan Indien. Seule sa partie nord peut être atteinte, en hiver, par la mousson du nord.

Ceci tient compte de deux types de situations isobariques de surface prédominantes (d'après DONQUE, 1973) :

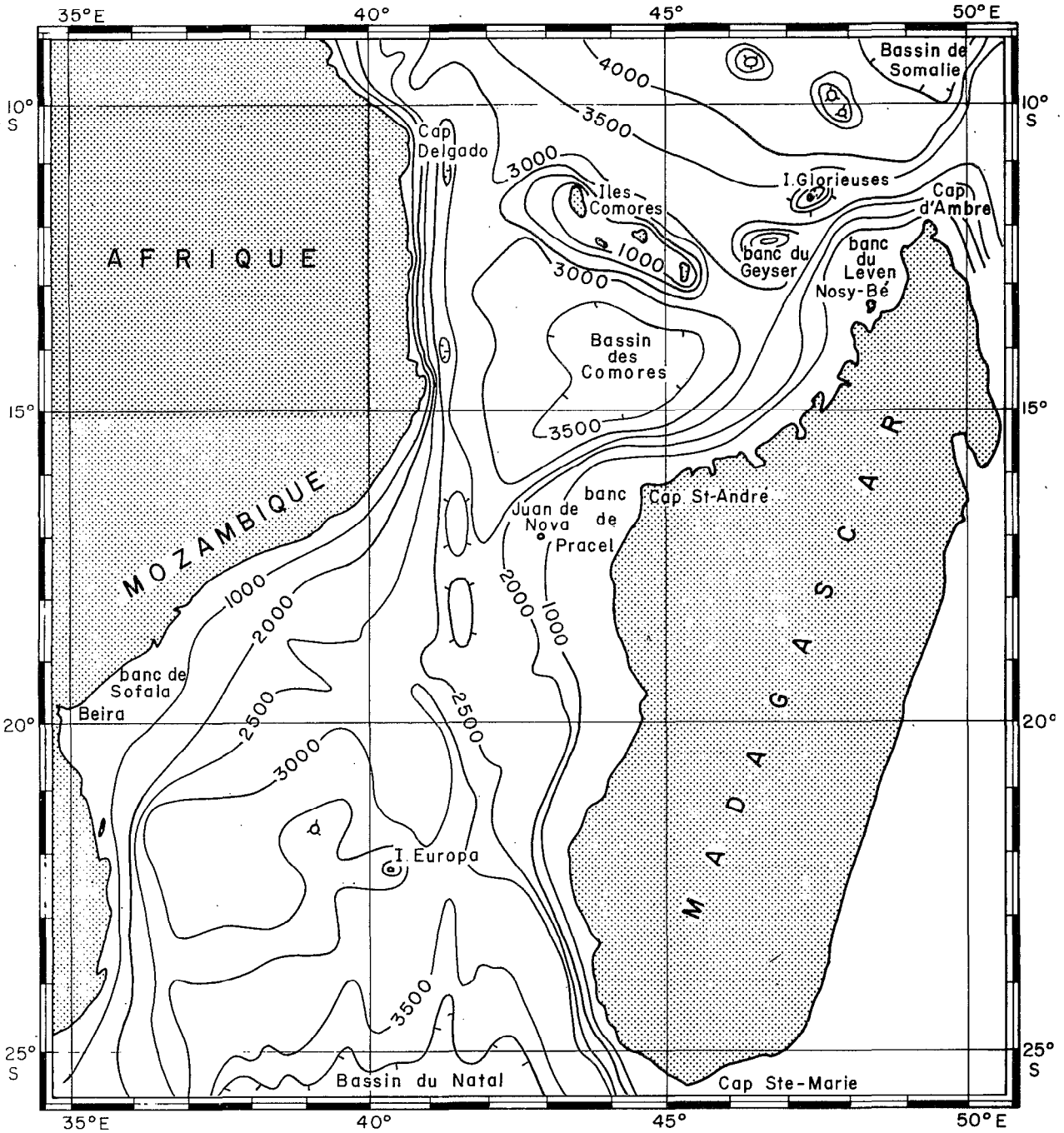

Figure 1 — Bathymétrie schématique du Canal de Mozambique (profondeur en mètre).

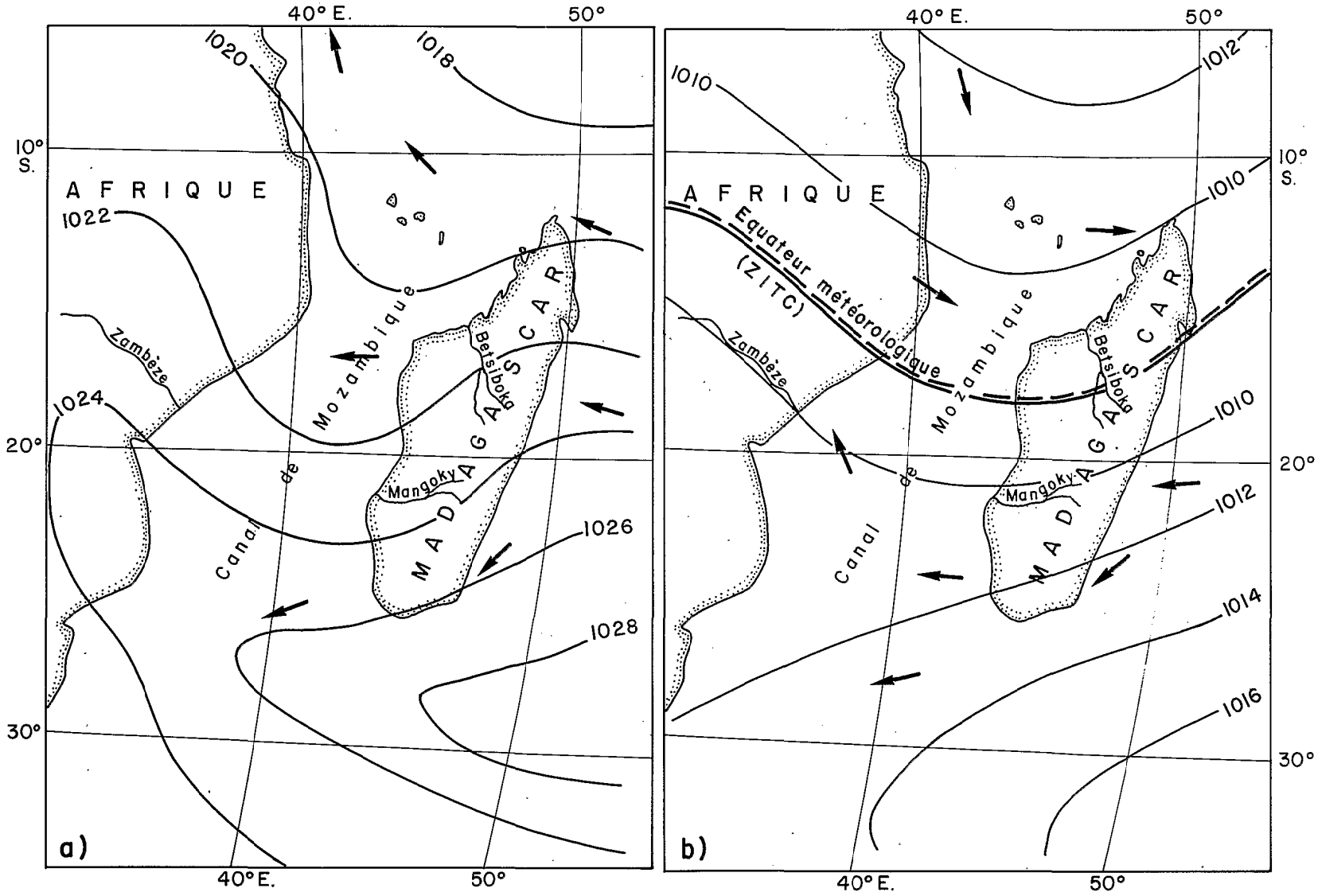

Figure 2 — Situations isobariques de surface sur le sud-ouest de l'Océan Indien en été (a) et en hiver (b) (pression atmosphérique en millibar) et directions du vent (Z.I.T.C. : zone inter-tropicale de convergence)

1 — Situations anticycloniques (situations estivales, de mai à septembre, mais encore assez fréquentes en hiver) où les hautes pressions indiennes sont bien établies et proches de Madagascar par 25-30°S et 55-75°E (fig. 2a) ; une courbure cyclonique plus ou moins marquée des isobares traduit la «faiblesse» barométrique du Canal de Mozambique, provoquée par une eau de surface chaude. A cette époque, l'équateur météorologique (ou zone intertropicale de convergence) est situé vers 20-25°N. Le vent souffle du sud-est en général sur le canal, mais peut passer de sud-est dans sa partie septentrionale à nord-est dans sa partie méridionale, selon la position de l'anticyclone sud-indien.

2 — Situations dépressionnaires (exclusivement d'hiver) où les basses pressions indiennes sont attirées par le système dépressionnaire régnant sur le Canal (fig. 2b) ; la convergence intertropicale peut descendre très sud, jusqu'à 24°S, accompagnée parfois d'un cyclone tropical. Le vent est de secteur nord-ouest au nord de la convergence et de secteur sud-est au sud.

Les pluies moyennes annuelles sur le Canal de Mozambique sont relativement faibles et voisines de 1 mètre, réparties en deux saisons, humide (octobre-mars) et sèche (avril-septembre). Cependant, les pluies sont nettement plus abondantes au voisinage des Comores et dans le nord-ouest de Madagascar où elles peuvent dépasser 2 mètres.

Les principaux fleuves se jetant dans le Canal sont le Zambèze (le plus important, avec un débit annuel moyen de l'ordre de 7 000 m^3/s) par 19°S du côté africain et les rivières Mangoky (débit moyen de 500 m^3/s) par 22°S et la Betsiboka (débit moyen de 1 000 m^3/s) par 16°S, du côté malgache.

5 - STRUCTURES THERMIQUES DE LA COUCHE SUPERFICIELLE

5.1 - La température de surface (fig. 3a, b, c, d)

La partie nord du Canal, de 12°S à 20°S, reste toute l'année la région la plus chaude du sud-ouest de l'Océan Indien entre, au nord, la zone de divergence entre le courant sud-équatorial et le contre-courant équatorial, où on note un faible refroidissement moyen de la température de surface, et la partie sud du Canal où la température décroît avec la latitude. Au cœur de l'hiver, la température dans le nord est de 28-29°C et décroît jusqu'à 25-26°C en été ; cet écart de 3-4°C entre l'hiver et l'été est conservé dans le sud, entre 26-27°C en hiver et 22-23°C en été à 25°S par exemple.

5.2 - La température à 100 mètres (fig. 4a, b, c, d)

La température à 100 mètres de profondeur fournit une indication sur les mouvements des masses d'eaux de la couche superficielle. Dans la partie nord du Canal, on trouve toute l'année une plage d'eau chaude à température supérieure à 24,0°C, traduisant un mouvement anticyclonique de l'eau superficielle. Dans le sud, la répartition de la température à 100 mètres est apparemment moins stable, vraisemblablement par défaut de données, mais on trouve des plages importantes où la température est inférieure à 20°C, sans qu'une évolution dans l'année soit décelable.

5.3 - La profondeur de l'isotherme 20°C (fig. 5a, b, c, d)

L'isotherme 20°C est trouvé à des immersions variant entre 70 et 220 mètres, plus grandes dans la partie nord du canal que dans la partie sud, sans évolution apparente dans l'année.

5.4 - L'épaisseur de la couche homogène (fig. 6a, b, c, d)

L'épaisseur de la couche homogène a été prise égale à l'immersion de la température inférieure de 1°C à celle de surface.

Les valeurs trouvées dans le Canal de Mozambique sont très variables, de moins de 20 mètres, à plus de 120 mètres ; cependant, on note des épaisseurs plus petites durant la saison chaude d'octobre à mars (20-40 mètres très fréquemment) qu'en saison froide (80 à 100 mètres).

6 - SALINITÉ DE SURFACE (fig. 7a, b, c, d)

L'eau de surface du Canal de Mozambique dérivant du courant sud-équatorial est une eau relativement dessalée à l'origine (35 ‰ contre 35,5 ‰ pour l'eau tropicale nord ou sud).

Recevant en outre des pluies excédentaires sur l'évaporation, principalement dans sa partie septentrionale, et les eaux de ruissellement provenant du Mozambique et de l'ouest de Madagascar, l'eau superficielle du Canal peut connaître de grandes dessalures. Ces dessalures se retrouvent sur les cartes moyennes de répartition, principalement en hiver (premier trimestre) et plus particulièrement du côté malgache. En été, la salinité est voisine de 35,0 ‰, de 10°S à 22°S, et de 35,4 ‰ au sud de 22°S. Elle est voisine de 35,25 ‰ sur tout le Canal au dernier trimestre.

7 - HAUTEUR DYNAMIQUE DE LA SURFACE PAR RAPPORT A 500 DÉCIBARS (COURANTS GÉOSTROPHIQUES) (fig. 8a, b, c, d)

Dans l'Océan Indien, la principale caractéristique de la topographie dynamique de surface, entre 10° S et 30° S, est la présence d'une bande de hauts niveaux géostrophiques centrés sur 20° S, liés à un enfoncement relatif des isothermes dans les 500 premiers mètres. Cette bande correspond à une zone de convergence entre le courant sud-équatorial et un flux portant à l'est, qui n'est pas encore la dérive liée aux vents d'ouest, nettement plus au sud. La présence de Madagascar, au travers de cette zone, fait que, dans le Canal de Mozambique, la circulation générale de surface est nettement plus compliquée et apparemment plus instable. Si l'on retrouve toujours la branche du courant sud-équatorial qui double le Cap d'Ambre dans le nord de Madagascar puis se divise en deux branches devant l'Afrique au niveau du Cap Delgado, on ne peut qu'admettre que, dans l'extrême sud du Canal, la circulation semble plus fluctuante en direction. De même, la circulation anticyclonique, dans la partie nord du Canal, semble être un caractère permanent à l'inverse de ce qui est observé dans sa partie méridionale où il est très difficile de dégager une circulation géostrophique stable. Enfin, dans la partie centrale, un courant traversier fort semble établi en hiver principalement, portant dans le sud-est.

8 - CONDITIONS MOYENNES DE TEMPÉRATURE ET DE SALINITÉ PAR ZONE

8.1 - Zones couvrant le Canal de Mozambique

Les courbes présentées sur la figure 9 permettent de suivre plus facilement les conditions moyennes de température et de salinité dans huit zones différentes couvrant tout le canal. On y retrouve les caractéristiques de surface décrites précédemment.

8.2 - Les conditions moyennes au large de Nosy-Bé (13-14° S /47-48° E)

La figure 10, établie à partir d'une centaine de stations, donne l'évolution détaillée et moyenne des conditions hydrologiques de la couche superficielle dans une zone de 60 milles de côté à l'ouest de Nosy-Bé. La température mensuelle la plus élevée (30° C) est trouvée en avril, la plus basse (25,9° C) en août ; cet écart de 4° C entre les deux saisons se retrouve sur tout le Canal. La salinité la plus faible mesurée a été de 33,15 ‰ en février et la plus élevée de 35,20 ‰ en octobre. On peut enfin signaler que, dans cette zone relativement restreinte, la température à 100 mètres de profondeur peut varier entre 20,7° C et 25,5° C, que l'isotherme 20° C peut être trouvée entre 117 et 190 mètres et que l'épaisseur de la couche homogène peut varier de 9 mètres en hiver à 105 mètres en été.

9 - MASSES D'EAU

Trois coupes méridiennes représentant les distributions verticales de la température, de la salinité et de l'oxygène dissous ont été tracées (fig. 11) afin de caractériser les différentes masses d'eau présentes dans le Canal de Mozambique de la surface jusqu'au voisinage du fond ; ces masses d'eau sont représentées schématiquement sur la figure 12. Les eaux de l'Océan Indien sont caractérisées par leur salinité et leur teneur en oxygène dissous qui sont assez typiques du fait de son environnement continental ; en outre, la présence de Madagascar apporte quelques traits de structure particuliers aux eaux du Canal de Mozambique.

