

DIRECTION DES CENTRES D'EXPÉRIMENTATIONS NUCLÉAIRES
SERVICE MIXTE DE CONTRÔLE BIOLOGIQUE

F. ROUGÈRE

R. GROS

M. BERNADAC

LE LAGON DE MURUROA:
(ARCHIPEL DES TUAMOTU)
ESQUISSE DES
CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES
ET ÉCHANGES AVEC L'OcéAN

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ET TECHNIQUE OUTRE MER



CENTRE DE PAPAËTE

NOTES ET DOCUMENTS D'OcéANOGRAPHIE

N° 80/16

AOÛT 1980

LE LAGON DE MURUROA (Archipel des TUAMOTU) :

Esquisse des caractéristiques hydrologiques et des échanges avec l'océan

Par .

ROUGERIE Francis⁽¹⁾

GROS Roger⁽²⁾

BERNADAC Michel⁽³⁾

-
- (1) - OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
B.P. 529 - PAPEETE - POLYNESIE FRANCAISE.
- (2) - LABORATOIRE D'ETUDE ET DE SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT
B.P. 519 - PAPEETE - POLYNESIE FRANCAISE.
- (3) - D.I.R.C.E.N./S.M.C.B.
B.P. 16 - 91130 - MONTLHERY.

AOUT 1980

N°1980-16

Section Océanographie

P L A N

	<u>Pages</u>
- SOMMAIRE	1
I) <u>L'ATOLL ET SON LAGON</u>	
1°) Bibliographie et caractéristiques générales	3
2°) Prélèvements et méthodologie	4
3°) Conditions météorologiques	5
a) des 12 mois précédant l'étude	5
b) du mois de mai 1980	7
II) <u>CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES</u>	
1°) De la zone marine périphérique	8
2°) Le lagon de MURUROA en mai 1980	12
a) couple température-salinité	12
b) densité	14
c) paramètres non conservatifs et production primaire	15
III) <u>CIRCULATION ET RENOUVELLEMENT DES EAUX</u>	18
IV) <u>MODELE DE FONCTIONNEMENT</u>	20
V) <u>RESUME ET CONCLUSION</u>	23
- BIBLIOGRAPHIE	25

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

- Figure 1 : L'atoll de MURUROA et son lagon
- " 2 : Position des stations hydrologiques effectuées en mai 1980
 - " 3 : Conditions météorologiques annuelles
 - " 4 : Diagramme T.S. d'ensemble à proximité de l'atoll de MURUROA
 - " 5 : Conditions hydrologiques moyennes
 - " 6 : Salinité de surface - Moyenne 1956 - 1974
 - " 7 : Température de la couche superficielle
 - " 8 : Salinité de la couche superficielle
 - " 9 : Coupes longitudinales de salinité
 - " 10 : Coupes transverses nord-sud de salinité
 - " 11 : Densité de la couche superficielle
 - " 12 : Coupes axiales de densité
 - " 13 : Coupes transverses nord-sud de densité
 - " 14 : Valeurs des inversions de densité surface - fond
 - " 15 : Silice dissoute en surface
 - " 16 : Silice dissoute au fond
 - " 17 : Coupes axiales de silice dissoute
 - " 18 : Coupes transverses de silice dissoute
 - " 19 : Chlorophylle a en surface
 - " 20 : Chlorophylle a au fond
 - " 21 : Coupes axiales de chlorophylle a
 - " 22 : Coupes transverses de chlorophylle a
 - " 23a : Formation de l'eau lagonaire
 - " 23b : Circulation déduite des propriétés hydrologiques
 - " 24 : Echanges lagon/océan par capillarité à travers le socle corallien poreux

Tableau I : Données numériques relevées en mai 1980
(8 paramètres)

Tableau IIa : Tableau climatologique mensuel

Tableau IIb : Isohyètes et écarts (%) par rapport
à la moyenne (mai 1980).

SOMMAIRE*

Le relevé hydrologique et physico-chimique des eaux du lagon de MURUROA effectué en mai 1980 permet d'établir les caractéristiques propres à ce lagon semi-ouvert où le départ d'eau par la zone de passe, entretenu par les vents alizés dominants, est compensé par une pénétration océanique par les hoa et le plancher de la passe, ce qui crée des inversions de salinité et de densité s'opposant à toute stratification du milieu. Des teneurs anormalement élevées en silice dissoute, semblables à celles mesurées dans d'autres lagons des TUAMOTU, proviennent manifestement d'un délestage de la nappe phréatique où la silice et d'autres molécules nutritives pourraient s'accumuler grâce à un processus de diffusion verticale à travers l'eau interstitielle du socle corallien, à partir de l'eau intermédiaire océanique (processus analogue à la diffusion à travers la pycnocline océanique). Ce même processus peut enrichir directement le lagon en sels minéraux et aurait pour conséquences

- d'une part de maintenir les fortes teneurs en chlorophylle a des eaux du lagon, valeurs qui ramenées à l'unité de surface sont équivalentes à celles de la couche euphotique océanique, ce qui plaide en faveur de l'analogie postulée.

- d'autre part d'équilibrer le bilan énergétique de l'écosystème lagonaire qui exporte vers l'océan une biomasse planctonique estimée à 10 tonnes par jour.

* Cette étude repose pour l'essentiel sur les données recueillies en mai 1980 dans le lagon de MURUROA au cours d'une mission demandée par le Service Mixte de Contrôle Biologique à laquelle ont participé les organismes suivants :

- Laboratoire d'Etudes et de Surveillance de l'Environnement
- Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
- Service Mixte de Contrôle Biologique.

SUMMARY

The hydrological and physico-chemical survey made in may 1980 in the MURUROA lagoon (TUAMOTU archipelago) show the peculiar features of this half-open lagoon where water outflowing, induced by easterly trade-winds, is balanced by oceanic water penetrating by hoas and on the bottom of the pass, that give salinity and density anomalies. High amounts of dissolved silicate originating in brackish water located under atoll corona and high level in \bar{a} chlorophyll could be explained by permanent nutrients flow, diffusing in the interstitial salt water impregnating the porous coral reef shelf, from intermediate oceanic water (400 meters). Owing to this process, similar to the nutrient diffusion across pycnocline holding oceanic euphotic layer enrichment, lagoon produces same quantity of \bar{a} chlorophyll by square meter (20 mg/m²) as in lighted oceanic layer and can lose, without exhausting, a planktonic biomass estimated at 10 tons by day.

