

O R S T O M

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION
LA REUNION

OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE DES PARAGES DE L'ILE DE LA
REUNION (OCEAN INDIEN)

PAR

Bernard PITON et Marc TAQUET

OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE DES PARAGES DE L'ILE DE LA
REUNION (OCEAN INDIEN)

PAR

Bernard PITON* et Marc TAQUET*
ORSTOM IFREMER

SOMMAIRE

RESUME

1 - CADRE GEOGRAPHIQUE

2 - CADRE METEOROLOGIQUE

3 - QUELQUES CARACTERISTIQUES METEOROLOGIQUES DE LA ZONE
COTIERE REUNIONNAISE

- 3.1. La pression atmosphérique
- 3.2. La température de l'air
- 3.3. Les précipitations
- 3.4. Les vents

4 - LES MASSES D'EAU AUTOUR DE LA REUNION

5 - OCEANOGRAPHIE COTIERE

- 5.1. Les courants
- 5.2. La température de surface
- 5.3. La salinité de surface
- 5.4. Le niveau moyen

6 - LES STRUCTURES THERMIQUES VERTICALES AUTOUR DE LA REUNION

7 - CONCLUSION

*

B.P. 60, 97822 LE PORT Cédex - LA REUNION

RESUME

L'île de La Réunion, de 60 kilomètres environ de diamètre, émerge de fonds supérieurs à 4 000 mètres dans la partie sud du courant sud-équatorial entretenu toute l'année par les alizés du sud-est de l'Océan Indien tropical sud. Elle se trouve en fait (21°10S - 55°30E) en zone oligotrophe (pauvre) de la partie centrale d'une circulation générale anticyclonique tropicale soumise au seul balancement saisonnier entre un été chaud et humide de novembre à avril et un hiver froid et sec de mai à octobre. Les caractéristiques océanographiques de surface (température, salinité, courants, niveau moyen) sont placées dans leur contexte météorologique général (pression atmosphérique, vent, pluie) à chaque saison. Une analyse des masses d'eau jusqu'au fond est faite, avec une attention particulière à la description de la structure thermique de la couche 0-300 mètres.

Les originalités météorologiques et océanographiques réunionnaises sont recensées, en particulier l'action des dépressions et cyclones tropicaux, touchant La Réunion, sur le niveau moyen de la mer. Après analyse de quelques types d'évolution de ce paramètre, il est émis l'hypothèse que la circulation de surface est moins monotone que celle généralement admise sous l'action de champs de vent pouvant subir d'importants changements saisonniers, et même au cours d'une même saison, dans l'est de Madagascar.

1/ CADRE GEOGRAPHIQUE

L'île de La Réunion est située à 700 kilomètres dans l'est de Madagascar, en position de charnière entre le bassin des Mascareignes au nord et le bassin de Madagascar au sud, où les fonds peuvent être supérieurs à 5 000 mètres (fig.1). Elle se trouve dans l'extrémité sud de l'arc commençant à 4°S et constitué d'îles et de bancs dont le plateau des Seychelles, le banc de Saya de Malha, le banc de Nazareth, les îles Cardagos Carajos et l'île Maurice. Cette dernière est à 170 kilomètres dans l'est-nord-est de La Réunion dont elle est séparée par des fonds atteignant 4 000 mètres. La minuscule île Tromelin est à 570 kilomètres dans le nord-nord-ouest de La Réunion, et le banc des 90 milles ou Mont Lapérouse, culminant à - 54 mètres, à 185 kilomètres dans le nord-ouest de l'île.

Avec ROBERT (1985), on peut dire que l'île de La Réunion est un édifice isolé, une "île océanique", qui serait née, pour les spécialistes, d'un "paléo-rift" ayant fonctionné il y a 60 millions d'années, plutôt que d'un "point chaud".

Plus prosaïquement, c'est une île de forme vaguement ellipsoïdale, orientée NW/SE, de grand axe de 72 kilomètres et de petit axe de 53 kilomètres, pour une superficie totale de 2 512 kilomètres carrés, culminant à 3 069 mètres au Piton des Neiges (fig.2). Sa position moyenne est très voisine de 21°06S-55°33E.

Quelques récifs coralliens bordent la côte dans l'extrême ouest et dans le sud-ouest de l'île (fig.2) isolant un lagon dont la largeur maximale est de 300 à 400 mètres. Le plateau continental limité par l'isobathe 100 mètres est très peu développé, sauf dans le nord-ouest de St-Gilles où il atteint 6,5 kilomètres de large; ailleurs, il est quasi-inexistant, entre quelques dizaines de mètres et 1 à 2 kilomètres, avec des tombants aux pentes importantes, pouvant atteindre 100% dans l'est, et généralement de l'ordre de 10 à 20% jusqu'aux sondes 2 000 mètres, et de 5 à 7% jusqu'aux sondes 3 000 mètres.

2/ CADRE METEOROLOGIQUE

Les 2 cartes de la figure 3 présentent en même temps la pression atmosphérique et le vent de surface aux deux saisons été et hiver austral (LE BORGNE, 1987).

Toute la partie nord de l'Océan Indien est sous la dépendance du phénomène de mousson lié à la présence du continent asiatique. En hiver austral (juillet, fig.3a), les basses pressions s'établissent sur ce continent et attirent la mousson de sud-ouest, continuation vers le nord des alizés de sud-est atteignant la latitude 5°S durant cette saison. De 5°S jusque vers 25°S, les alizés soufflent sur le "versant" nord des aires anticycloniques qui occupent le sud de la zone tropicale, au maximum de leur développement à cette époque, et axée sur 30°S en juillet. La Réunion est alors en pleine zone d'alizés soufflant régulièrement avec une force de 5 à 6 Beaufort (20 à 30 noeuds).

En été austral (janvier, fig. 3b), les hautes pressions qui s'établissent sur le continent asiatique provoquent le renversement de la mousson de sud-ouest : la mousson de nord-est s'établit sur le nord de l'Océan Indien et se dirige vers les basses pressions situées entre l'équateur et 15°S où règne un vent dominant de nord-ouest jusqu'à la zone intertropicale de convergence (ZITC) ou "équateur météorologique", limite nord des alizés de sud-est. Dans l'Océan Indien, cette ZITC peut descendre jusqu'à 20°S, et même 25°S dans le canal de Mozambique (PITON, 1989), avec affaiblissement des anticyclones sud-indiens centrés sur 35°S. Autour de La Réunion, le vent souffle du secteur est dominant, force 3 à 4.

"Au sud de cette ceinture anticyclonique (axée sur 30-35°S), la pression atmosphérique baisse très rapidement en toutes saisons vers le lit du courant de perturbation du "front polaire austral, vers 50°S-60°S.

"A leur passage d'ouest en est, ces perturbations entament plus ou moins profondément la bordure sud des "cellules anticycloniques : des courants dérivés du front "polaire peuvent traverser les zones de liaison de deux

"cellules anticycloniques et développer leur influence jusqu'à "La Réunion et surtout dans le canal de Mozambique" (ANONYME, 1984).

Ces courants issus du front polaire peuvent jouer un rôle dans le déclenchement du processus de formation d'un cyclone tropical. On ne peut pas parler de météorologie du sud de l'Océan Indien tropical sans parler des dépressions et des cyclones tropicaux. Mais s'agissant d'un phénomène complexe, nous nous contenterons encore de citer les Instructions Nautiques (ANONYME, 1984) : "Dans l'Océan Indien, les cyclones "se forment dans la zone intertropicale de convergence, dans "les régions où la température de la mer est élevée, "l'atmosphère humide sur une grande épaisseur, et où se "développent de puissants mouvements de convection". Dans l'Océan Indien, cette zone de formation de cyclones est située entre 6°S et 15°S, de 50°E à 90°E; les cyclones se déplacent ensuite vers le sud et suivent des trajets plus ou moins incurvés vers l'ouest.

Il est intéressant de signaler l'existence possible, dans l'Océan Indien, de deux zones de convergence (CITEAU et DEMARQ, 1990). En fait, nous référant à LE BORGNE (1987), la ZITC dans l'Océan Indien correspond plutôt à un "thalweg de mousson" (monsoon trough) puisque la convergence est située entre un flux d'alizé et un flux de mousson, par opposition au "Trade wind trough" situé entre les flux d'alizés de deux hémisphères, comme dans l'océan Atlantique. Il en découle deux lignes de discontinuité d'intensité convective différente : la ZITC proprement dite située dans les basses pressions, et une zone "tampon" (buffer zone) située dans la limite sud de la mousson d'été ou d'hiver (fig.3a et 3b). Le long de ces lignes de discontinuité l'activité convective est très variable (LE BORGNE, 1987), mais toujours importante.

3/ QUELQUES CARACTERISTIQUES METEOROLOGIQUES DE LA ZONE COTIERE REUNIONNAISE

3.1. La pression atmosphérique

La Réunion est pratiquement toujours située sur le versant nord de l'Anticyclone sud-indien, et assez rarement dans le sud de la zone intertropicale de convergence. La pression atmosphérique est donc relativement élevée toute l'année, avec des valeurs maximales, supérieures à 1015 millibars (ou hectopascals) de mi-mai à mi-novembre (hiver) et des valeurs minimales, inférieures à 1015 millibars de mi-mai à mi-novembre (été). Entre 1953 et 1970, la pression la plus élevée enregistrée à La Réunion a été de 1027,3 millibars (ANONYME, 1986); les plus faibles valeurs, entre 960 et 970 millibars sont trouvées lors du passage de cyclones (la plus faible valeur enregistrée dans la zone étudiée serait de 932 millibars à Tromelin lors du passage du cyclone "Hortense" en février 1973, ANONYME, 1986).

3.2. La température de l'air

La température de l'air permet de distinguer la saison chaude, à température moyenne supérieure à 23,7°C dans le nord de l'île par exemple, de mi-mai à mi-novembre, et la saison froide à température inférieure à 23,7°C de mi-novembre à mi-mai (fig.4b). D'après ROBERT (1985), la température annuelle moyenne sur le pourtour de La Réunion est supérieure à 23°C, mais dépasse 24°C dans l'ouest de l'île.

Le seul "accident" notable observé dans l'évolution de la température moyenne de l'air est provoquée par les fortes pluies lors de cyclones : du 16 au 27 janvier 1980 (cyclone HYACINTHE), le Service Météorologique de La Réunion a signalé un refroidissement des températures maximales de 3° à 5°C.

3.3. Les précipitations

La proximité de la zone intertropicale de convergence qui peut descendre en été jusqu'au voisinage de La Réunion conduit à des précipitations annuelles assez importantes, entre 1 et 1,5 mètre sur l'océan autour de l'île, nettement plus élevées que dans l'est de l'Océan Indien à même latitude (0,5 mètre). Près de la côte, dans le nord de l'île par exemple, la saison des pluies couvre la période allant de mi-novembre à mi-mai, durant laquelle peuvent tomber de fortes pluies liées aux passages des cyclones, et la saison sèche la période allant de mi-mai à mi-novembre, pour un total annuel moyen de 1,6 mètre (fig.4c).

En fait ce qui caractérise principalement le climat à La Réunion, en dehors des cyclones, c'est l'extrême disparité dans la répartition spatiale des pluies annuelles sur une île aussi petite, mais très montagneuse. En effet, les montagnes font barrière aux alizés de sud-est chargés d'humidité, et il peut se développer sous le vent de ces obstacles un effet de foehn. Il en découle que le long de la côte sud-est, les précipitations annuelles moyennes sont supérieures à 4 mètres (et jusqu'à presque 10 mètres sur les hauteurs), tandis que dans l'ouest, un cordon côtier reçoit annuellement moins de 1 mètre de pluie et même seulement 0,5 mètre à St-Gilles (fig.5).

3.4. Les vents

Avec un relief tourmenté (montagnes jusqu'à 3 000 mètres, et vallées plus ou moins larges et profondes), le vent près des côtes et jusqu'à 10 milles au large ne peut qu'être variable d'un jour à l'autre, et en cours de journée. C'est ainsi qu'au Port, sous le vent dominant de l'île, le vent a 3 directions principales selon l'orientation du flux d'alizés, qui peut être d'est ou de sud-est, et l'intensité des différentes instabilités créées dans l'île : vent de sud-ouest lorsque les alizés contournent l'île plutôt par le sud, vent de nord-est lorsqu'ils le contournent par le nord et vent d'est (foehn et brise de terre) s'établissant d'autant plus

facilement que le régime d'alizés est faible. Il est possible de retrouver ainsi en chaque point de la côte l'explication de la direction de tel ou tel vent. Il se dégage une "impression" de vents "rentrants" autour de l'île, de la mer vers la terre, souvent confirmée par les cartes journalières de vent présentées par le Service Météorologique de La Réunion. Les vitesses moyennes de vent autour de l'île sont modérées : à St-Pierre par exemple, dans le sud-sud-ouest, elles ne dépassent pas 14 m/s (force 6) dans 99% des cas, et sont en moyenne plus élevées en hiver austral.

Au large, au delà des 10 milles, le vent est largement dominant de secteur est-sud-est, avec des vitesses moyennes de l'ordre de 7 m/s en août et 4 m/s en février (HASTENRATH et LAMB, 1979).

Il est cependant intéressant, pour une meilleure compréhension ultérieure de la circulation océanique de surface autour de La Réunion, de montrer par quelques situations typiques de répartition des pseudo-tensions de vent que le champ de vent autour de l'île n'est pas aussi uniforme que généralement admis.

La force qui agit sur la surface de la mer s'appelle la tension de vent, et dépend de sa vitesse et de sa direction, du coefficient de frottement et de la densité de l'air ; elle est exprimée en dyne/cm². Dans les modèles de circulation océanique, il a été jugé suffisant d'utiliser les pseudo-tensions de vent qui ne dépendent que de la vitesse et de la direction du vent et sont exprimés en m²/s². O'BRIEN et STRICHERZ (1991), établissent des cartes mensuelles de pseudo-tensions de vent sur l'Océan Indien à partir des données provenant des bateaux et de modèles. Quatre situations typiques ont été relevées pour commentaires (fig.6). En janvier 1991, Madagascar se trouve au milieu d'une zone où le vent est soit faible soit variable en direction, excepté dans le sud de l'île où le flux est franchement ouest; autour de La Réunion, il est de même ouest-nord-ouest, tandis qu'à même longitude, il est faible et indécis au nord de 14°S. L'impression globale qui se dégage d'une telle figure est que la zone de basses pressions (dans laquelle s'inscrit la ZITC) englobe le canal de Mozambique, les parages de Madagascar et est située vers 10°-12°S dans le nord de La Réunion. En février 1991 par contre, la mousson de nord-ouest occupe le nord du canal de Mozambique, repoussant la zone de vent faible et/ou instable dans sa partie sud, alors que dans l'est de Madagascar, cette zone se trouve plus au nord vers 15°S, avec développement d'un flux non négligeable vers le sud-sud-ouest entre La Réunion et Madagascar.

La première situation d'hiver montre en août 1991 un déséquilibre important entre le flux nord-ouest, de La Réunion vers le nord de Madagascar, et un flux faible et variable dans le sud de Madagascar. La seconde situation, septembre 1991, montre en revanche un meilleur "équilibre" entre le flux passant par le nord de Madagascar et celui qui passe par le sud. On voit par cette analyse rapide que la circulation océanique de surface, théoriquement sous étroite dépendance

du champ de vent, pourrait aussi ne pas être aussi uniforme dans le temps et l'espace que décrite habituellement.

4 - LES MASSES D'EAU AUTOUR DE LA REUNION

Le nom des masses d'eau caractérisées à un endroit par ses caractéristiques physico-chimiques se rapporte soit à leur lieu d'origine soit à leur mode de formation.

Autour de La Réunion, on peut distinguer 5 masses d'eau entre la surface et le fond (4 000 mètres) :

- l'eau superficielle du courant sud-équatorial, de 40 à 100 mètres d'épaisseur selon les saisons, de température évoluant entre 23°C en hiver et 28°C en été et de salinité variant entre 34,90‰ et 35,30‰, sans cycle annuel décelable, du moins dans l'Atlas de WYRTKI (1971),

- l'eau subsuperficielle tropicale sud, entre 40-100 mètres et 380 mètres de profondeur, située dans la thermocline et caractérisée par des valeurs maximales de salinité jusqu'à 35,6‰ vers 250 mètres et minimales d'oxygène dissous jusqu'à 4,10 ml/l vers 200 mètres et dont l'origine est située vers 30°-35°S, zone où l'évaporation est supérieure aux précipitations (convergence tropicale),

- l'eau centrale indienne, de 380 à 720 mètres, eau de mélange entre la précédente et l'eau Antarctique intermédiaire, caractérisée par un maximum d'oxygène (5,2 ml/l),

- l'eau Antarctique intermédiaire, entre 720 et 1 900 mètres, caractérisée par un minimum de salinité (34,55‰ à 950 mètres de profondeur) et dont l'origine est la convergence Antarctique vers 45°S (les valeurs minimales en oxygène dissous jusqu'à 3,2 ml/l à 1 400 mètres sont la trace de l'influence de l'eau de la Mer Rouge),

- l'eau profonde nord-Atlantique, entre 1 900 et 4 000 mètres caractérisée par un léger maximum de salinité (34,75 ‰ à 3 300 mètres).

Ces 5 masses d'eau sont trouvées avec leurs caractéristiques respectives sur la figure 7.

La structure verticale de quelques propriétés physico-chimiques de la couche 0-600 mètres située dans un ensemble plus vaste, entre 10°S et 35°S est illustrée par les figures 8 et 9. Tandis qu'en surface, la température (février-mars), décroît lentement de 28°C à 10°S jusqu'à 24°C à 29°S, puis plus rapidement jusqu'à 20°C à 35°S, il est noté sous la couche superficielle une remontée générale des isothermes vers la surface, de 22°-23°S jusqu'à 10°S, avec resserrement des isothermes, ce qui aboutit à une thermocline bien marquée à 10°S (fig. 8a) : ceci est la conséquence de l'écoulement général vers l'ouest du courant sud-équatorial.

Au sud de 22°-23°S, qui situe en latitude la position de la convergence tropicale sud ou de la crête dynamique (fig.8, encadré), ou encore la zone où l'eau dans les 1 000 premiers mètres est la plus légère, les isothermes supérieures à 15°C "remontent" vers la surface, tandis que celles inférieures à 15°C sont trouvées de plus en plus en profondeur. En fait, on peut situer entre 23°S et 33°S le flux de retour vers l'est (FRE) du "gyre" anti-cyclonique qui occupe la zone tropicale sud de l'Océan Indien.

En salinité, on peut remarquer la dessalure (jusqu'à S < 34,6 ‰) observée en surface entre 10°S et 17°S, qui est la signature du courant sud-équatorial originaire des zones pluvieuses proches de l'Indonésie. La salinité de surface supérieure à 35,5‰ (et jusqu'à 35,65‰) trouvée au sud des 31°S est la signature de l'excédent d'évaporation sur les précipitations. On voit (fig. 8b) le cheminement de cette eau à maximum de salinité vers le nord, jusqu'à 15°S, entre 150 et 350 mètres de profondeur. La figure 9a souligne le contraste existant entre l'eau "jeune" à teneurs en oxygène élevées (supérieures à 5 ml/l) au sud de 20°S, et une eau moins renouvelée, à teneurs en oxygène plus faibles au-dessous de 100 mètres de profondeur (inférieurs à 4 ml/l) au nord de 13°S. C'est ici qu'est faite la distinction, typique de l'Océan Indien, entre l'océan "ouvert" au sud de 13°S et l'océan "semi fermé" au nord (MAGNIER et PITON, 1974).