9.1 - Eaux superficielles

L'eau des 100 premiers mètres a son origine dans le courant sud-équatorial caractérisé par une eau relativement dessalée d'origine orientale. Dans le Canal, on peut cependant distinguer :

- au nord de 12° S, l'eau de la branche nord du courant sud-équatorial proprement dit,
- de 12° S à 22° S, une eau protégée des influences orientales par Madagascar, circulant en circuit fermé et subissant les influences locales liées aux deux saisons,
- au sud de 22° S, une eau qui est le résultat d'un mélange entre l'eau du canal et l'eau tropicale sud-indienne plus salée.

9.2 - Eaux subsuperficielles

Entre 100 et 300 mètres environ, se trouve une eau caractérisée par un ou deux maximums de salinité et des valeurs minimales d'oxygène dissous, ayant pour origine soit le nord de l'Océan Indien, soit la zone tropicale sud, soit encore l'est de Madagascar. D'où, du nord au sud, les eaux suivantes :

- au nord de 11° S, l'eau nord-équatoriale,
- de 11° S à 12° S, l'eau tropicale sud de l'est de Madagascar,
- de 12° S à 23° S, l'eau nord-équatoriale du Canal de Mozambique, une eau de mélange entre les eaux nord-équatoriale et tropicale sud,
- au sud de 23° S, l'eau tropicale sud.

9.3 - Eaux intermédiaires et profondes

L'eau centrale indienne, eau de mélange caractérisée par un maximum d'oxygène, occupe la partie supérieure du niveau intermédiaire, de 300 à 500 mètres dans le nord du Canal, de 300 à 600 mètres dans le sud. On note encore à 11° S - 12° S l'influence d'une eau centrale indienne venant de l'est de Madagascar, plus riche en oxygène.

Au-dessous de cette eau, se trouve l'eau antarctique intermédiaire, de 600 à 2 000 mètres de profondeur dans le sud du Canal. Cette masse d'eau est divisée en deux couches par l'intrusion, jusqu'à 25° S de l'eau de la Mer Rouge, caractérisée par un maximum de salinité et un minimum marqué d'oxygène ; l'eau de la Mer Rouge influence l'eau située entre 800 et 1 400 mètres de profondeur.

On trouve enfin, au-delà de 2 000 mètres, l'eau profonde, caractérisée par un maximum de salinité, qui serait d'origine nord-Atlantique (WYRTKI, 1971).

10 - BIBLIOGRAPHIE

DONQUE, G. - 1973 - Les conditions générales du climat de Madagascar. *Madagascar, Revue de Géographie,* XXII, 1-93.

MAGNIER, Y., PITON, B. - 1973 - Les masses d'eau de l'Océan Indien à l'ouest et au nord de Madagascar au début de l'été austral (novembre-décembre). *Cah. ORSTOM, série Océanogr.*, XI, 1, 97-113.

MERLE, J. - 1978 - Atlas hydrologique saisonnier de l'Océan Atlantique intertropical. *Travaux et Documents de l'ORSTOM,* 82, 184 p.

SOARES, G.R. - 1975 - Contribution à l'étude de l'hydrologie et de la circulation du canal du Mozambique en hiver austral. *Thèse de Doctorat de 3e cycle, Université de Paris VI, février 1975,* 89 p.

WYRTKI, K. - 1971 - Oceanographic atlas of the international Indian ocean expedition. *Nat. Sci. Foundation,* Washington, 531 p.

11 - LISTE DES FIGURES PRÉSENTÉES

Figure 1 – Bathymétrie schématique du Canal de Mozambique (profondeur en mètre).

Figure 2 – Situations isobariques de surface sur le sud-ouest de l'Océan Indien en été (a) et en hiver (b) (pression atmosphérique en millibar) et direction du vent. (ZITC : Zone inter-tropicale de convergence)

Figure 3 – Température moyenne de surface en janvier-février-mars (a), avril-mai-juin (b), juillet-août-septembre (c) et octobre-novembre-décembre (d) (en degré Celsius).

Figure 4 – Température moyenne trimestrielle à 100 mètres d'immersion.

Figure 5 – Profondeur moyenne trimestrielle de l'isotherme 20° C.

Figure 6 – Épaisseur moyenne trimestrielle de la couche homogène.

Figure 7 – Salinité moyenne trimestrielle de surface (en gramme par kilogramme d'eau de mer).

Figure 8 – Hauteur dynamique moyenne trimestrielle de la surface par rapport à 500 décibars (en mètre-dynamique).

Figure 9 – Évolution annuelle de la température et de la salinité moyennes de surface par zone dans le Canal de Mozambique.

Figure 10 – Évolution annuelle des conditions hydrologiques de surface devant Nosy-Bé par 13° S - 14° S /47° E - 48° E.

Figure 11 – Répartition verticale de la température, de la salinité et de l'oxygène dissous (en millilitre par litre d'eau de mer) le long d'une coupe méridienne dans le Canal de Mozambique.

Figure 12 – Les masses d'eau superficielles, subsuperficielles, intermédiaires et profondes dans le Canal de Mozambique.

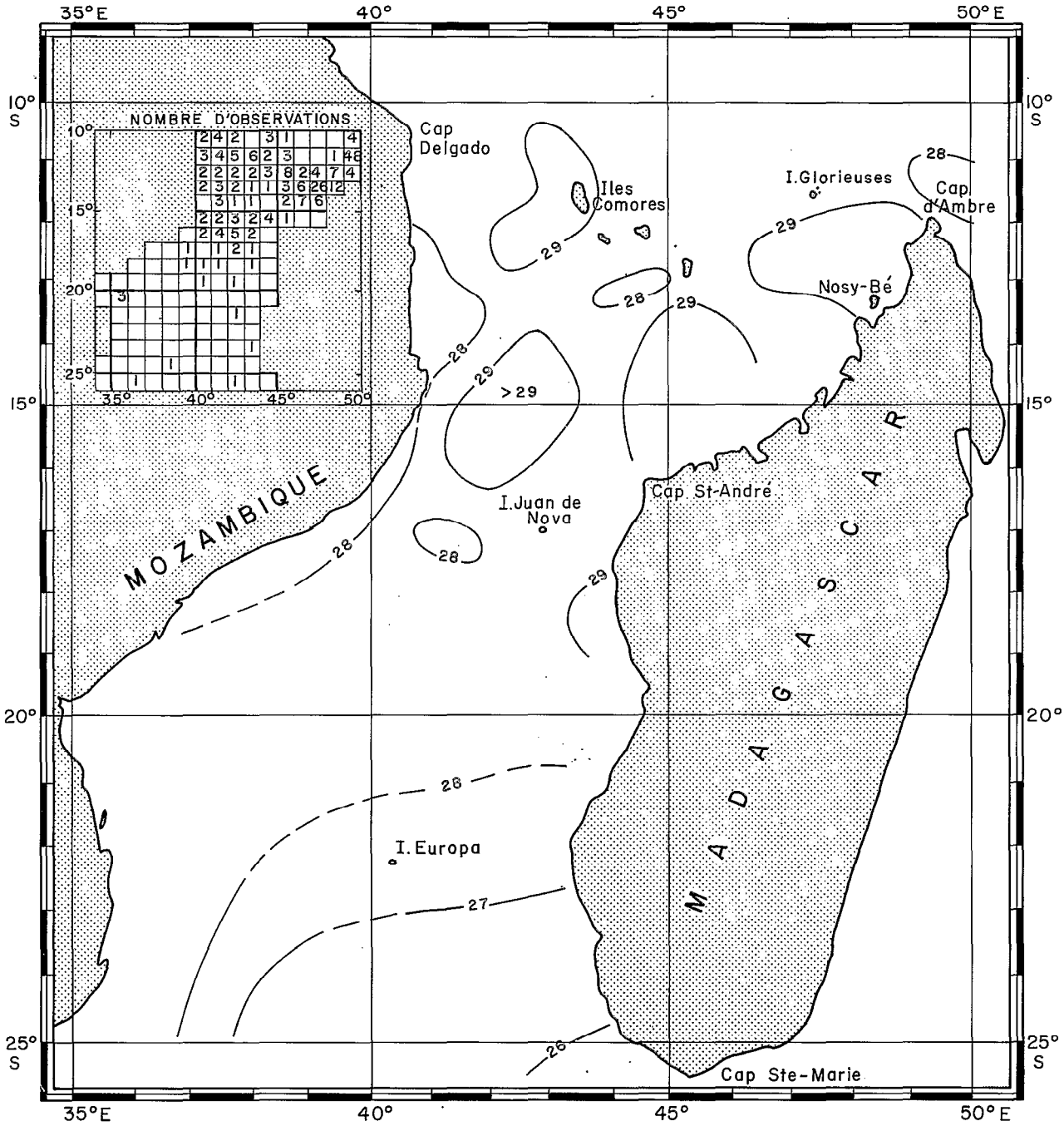

Figure 3a — Température moyenne de surface en janvier-février-mars (en degré Celsius).

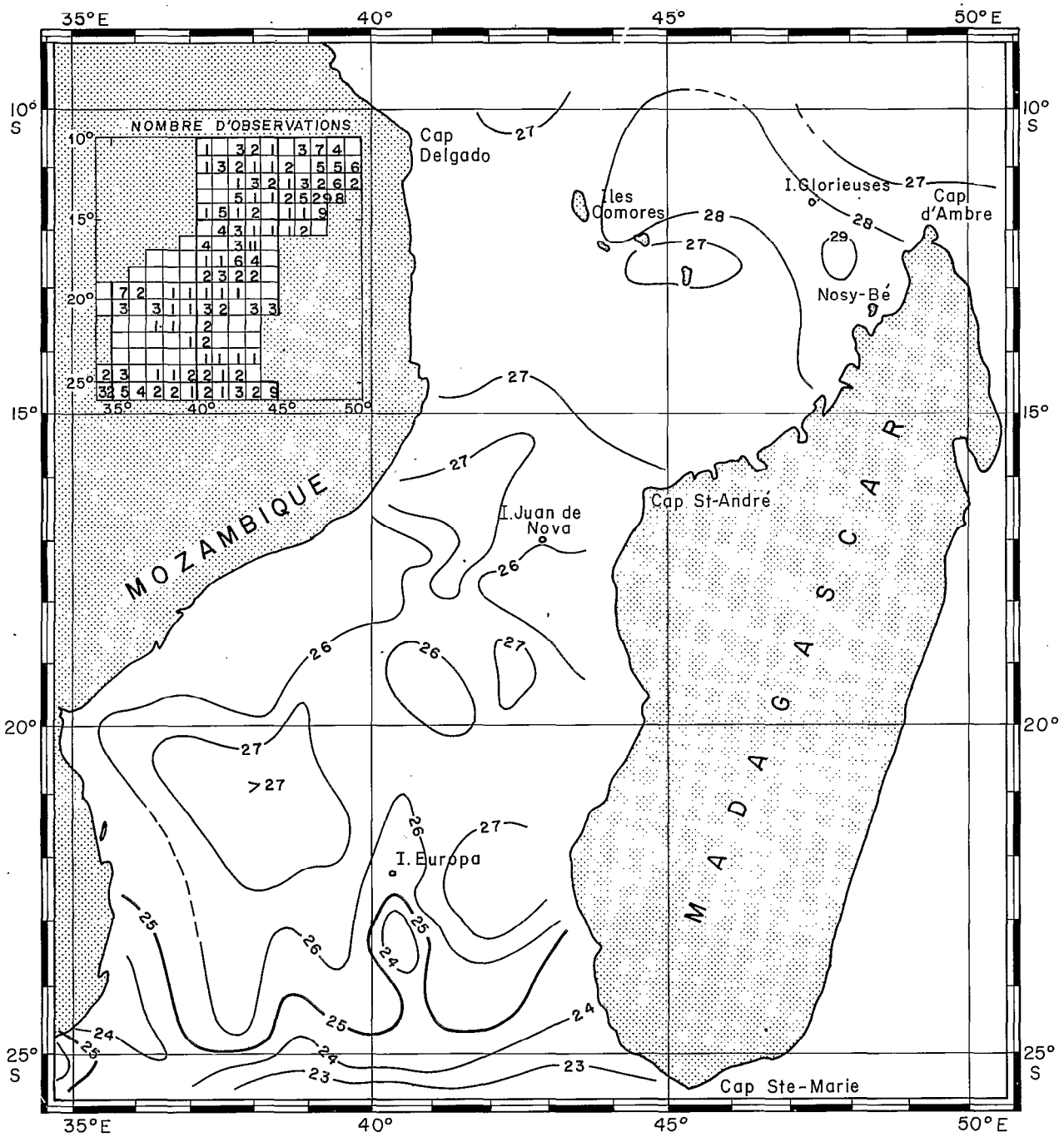

Figure 3b – Température moyenne de surface en avril-mai-juin.

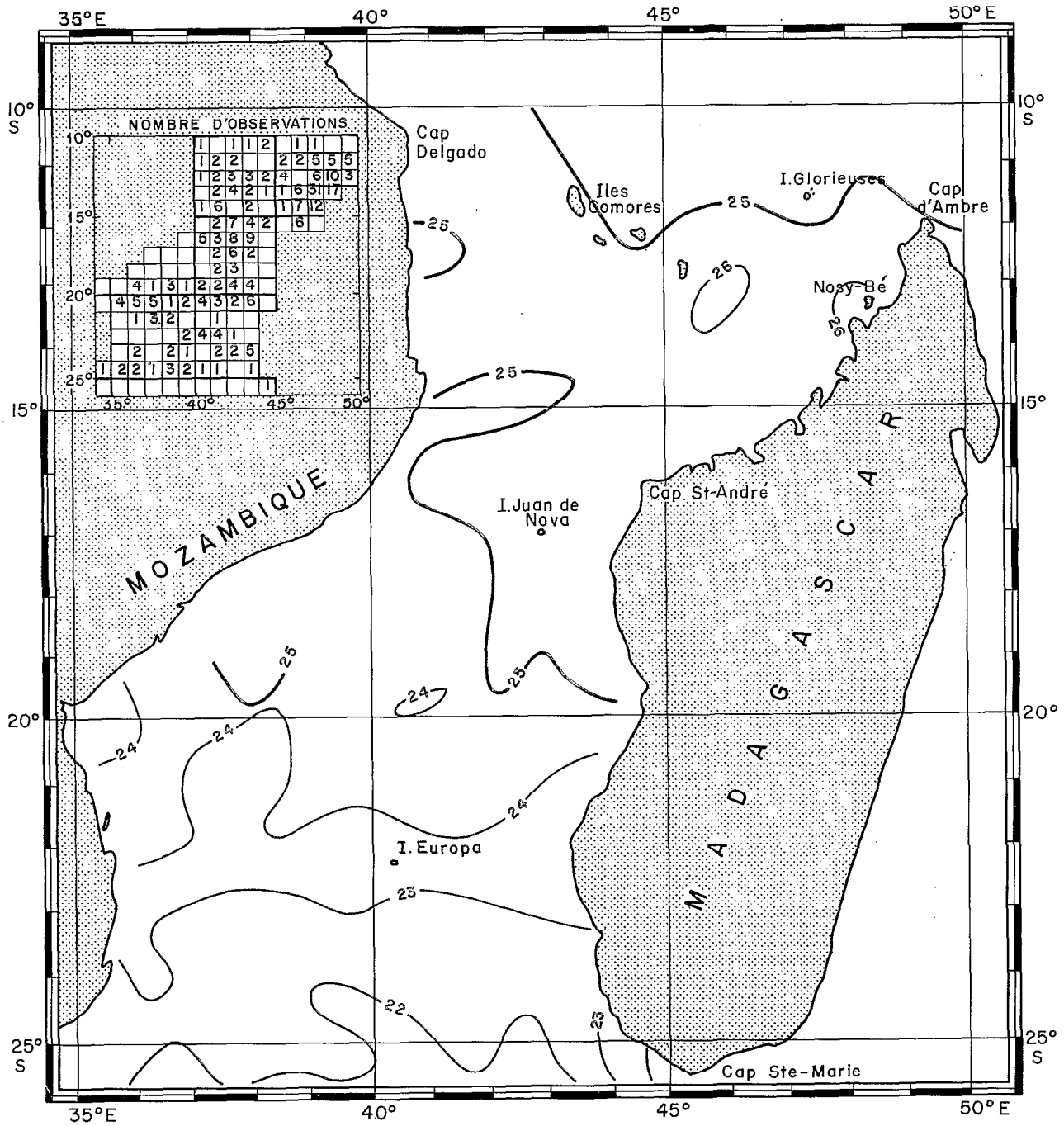

Figure 3c – Température moyenne de surface en juillet-août-septembre.