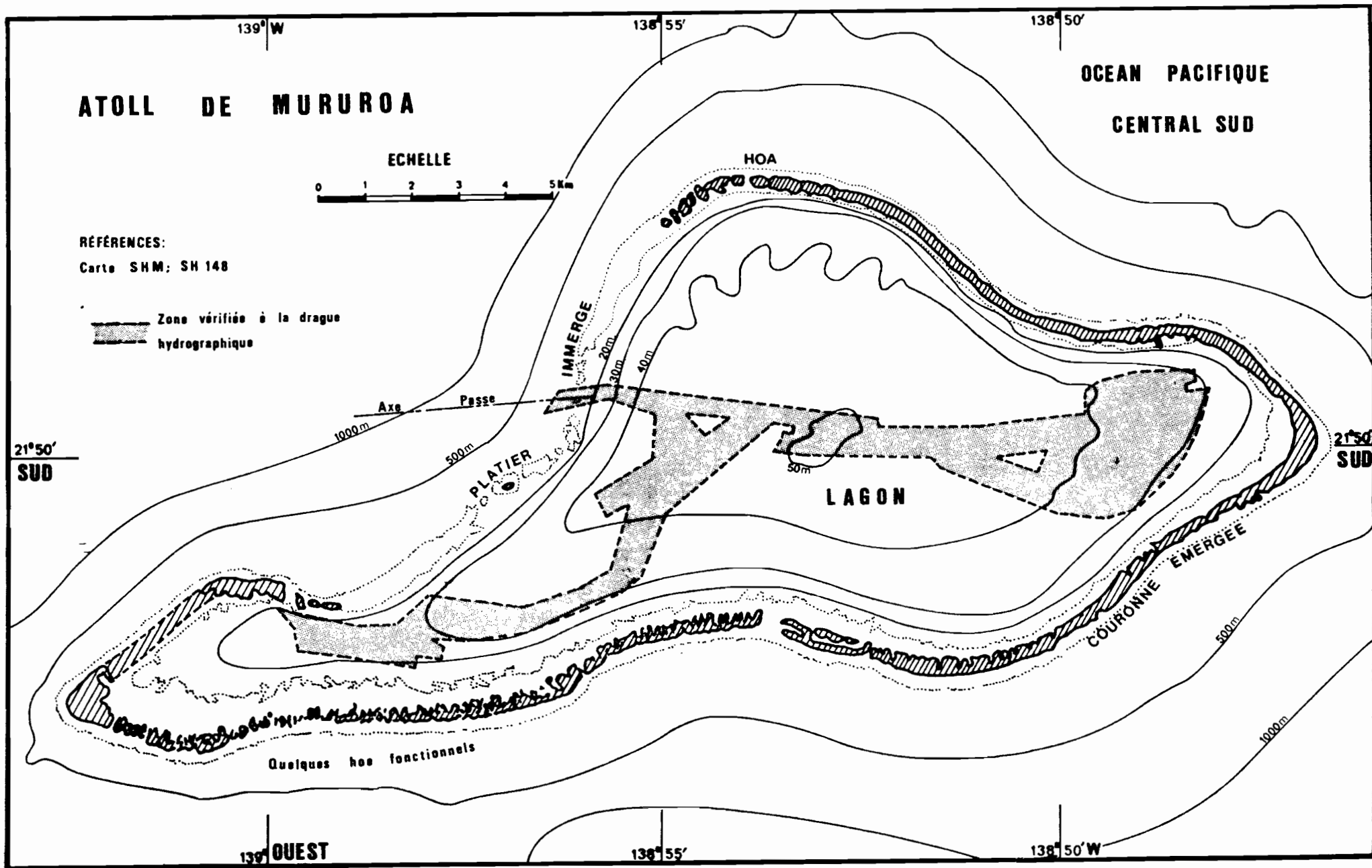


Figure 1

I/ - L'ATOLL ET SON LAGON

1°) Bibliographie et caractéristiques générales

L'étude géomorphologique publiée par CHEVALIER et al (1969) et reprise dans "MURUROA", ouvrage de 333 pages consacré à cet atoll, constitue le document de base de toute présentation de l'atoll de MURUROA puisque ces auteurs y traitent successivement de la couronne récifale (conglomérat ancien et matériaux bioclastiques), du récif extérieur (platier, crête algale, pente externe, hoa, bord du lagon) et du lagon (constructions récifales, sédimentation, échanges lagon/océan). Les facteurs bionomiques, écologiques et structuraux sont également abordés et bénéficient dans le reste de l'ouvrage de développements spécifiques apportés par différents auteurs appartenant à quatre organismes de recherche et ayant travaillé sous convention avec la Direction des Centres d'Expérimentations Nucléaires (DIR.C.E.N.) et le Service Mixte de Contrôle Biologique (S.M.C.B.). Cette synthèse constitue à nos jours le document le plus complet publié sur cet atoll où l'effort de recherche s'est d'ailleurs poursuivi avec des contributions dans le domaine des courants et des échanges par la passe (REVEL 1966 et CHEVRE 1971). La bathymétrie du lagon et des abords a été établie par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine dont la carte "SH 148" (édition 1963) a servi de modèle au tracé de la figure 1. L'O.R.S.T.O.M. a d'autre part réalisé en 1964 et 1965, dans le cadre du programme de recherches de la DIR.C.E.N., les croisières océanographiques ATOLL et BRISANTS permettant de recueillir dans la zone marine TUAMOTU-GAMBIER des données fondamentales sur l'hydrologie, la physico-chimie et les productions primaires et secondaires. (ROTSCHI et al, 1967 - HISARD et al 1967).