Traces de cette distinction sont évidemment trouvées dans la répartition verticale des teneurs en nitrate : au dessous de la couche superficielle aux teneurs quasiment nulles, il y a opposition entre l'eau au sud de 13°S où les teneurs en nitrate atteignent à peine 15 µatg/l vers 600 mètres de profondeur, tandis qu'au nord, les teneurs peuvent atteindre 35 µatg/l (fig.8b), avec un front marqué vers 13°S entre ces 2 eaux.

5 - OCEANOGRAPHIE COTIERE DE SURFACE

5.1. Les courants

L'île de La Réunion émerge d'un très large courant de dérive vers l'ouest, le courant sud-équatorial, s'écoulant à une vitesse moyenne de 0,5 noeud sur près de 2 000 kilomètres de large entre 7-8°S et 23-25°S. Les perturbations dans l'écoulement de ce courant provoquées par La Réunion ne peuvent donc n'être que faibles à l'échelle océanique, à l'inverse des perturbations créées par la présence de Madagascar situé à travers de ce flux sur 1 500 kilomètres. On voit en effet (fig.10) que le courant sud-équatorial se divise en deux branches nord et sud devant la côte est de Madagascar à une latitude fluctuante qui pourrait, à certaines périodes de l'année, se situer vers 17°-18°S, comme le montre la dérive ouest-nord-ouest à 0,7 neud de moyenne d'une bouée larguée en juin 1979 dans le nord-est de Maurice et qui a viré de 90° vers le sud devant Madagascar à 17°30S (LUTJEHARMS, et al., 1981). La dérive d'une autre bouée, larguée en janvier 1977

dans le sud-ouest de La Réunion, est plus faible et plus sinueuse (fig.10). On peut d'ailleurs se demander s'il n'y a pas possibilité de flux de retour d'ouest ou courant de rétroflexion provoqué par Madagascar, plutôt en été austral lors de l'affaiblissement des alizés ou de l'établissement de vents d'ouest ou sud-ouest lors de passage de cyclone, comme le prouve la présence d'épaves d'origine malgache dans les eaux réunionnaises signalée par les pêcheurs réunionnais (PAGES, A. communication personnelle).

En ce qui concerne les abords immédiats de La Réunion, aucune représentation globale des courants océaniques n'est disponible. On ne peut donc que citer les Instructions Nautiques (ANONYME, 1984) : "D'une manière générale, aux "approches de La Réunion, le courant porte vers l'ouest quand "on se trouve au nord de l'île; il porte vers le SW quand on "se trouve au sud de l'île. A l'est et à l'ouest de l'île, le "courant est très irrégulier. A 3 milles au large du Port des "Galets, le courant atteint parfois une vitesse de 3 noeuds. "Plus près de la côte, il porte le plus souvent au nord et sa "vitesse ne dépasse pas 0,7 noeud".

Il y aurait des effets d'île non négligeables qu'il serait intéressant d'étudier globalement.

Des études d'impact avec mesures de courant en continu ont été effectuées sur fonds de moins de 100 mètres dans le nord et l'ouest immédiats de La Réunion. Aux immersions des mesures (5, 15, 30 et 50 mètres), les courants sont de directions très majoritairement parallèles à la côte, alternant généralement avec la marée de type semi-diurne, avec cependant plus ou moins de retard et de constance. Par exemple, en baie de Saint-Paul, le courant à 15 mètres de profondeur (sur fonds de 50 mètres, à 600 mètres du rivage) porte en moyenne alternativement au nord-nord est à marée montante et au sud à marée descendante (fig.11); par contre il porte à l'est-nord-est à marée montante et à l'ouest-sud-ouest à marée descendante à même immersion à 1000 mètres du rivage dans la baie de la Possession, avec des vitesses de 0,5 noeud en moyenne, pouvant atteindre 1,5 noeud exceptionnellement (ANONYME, 1987). Cette alternance avec la marée est assez étonnante vu la faiblesse du marnage (0,9 mètre au maximum au Port des Galets), mais peut disparaître pendant 20-24 heures, principalement durant les marées de vives-eaux et plutôt à 30-50 mètres de profondeur, pour des raisons non élucidées.

Une autre constante est observée dans les résultats de ces mesures courantométriques côtières : les hodographes intégrés, simulant le trajet virtuel d'une particule d'eau originaire du point de mesure, montrent toujours un trajet plus ou moins oblique vers la côte, avec des vitesses résiduelles de 1 à 4 cm/s, quelle que soit la profondeur 5, 15, 30 et 50 mètres des mesures. Ce résultat est dû au courant résiduel d'entraînement de la houle devenant plus ou moins parallèle à la côte peu avant le déferlement. A La Réunion, les houles les plus fréquentes sont les houles d'alizés contournant l'île par le nord-est et le sud-ouest, d'une période de 5 à 10 secondes et d'une amplitude de 1 à 2 mètres,

pour une longueur d'onde de 50 à 70 mètres ; la profondeur jusqu'à laquelle les mouvements de houle se font sentir est donc de 50 à 70 mètres au maximum. Des houles plus fortes, mais plus rares, peuvent atteindre La Réunion : les houles australes de période de 12 à 20 secondes, d'amplitude 3 à 6 mètres et de longueur d'onde 200 à 300 mètres, encore appelées localement "raz de marée", ont pour origine des coups de vent par 40°S dans le sud de l'Afrique (15 à 30 jours par an), et les houles cycloniques intéressant La Réunion en moyenne 3 à 4 fois par an (BOSC, 1987).

5.2. La température de surface

L'évolution annuelle de la température de surface autour de La Réunion, tracée à partir des températures mensuelles moyennes trouvées dans l'Atlas de HASTENRATH et LAMB (1979), peut servir de référence aux mesures effectuées ponctuellement dans le proche voisinage de l'île (fig.12). Les températures les plus élevées (27,4°C) sont trouvées en février-mars, les plus faibles (22,6°C) en août-septembre : la différence annuelle est de 4,8°C entre l'été et l'hiver, typique des eaux tropicales ne subissant pas de refroidissements saisonniers par "upwelling". Ces températures restent voisines des moyennes mensuelles trouvées dans l'Atlas de WYRTKI (1971), mais inférieures de 1 degré en moyenne à celles trouvées dans les différents rapports concernant les eaux très proches de La Réunion, ainsi qu'à celles issues des observations faites par les navires près de l'île.

La température la plus élevée observée en baies de La Possession et de Saint-Paul a été de 29,2°C le 24 février 1987 par BERTRAND et al. (1987) et la plus faible (22,4°C) en août 1982 par GAMBERONI et al. (1984) tout près de la côte sud-est de La Réunion (fig. 13c). On peut tracer une courbe approximative d'évolution de la température de surface près de La Réunion (hors lagon), entre 28°C au maximum et 23,5°C au minimum, de part et d'autre d'une moyenne annuelle de 25,8°C, délimitant une saison chaude de mi-novembre à mi-mai et une saison froide de mi-mai à mi-novembre, en phase avec les saisons "délimitées" par la température moyenne de l'air.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
27,4	27,9	28,0	27,5	26,4	25,3	24,0	23,5	23,5	24,1	25,4	26,5

Tableau 1 : Températures moyennes mensuelles probables près de La Réunion, hors lagon (cf. fig. 12)

Les températures ayant servi à la discussion précédente ont été relevées tout autour de La Réunion, du voisinage de la côte (hors lagon) jusqu'à une cinquantaine de milles au large. La question se pose de savoir s'il existe une répartition horizontale des températures de surface autour de l'île liée soit à la position géographique du prélèvement, soit à des effets d'îles, soit à d'autres phénomènes locaux comme

l'arrivée d'eau douce, et froide, par les rivières ou les résurgences etc...

Le gradient thermique méridien entre les températures élevées au nord et les températures plus froides au sud dans la zone océanique de l'est de Madagascar est plutôt faible, de l'ordre de 0,5°C en 120 milles, donc quasiment indécélable par des mesures ponctuelles hétérogènes dans l'espace et le temps ainsi que par la méthode de mesure, sur une centaine de milles de latitude. Trois campagnes ayant comme objectif la description hydrologique du pourtour de La Réunion ont été effectuées en août 1987 et avril 1979 (LEROY et BARBAROUX, 1980) à partir d'un remorqueur portuaire, et en août-septembre 1982 (GAMBERONI et al, 1982) à partir du MARION DUFRESNE. En avril 1979, on note (fig.13a) que la température de surface est moins élevée dans la moitié est de l'île, entre un minimum de 26,1°C tout près de la côte sud-est et 26,6°C, que dans l'ouest où elle est trouvée entre 26,6°C et un maximum de 27,8°C au large dans le nord-ouest. Considérant que la température moyenne en avril est de 27,5°C, on peut dire que les températures trouvées dans l'est sont plutôt froides pour la saison, ce qui peut s'expliquer soit par une arrivée d'eau froide venant du sud, soit par un brassage important de la couche superficielle par le vent, "entamant" le sommet de la thermocline, d'où une couche homogène ou de mélange, plus épaisse (jusqu'à 75 mètres) dans l'est que dans l'ouest (50 mètres en moyenne). Dans cette zone de l'extrême sud-est de La Réunion, un refroidissement de l'eau de surface par mélange avec l'eau douce et froide issue de résurgences n'est pas exclu tout près de la côte. Il conviendrait d'effectuer une étude plus fine sur ce phénomène par mesures simultanées de la température, de la salinité et d'un autre traceur de l'eau douce, comme le nitrate ou le silicate.

Une tendance plutôt inverse, c'est-à-dire eau froide (24°C au minimum) dans le nord de l'île et plus chaude vers l'est et le sud (24,4°C en moyenne) a été trouvée en août 1977 (fig.13b), température légèrement plus élevées que la moyenne adoptée pour le mois d'août (23,5°C). La figure 13c confirme la présence permanente possible d'une eau sensiblement plus froide (moyenne autour de 22,8°C) devant la côte est et sud de l'île, contre une moyenne de 23,3°C vers le nord-nord-ouest, observations effectuées en août 1982 cette fois, en saison sèche.

On peut signaler ici le refroidissement de 2,2°C (de 27,0°C le 5 décembre 1991 à 24,8°C le 9 décembre) mesurée à l'extrémité d'une jetée du port ouest des Galets suite à un coup de vent de sud-sud-ouest (vent de reflux, vitesse maximum de 30 neuds le 7 décembre au matin). L'examen d'enregistrements de la température mesurée toutes les 20 minutes par les courantomètres AANDERAA (données DDE) a fait apparaître la possibilité de refroidissements non négligeables de la couche superficielle par les ondes internes. Ici aussi, une étude plus poussée des conséquences physiques, chimiques et biologiques de ce phénomène serait intéressante.

5.3 La salinité de surface

A ce jour, aucun cycle annuel dans l'évolution de la salinité de l'eau de surface n'a été mis en évidence autour de La Réunion. Etant donné le cycle annuel des précipitations, on devrait trouver des eaux moins salées à partir de janvier et jusqu'à avril-mai par exemple. C'est aussi ce qui ressort de l'examen des cartes bimestrielles de la salinité de surface dans l'Océan Indien de l'Atlas de WYRTKI : salinité moyenne sur le pourtour de La Réunion inférieure à 35,10‰ de janvier à juin, et supérieure à 35,10‰ de juillet à décembre. Les résultats de la campagne du mois d'avril 1979 semblent avoir été influencés par les pluies locales, car les plus faibles salinités (34,7-34,8‰) ont été trouvées parmi des salinités voisines de 35,0-35,1‰ dans l'est et le sud-est de l'île, contre des salinités de 35,15 à 35,30‰ dans l'ouest et le nord, pour une moyenne générale de 35,14‰. En août 1977, la salinité de surface a toujours été supérieure à 35‰, entre 35,04‰ et 35,22‰ (moyenne observée : 35,15‰).

5.4 : Le niveau moyen

La marée à La Réunion est de type semi-diurne à inégalité diurne, c'est-à-dire que les niveaux des 2 hautes mers (et basses mers) journalières sont sensiblement différents; le niveau moyen est de 0,50 mètre, avec des hauteurs minimales de 0,1 mètre et maximales de 0,95 mètre selon les prévisions du Service hydrographique. L'annuaire des marées rappelle qu'en dehors des "raz-de-marée qui causent des variations de niveau tout à fait anormales, il s'en produit de petits qui font monter ou descendre ce niveau d'une quantité variable pouvant atteindre 0,3 m.

Un marégraphe OTT a fonctionné au Port des Galets de 1974 à 1986 sous la responsabilité du Service Entretien et Dragage de l'Équipement. Le Service Hydrographique a calculé les niveaux moyens journaliers bruts à partir des lectures horaires des graphiques journaliers. L'examen de ces données montre effectivement un niveau moyen de 0,504 mètre, avec une sous-côte maximale de 0,305 m le 8 août 1974 (pression atmosphérique : 1018 mb et une sur-cote maximale de 0,283 m le 6 février 1977 (pression atmosphérique : 1003 mb). L'évolution annuelle des niveaux moyens mensuels montre (fig.14) une sur-cote moyenne de 5 cm de janvier à mai, et une sous-cote moyenne de 5 cm de juin à octobre, mais après correction de l'excédent ou du déficit de la pression atmosphérique mensuelle par rapport à la moyenne, en tenant compte du fait que 1 cm = 1 mb, on constate l'absence de signal saisonnier (fig.14).

Par contre, l'évolution du niveau moyen pendant l'année peut avoir une signification océanographique. Tout d'abord, trois exemples d'"accident" dans l'évolution du niveau moyen journalier au Port sont décrits pour mieux fixer les idées.

Le 11 janvier 1983 (fig. 15a), le niveau moyen a été de 0,309 mètre avec une pression atmosphérique de 1016 mb, donc excédentaire de 1 mb par rapport à la moyenne 1974-1985 (1015 mb). D'où un déficit réel de 0,185 mètre. Ce jour de mort-eau, le niveau moyen général n'a même pas été atteint à marée haute, tandis que le niveau 0 a été approché.

Le deuxième exemple montre (fig.15b) l'évolution de la marée du 27 janvier 1980, jour du passage du cyclone HYACINTHE dans le sud-immédiat de La Réunion (fig. 16a), par rapport à celles du 26 et du 28 janvier. Les niveaux moyens de ces 2 jours sont de 0,660 et 0,592 mètre respectivement, qui, ramenés à des valeurs réelles tenant compte des écarts des pressions atmosphériques journalières, 998 mb et 1000 mb, par rapport à la moyenne (1015 mb), sont de 0,49 et 0,44 m respectivement, très proche du niveau moyen général. Le 27 janvier, la "sous-cote" moyenne pour la journée après correction atmosphérique est de 1 cm, pour une "sur-cote" brute de 24 cm ! Ceci apparaît anormal pour un cyclone qui a donné origine à des vents forts sur la côte réunionnaise, jusqu'à 60 et 74 noeuds au maximum, de nord-ouest, au Port et à Gillot (fig.16b) et surtout provoqué des précipitations record de 1 mètre sur la côte à 6 mètres sur les hauteurs durant la seule période du 16 au 27 janvier 1980 (fig.16b).

Le troisième exemple enfin, concerne les effets d'une houle australe, celle du 4 au 7 septembre 1978 (BOSC, 1987), sur les niveaux moyens journaliers : seul un léger pic de 2 cm est effectivement décelable le 5 septembre sur la courbe d'évolution de ces niveaux.

On est donc amené à admettre qu'il existe des variations significatives des niveaux moyens journaliers, après corrections des effets directs des variations de la pression atmosphérique, et qu'on est en présence d'un signal océanique sous la dépendance directe des courants généraux dans les MASCAREIGNES. En 1974, l'amplitude maximum après correction est de 36 cm (fig. 17c) , pour un niveau moyen annuel de 0,46 m ; on distingue 4 périodes :

- en mars, avril et mai, niveaux moyens élevés, peut-être du fait de la présence autour de La Réunion d'eau chaude et légère accumulée par une circulation anticyclonique,

- en juin, juillet, août, niveaux moyens faibles pouvant s'expliquer par la présence d'eau froide dans une circulation rapide ou une divergence,

- en septembre, octobre, novembre, situation stable,

- en décembre, nouvel affaiblissement des niveaux moyens.

Durant l'année 1980, le signal est très différent de celui de 1974 avec en particulier une période de sur-cote en mai (fig. 18c). Les cyclones HYACINTHE, JACINTHE et la dépression KOLIA sont repérables facilement avant correction de pression (fig. 18a), mais plus difficilement ensuite.

Il n'est pas facile de tirer des conclusions des variations du niveau moyen données par un seul marégraphe. Au vu des champs possibles de pseudo-tensions de vent présentés sur la figure 5, on peut imaginer tout l'intérêt d'une étude basée sur les niveaux moyens provenant des sites de La Réunion, de Diego-Suarez à 660 milles dans le nord-ouest et de Fort-Dauphin à 540 milles dans le sud-ouest (fig.1).

6 - LES STRUCTURES THERMIQUES VERTICALES AUTOUR DE L'ILE DE LA REUNION

Parmi les différents paramètres décrivant l'océan, la température de la surface jusqu'à 500 mètres de profondeur est le paramètre le plus facile à mesurer. Sa mesure se fait soit par station hydrologique de type NANSEN (mesures ponctuelles par thermomètres à renversement) ou par bathysonde (mesure en continu par thermistance), soit au moyen de bathythermographe, autrefois mécanique avec enregistrement sur plaque fumée ou dorée, actuellement par bathythermographe à tête perdable ou système XBT (de eXpendable BathyThermograph), appelé "Sippican" du nom du fournisseur. Cet appareil consiste en une cartouche contenant à une de ses extrémités un poisson profilé à ailettes dans lequel est placée une thermistance ; cette thermistance est reliée à 3 plots conducteurs sur l'autre extrémité de la cartouche par un fil très long et très fin (0,2 mm de diamètre) à 2 conducteurs isolés par un vernis, la masse de retour se faisant par l'eau de mer et le bateau au moment où le poisson tombe dans l'eau. Celui-ci descend à une vitesse constante (6,35 mètres par seconde) et fournit la température à $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ près à un enregistreur à papier ou à un système informatisé qui peut être relié à une balise ARGOS transmettant les données en temps réel ou semi-réel à une banque de données. La profondeur maximum actuellement atteinte est de 900 mètres à partir de navires filant de 15 à 20 noeuds, avec des sondes de type "Deep blue".

Le centre TOGA (Tropical Ocean and Global Atmosphere) de données de subsurface ORSTOM/IFREMER, Brest, interrogé en fin 1991 a pu fournir 60 profils thermiques d'origines diverses : 54 XBT transmis en temps différé, 5 XBT - message transmis en temps réel, et 1 profil provenant d'une station bathysonde, dans le zone $20^{\circ}\text{S}-22^{\circ}\text{S}/54^{\circ}\text{E}-57^{\circ}\text{E}$ entourant La Réunion (fig.20a).

L'exemple présenté sur la figure 19a est un profil obtenu à l'aide d'une sonde XBT de type T6 (0-450 m), avec enregistrement graphique, par à partir du Patrouilleur ALBATROS le 11 décembre 1991 dans le voisinage de La Réunion par $21^{\circ}12\text{ S}-55^{\circ}11\text{ E}$. De ce profil, il est tiré la température de surface (SST = $26,8^{\circ}\text{C}$), l'épaisseur de la couche homogène, ou couche de mélange, égale à la profondeur où la température

est inférieure de 1°C à celle de surface (ici 35 mètres), la thermocline ou zone où le gradient vertical de la température est le plus fort, ici entre 20 mètres et 170 mètres de profondeur avec un gradient plutôt faible de 0,45°C/10m. Il peut être intéressant de noter l'immersion de telle ou telle isotherme, ou encore des points de détails comme la présence d'une couche d'une quinzaine de mètres d'épaisseur vers 150 mètres, en bas de la thermocline, où la température est constante (20,7°C).