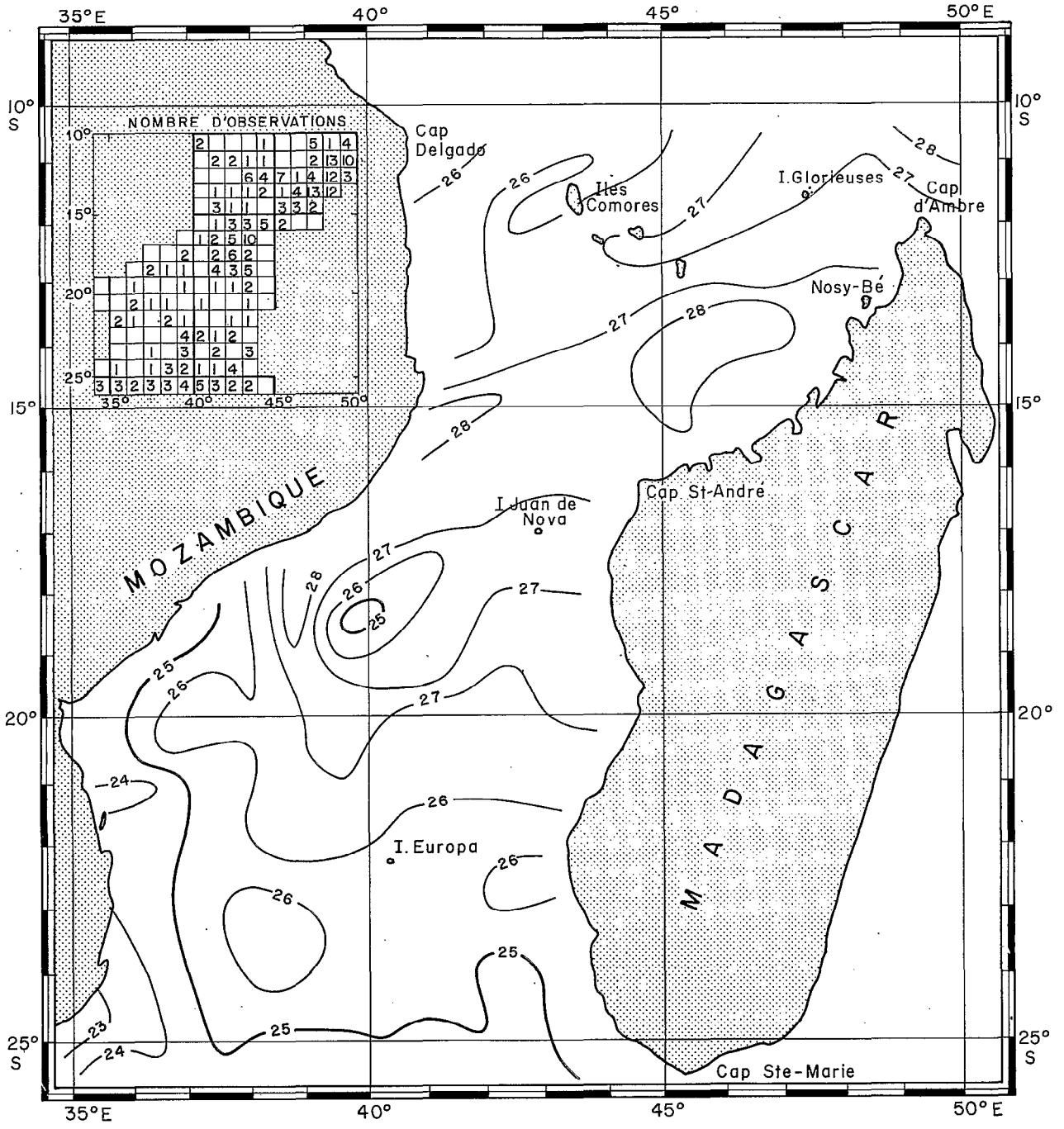

Figure 3d – Température moyenne de surface en octobre-novembre-décembre.

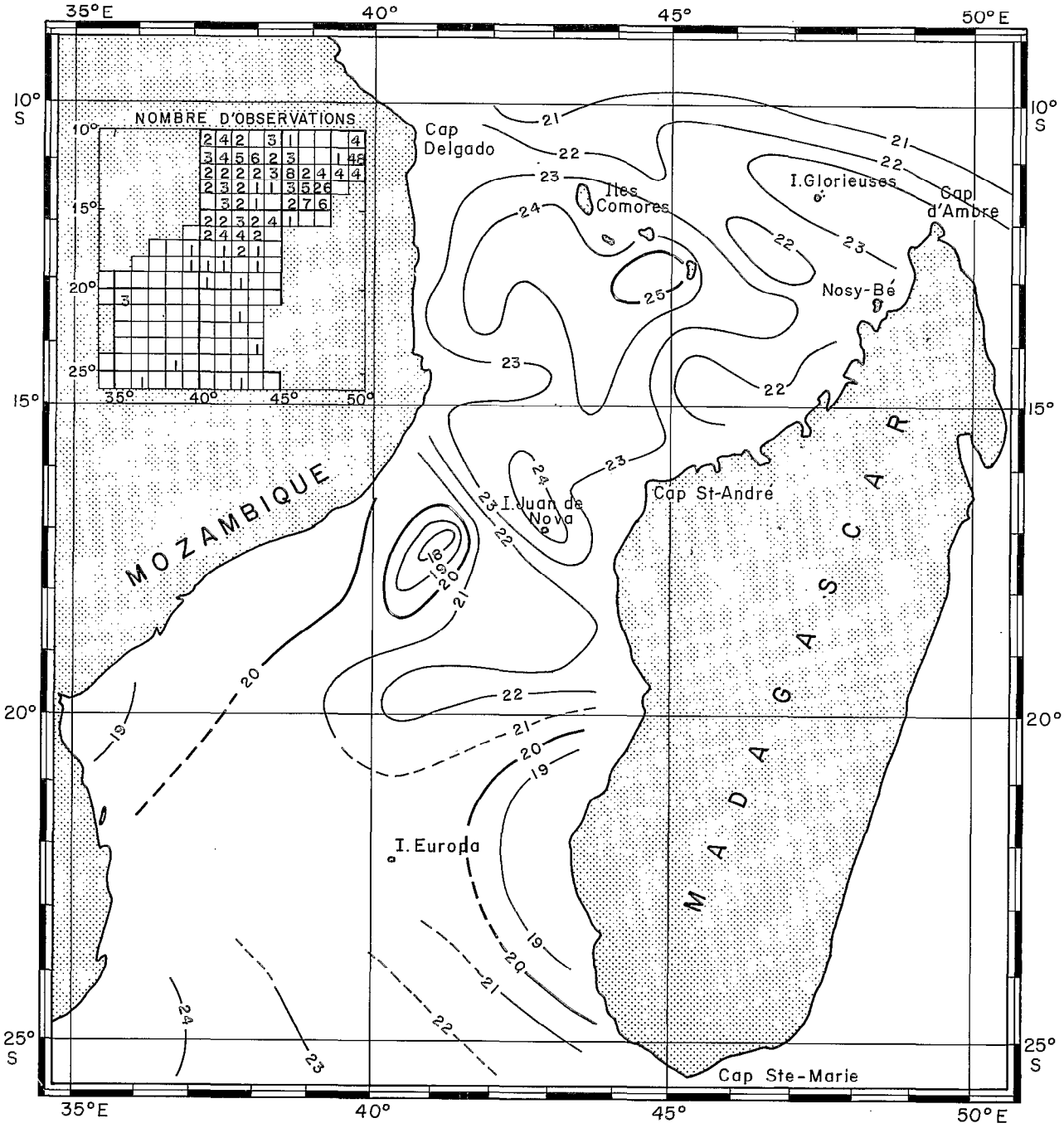

Figure 4a – Température moyenne à 100 mètres d'immersion en janvier-février-mars.

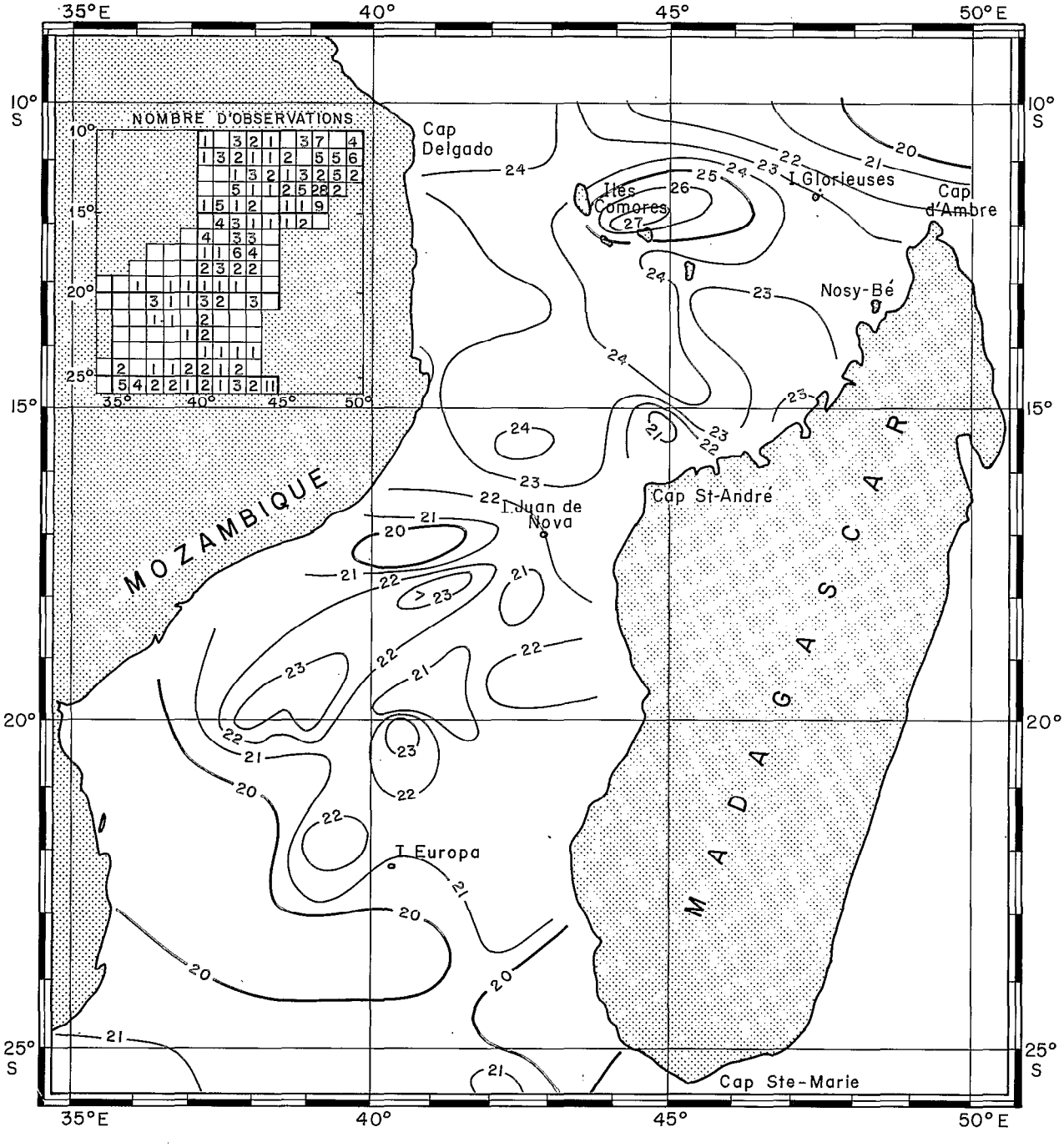

Figure 4b – Température moyenne à 100 mètres d'immersion en avril-mai-juin.

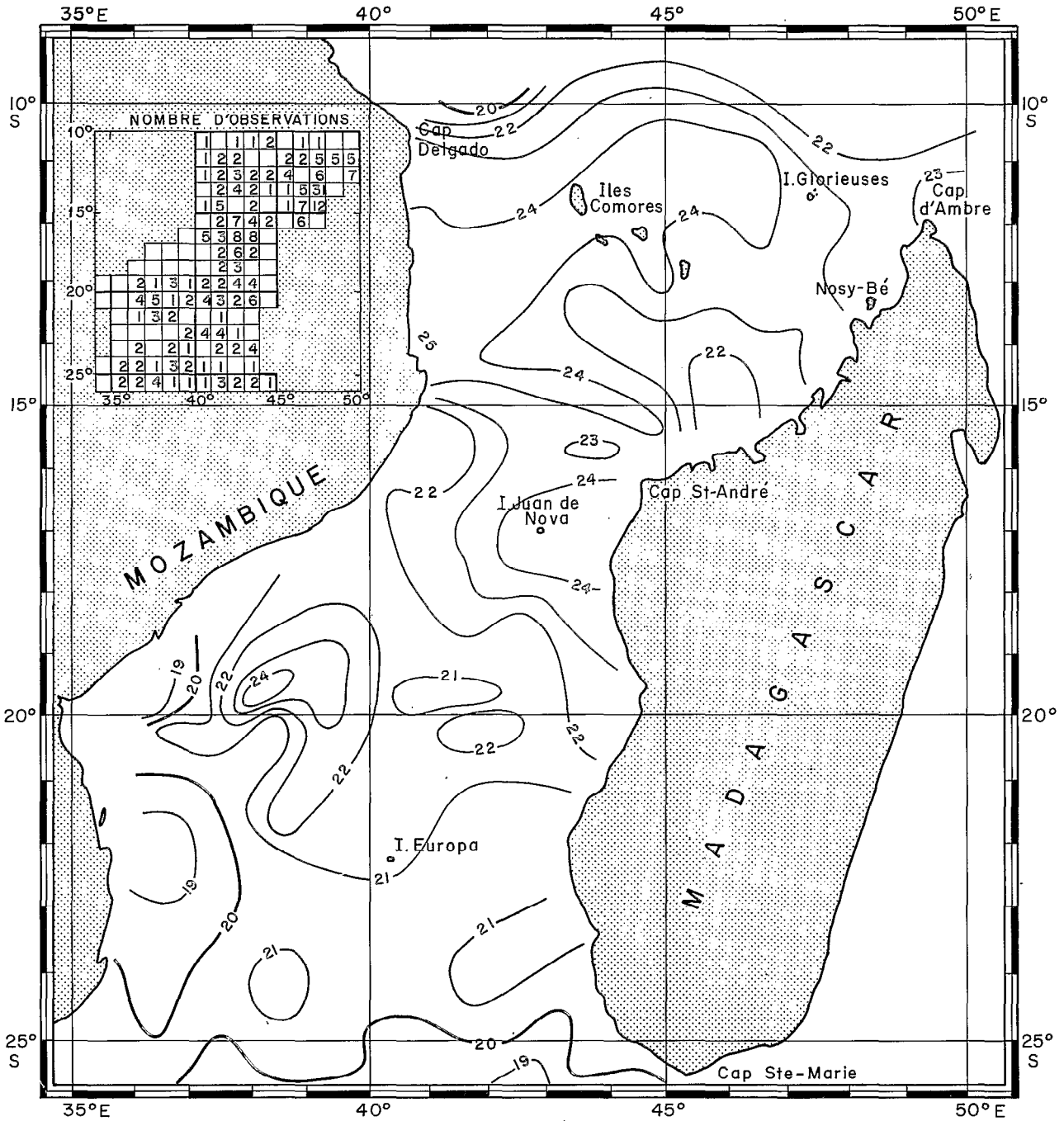

Figure 4c — Température moyenne à 100 mètres d'immersion en juillet-août-septembre.