Géographiquement l'atoll de MURUROA (21°50 sud, 138°55 ouest) est situé dans le sud-est de l'archipel des TUAMOTU et à 400 km dans le nord-ouest des îles GAMBIER. La couronne récifale, discontinue dans sa partie occidentale, dépasse rarement 400 mètres de large pour une hauteur moyenne de 2 mètres et supporte dans la partie orientale et sud une importante cocoteràie. Les dimensions du lagon sont respectivement : longueur maximale 25 km, largeur maximale 9 km, périmètre 65 km, surface 125 km² et profondeur maximale (région centrale) 52 mètres. La partie occidentale est la moins profonde, particulièrement dans l'appendice ouest où les fonds sont inférieurs à 20 mètres pour plus de 40 mètres dans les parties centrales et orientales. Des pinacles coralliens affleurants en surface en toutes zones et surtout dans la partie ouest rendent

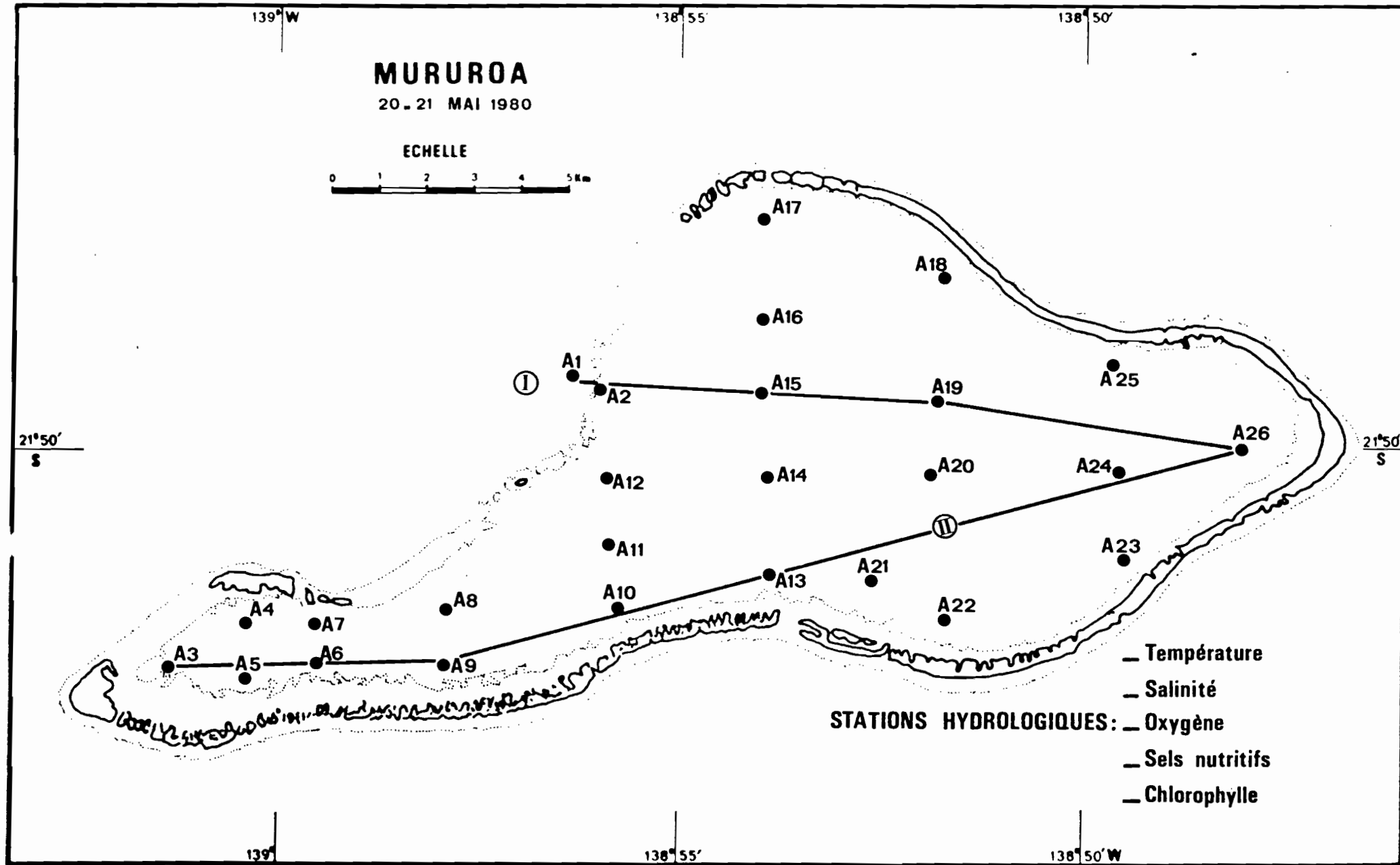


Figure 2

difficile un calcul précis du volume du lagon; celui-ci représenterait 2,5 milliards de m³ (CHEVALIER et al, op. cit.) à 3,5 milliards de m³ (MICHEL 1969). Cette masse d'eau n'est en communication directe avec l'océan que par les hoa de la côte sud-ouest et le grand platier immergé de la côte nord-ouest. Comme l'ont souligné les auteurs précités et également TRICHET (1969) qui a étudié les conditions biochimiques et mécaniques de formation des hoa, le rôle de ceux-ci se limite à laisser pénétrer dans le lagon de l'eau océanique superficielle, en période de forts alizés ou par grosse houle de sud. Les sorties d'eau lagon/océan se font donc uniquement par le nord-ouest où sur une longueur de 5 km, la profondeur du seuil récifal atteint plusieurs mètres, le contour de l'isobathe 10 mètres délimitant sur une centaine de mètres la zone de passe utilisée pour la navigation.

La marée océanique est de type semi-diurne à faible inégalité, avec un niveau moyen de 61 cm (Port de référence : atoll de HAO, 18°04 S, 141°00 W). En marée de vive eau, la pleine mer est à 100 cm, la basse mer à 30 cm. En l'absence de vent, cette onde de marée détermine les fluctuations du niveau du lagon et crée dans la zone de passe, une alternance de flux entrant et sortant dont la vitesse n'est généralement pas supérieure à 50 cm/s. Par alizé d'est bien établi, le courant sortant lagon/océan devient prépondérant, l'eau ne pénétrant à l'intérieur que pendant un temps très court à l'étale de pleine mer. Cela implique un rôle important d'apport d'eau au niveau des hoa (BABLET, 1980) et une analyse que nous aborderons au chapitre III.

2°) Prélèvements et méthodologie

Les emplacements des points de mesures et de prélèvements d'eau effectués les 20 et 21 mai 1980, sont indiqués sur la figure 2. Ces mesures concernant la couche de surface et celle située au ras du fond, sauf en A₁ et A₁₁ où plusieurs niveaux ont été décrits. (Tableau I).