Il y a 2 types d'utilisation d'un profil bathythermique par XBT : immédiatement après obtention du profil à bord d'un bateau de recherche ou de pêche pour choisir l'immersion de tel ou tel prélèvement d'eau pour analyse ou de tel engin de pêche, comme le suggère la figure 19b, ou en temps différé (ou semi-réel) pour "forcer" un modèle de circulation océanique ou pour avoir la description d'une zone.

La banque de données TOGA, outre les renseignements concernant le navire, la date, la position et la qualité des profils, fournit aussi un ensemble de données thermiques à partir des 15 températures retenues aux immersions standard de la surface jusqu'à 500 mètres de profondeur :

- la profondeur de la thermocline, en fait celle qui correspondant au maximum de gradient vertical de température calculé sur 10 mètres et non les immersions limites de la couche à gradient maximum de température comme sur la fig.19a,

- la profondeur à laquelle la température est inférieure de 1 degré à celle de surface ou épaisseur de la couche homogène,

- l'immersion des isothermes de 30°C à 10°C,

- les températures aux immersions standards,

- enfin, les contenus thermiques, en fait la température moyenne des couches 0-100, 0-300 et 0-400 mètres.

Le tableau 2 rassemble les moyennes mensuelles des paramètres les plus importants calculés à partir des 60 profils dénombrés autour de La Réunion. La principale conclusion qui s'en dégage est que le contenu thermique des 300 premiers mètres suit une évolution annuelle analogue à celle de la température de surface entre l'été et l'hiver austral (fig. 20a et 20b), bien que l'épaisseur de la couche homogène soit minimale en été et maximale en hiver (fig.20c). En fait, le réchauffement d'été s'opère sur une couche d'une soixantaine de mètres d'épaisseur, qui est la couche de mélange, avec accroissement du contenu thermique, et possibilité d'une deuxième thermocline plus profonde comme le montrent certains profils de la figure 21a. Le refroidissement

hivernal de la couche superficielle s'ajoutant à un mélange plus important du fait de l'accroissement de la vitesse du vent conduit à l'augmentation sensible de l'épaisseur de la couche de mélange comme le montrent les profils de la figure 21b. La figure 20a rend bien compte de cette évolution : rapprochement des courbes d'évolution des températures en surface, à 50 et à 100 mètres de profondeur de juin à novembre et réchauffement de la couche 0-60 mètres de décembre à mai.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne
n	6	4	4	6	5	3	5	2	6	4	11	4	
SST °C	27,3	27,8	27,9	27,3	26,2	25,6	24,0	24,4	23,7	24,0	25,1	26,5	25,8
SSTmin	26,9	26,7	27,1	26,9	25,4	25,0	23,8	23,8	23,1	23,3	23,8	25,5	
SSTmax	27,8	28,7	28,7	27,6	27,0	26,8	24,5	24,9	24,0	25,1	26,7	27,8	
Z(SST-1) m	50	45	54	55	77	91	104	100	125	87	62	40	74
T 50	26,3	26,6	27,2	26,7	26,1	25,5	23,8	23,7	23,4	23,4	24,0	25,2	25,2
T 100	23,5	23,5	23,5	23,0	23,6	23,8	23,3	23,1	23,2	22,6	23,0	23,2	23,3
Z 20	198	196	193	188	186	187	170	183	192	191	200	201	190
Z 18	254	245	244	226	236	237	221	225	250	239	252	247	240
T(0-300) °C	21,7	22,0	21,9	21,4	21,5	21,3	20,6	20,7	21,0	20,8	21,3	21,6	21,3

Tableau 2 : Quelques caractéristiques thermiques moyennes mensuelles de l'eau des 300 premiers mètres autour de La Réunion, à partir de 60 profils trouvés dans la zone 20°S-22°S/54°E-57°E : température de surface (SST), avec les valeurs minimales et maximales, épaisseur de la couche homogène Z (SST-1), température à 50 mètres (T 50) et à 100 mètres de profondeur (T 100), immersion de l'isotherme 20°C (Z 20) et 18°C (Z 18), et contenu thermique de la couche 0-300 mètres T (0-300).

7 - CONCLUSION

L'examen de l'évolution de quelques paramètres océanographiques du milieu marin autour de La Réunion, placée dans son contexte météorologique, a permis de caractériser l'océanographie physique d'une zone relativement peu décrite. Quelques problèmes demandant des études ultérieures plus poussées ont été évoquées, par exemple celui des courants généraux dominants dans la région en relation avec les changements dans les champs de vent. D'autres problèmes plus proches de La Réunion comme celui des ondes internes le long des tombants provoquées par les tempêtes et cyclones, les marées, les courants, pourront trouver ici un support océanographique de base.

Remerciements

Tous nos remerciements aux Services suivants pour l'accueil reçu dans notre recherche de données intéressant l'île de La Réunion :

- le Service Hydrographique de la Marine (EPSHOM) à Brest,
- la Subdivision Entretien et Dragage du Port des Galets, DDE, La Réunion,
- la Marine Nationale à La Réunion,
- le Service météorologique de La Réunion.

A noter que les données "pressions atmosphériques" au Port ont été achetées à Météo France.

Bibliographie

ANONYME, 1984 - Instructions nautiques. Océan Indien sud : Madagascar, îles éparses, Terres Australes et Antarctiques Françaises. INA, L9, EPSHOM.

ANONYME, 1986 - Site de La Réunion : Etude du milieu marin. Campagne 1984. Convention EDF-Direction de l'Équipement-Région d'Équipement Alpes-Marseille. Recherches effectuées par le Centre d'Océanologie de Marseille et l'Université de La Réunion.

BERTRAND J., BIAIS G., TAQUET M., 1987 - Etude des activités halieutiques le long du littoral - Relevés thermographiques en baie de la Possession et en baie de Saint-Paul, (La Réunion). Convention Ifremer-EDF-REAM. Rapport multigraphié.

BOSC P., 1987 - Etude de faisabilité sur l'implantation de récifs artificiels sur la frange littorale nord-ouest de l'île de La Réunion - Rapport multigraphié, Convention Conseil Régional, octobre 1986.

BOUCHON C., 1978 - Etude quantitative des peuplements à base de scléroractiniaux d'un récif frangeant de l'île de La Réunion (Océan Indien). Thèse doctorat 3e cycle. Océanographie, Université Aix-Marseille II, 144 pp.

CITEAU J., DEMARCO H., 1990 - Position de la zone intertropicale de convergence le long de 28° W et température de surface de l'océan. Veille climatique satellitaire, n° 30-31 : 2-5.

GAMBERONI L., GERONIMI J., MURAIL J.F., 1984 - Structure hydrologique aux abords immédiats de l'île de La Réunion en période hivernale (août-septembre 1982). Document multigraphié - MD 32/Réunion.

HASTENRATH S., LAMB P.J., 1979 - Climatic Atlas of the Indian Ocean. Part I : Surface climate and atmospheric circulation. The University of Wisconsin Press.

LEAVASTU T., HELA I., 1970 - Fisheries Oceanography. Fishing News Books LTD, LONDON.

LE BORGNE J., 1987 - Climatologie du sud-ouest de l'Océan Indien. Le cas de l'île Maurice. Tomes 1 et 2. Travaux et Documents de l'ORSTOM, n° 204.

LEROY C., BARBAROUX O., 1980 - Observations physiques et chimiques effectuées sur le milieu marin autour de l'île de La Réunion. Document Scientifique ISTEPM, Nantes.

LUTJEHARMS J.R.R., BANG N.D., DUCAN C.P., 1981. Characteristics of the currents east and south of Madagascar. Deep Sea Research, 28A, 9 : 879-899.

MAGNIER Y., PITON B., 1974 - Les particularités de la couche 0-600 m dans l'ouest de l'Océan Indien sud Equatorial. Cah. ORSTOM, sci. Océanogr. XII, 3 : 143-158.

O'BRIEN J., STRICHERZ J., 1991 - TOGA wind stress analysis. Tropical Indian Ocean. Bull. of the Florida State University, Tallahassee, USA.

PITON B., 1989 - Quelques aspects nouveaux sur la circulation superficielle dans le canal de Mozambique (Océan Indien). Doc. sci. ORSTOM, Brest, n° 54.

ROBERT R., 1985 - Géographie de l'eau à l'île de La Réunion - Essai de distribution régionale de l'alimentation et de l'écoulement. Thèse de Doctorat ès-lettres, Université Paul-Valéry - Montpellier III.

WYRTKI K., 1971 - Océanographic atlas of the International Indian Ocean Expedition. Nat. Sci. Foundation, Washington, 531 p.

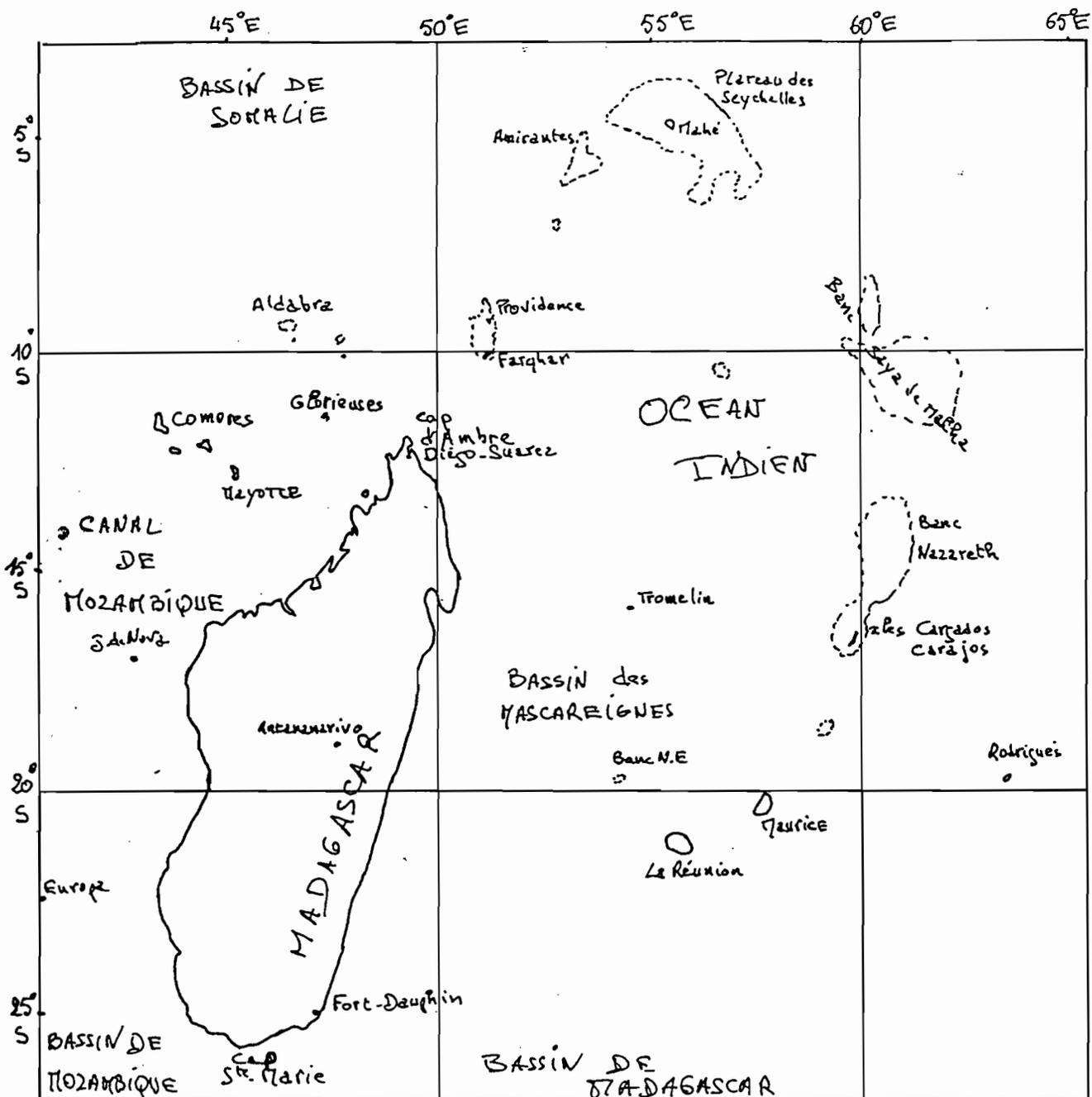


Fig. 1 - Position de l'île de La Réunion dans le sud-ouest de l'Océan Indien tropical.

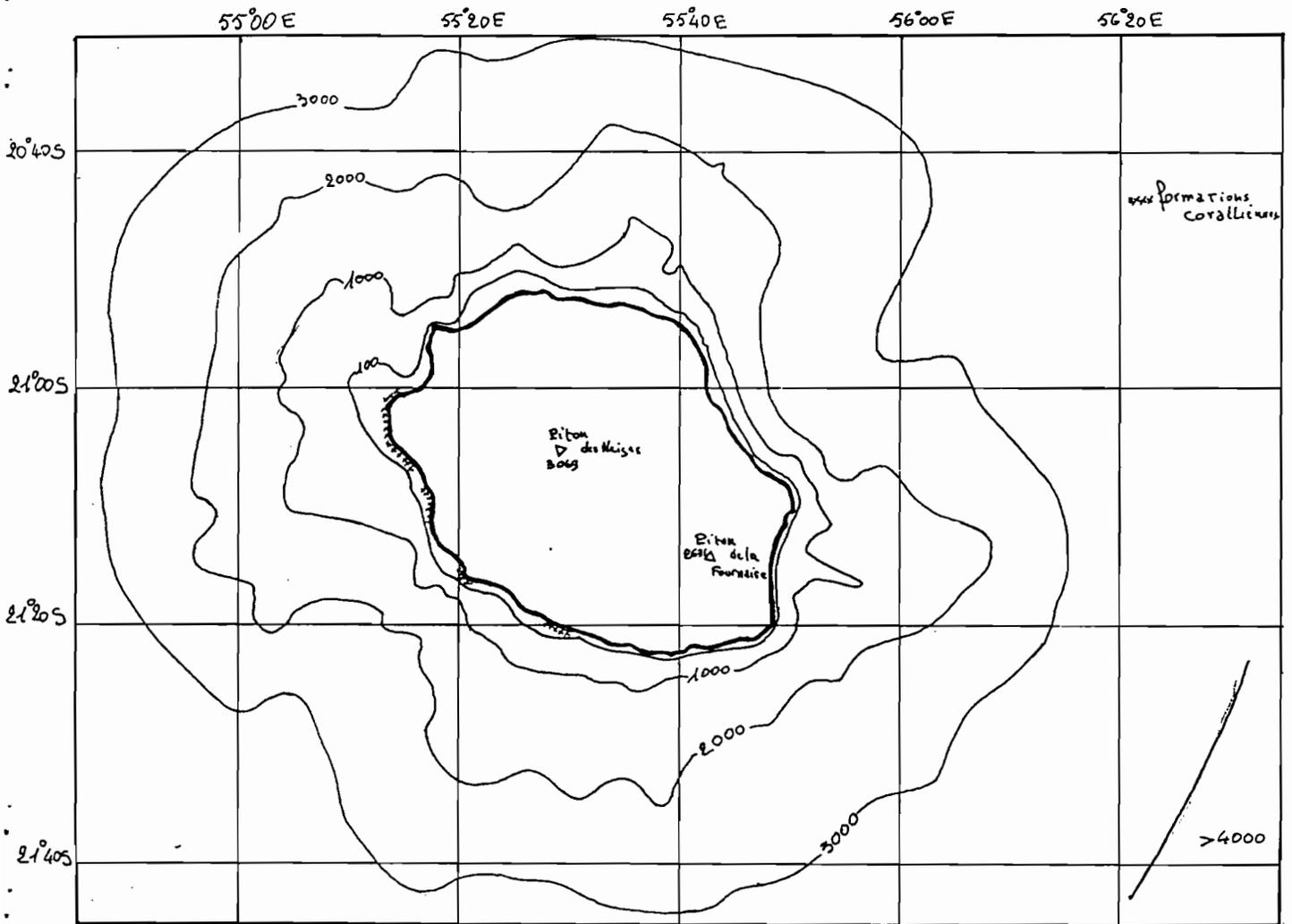


Fig. 2 - La Réunion et quelques isobathes: 100, 1000, 2000 et 3000 mètres, provenant de la carte bathymétrique dressée par les TAAF (1982).