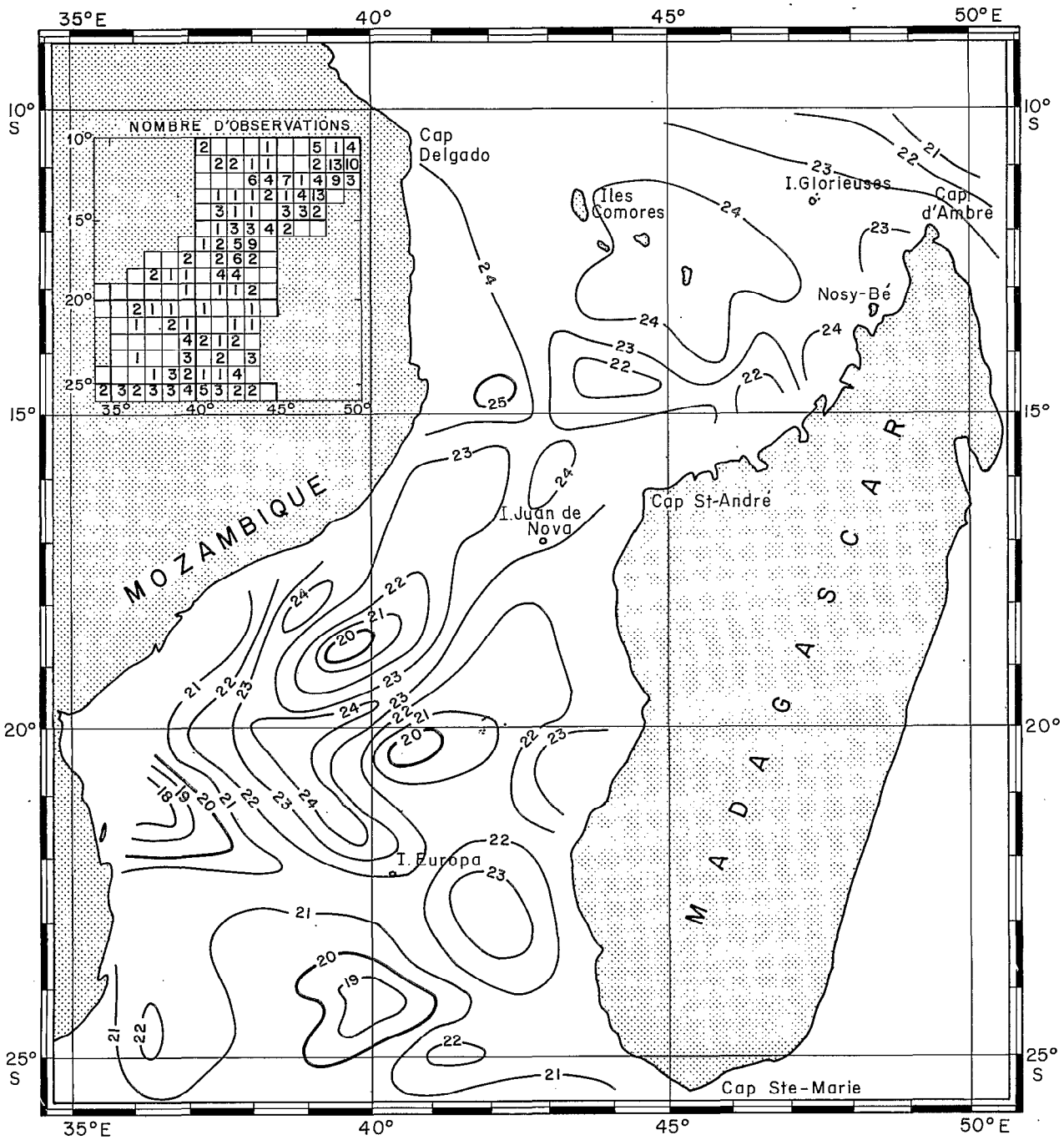

Figure 4d – Température moyenne à 100 mètres d'immersion en octobre-novembre-décembre.

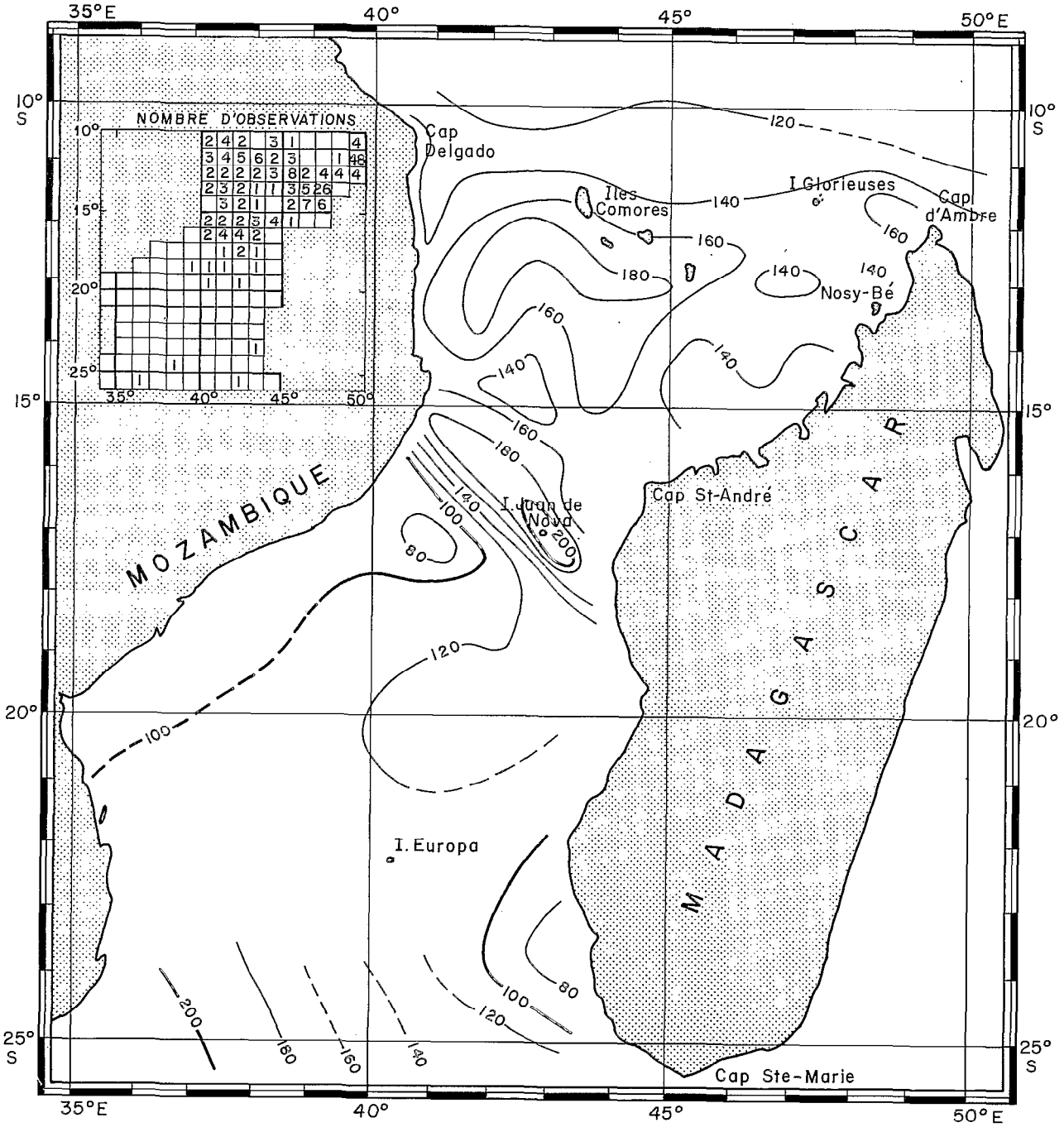

Figure 5a – Profondeur moyenne de l'isotherme 20° C en janvier-février-mars.

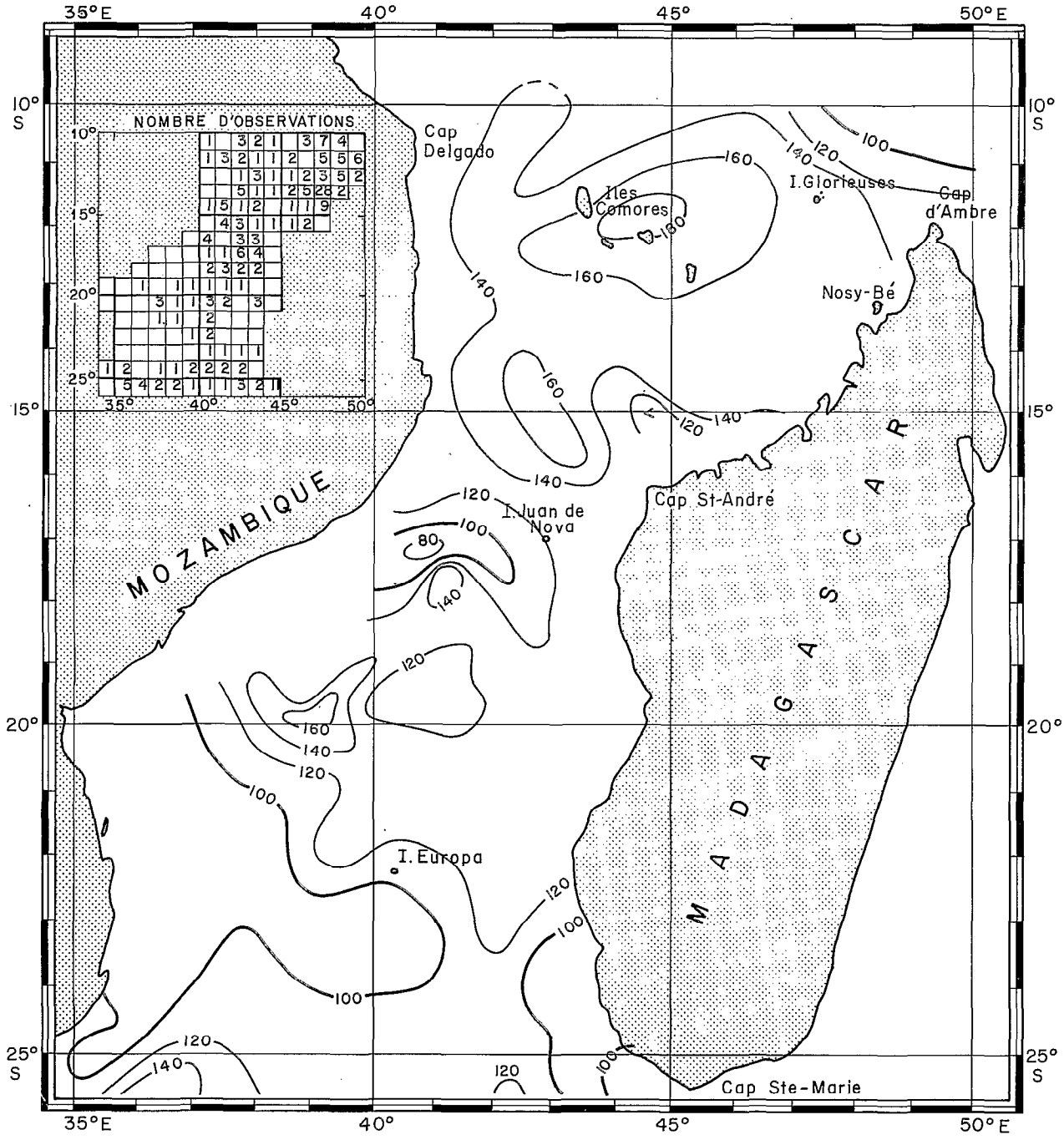

Figure 5b – Profondeur moyenne de l'isotherme 20° C en avril-mai-juin.

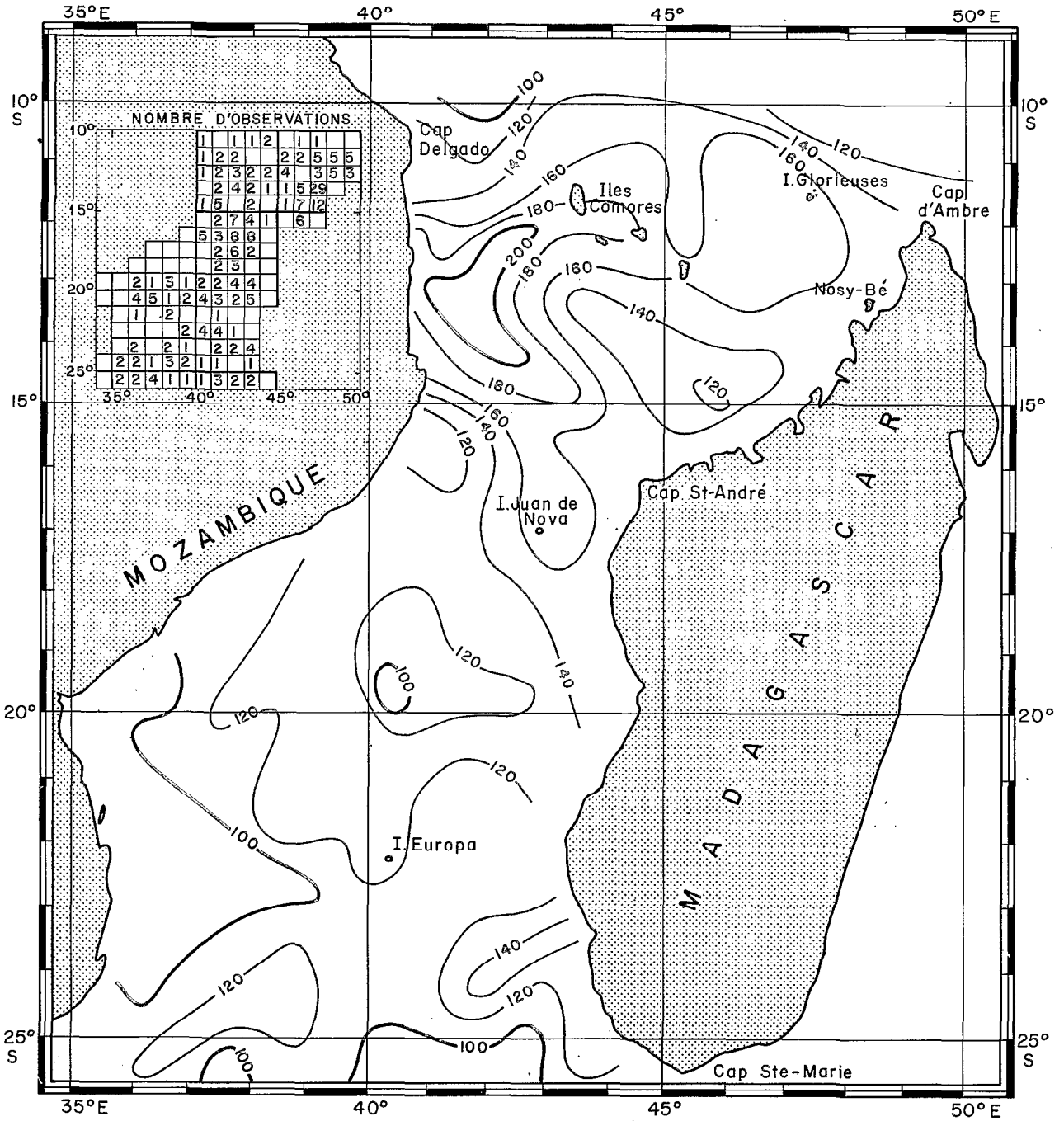

Figure 5c – Profondeur moyenne de l'isotherme 20° C en juillet-août-septembre.