Embarcation utilisée : "le biotope, bonitier de 9 mètres équipé d'un treuil à main avec 50 mètres de câble de 4 mm et d'un sondeur 0-200 m.

Mode opératoire - Prélèvements d'eau : bouteille NISKIN de 1,7 l.

- Température ; thermomètres à renversement

RICHTER, non réétalonnés depuis plusieurs années,
précision réelle de l'ordre de 0,05°C.

- Salinité : stockage de l'eau en flacons bouchés
de 330 ml. Analyse au salinomètre à induction AUTOLAB,
précision réelle : $\pm 0,002 \text{ ‰}$.

- Oxygène dissous : méthode de WINKLER ; fixation
immédiate et dosage au thiosulfate de sodium dans les 12 heures,
précision : $\pm 0,05 \text{ ml/l}$

- Sels nutritifs : prélèvements en flacon plas-
tique de 20 ml, stockage à - 20°C. Analyse sur chaîne automatique Technicon
selon méthodologie STRICKLAND (1965),
précision : $\pm 0,1 \text{ mmole/m}^3$

- Chlorophylle a : filtration de 100 ml d'eau
dans les 6 heures suivant le prélèvement. Conservation des filtres au froid
et à l'obscurité, dosage au fluorimètre TURNER,
précision : $\pm 0,01 \text{ mg/m}^3$

Ces analyses ont été effectuées au Laboratoire d'Etude et de Sur-
veillance de l'Environnement (L.E.S.E.) par Mr. L. MAREC et Mlle J. LAPORTE.
Les résultats complets sont présentés dans le tableau I (ANNEXE).

3°) Conditions météorologiques

a) Des 12 mois précédents l'étude.

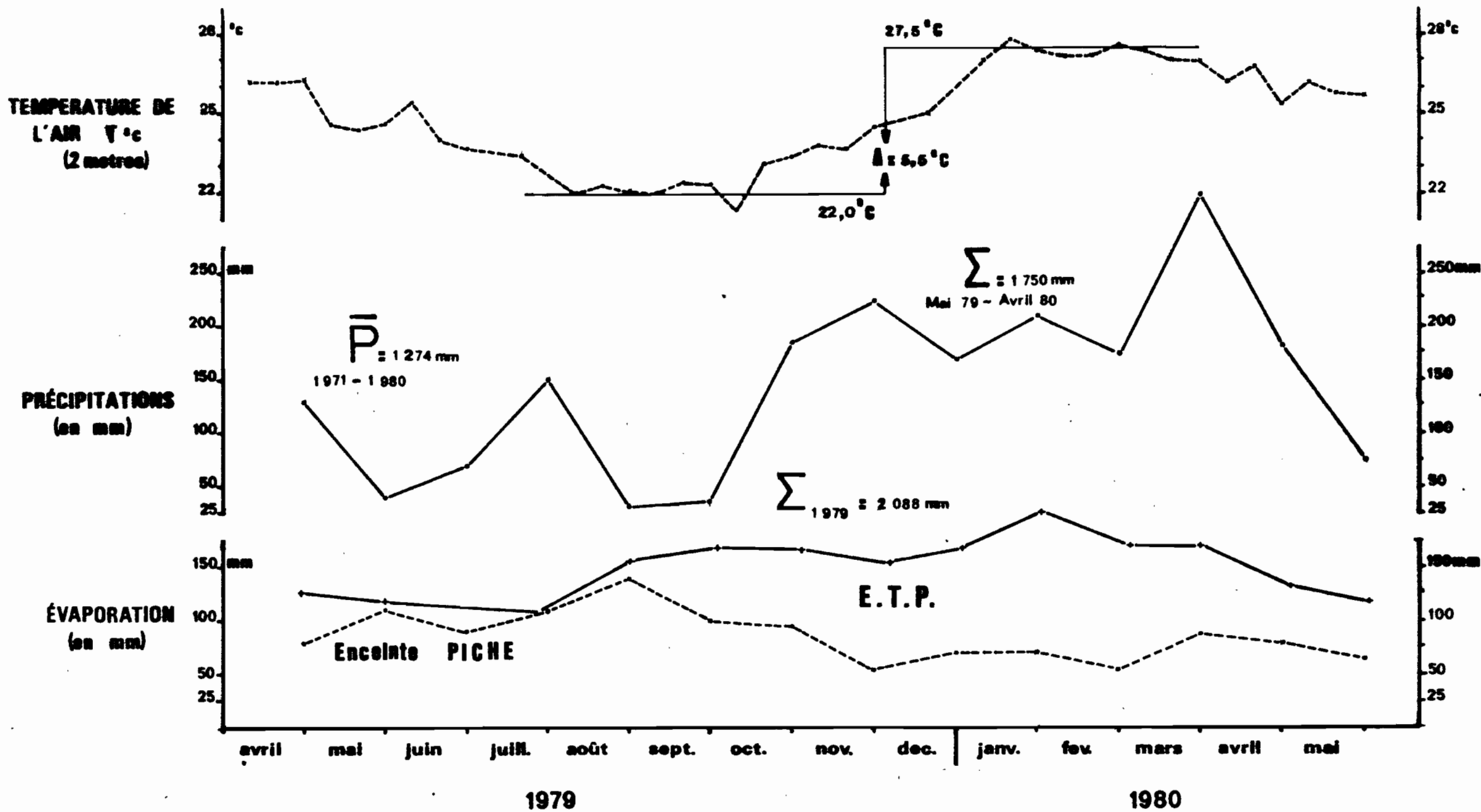
Le relevé détaillé des conditions météorologiques régnant sur
l'atoll est établi par la Direction de la Météorologie sous forme d'un tableau
climatologique mensuel compilant le résultat des 8 observations quotidiennes
de la température de l'air, de l'insolation, des précipitations, de l'évapora-
tion et du vent. Ces données sont également intégrées dans le Résumé Mensuel
du temps, publié par les services météorologiques de la D.S.A.C. et du C.E.P. (★)
et intéressant toute la Polynésie Française.

(★) - B.P. 6005 ou S.P. 91.426 - Aéroport de TAHITI - FAAA.

La figure 3 présente, d'avril 1979 à mai 1980, l'évolution de la température de l'air, (décade par décade), des précipitations et de l'évaporation (mensuelles) sur l'atoll de MURUROA.