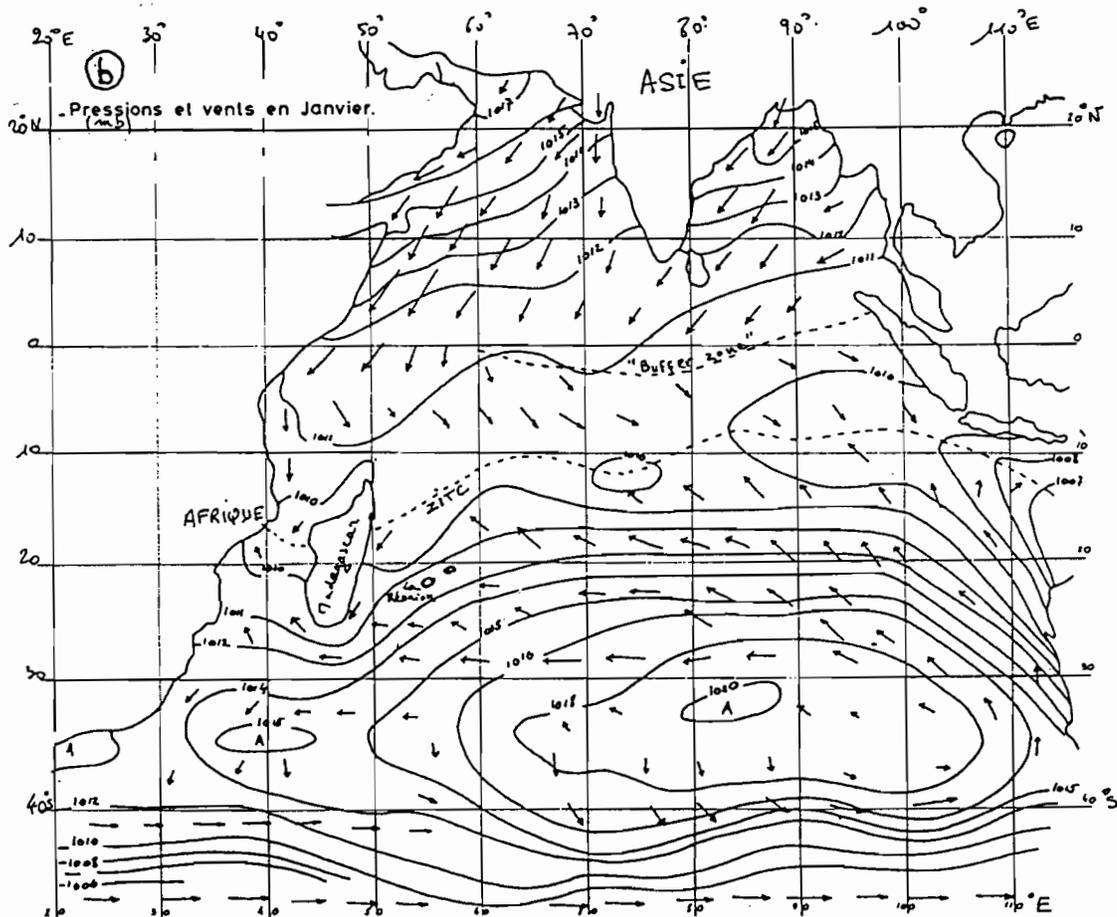
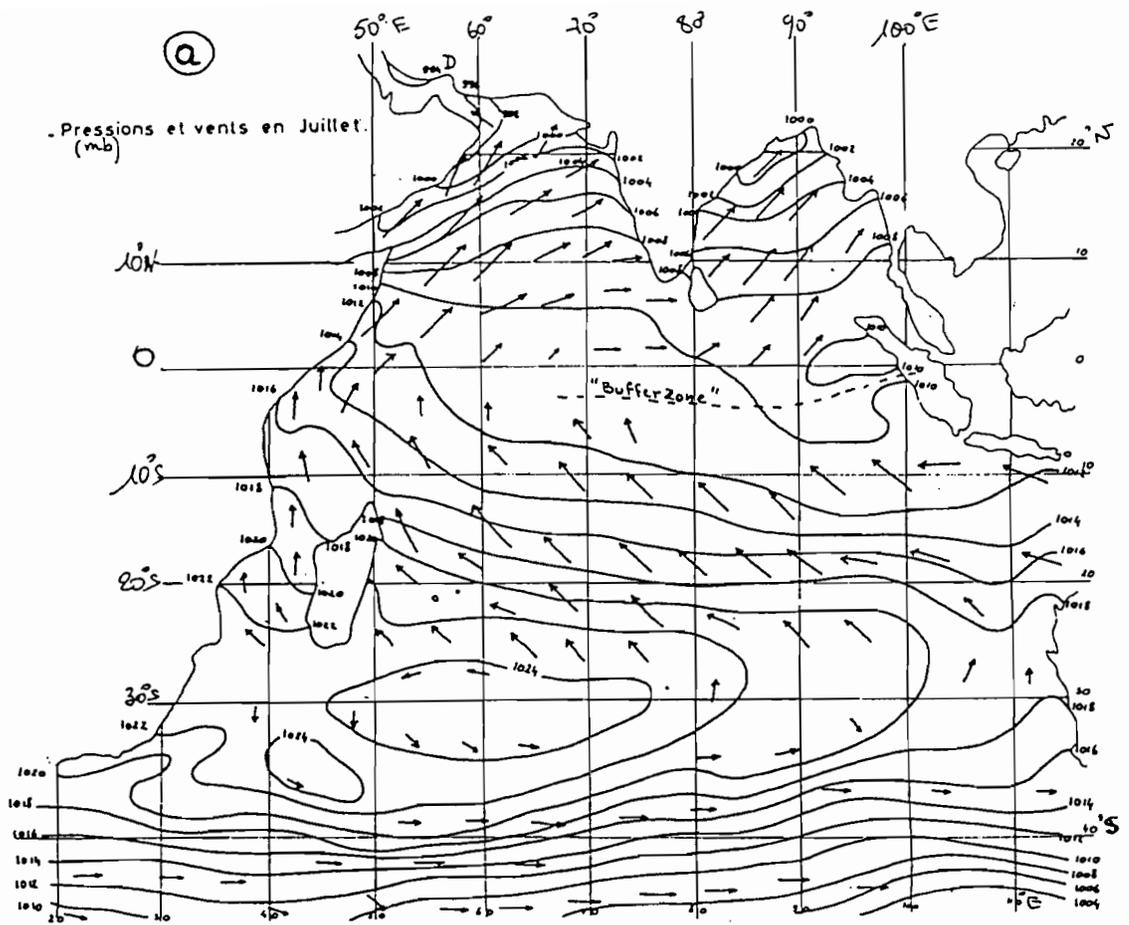


Fig. 3 - Cartes isobariques de surface (en millibar) et vents à la surface de la mer en hiver (a) et en été austral (b).

ZITC : zone intertropicale de convergence,

"Buffer zone" : zone "tampon" de mousson, d'après LE BORGNE (1987).

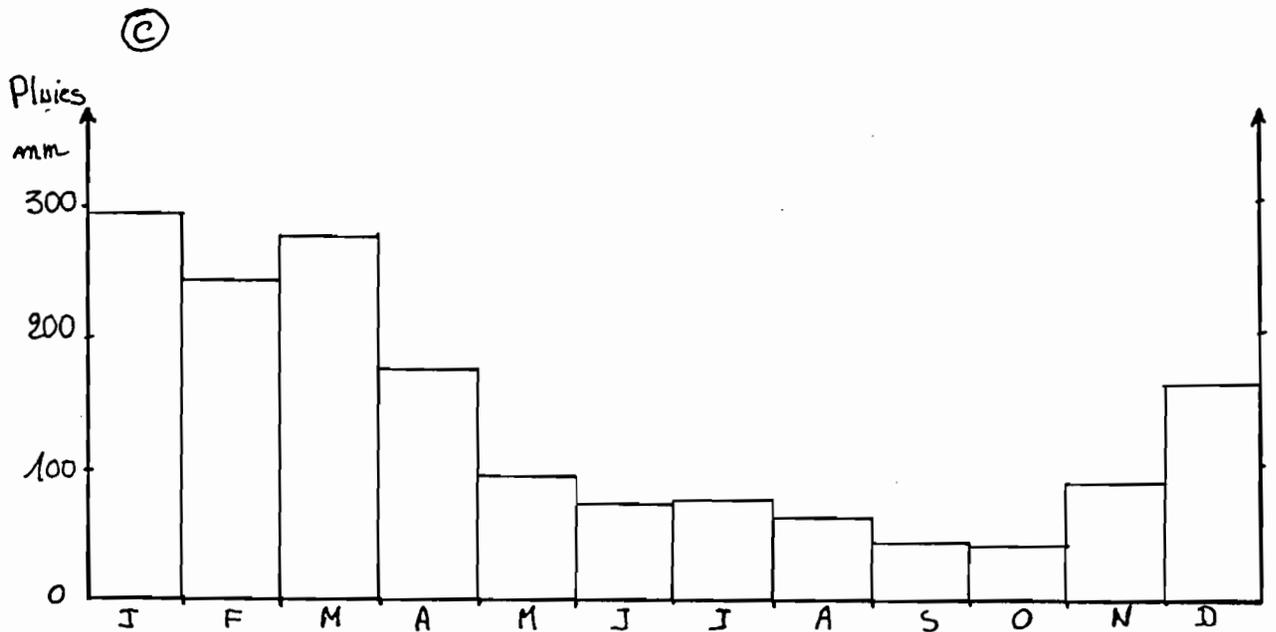
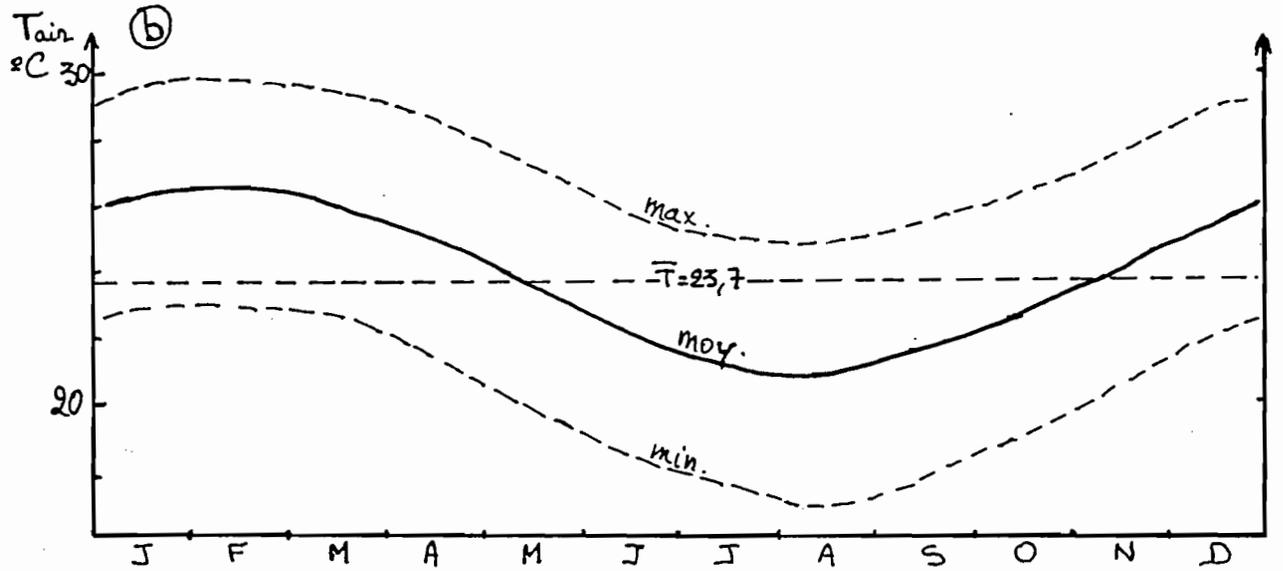
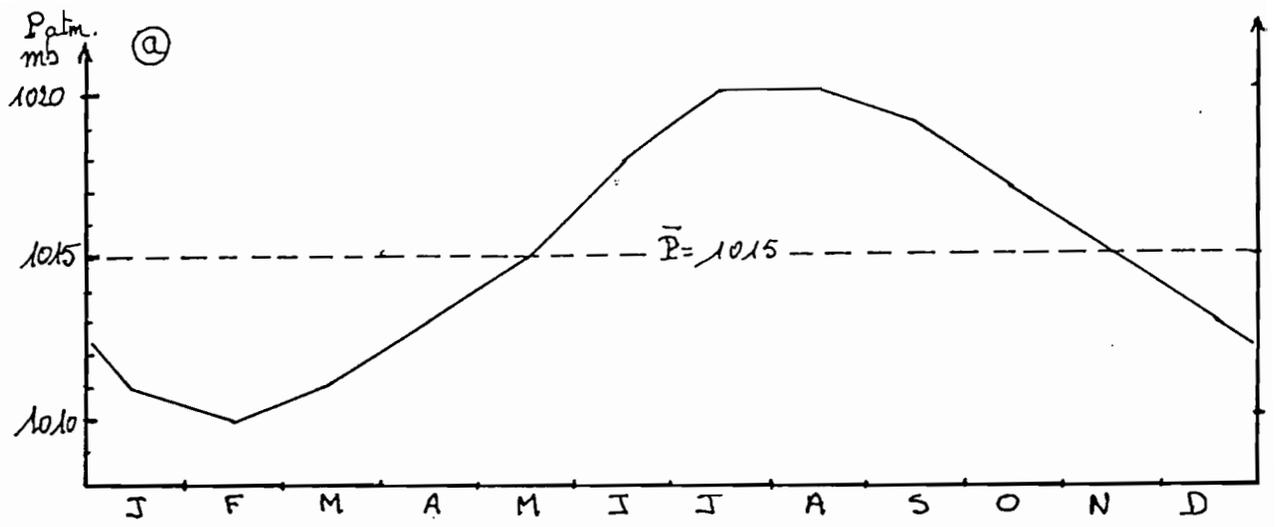


Fig. 4 - Evolution moyenne annuelle (a) de la pression atmosphérique (b) de la température de l'air, entre les moyennes maximales et minimales, (c) des précipitations mensuelles moyennes (1958-1980) à la station météorologique de Gillot sur la côte nord de l'île, d'après le Service Météorologique de La Réunion.

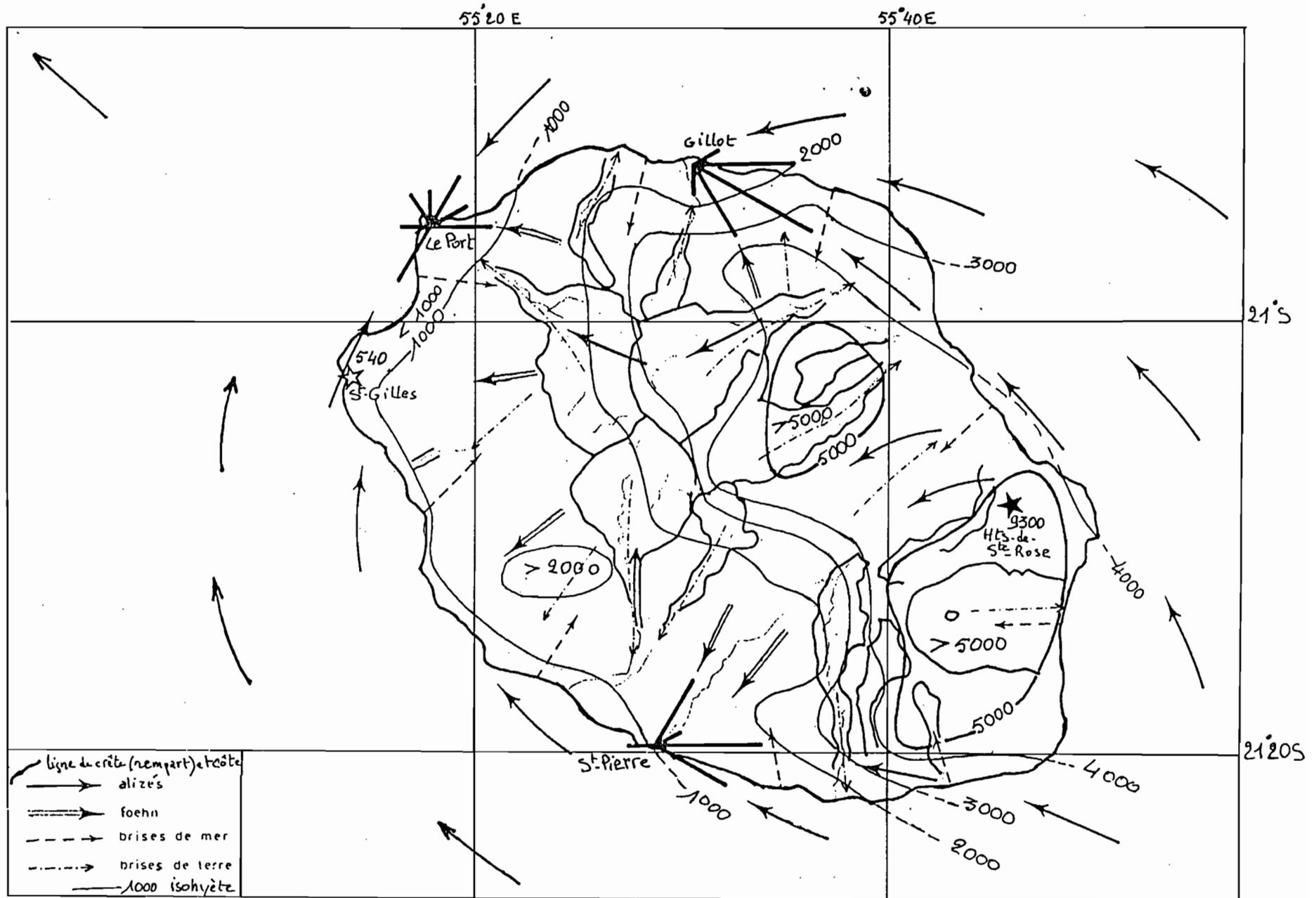


Fig. 5 - Isohyètes annuelles (1000, 2000, 3000, 4000 et 5000 mm) sur l'île de La Réunion et directions des vents dominants autour et dans l'île, d'après ROBERT (1985).

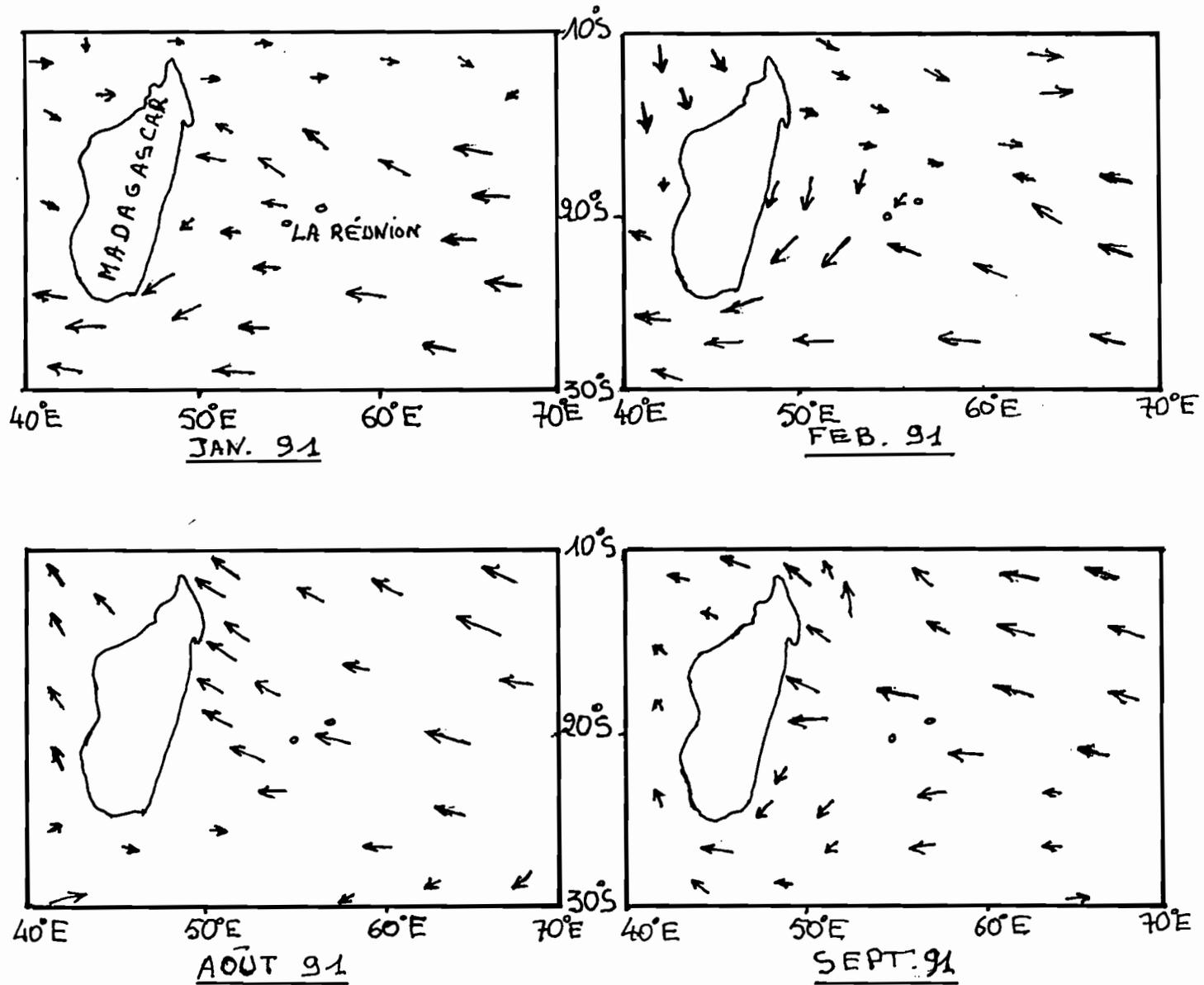


Fig. 6 - Extraits de cartes de pseudo-tensions de vent mensuelles tirés de O'BRIEN et STRICHERZ (1991) pour les mois de janvier, février, août et septembre 1991, zone La Réunion-Madagascar.