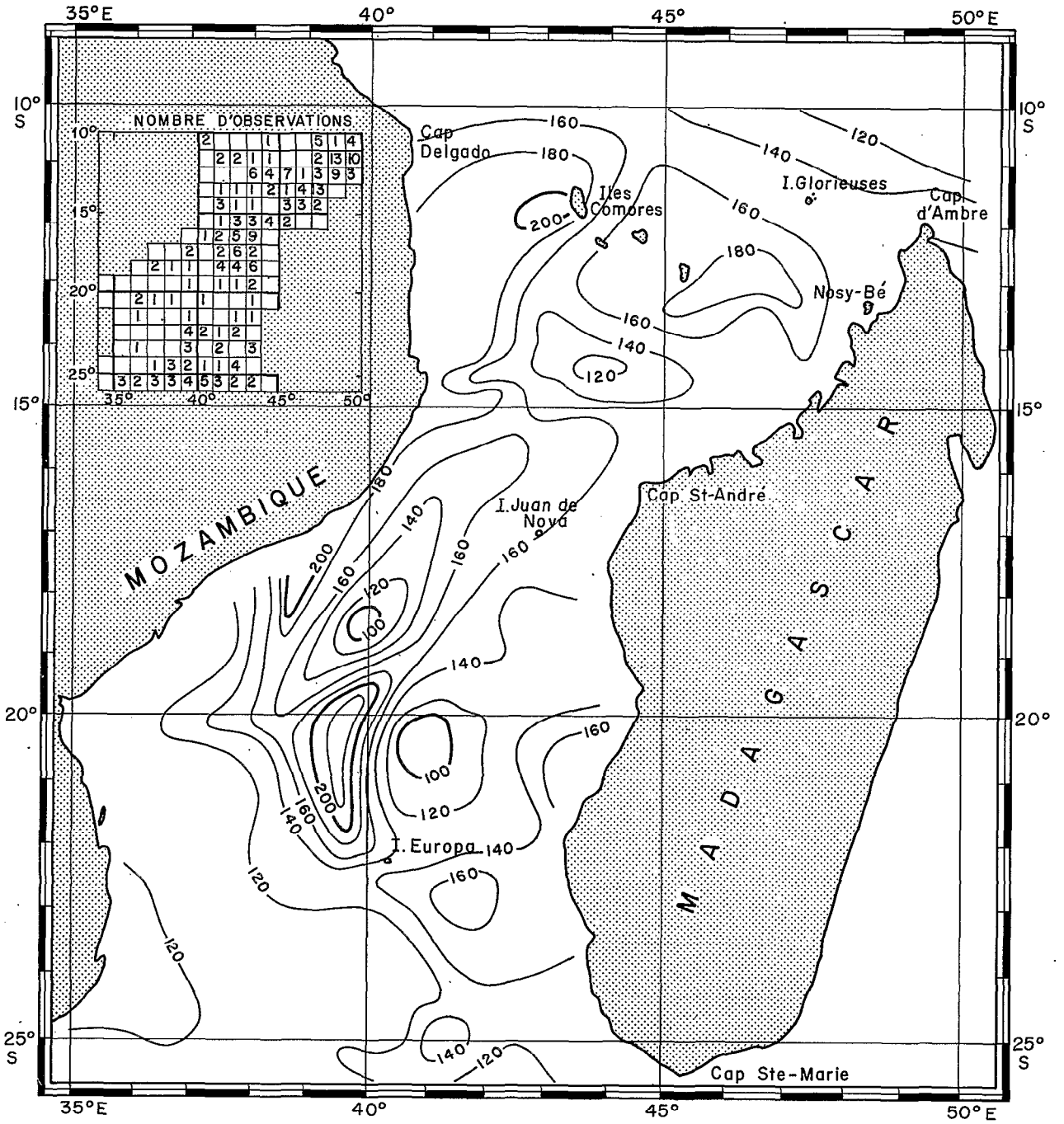

Figure 5d – Profondeur moyenne de l'isotherme 20° C en octobre-novembre-décembre.

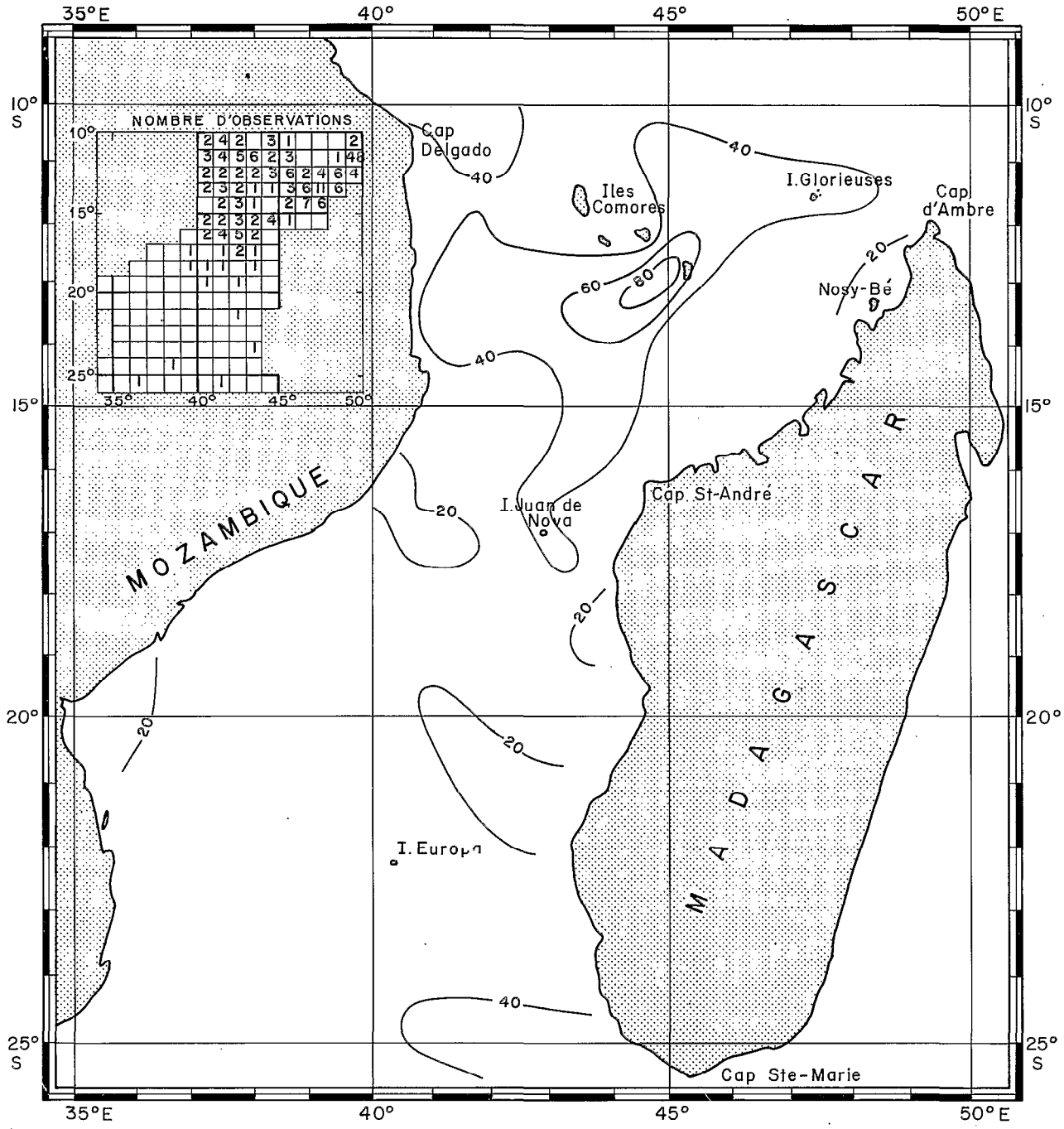

Figure 6a — Épaisseur moyenne de la couche homogène en janvier-février-mars (en mètre).

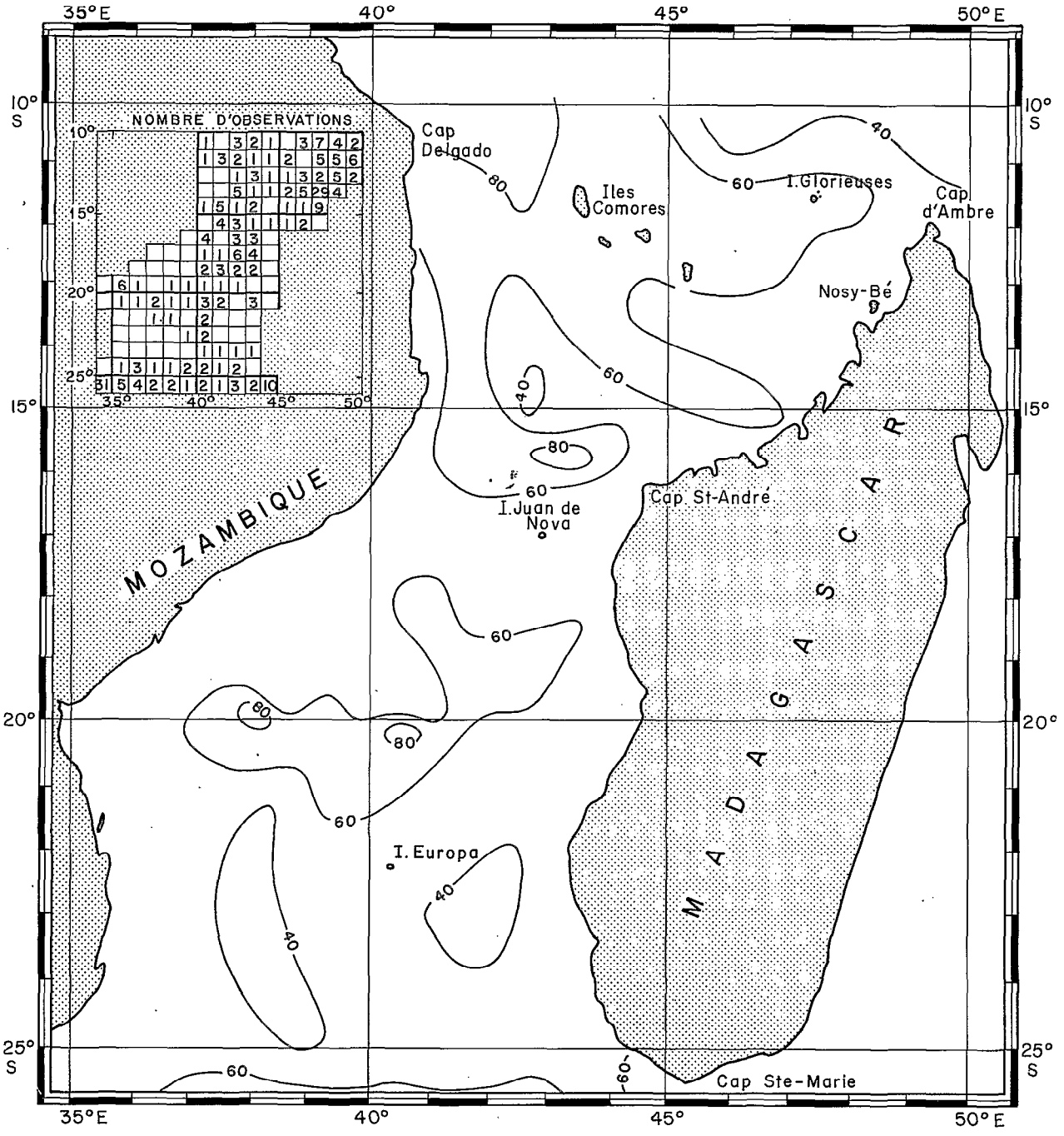

Figure 6b – Épaisseur moyenne de la couche homogène en avril-mai-juin.

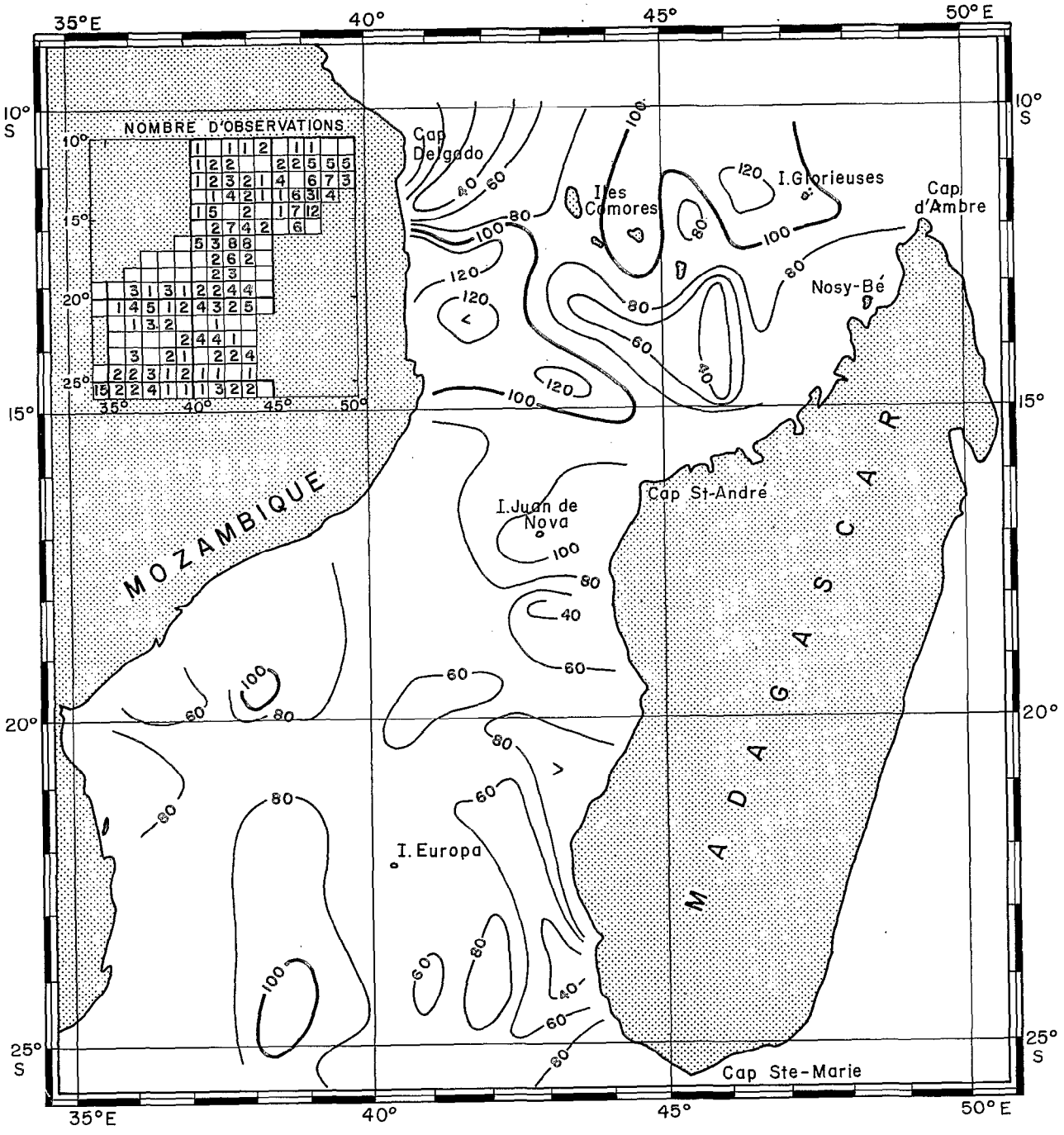

Figure 6c – Épaisseur moyenne de la couche homogène en juillet-août-septembre.