Situé très près du tropique du Capricorne, l'atoll subi de juillet à septembre les effets de l'hiver austral et une température moyenne de l'air de l'ordre de 22°C, le minimum minimorum enregistré début octobre étant manifestement lié à de fortes précipitations. En janvier et février, mois les plus chauds en zone tropicale sud, la moyenne des températures de l'air oscille entre 27 et 28°C, d'où un écart thermique moyen de 6°C entre les saisons opposées. On peut également remarquer que le réchauffement qui précède l'été austral est rapide alors que le refroidissement de l'air à partir de mars s'opère de façon plus lente et plus erratique. La courbe tracée à partir des hauteurs de précipitations mensuelles indique un décuplement des valeurs entre le mois le plus sec (août 1979 : 30 mm) et le plus arrosé (mars 1980 : 300 mm). On sépare ainsi aisément la saison froide à faibles précipitations (moyenne de l'ordre de 75 mm) de la saison chaude où la moyenne mensuelle est supérieure à 200 mm. Pour les 12 mois considérés, les précipitations totales ont atteints 1.750 mm, alors que la moyenne annuelle calculée depuis 1971 est de 1.274 mm.

L'évaporation, exprimée également en mm d'eau, a une amplitude de variation annuelle plus faible et une tendance évidemment opposée à la précédente : les fortes valeurs, supérieures à 100 mm/mois se placent de mai à octobre, les valeurs les plus faibles (50 mm) étant notées en novembre et février. Ces valeurs d'évaporation, obtenues en enceinte PICHE, si elles expriment bien les tendances instantanées ne peuvent en aucun cas être considérées comme des valeurs absolues et se révèlent toujours très inférieures à la réalité. Pour cette raison, les services de la météorologie en Polynésie Française calculent l'évapotranspiration potentielle (E.T.P.), donnée obtenue à partir de l'évaluation du bilan radiatif au sol, du rayonnement réfléchi et de la chaleur latente d'évaporation de l'eau. L'E.T.P. est toujours supérieure à l'évaporation PICHE de 50 à 100 %, mais les études menées à TAHITI - FAAA ont montré une bonne similitude entre ces valeurs calculées et les données réelles d'évaporation obtenues en grand bac évaporateur de type A (PASTOUREL, communication personnelle). En moyenne l'évaporation réelle, en milieu océanique tropical représente 1,8 fois la valeur obtenue par la méthode PICHE.



CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Figure 3

Ces considérations sont importantes, car selon le signe du rapport évaporation/précipitations locales, les eaux océaniques superficielles vont être diluées par la pluie (abaissement de la salinité), ou au contraire se charger en sel. On sait qu'à cet égard la zone des TUAMOTU de l'est est remarquable puisqu'il s'y forme en surface l'eau la plus salée de l'océan Pacifique ($S > 36,5 \text{ ‰}$), preuve formelle d'une évaporation moyenne largement supérieure aux précipitations. A MURUROA, l'évaporation PICHE est en 1979 de 1.160 mm, soit une évaporation réelle de 2.088 mm : la perte en eau douce de la couche océanique superficielle est donc de l'ordre de 500 mm, entraînant une augmentation inéluctable de la salinité. Si l'on prend les moyennes annuelles depuis 1971, la perte en eau atteint 800 mm ; cette valeur est supérieure à l'estimation de 600 mm donnée par DIETRICH (1957) pour l'ensemble du Pacifique central tropical sud et donc parfaitement compatible avec la formation en surface, dans l'est des TUAMOTU (et au nord-est de MURUROA) de l'eau la plus salée du Pacifique.

Cette évaporation est favorisée par le régime des vents alizés qui, à la latitude du tropique sud se situent à 70 % dans la gamme 5 à 9 m/s. La direction dominante est l'est, avec rotation préférentielle au sud-est en hiver austral et au nord nord-est en été. Les dépressions cycloniques d'été atteignent rarement les TUAMOTU orientales, mais peuvent être accompagnées de fortes rafales de vents d'ouest.

b) mois de mai 1980

Une analyse précise des conditions météorologiques relevées en mai 1980 (tableau II) fait apparaître :

- Une diminution rapide de la température de l'air entre le début et la fin du mois. Si l'on compare la 1ère et la 3ème décade, le refroidissement pris sur la moyenne des maxima est de $1,1^{\circ}\text{C}$ et atteint $1,4^{\circ}\text{C}$ sur la moyenne des minima. Pour l'ensemble du mois, la moyenne générale est de $25,6^{\circ}\text{C}$ alors qu'elle était de $26,2^{\circ}\text{C}$ le mois précédent. En cette fin d'été austral, l'influence des masses d'air tempérées, poussées par les alizés d'est, commence à devenir prépondérante, contribuant ainsi au déficit du bilan radiatif local. De plus la durée mensuelle de l'insolation est inférieure à 200 heures, soit un déficit de 10 % par rapport à la moyenne de mai des 7 années précédentes (210 heures) ; ceci reflète une couverture nuageuse importante, le

niveau "très nuageux à couvert" ayant été atteint 10 jours dans le mois pour une nébulosité moyenne de 4,8 octas.

En revanche, la pluviométrie est normale pour la saison, le total de 75 mm n'excédant que de très peu l'évaporation de 73 mm mesurée en enceinte PICHE, et restant inférieure à l'E.T.P. de 113 mm. Par comparaison, les îles de la Société et les Australes ont reçu en mai 1980 des précipitations 2 à 3 fois supérieures à la normale, alors que les TUAMOTU du nord enregistraient un déficit. La carte II b permet de visualiser le tracé de la ligne d'écart zéro des précipitations par rapport à la moyenne qui, en mai, passe par MURUROA. Le vent mesuré au sol est resté relativement constant au cours du mois avec une vitesse moyenne de 6,8 m/s et quelques pointes à 16 m/s généralement enregistrées en début d'après-midi. La direction est/sud-est est franchement dominante et seules quelques brèves périodes de vent de nord nord-est ont été notées. En fin de mois, une légère rotation au sud-est accompagnée de vitesses moyennes supérieures à 10 m/s indiquait un renforcement sensible de l'alizé. Pendant les 2 journées de prélèvements dans le lagon, il soufflait un vent d'est passant de moins de 5 m/s le matin à plus de 8 m/s en début d'après-midi, levant alors une courte houle hachée à crête déferlante.