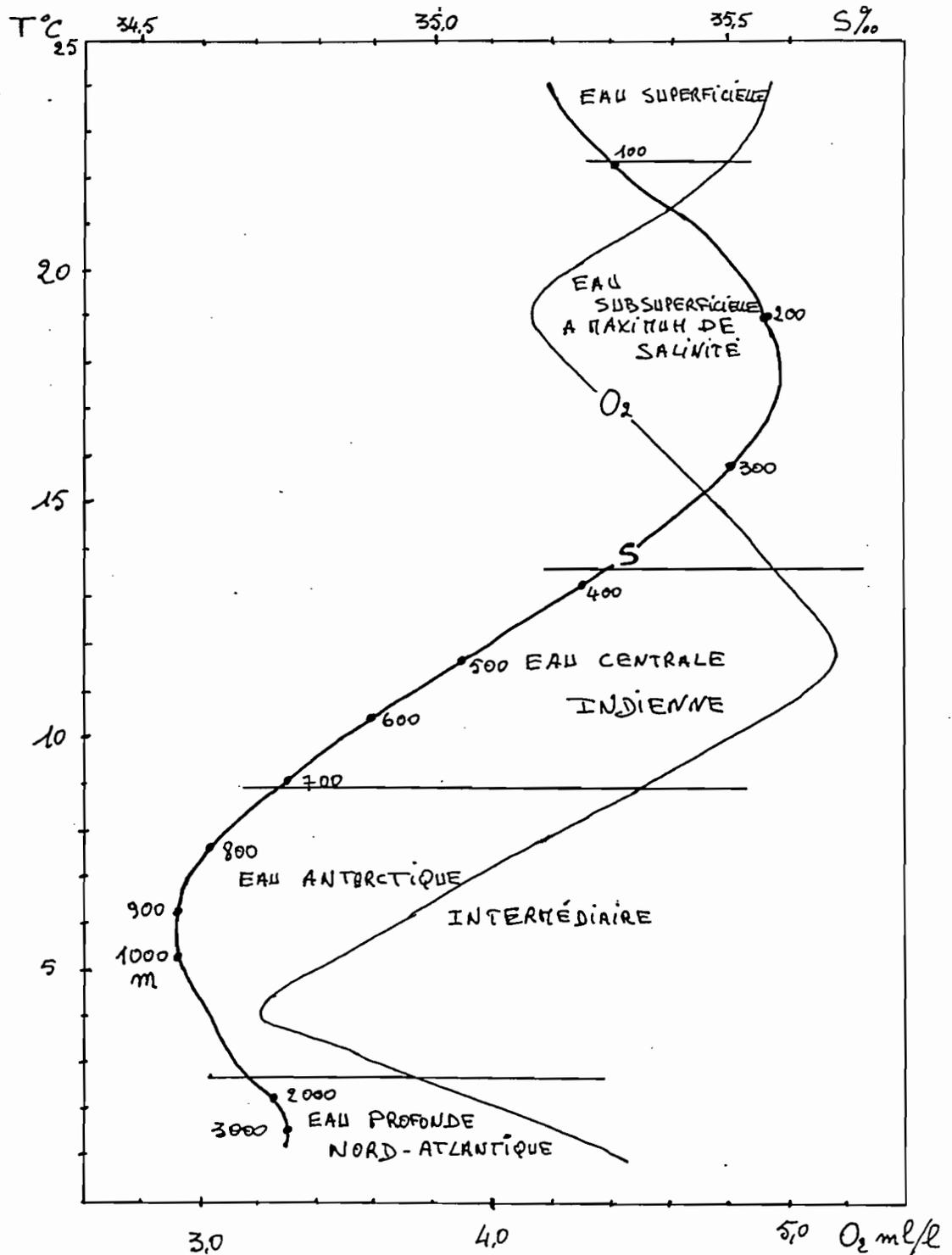


Fig. 7 - Diagrammes Température-Salinité et Température-Oxygène de la surface jusqu'à 4000 mètres de profondeur au voisinage de La Réunion, d'après GAMBERONI et al. (1984) et l'atlas de WYRTKI (1971). Les chiffres donnent la profondeur de la mesure en mètre.

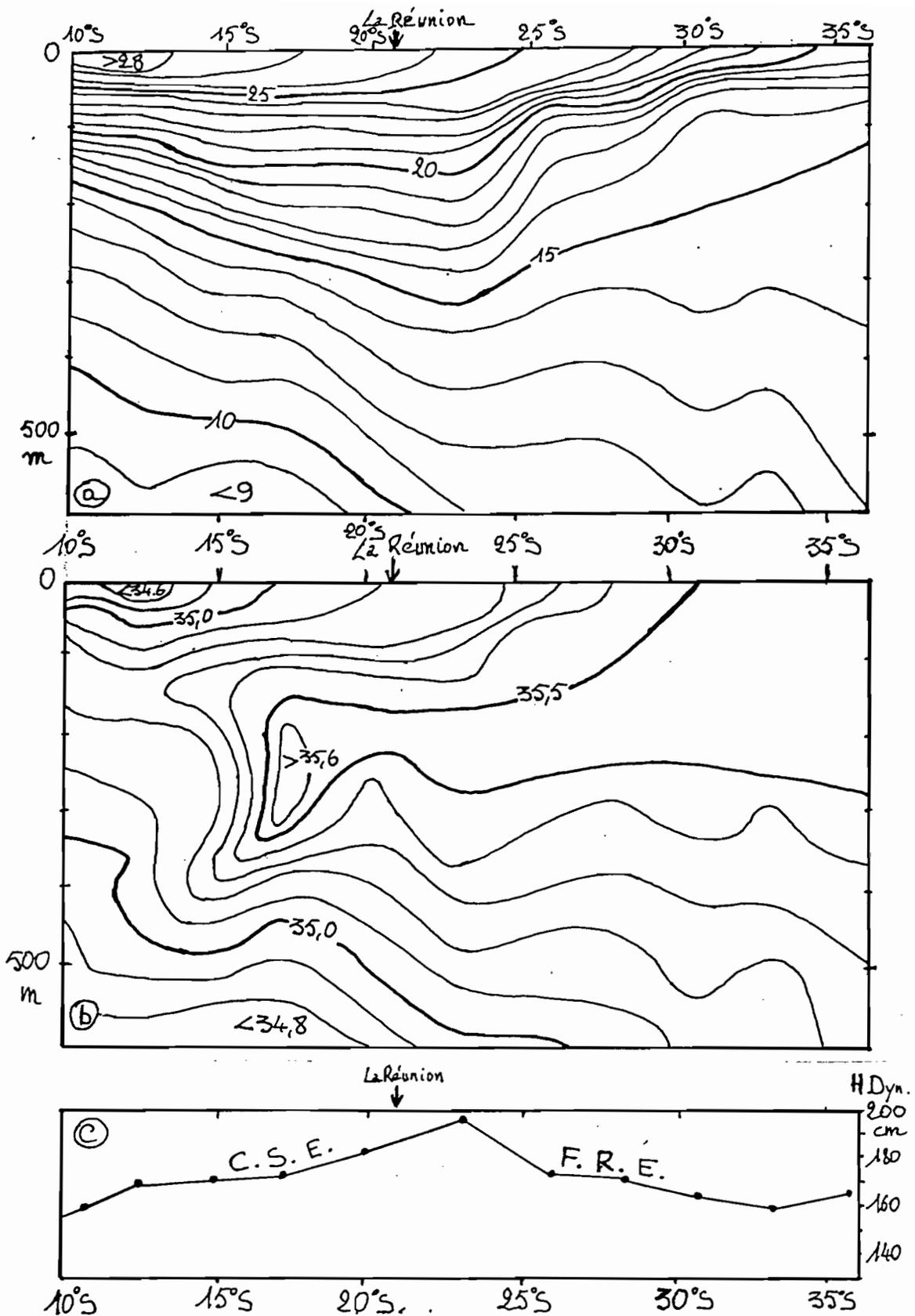


Fig. 8 - Répartitions verticales (a) de la température (°C) et (b) de la salinité (‰) entre la surface et 600 mètres de profondeur, de 10°S à 35°S, dans l'ouest immédiat (55°E) de La Réunion (voir encadré fig. 9), d'après les résultats du N.O. ANTON BRUUN (février-mars 1964), WYRTKI (1971).

(c) : Evolution de la hauteur dynamique (cm-dyn) de la surface par rapport à 1 000 millibars, entre 10°S et 35°S, le long de 55°E en février-mars 1964. CSE : courant sud-équatorial, FRE : flux de retour vers l'est.

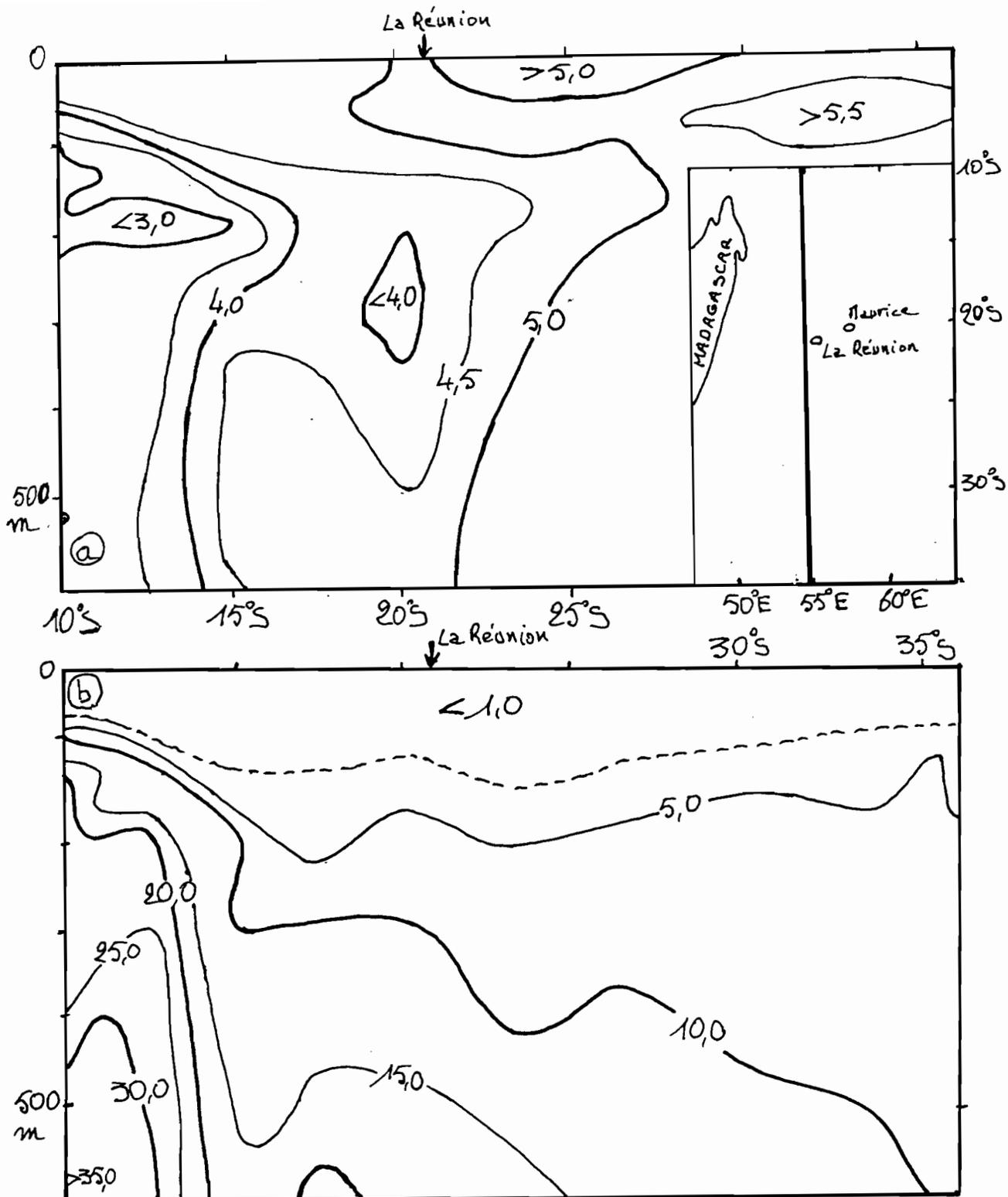


Fig. 9 - Répartitions verticales (a) des teneurs en oxygène dissous (ml/l) et (b) en nitrate ($\mu\text{atg/l}$) de la surface à 600 mètres, entre 10°S et 35°S le long de 55°E d'après WYRTKI (1971).

Encadré : position de la coupe par rapport à La Réunion.

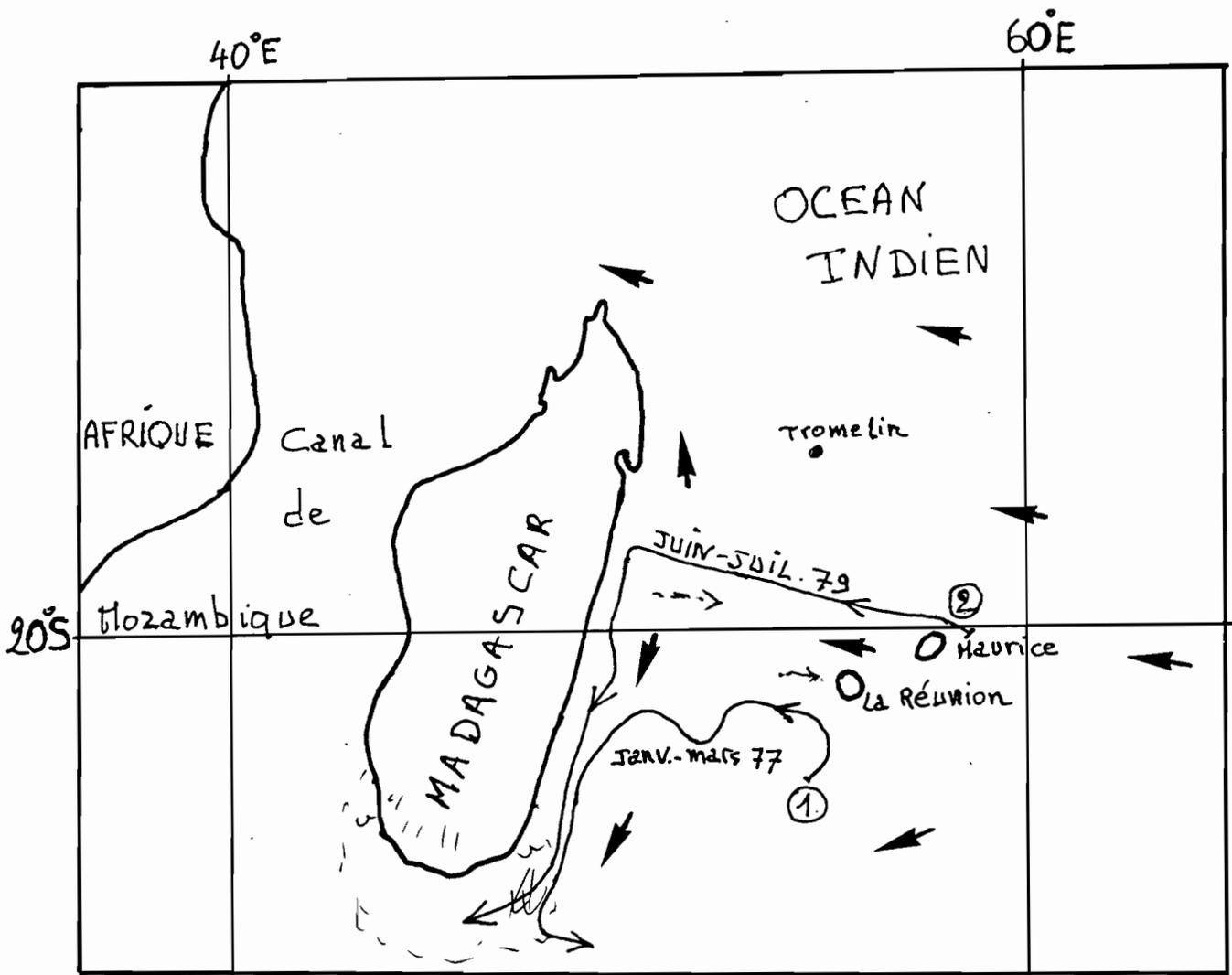


Fig. 10 - Le courant sud-équatorial devant Madagascar : quelques lignes de courant et trajets de 2 bouées dérivantes à positionnement par satellite (1) en janvier-mars 1977 (2) en juin-juillet 1979, d'après LUTJEHARMS et al, (1981).

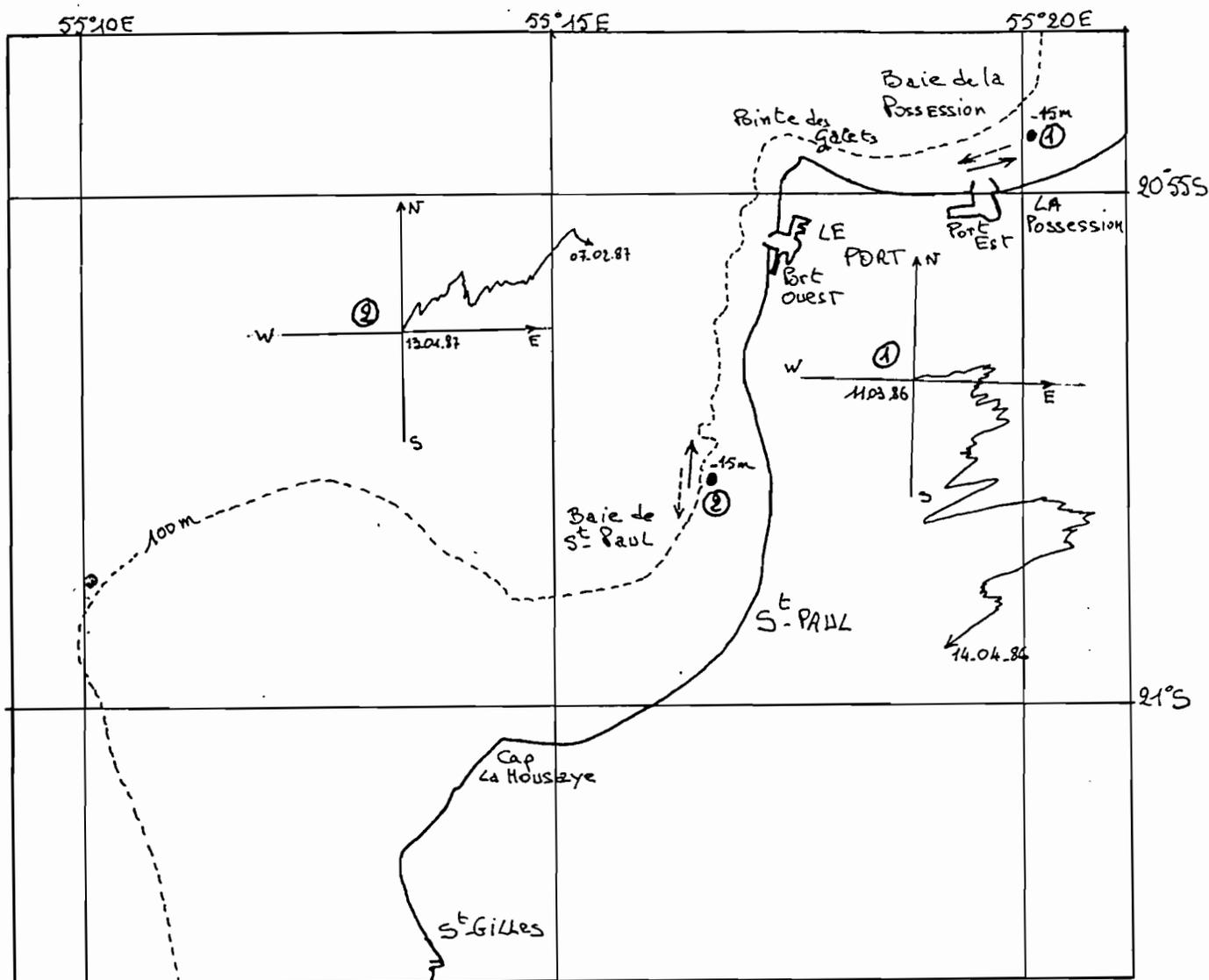


Fig. 11 - Les 2 sites d'études d'impact, les baies de La Possession et de Saint-Paul avec mesures des courants à l'aide de courantomètres AANDERAA (pas de 20 minutes) effectuées par la Délégation Départementale de l'Équipement (DDE), Subdivision Entretien et Dragage. Exemples de 2 hodographes intégrés à 15 mètres de profondeur (1) en baie de La Possession, par fonds de 50 mètres, à 600 mètres du rivage, du 11 mars 1986 au 14 avril 1986 (vecteur résultant : 0,05 noeud dans le 172), (2) en baie de St-Paul, par fond de 50 mètres à 600 mètres du rivage, du 13 janvier au 7 février 1987 (vecteur résultant : 0,05 noeud dans le 065).