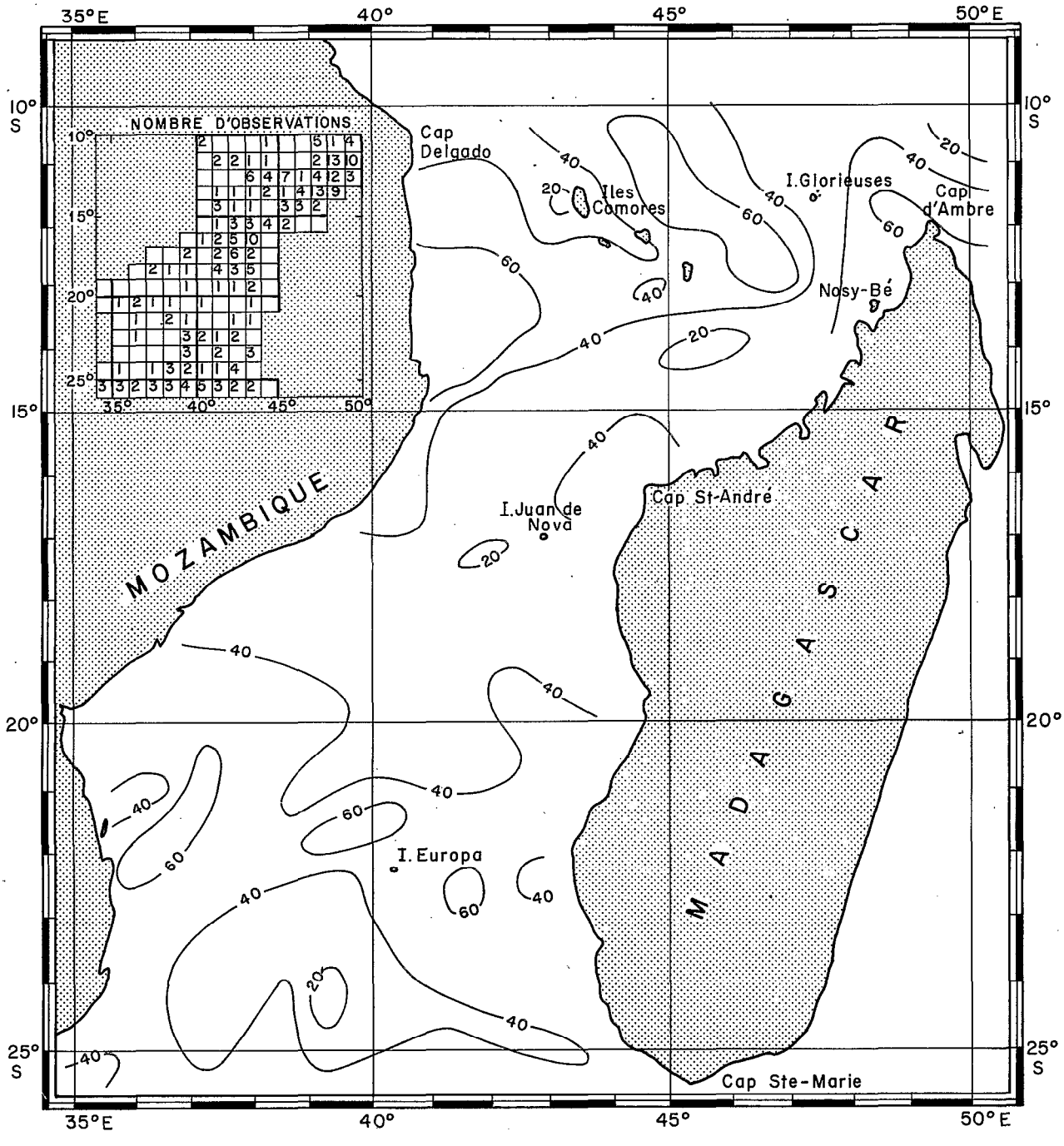

Figure 6d – Épaisseur moyenne de la couche homogène en octobre-novembre-décembre.

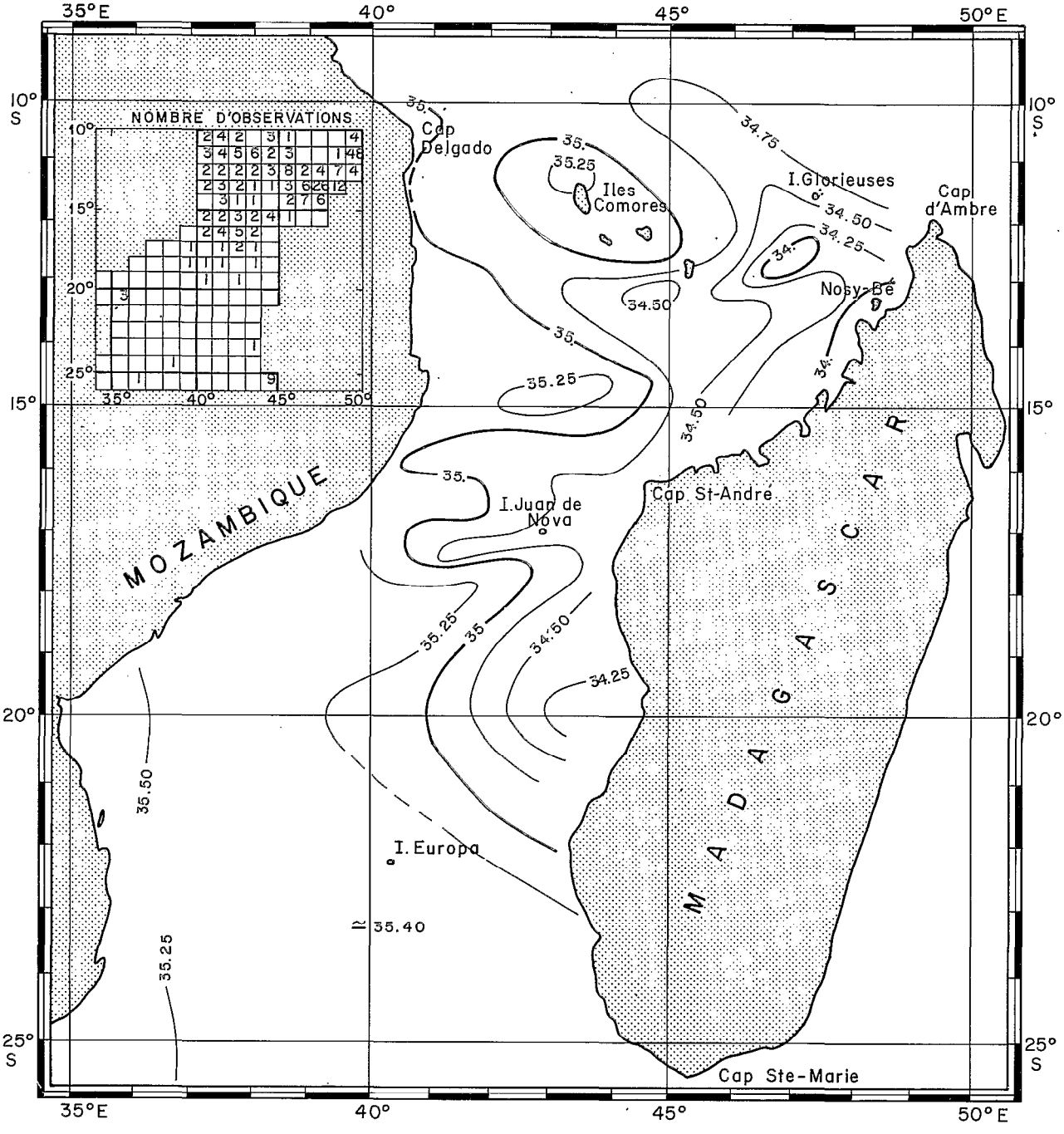

Figure 7a – Salinité moyenne de surf ace en janvier-février-mars (en g par kg d'eau de mer).

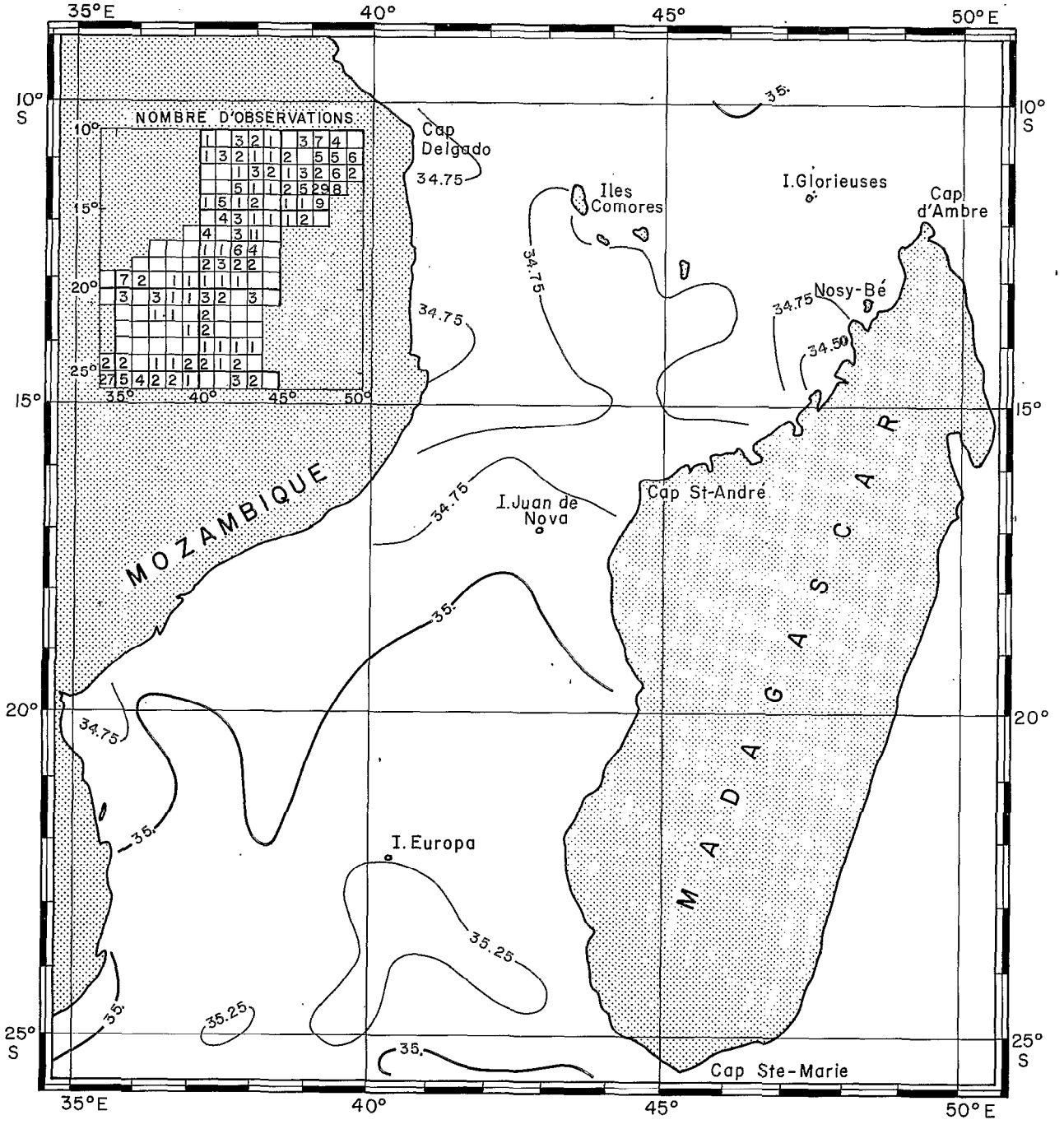

Figure 7b – *Salinité moyenne de surface en avril-mai-juin.*

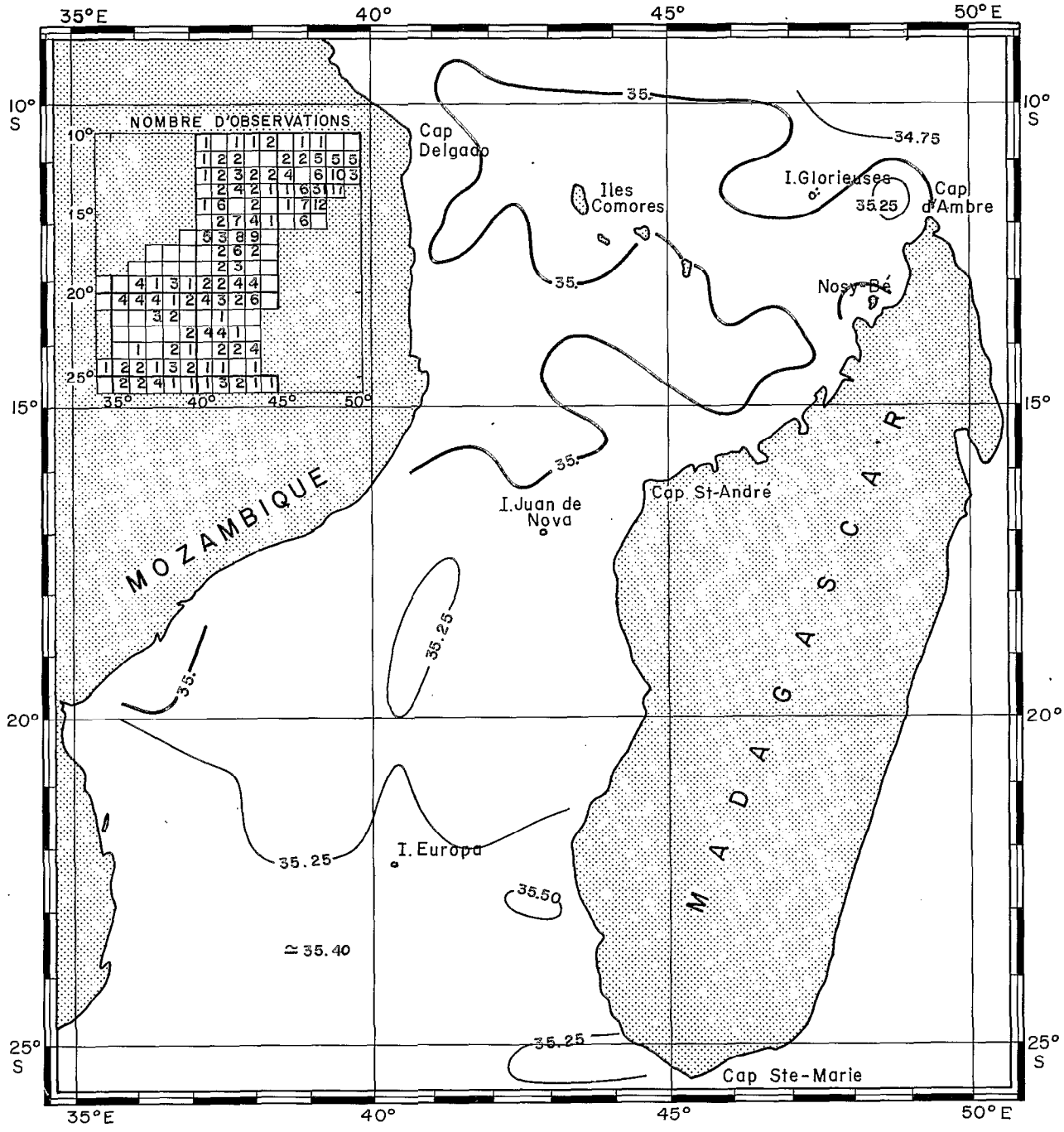

Figure 7c — Salinité moyenne de surface en juillet-août-septembre.

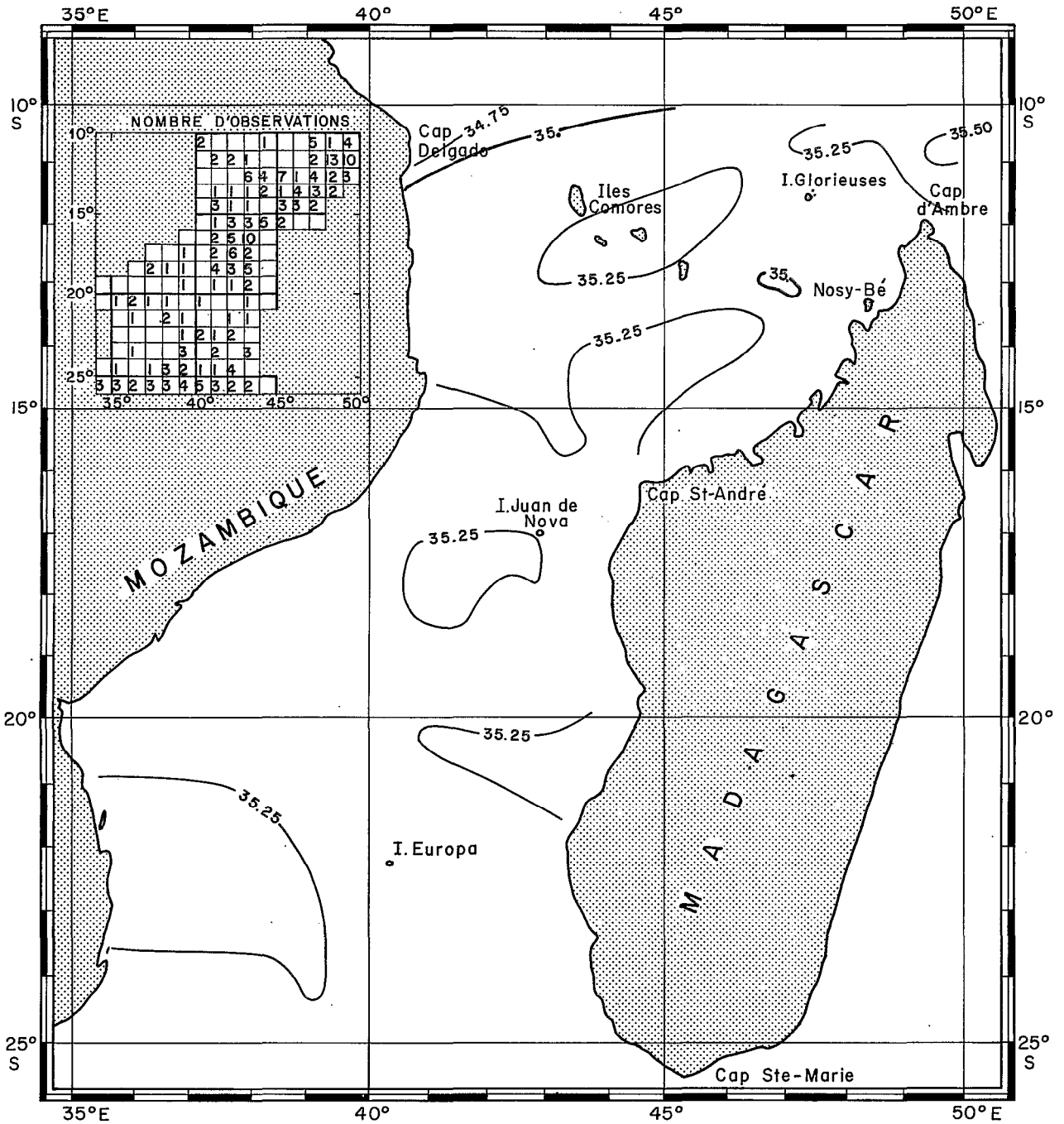

Figure 7d — Salinité moyenne de surface en octobre-novembre-décembre.