II/ - CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES

1°) De la zone marine périphérique

Par ses vastes dimensions et son éloignement des grandes zones d'activité humaine, l'océan Pacifique sud est actuellement le moins bien connu des grands océans et ne bénéficie que depuis peu des études globales à long terme des programmes Hydroclimat (ORSTOM), NORPAX (Université d'Hawaii, SCRIPPS), GARP (première expérience mondiale).

Dans le Pacifique central sud, la première analyse détaillée de la zone TUAMOTU-GAMBIER a été effectuée par DESROSIERES et WAUTHY (1972) avec principalement les données de la croisière BRISANTS (HISARD et al, 1967). Ces auteurs ont ainsi mis en évidence la présence de plusieurs masses d'eaux superficielles qui en reprenant la terminologie classique de BURKOV (1966) représentent du nord au sud :

- l'eau de surface subtropicale centrale sud, caractérisée par une salinité supérieure à 36,0 ‰.

- l'eau de surface tropicale sud, dont la salinité inférieure à 36,0 ‰ décroît vers l'ouest par mélange avec l'eau peu salée apportée par le contre-courant tropical sud.

- l'eau de surface des latitudes tempérées sud, froide et peu salée ($S < 35,0$ ‰) qui au niveau de la convergence tropicale plonge sous les eaux plus légères situées au nord.

La position de cette convergence varie avec la saison avec comme limites extrêmes moyennes d'oscillation les latitudes 20° S (hiver austral) et 30° sud (été austral). Cette situation moyenne peut-être perturbée par l'arrivée par l'est d'une eau formée dans les hautes latitudes sud et ayant cheminé le long de la côte sud américaine: c'est l'eau de surface du Pérou, de salinité et de température plus faibles que les deux premières eaux types citées.

Les eaux subsuperficielles et intermédiaires non soumises aux aléas de la climatologie ont des caractéristiques hydrologiques stables et un déplacement assez constant, vers l'ouest pour les premières, vers le nord pour les secondes (BARKLEY, 1968). Un examen des données de la croisière ATOLL (ROTSCHI et al, 1967) indique la présence autour de MURUROA, d'eau de salinité plus élevée en subsurface et un recouvrement des valeurs des paramètres hydrologiques avec ceux de BRISANTS à partir de 300 mètres de profondeur.

Une première conclusion est que, située juste au nord du tropique, la zone de MURUROA peut être baignée aussi bien par les eaux subtropicales sud que tropicales sud et se trouver en hiver austral, du fait de la migration méridienne de la convergence subtropicale, sous l'influence directe des eaux tempérées sud.

Les travaux plus récents menés en 1977 et 1978 aux abords de MURUROA (*) par BOURRET et al. (1979), pour tenter de mettre en évidence et de quantifier l'effet d'île de cet atoll sur l'écosystème océanique, ont essentiellement permis de faire un bilan qualitatif et quantitatif des espèces