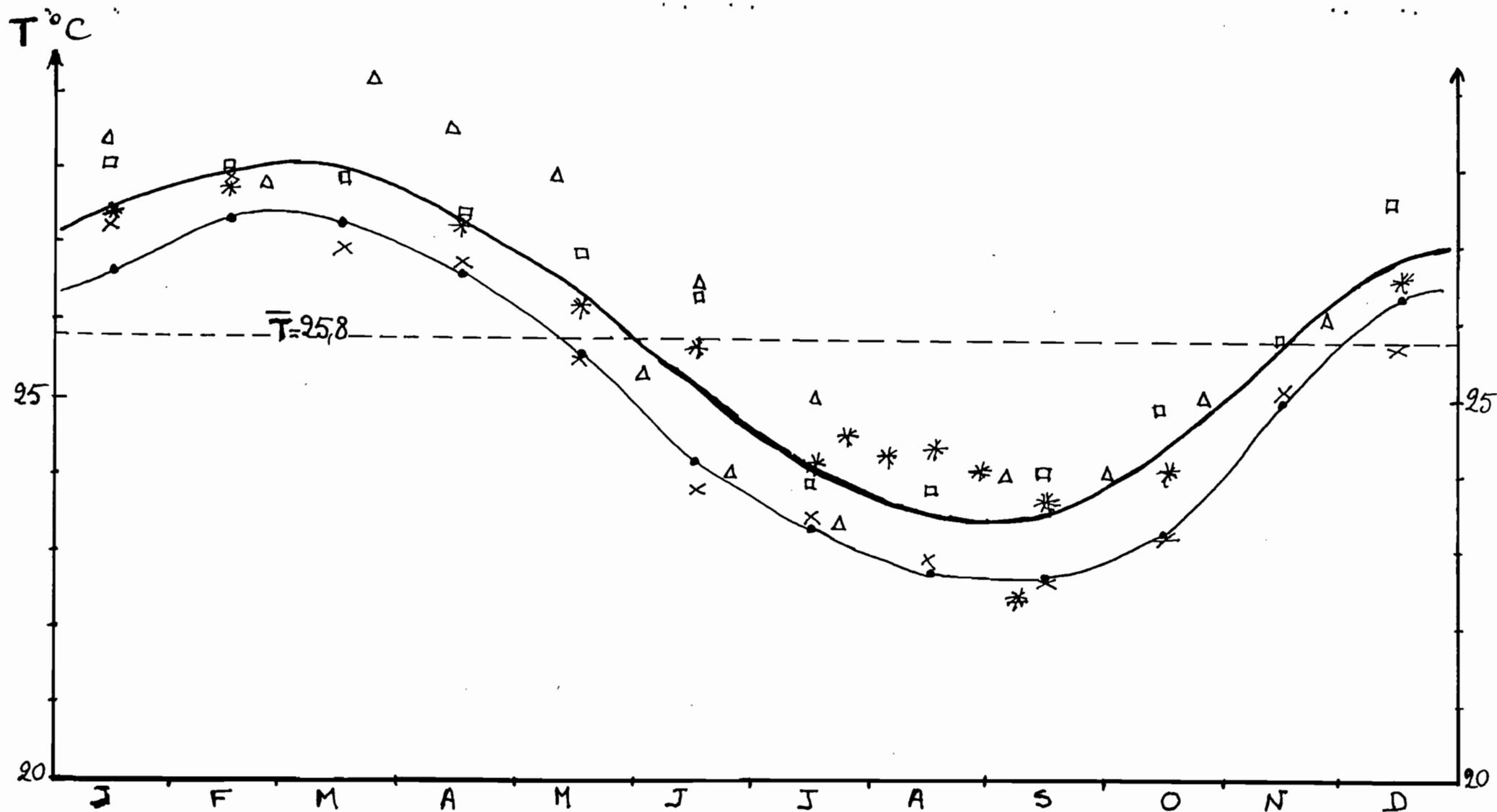


Fig. 12 - Evolution annuelle de la température de surface des eaux réunionnaises :

(●) d'après l'atlas de HASTENRATH et Lamb (1979), (×) d'après l'atlas de WYRTKI (1971), (□) d'après BERTRAND et al. 1987, (*) données diverses, — évolution adoptée.

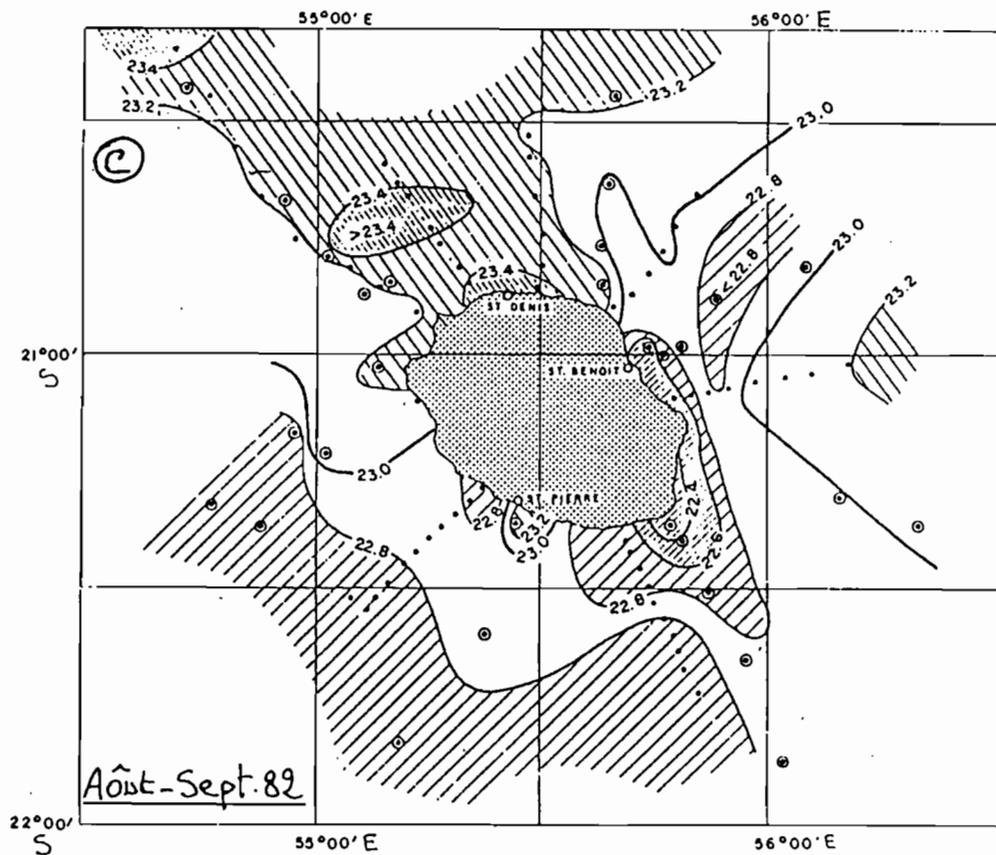
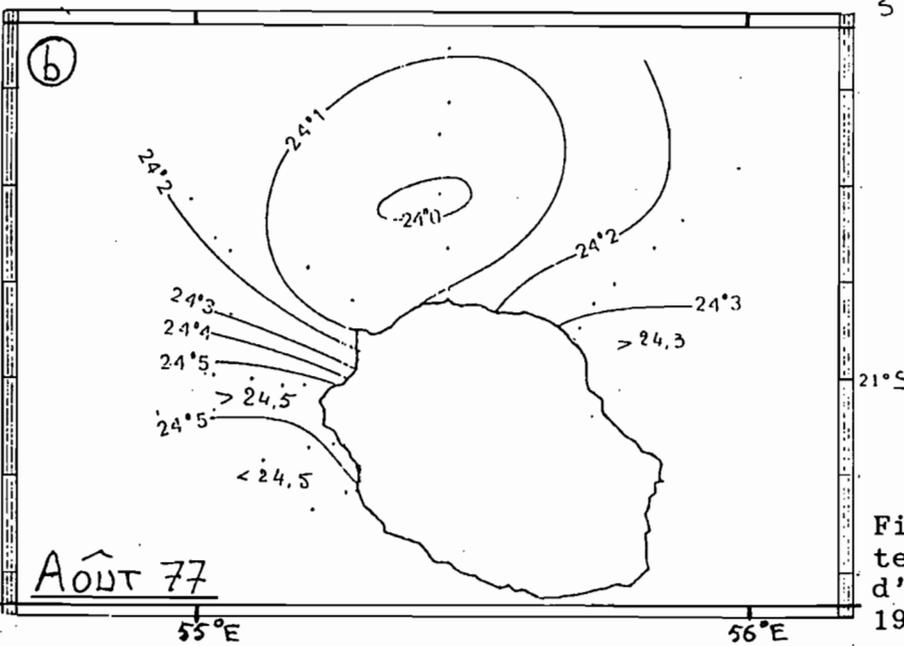
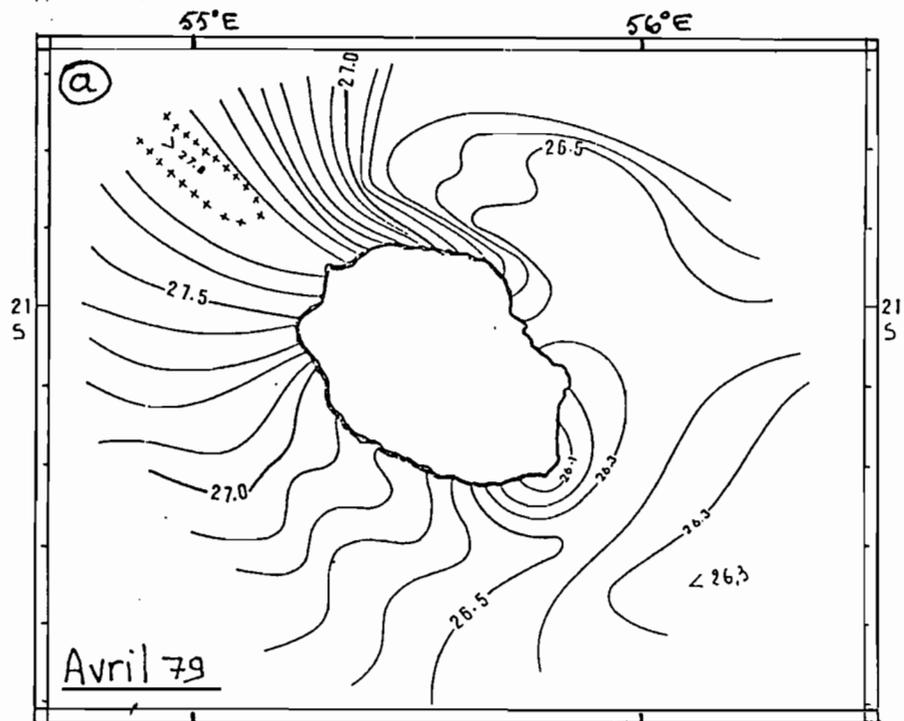


Fig. 13 - Répartition horizontale, autour de La Réunion, de la température de surface en avril 1979 (a) et en août 1977 (b), d'après LEROY et BARBAROUX, 1980, ainsi qu'en août-septembre 1982, d'après GAMBERONI et al., 1982.

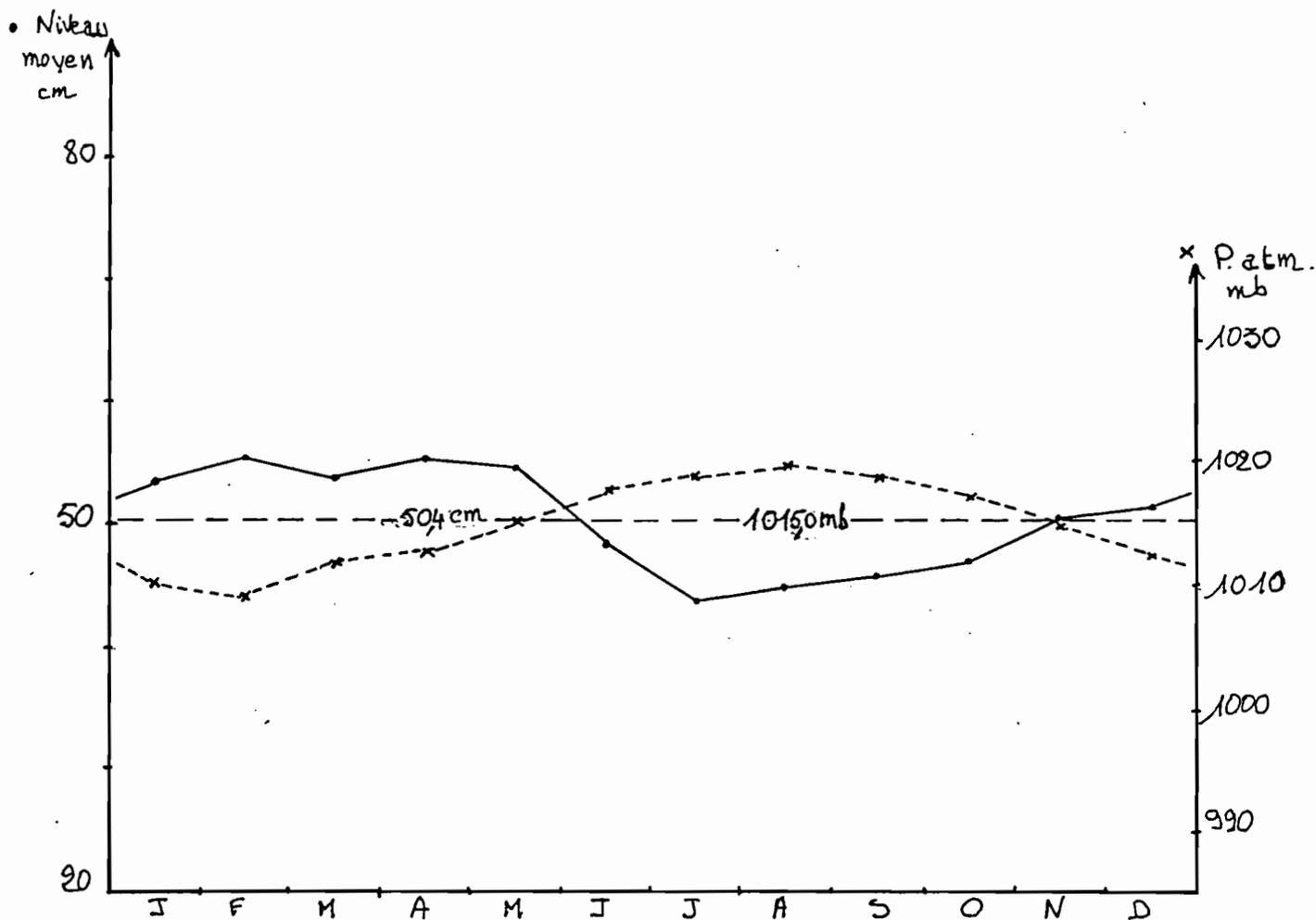


Fig. 14 - Evolution des valeurs mensuelles moyennes (1974-1986) du niveau moyen de la mer et de la pression atmosphérique au Port des Galets. 1 cm = 1 mb.