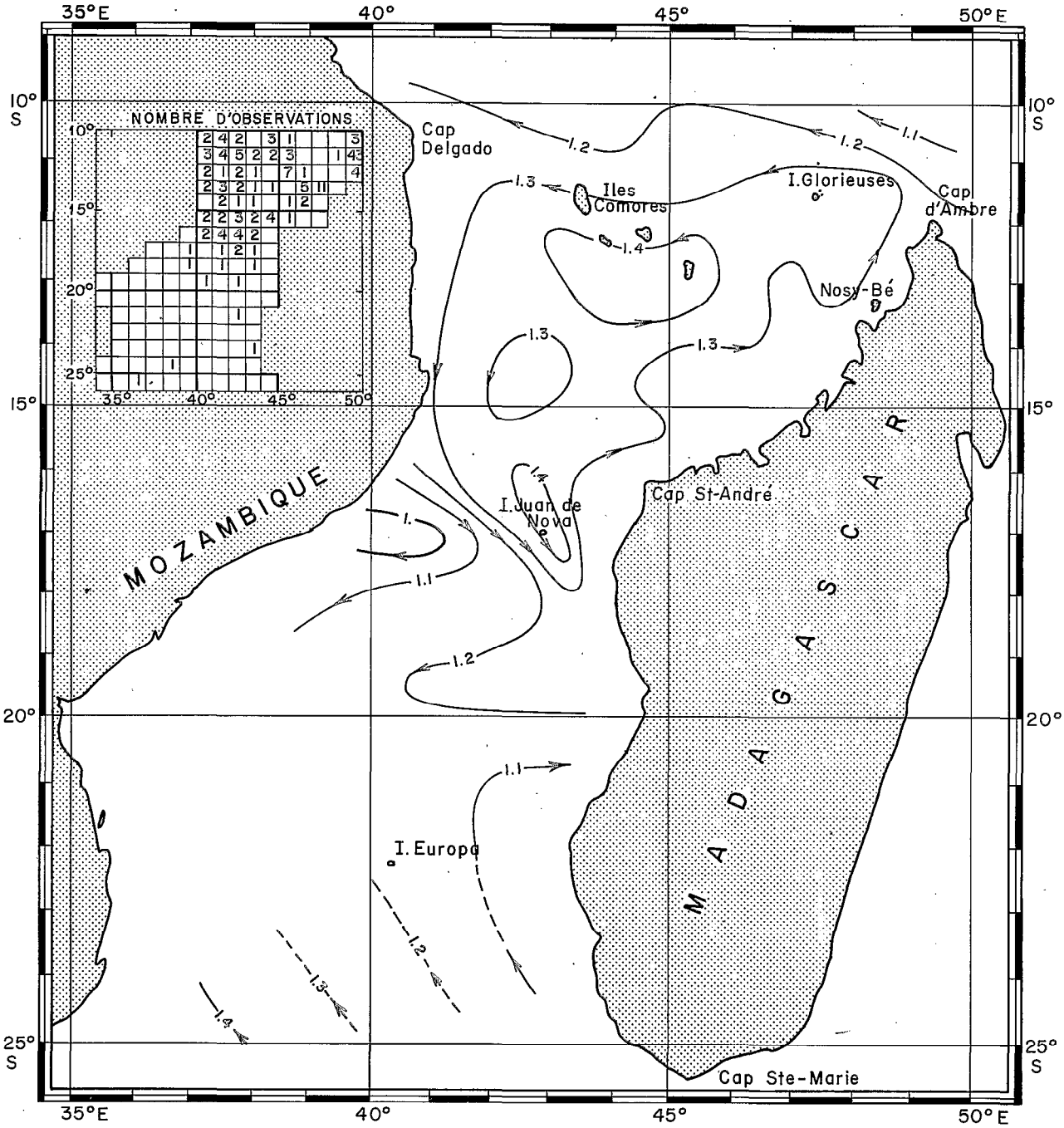

Figure 8a – Hauteur dynamique moyenne de la surface par rapport à 500 décibars, en janvier-février-mars (en mètre-dynamique).

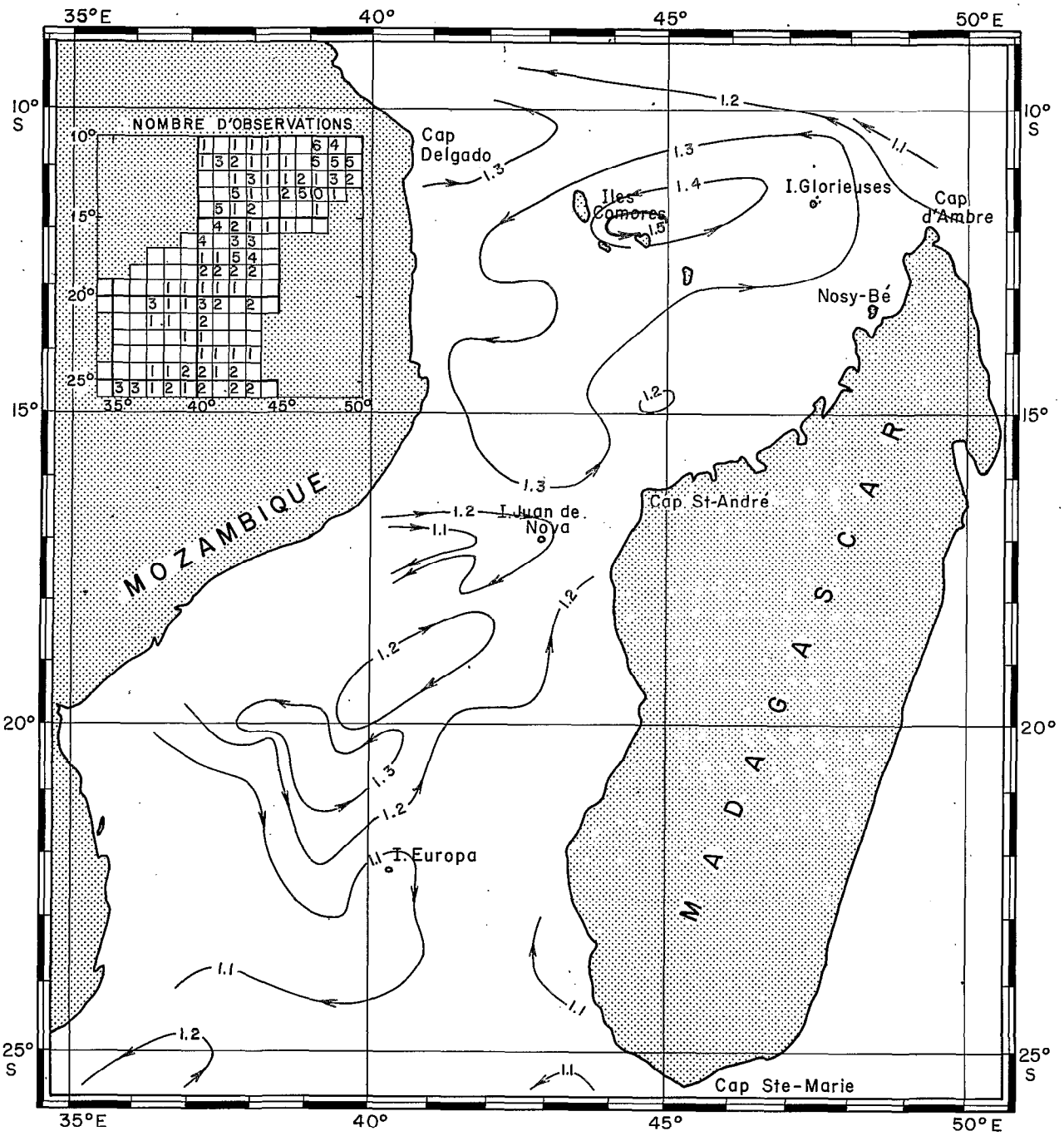

Figure 8b – Hauteur dynamique moyenne de la surface par rapport à 500 décibars, en avril-mai-juin.

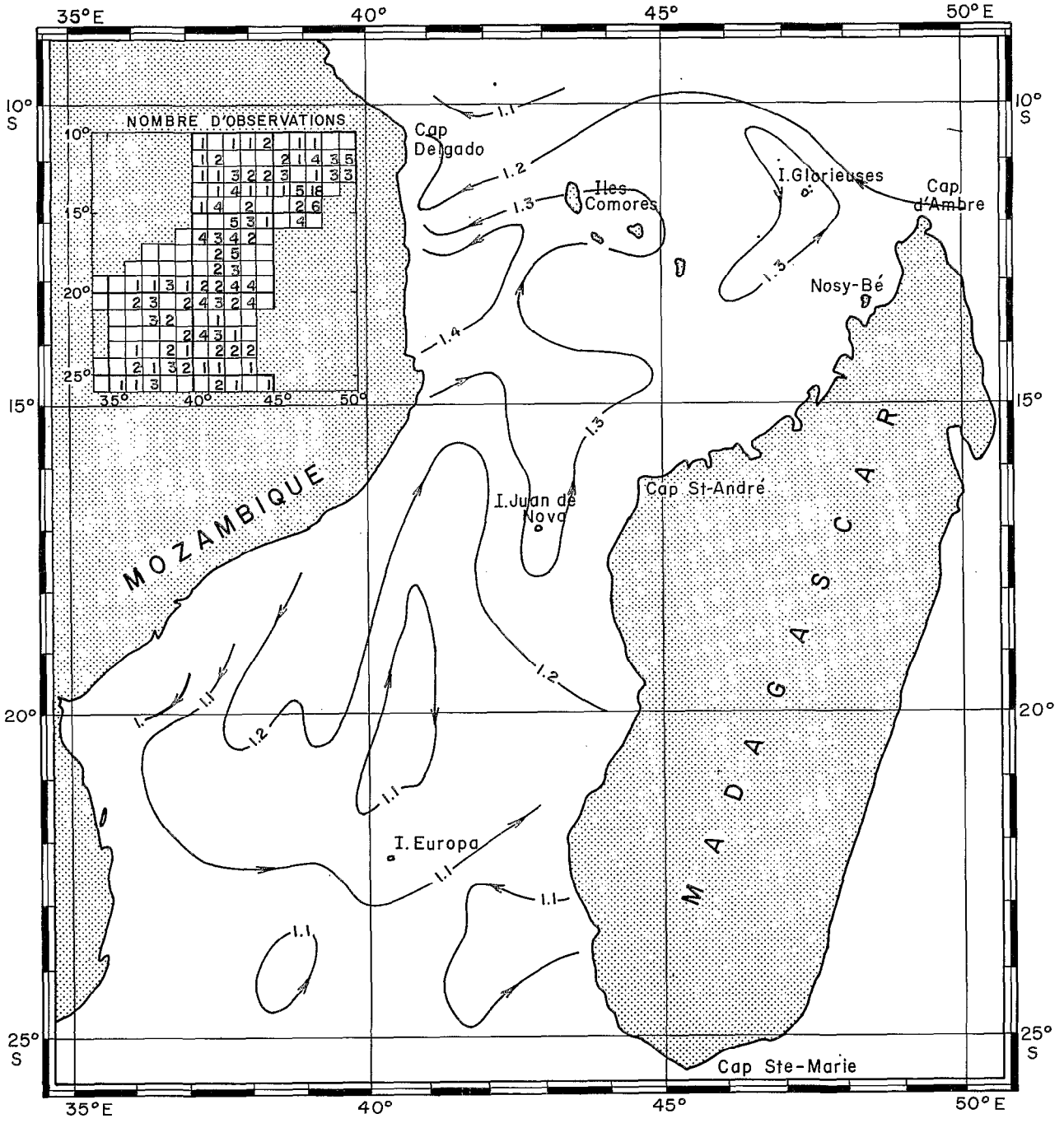

Figure 8c – Hauteur dynamique moyenne de la surface par rapport à 500 décibars, en juillet-août-septembre.

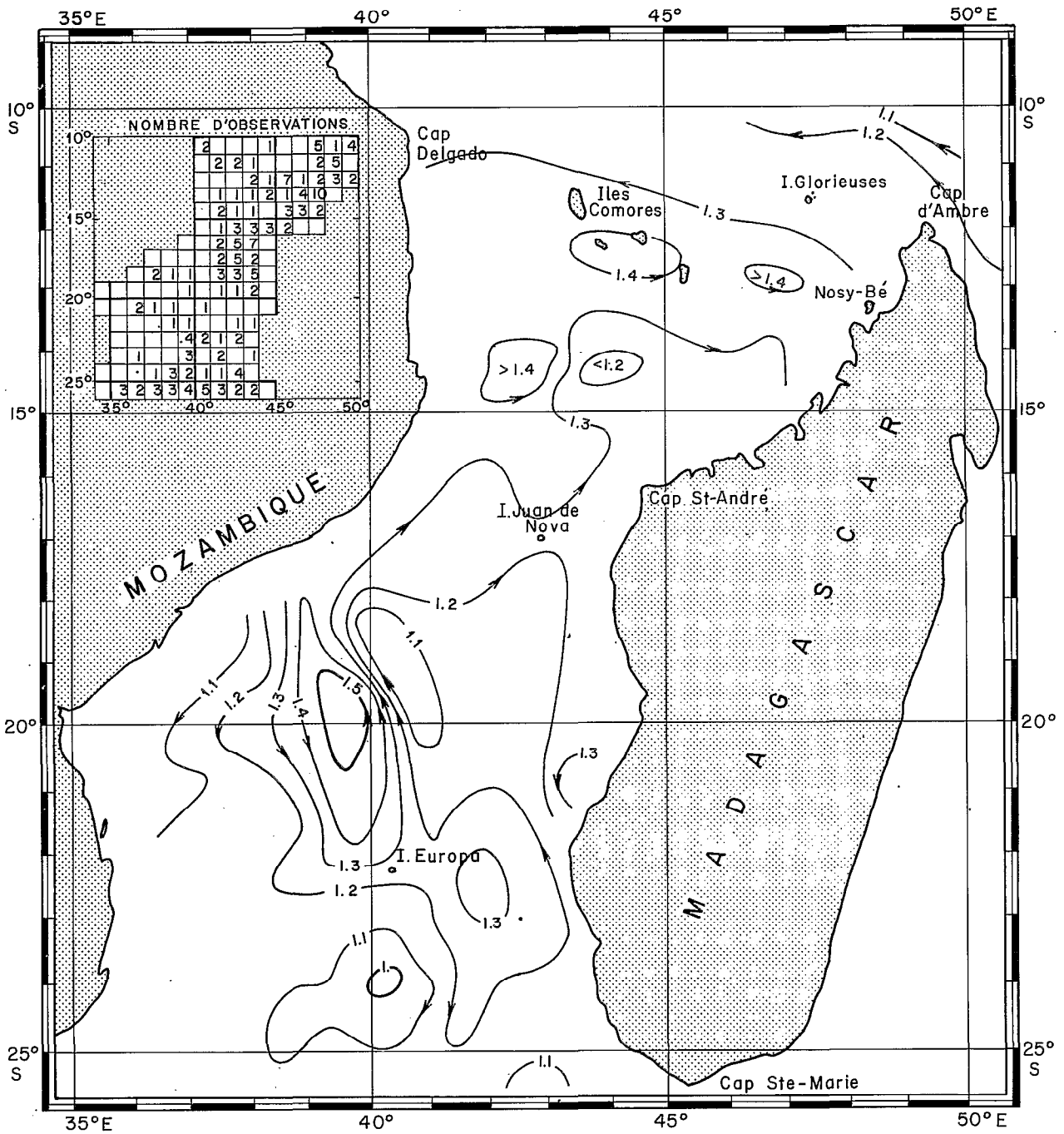

Figure 8d – Hauteur dynamique moyenne de la surface par rapport à 500 décibars, en octobre-novembre-décembre.