(*) - Convention ORSTOM - SMCB

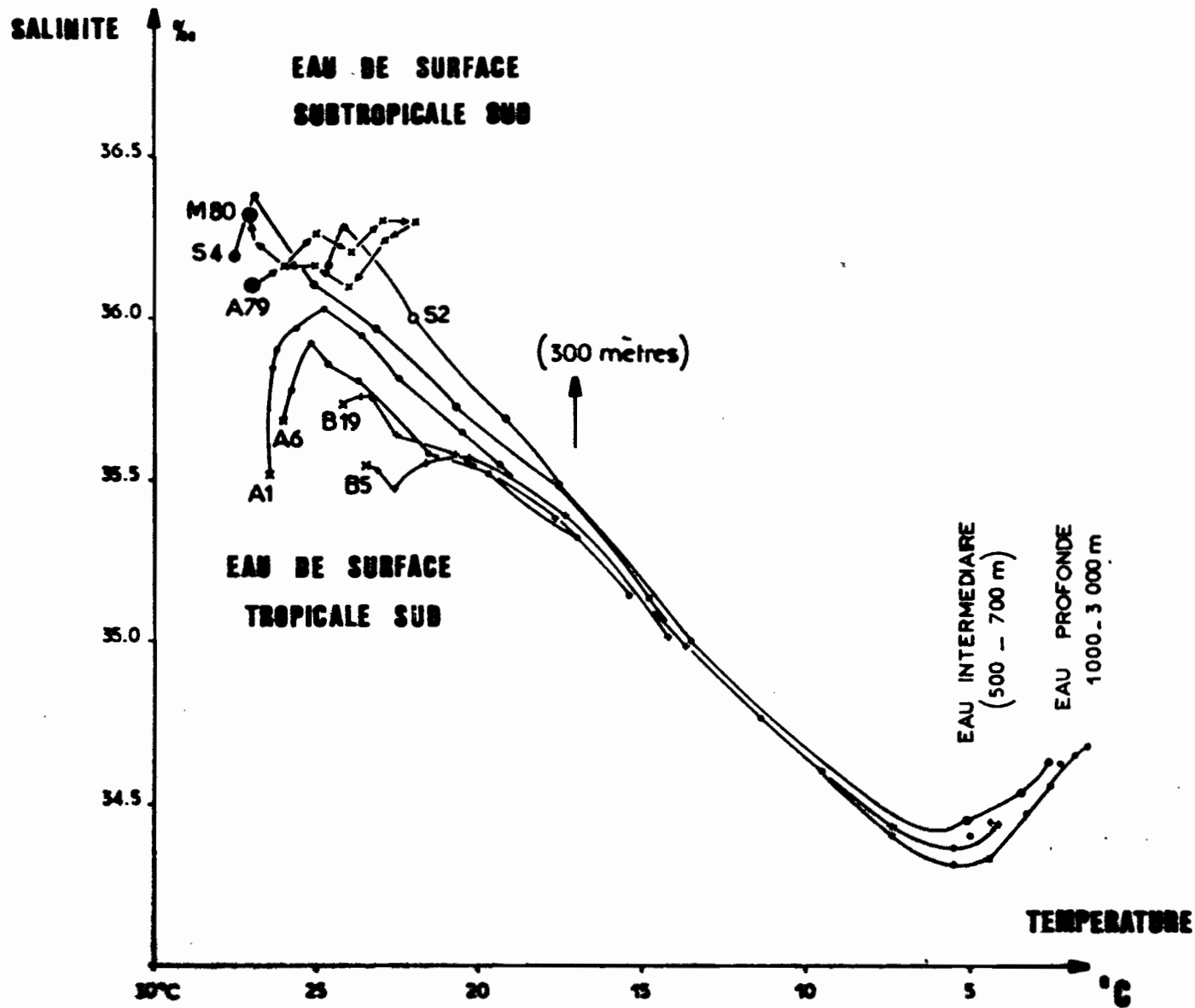


DIAGRAMME T.S. d'ensemble à proximité de l'atoll de MURUROA

Figure 4

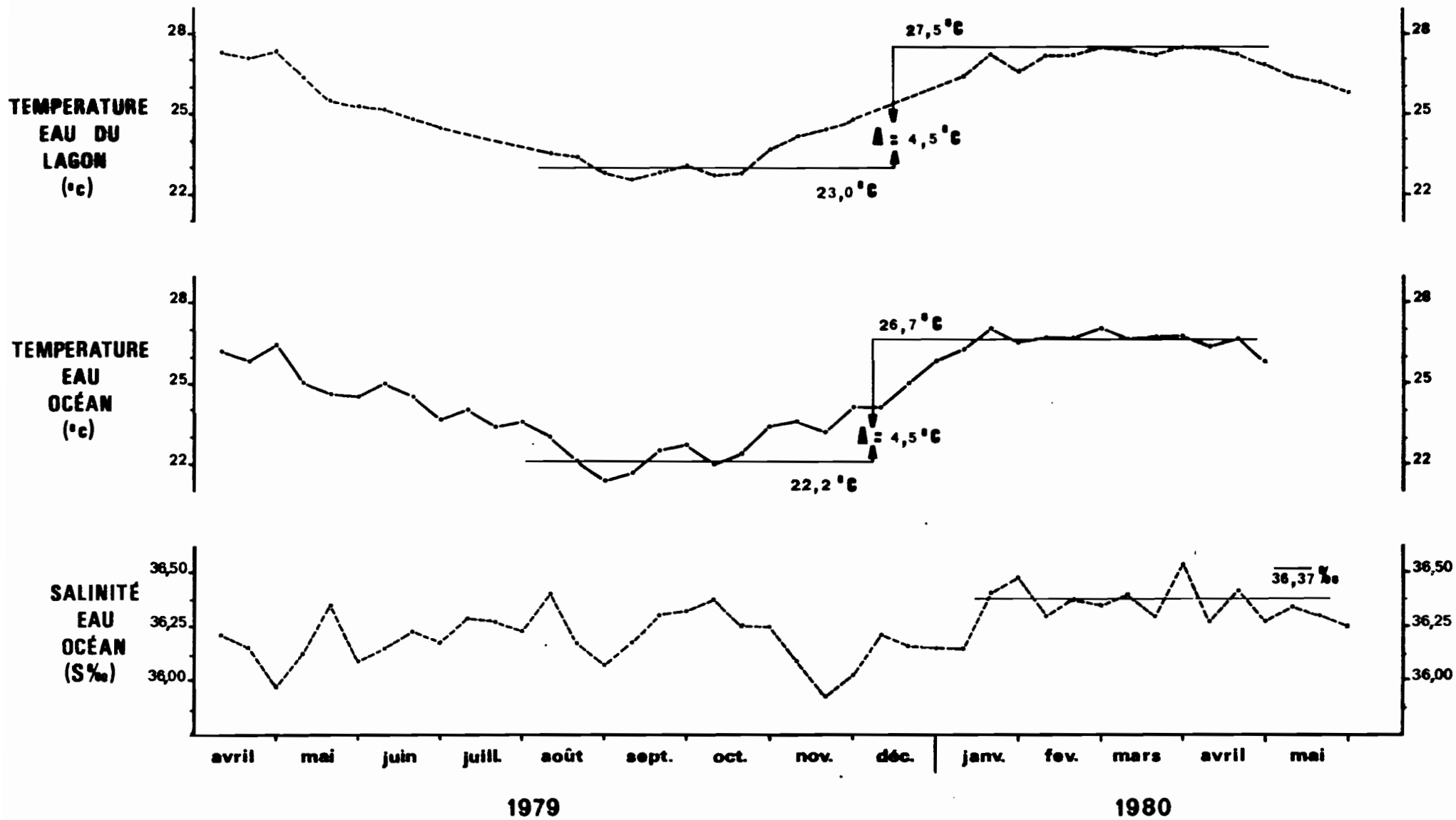
Décembre 1964	ATOLL	A1	21° 13 S 139° 10 W
Janvier 1965	ATOLL	A6	22° 17 S 141° 13 W
Septembre 1965	BRISANTS	B5	22° 32 S 137° 55 W
Septembre 1965	BRISANTS	B19	21° 40 S 138° 59 W
Mars 1977	SILLAGE	S4	21° 50 S 139° 10 W
Décembre 1977	SILLAGE	S2	21° 45 S 138° 20 W

A79 M80 Station Océanique (surface)
d'Avril 1979 à Mai 1980

planctoniques et micronectoniques présentes, sans que les trop rares données sur le milieu physico-chimique aient permis d'établir des corrélations avec les facteurs écologiques. Il était donc difficile à ces auteurs d'aller, dans ce domaine au delà de conclusions assez prudentes, une seule mission "Sillage" en décembre 1979 ayant montré la présence, sous le vent de l'atoll, d'eaux présentant un net indice de refroidissement par advection verticale (upwelling), après une décade de forts alizés de sud-est. Pourtant seule la répétition de ce genre d'expérimentation pourrait permettre de préciser dans quelles conditions la présence d'atoll peut déclencher dans son sillage des mouvements advectifs et tourbillonnaires, tels que ceux prévus dans les modèles classiques de VON ARX (1954) et BARKLEY (1972).

Dans leur analyse de la province marine de MURUROA, BOURRET et al (op. cit.) proposent une relation causale étroite entre la position de la convergence subtropicale et le sens de la dérive des eaux superficielles ; cette dérive porterait à l'est lorsque l'axe de la convergence se trouve au nord de l'atoll (hiver austral) alors qu'elle serait ouest lorsque la convergence est au sud (été austral). Bien qu'étayée par des considérations tirées de l'atlas de GORSHKOV (1974), cette représentation a l'inconvénient de privilégier en hiver austral une circulation superficielle opposée aux alizés d'est, qui sont alors pourtant bien établis. En l'absence de mesures directes suffisamment étalées dans le temps et des résultats des dérives de bouées du programme GAPP, il semble prématuré de proposer un modèle précis de la circulation dans cette zone marine, d'autant que, comme l'ont montré DONGUY et al. (1974) à l'ouest de la Polynésie, la circulation géostrophique n'est jamais purement zonale ou méridienne mais procède plutôt de vastes tourbillons à moyenne et grande échelle, illustrant les états successifs d'équilibres toujours précaires des conditions hydroclimatiques.