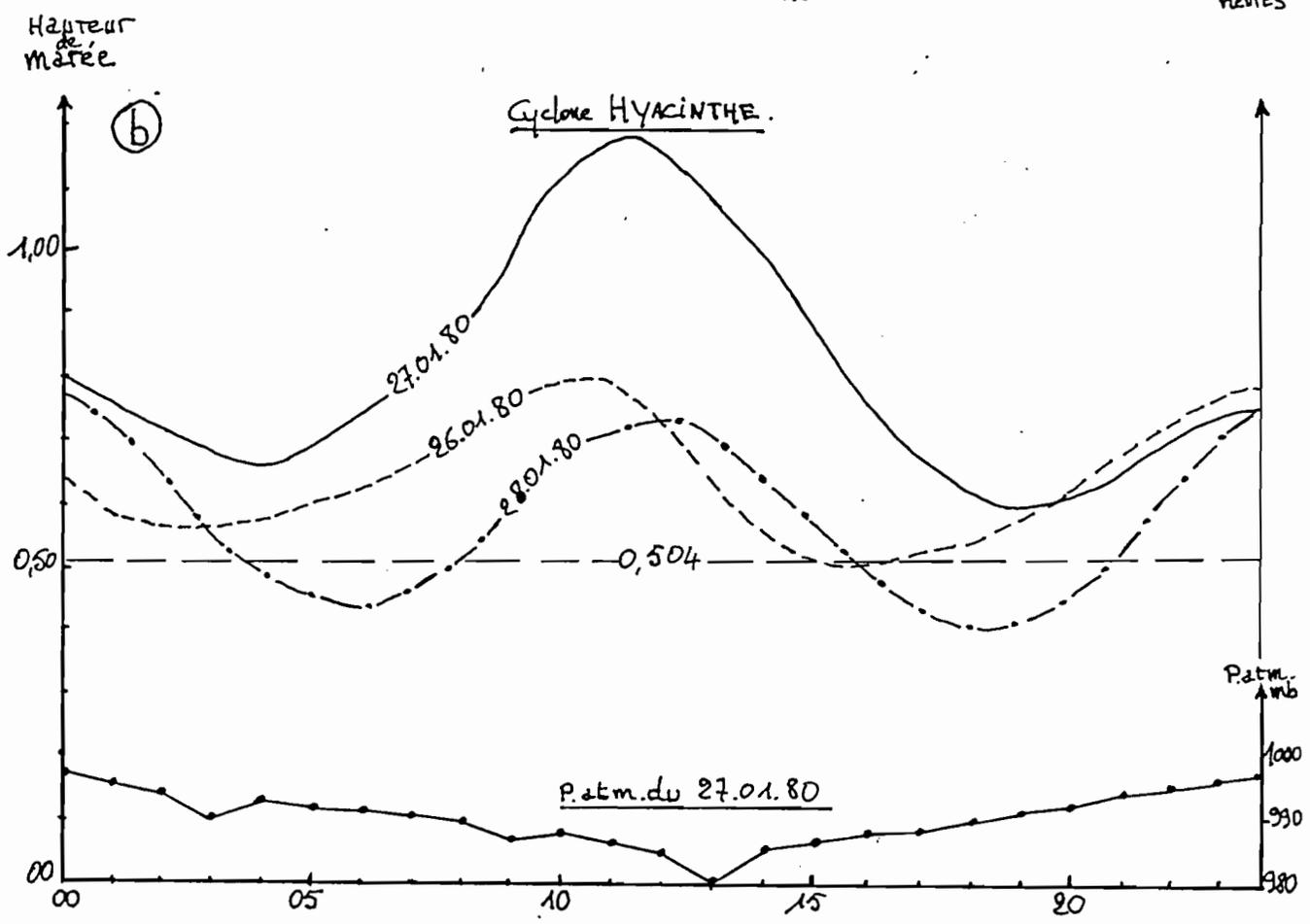
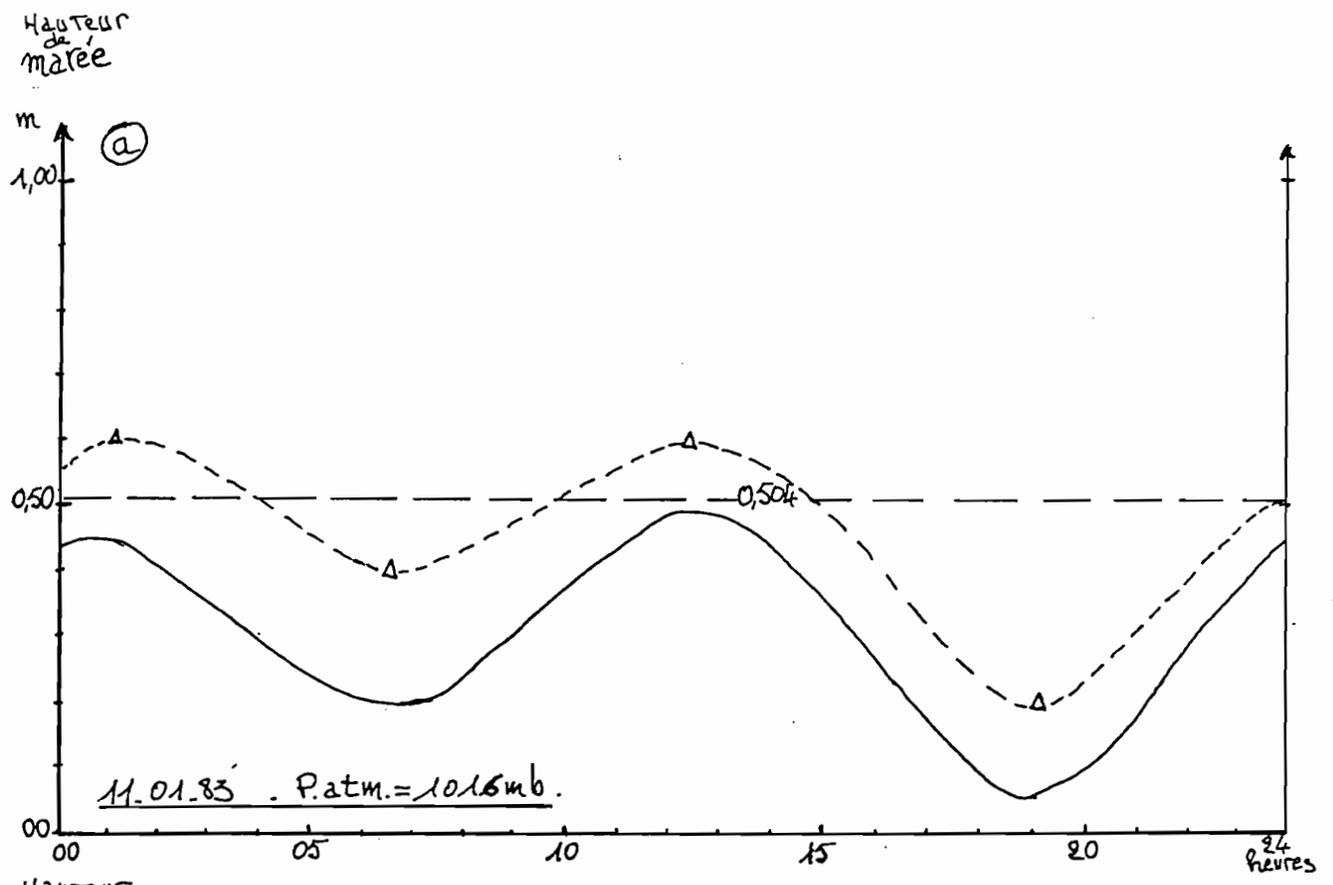


Fig. 15 - Enregistrements de la marée au Port des Galets:
 (a) le 11 janvier 1983, avec référence au niveau moyen (0,504 m) et aux prévisions de l'Annuaire des marées (courbe en pointillé),
 (b) les 26, 27 et 28 janvier 1980, avec l'évolution de la pression atmosphérique heure par heure le 27 janvier.

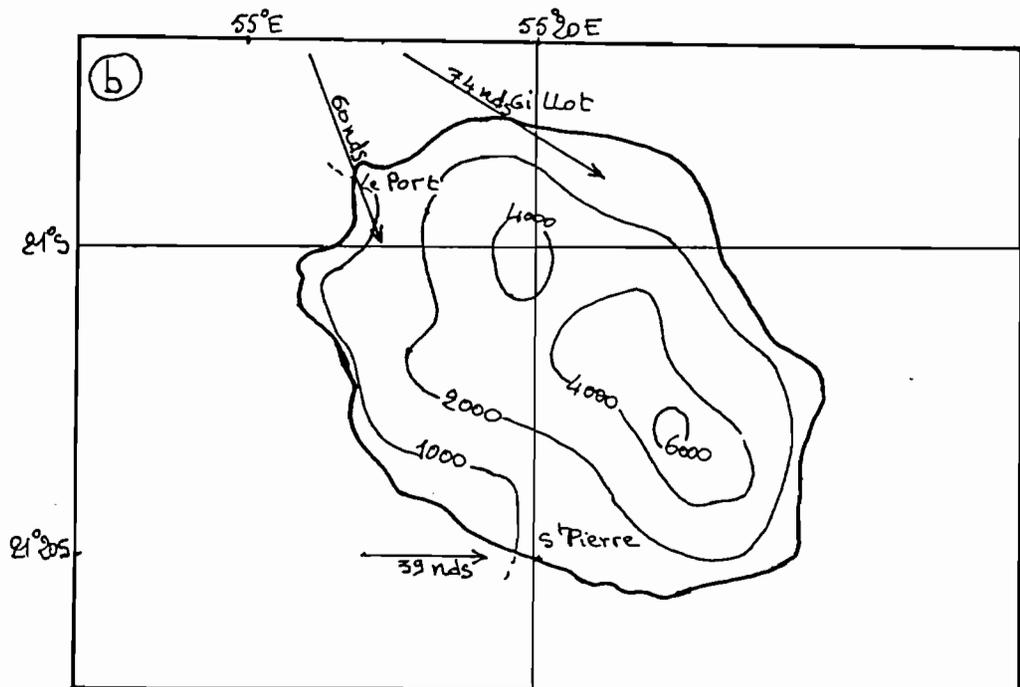
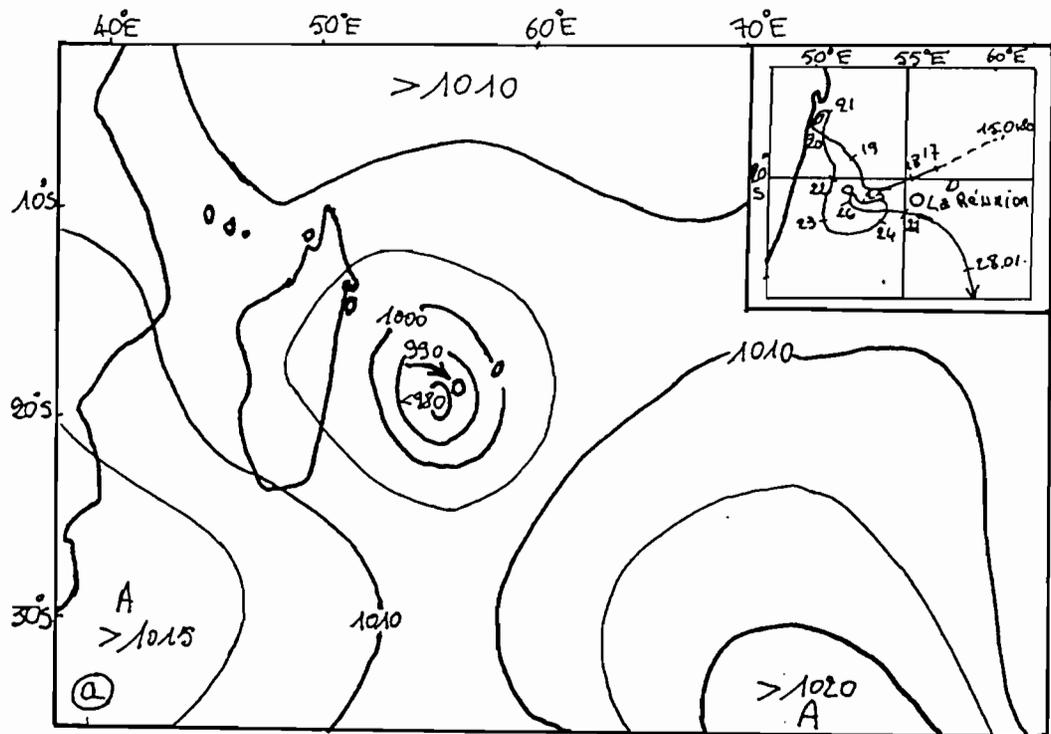


Fig. 16 - (a) Pression atmosphérique dans le sud-ouest de l'Océan Indien tropical le 27 janvier 1980, lors du 3^e passage du cyclone "Hyacinthe" près de La Réunion.

Encadré : trajet de ce cyclone du 15 au 28 janvier 1980.

(b) Isohyètes sur La Réunion représentant les hauteurs de pluies cumulées du 16 au 27 janvier 1980 et directions et vitesses maximales (en noeuds) du vent enregistrées le 27 janvier à Gillot, au Port et à St-Pierre.

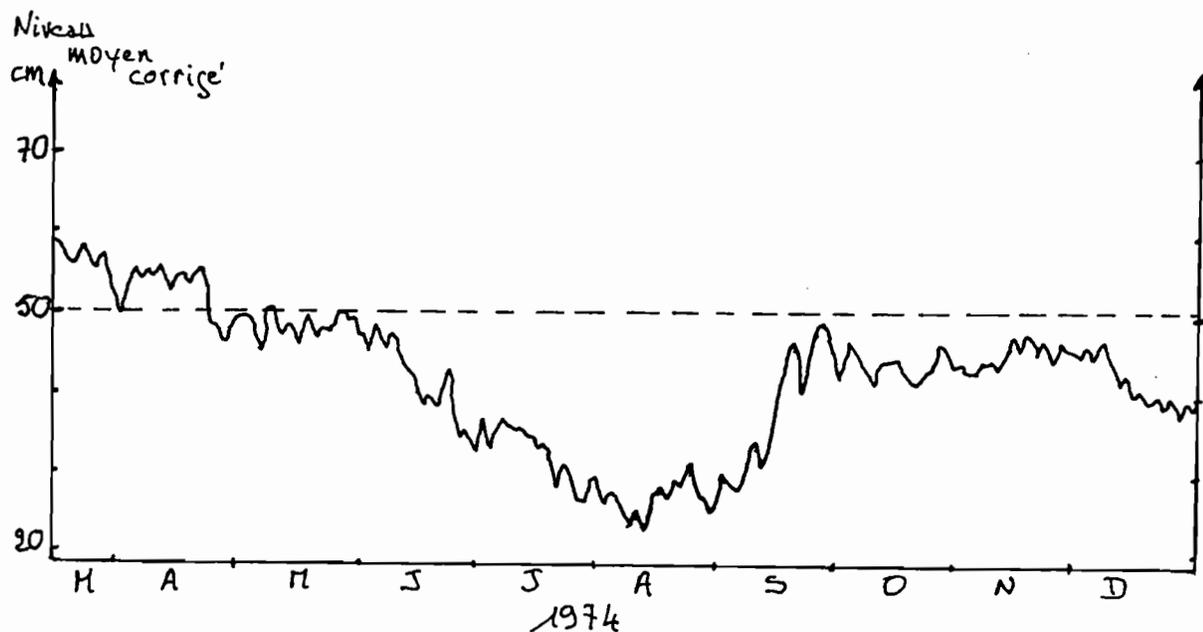
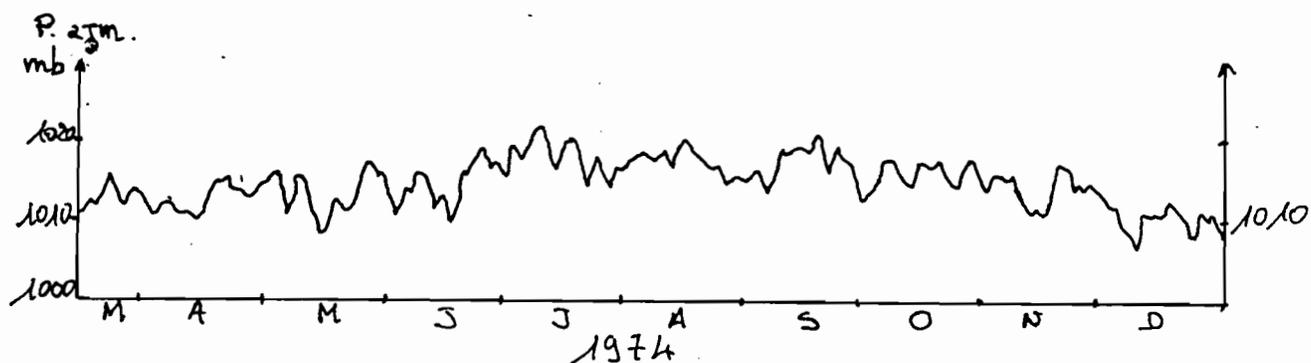
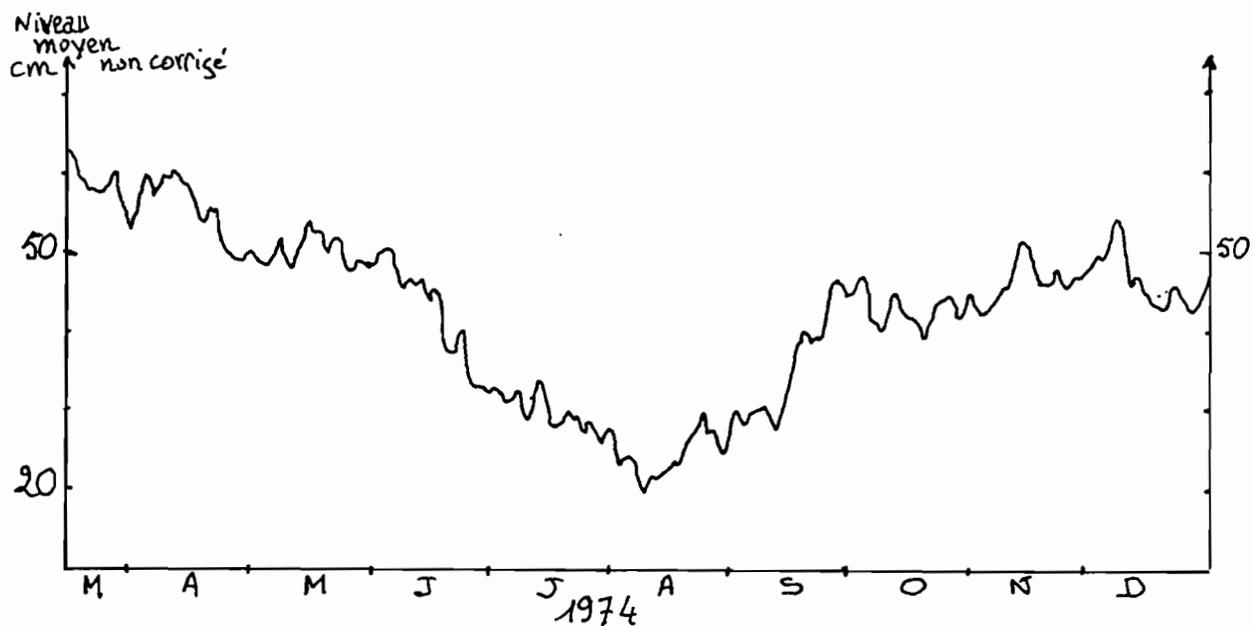


Fig. 17 - Evolution du niveau moyen journalier brut, de la pression atmosphérique journalière et du niveau moyen journalier corrigé des variations de la pression atmosphérique par rapport à la moyenne annuelle (1015 mb), du 13 mars au 31 décembre 1974 au Port des Galets.