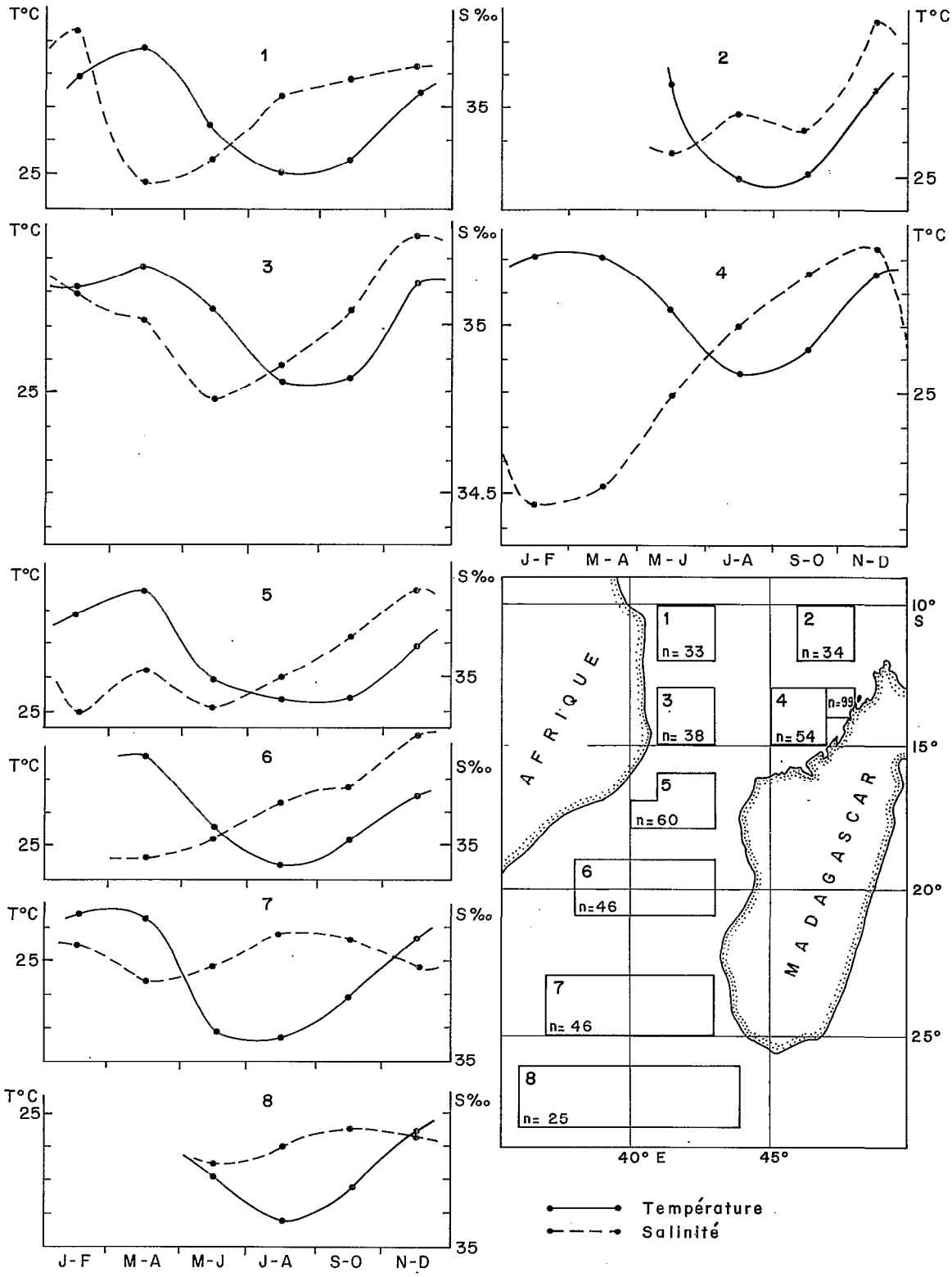

Figure 9 – Évolution annuelle de la température et de la salinité moyennes de surface par zone dans le Canal de Mozambique (n = nombre de mesures).

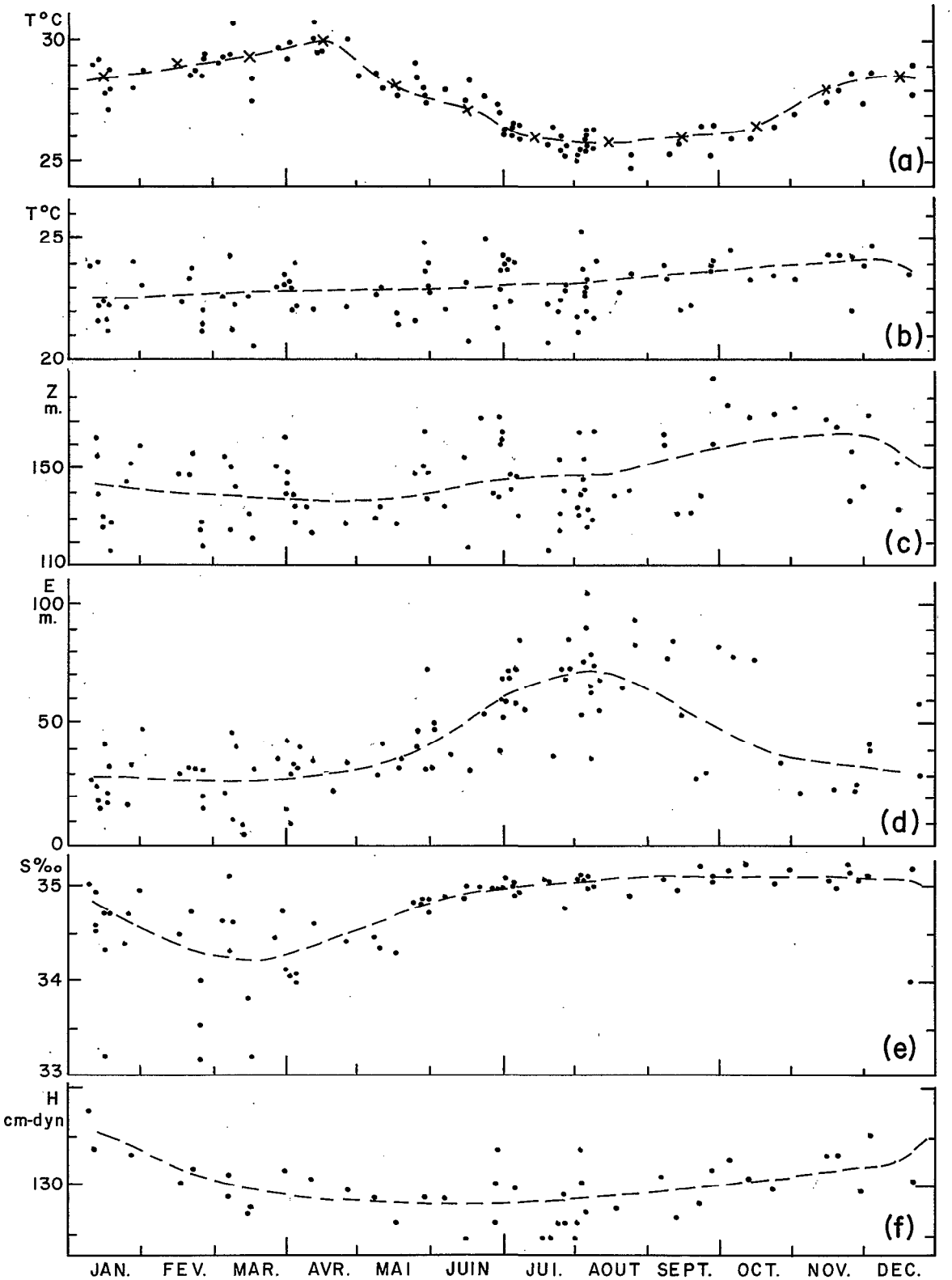

Figure 10 — Évolution annuelle des conditions hydrologiques de surface devant Nosy-Bé par 13° S - 14° S / 47° E - 48° E.

(a) température de surface, (b) température à 100 m, (c) profondeur de l'isotherme 20° C, (d) épaisseur de la couche homogène, (e) salinité de surface, (f) hauteur dynamique de la surface par rapport à 500 décibars.

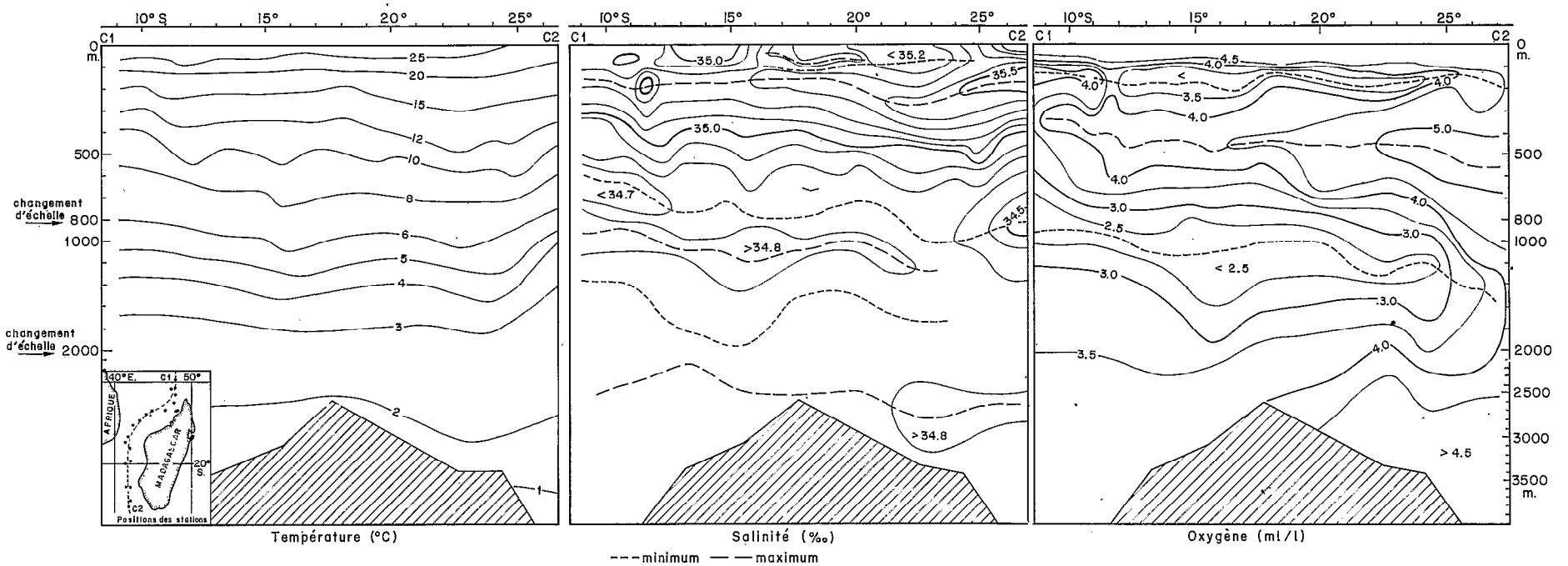

Figure 11 – Répartition verticale de la température, de la salinité et de l'oxygène dissous (en millilitre par litre d'eau de mer) le long d'une coupe méridienne dans le Canal de Mozambique.

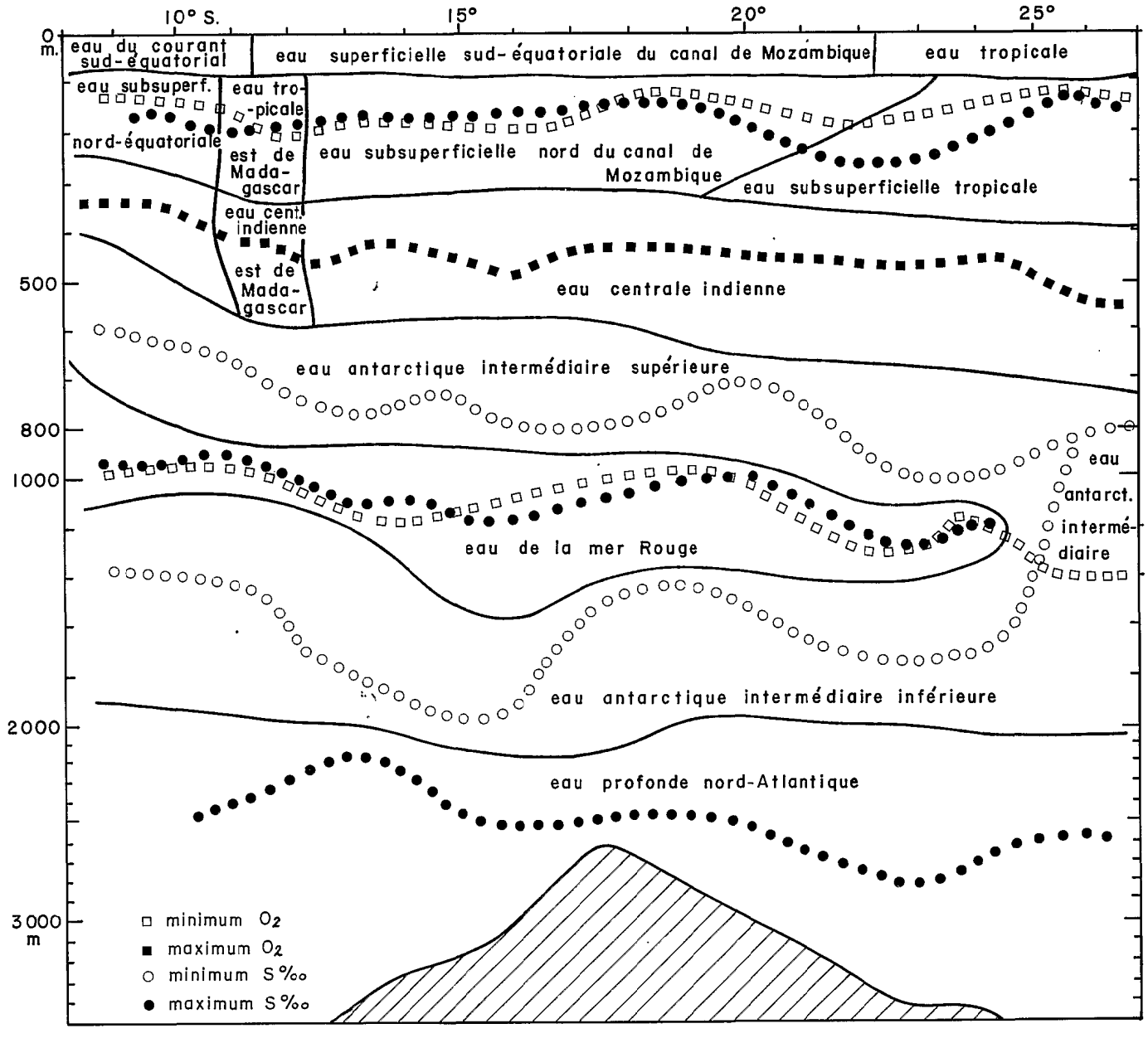

Figure 12 — Les masses d'eaux superficielles, subsuperficielles, intermédiaires et profondes dans le Canal de Mozambique.

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Direction générale :
24, rue Bayard - 75008 PARIS

Service des Publications :
70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY

O.R.S.T.O.M. Éditeur
Dépôt légal : 2e trim. 1981
I.S.B.N. : 2-7099-0603-1
Imp. S.S.C.