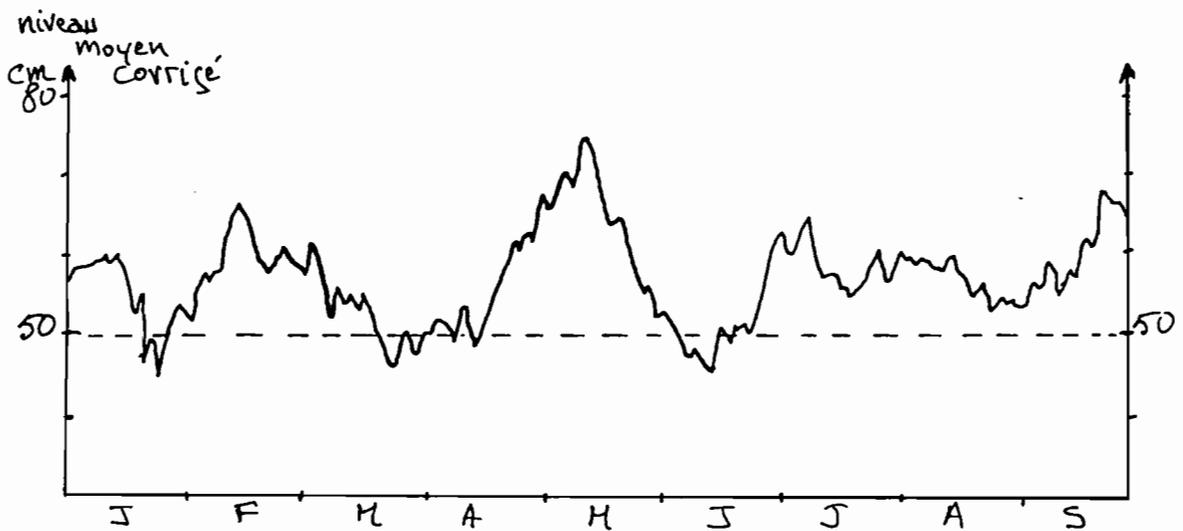
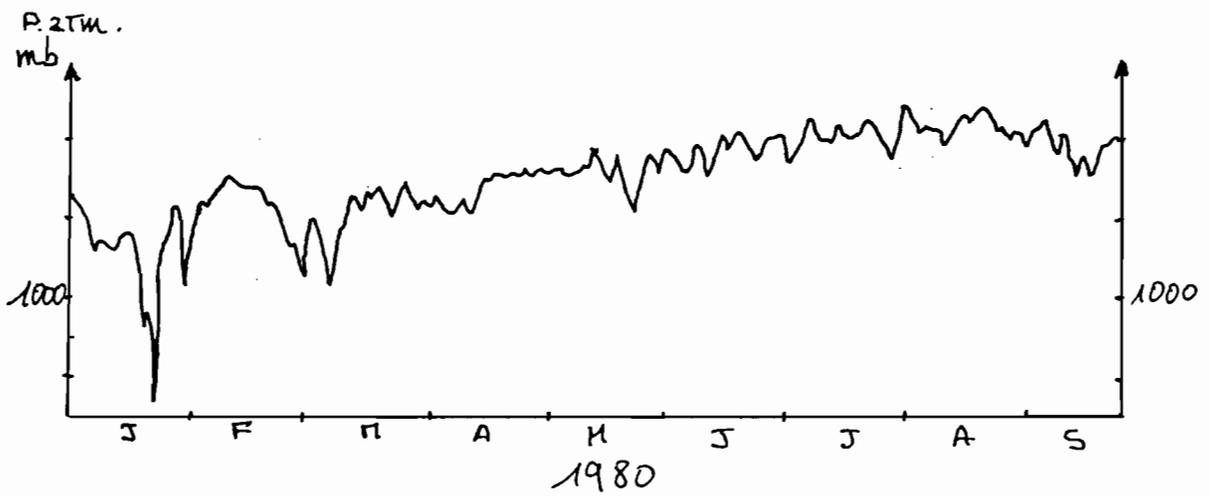
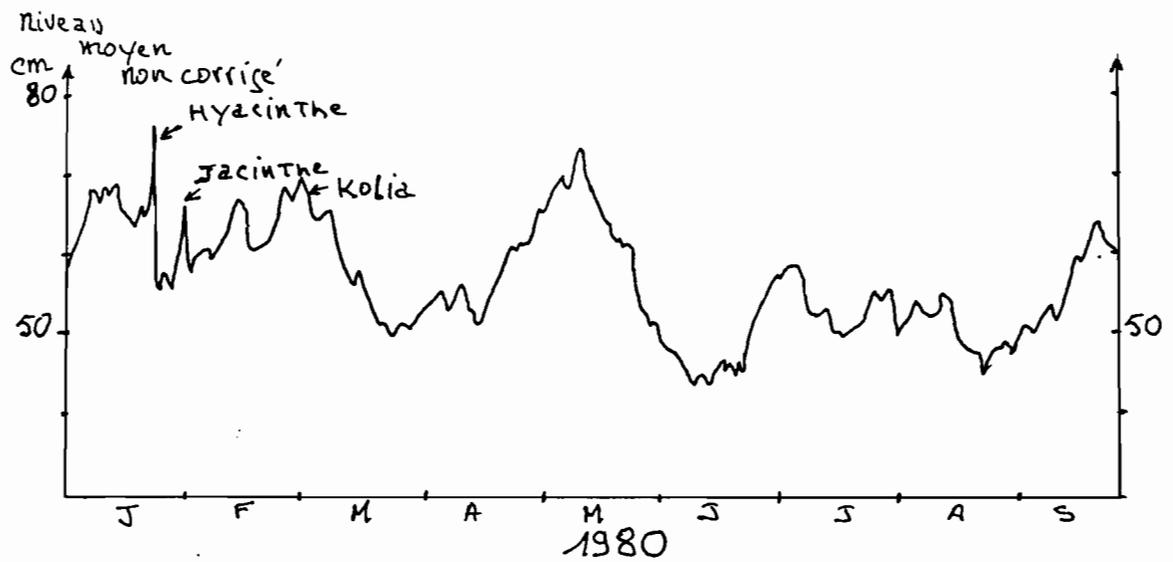


Fig. 18 - Idem que pour la figure 17, du 6 janvier au 30 septembre 1980.

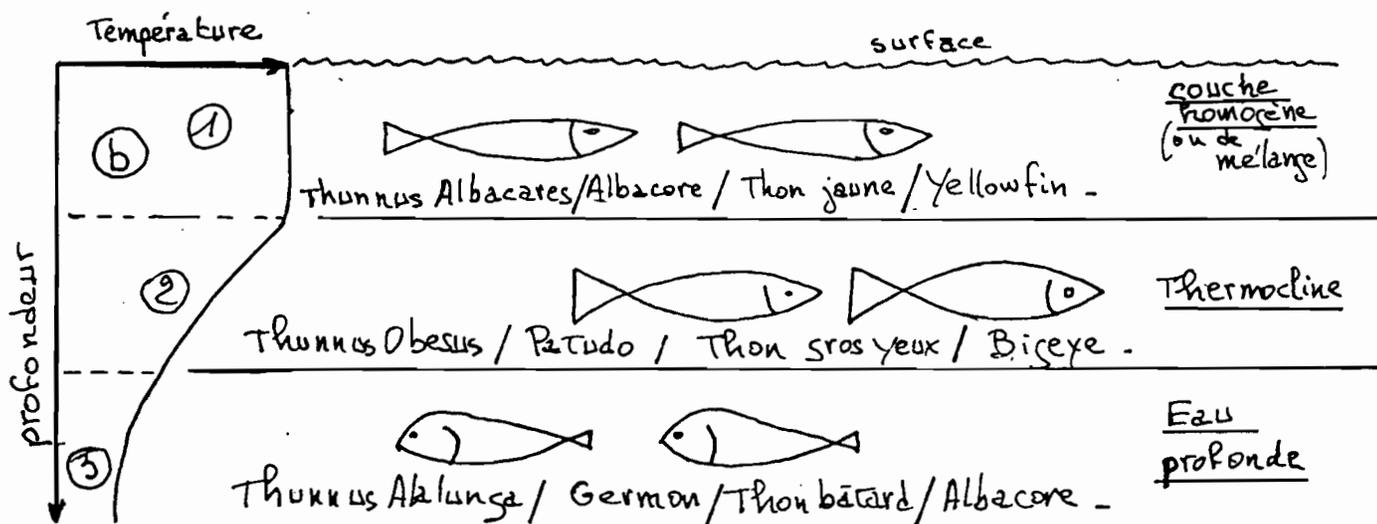
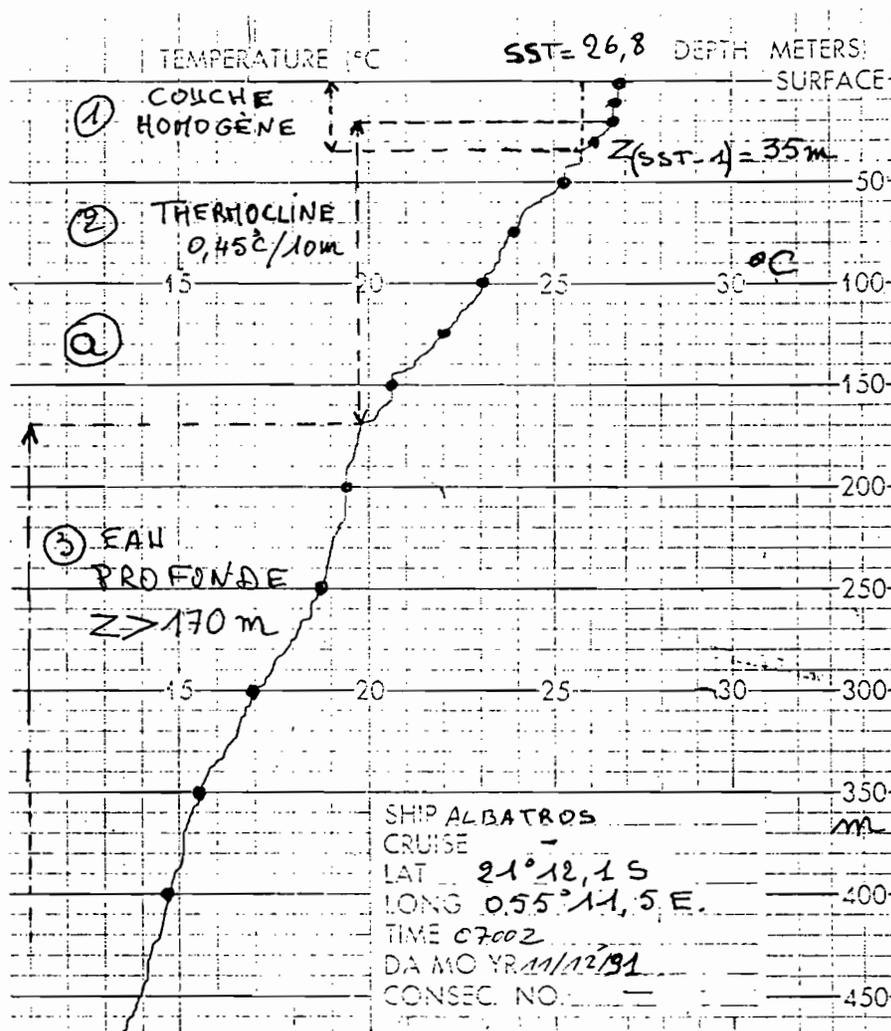


Fig. 19 - (a) Un exemple de profil bathythermique 0-450 mètres obtenu par une sonde XBT, enregistreur mécanique, avec les différentes caractéristiques hydrologique du profil. Les points sont aux immersions "standard".

(b) Illustration schématique d'une utilisation possible d'un profil bathythermique par les pêcheurs (tirée de LEAVESTU et HELA, 1970)

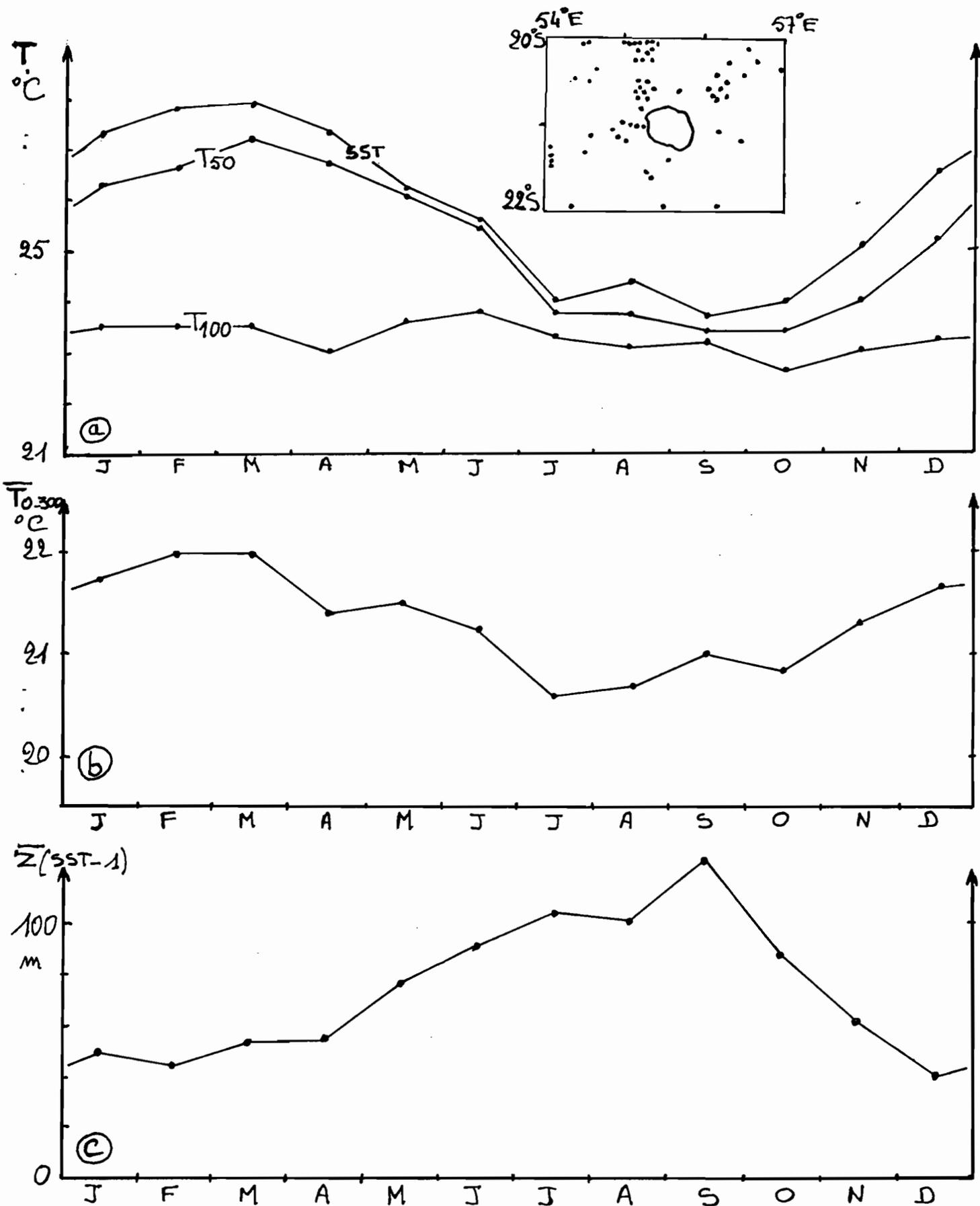


Fig. 20 - Evolution annuelle (a) de la température moyenne mensuelle à 0,50 et 100 mètres (b) du contenu thermique mensuel de la couche 0-300 mètres et (b) de l'épaisseur moyenne de la couche homogène, autour de La Réunion.

encadré : position des relevés bathythermiques fournis par la Banque TOGA, ORSTOM/IFREMER, Brest.

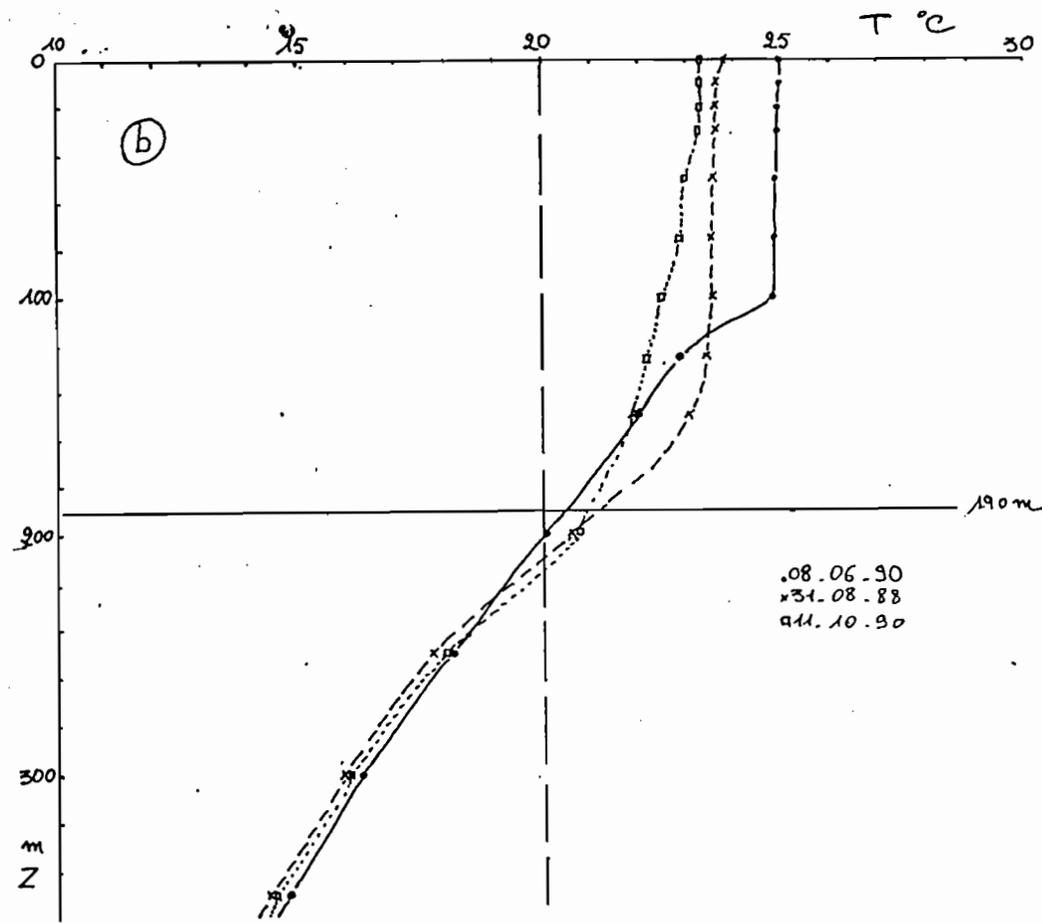
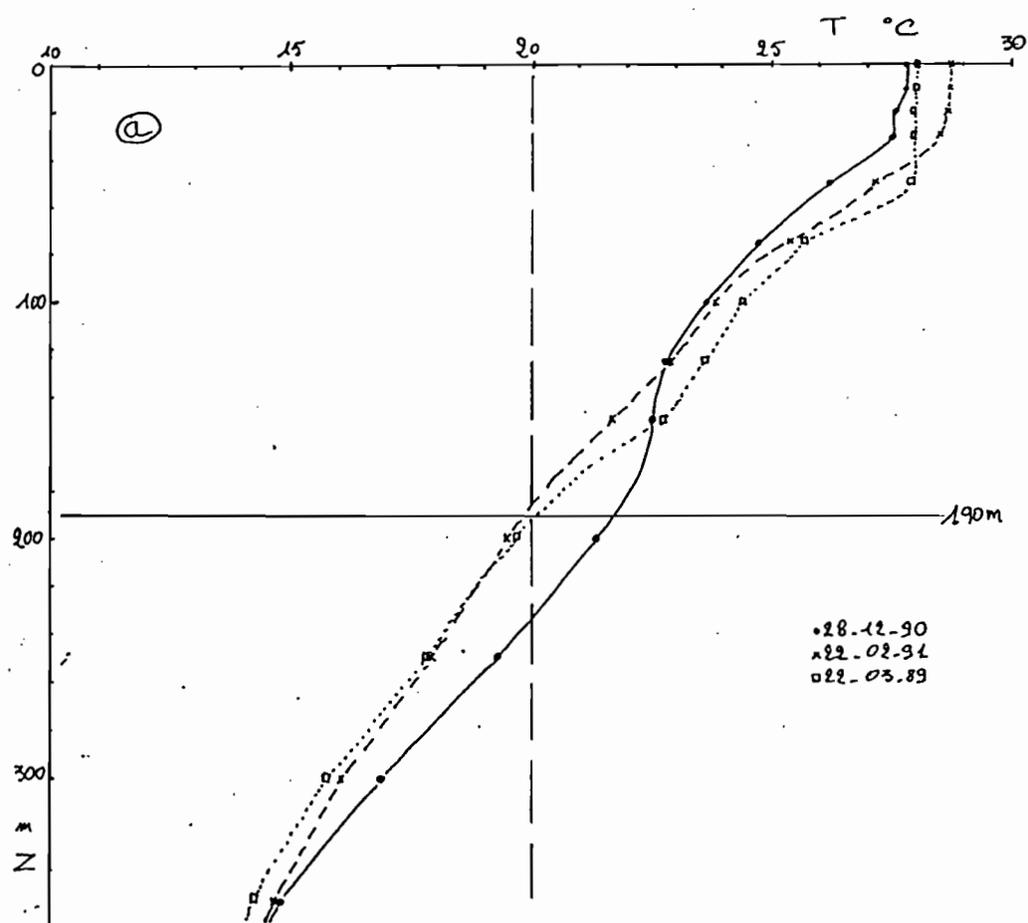


Fig. 21 - Quelques exemples de profils thermiques (a) de saison chaude et (b) de saison froide, dans les parages de La Réunion.