La figure (4) présente un diagramme Température-Salinité (T.S.) d'ensemble des eaux océaniques au voisinage de MURUROA, à partir des données déjà citées auxquelles sont ajoutées celles des observations quotidiennes effectuées depuis 1978 sur la frange externe de l'atoll. On peut noter la disparité entre le système superficiel rencontré pendant BRISANTS (eau tropicale sud) et celui de la croisière ATOLL (eau subtropicale sud plus salée et plus chaude). Les eaux des missions SILLAGE (1977) et celles de 1979-1980 appartiennent à cette dernière catégorie avec une salinité comprise entre 36,1 ‰ et 36,4 ‰.

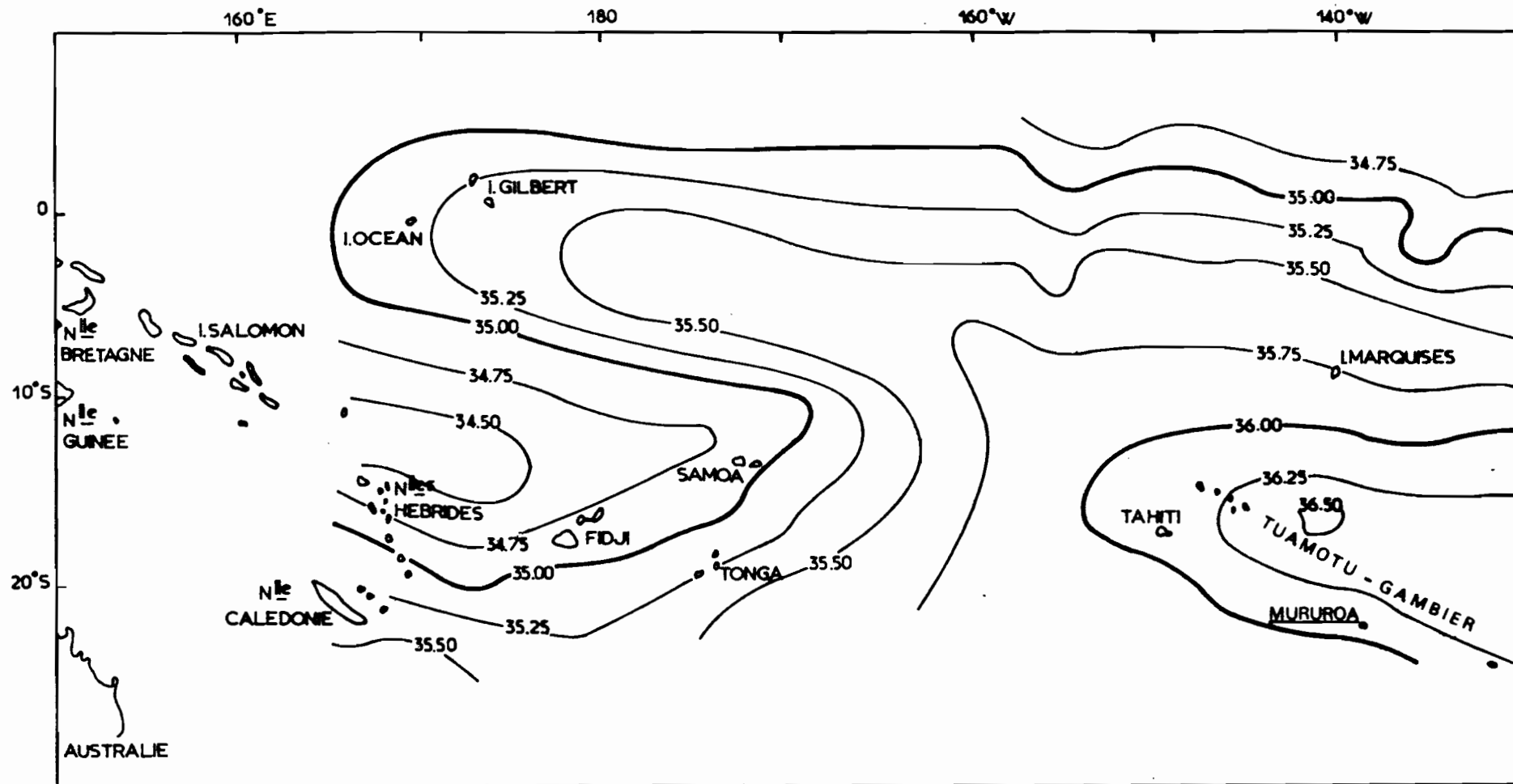


CONDITIONS HYDROLOGIQUES

Figure 5

Ce diagramme et celui de la figure (5) permettent également de fixer les limites des variations thermiques annuelles à la latitude de MURUROA : en août et septembre 1979, la température moyenne de l'eau de surface est de 22°C avec quelques valeurs à 21,5°C ; à partir d'octobre le réchauffement est rapide et entre janvier et mars la moyenne de température océanique est de 27°C, soit une variation annuelle de 5°C.

Les synthèses actuelles sur l'hydroclimat du pacifique sud montrent que les grandes fluctuations de salinité, et dans une certaine mesure de la température, ne sont pas contrôlées uniquement par les changements de saisons, malgré leur importance locale sur le bilan radiatif et le rapport évaporation/précipitations, mais reflètent une perturbation globale dans l'équilibre géostrophique à l'échelle de l'océan, conduisant à définir des périodes de fortes anomalies, comme les années 1958 et 1973 (DONGUY et HENIN, 1978). Ces auteurs ont pu dresser, à partir de plusieurs dizaines de milliers de données, la carte de la salinité moyenne du pacifique sud-ouest et central entre 1956 et 1974. (Fig. 6). L'est des TUAMOTU apparaît bien comme la zone de formation de l'eau la plus salée ($S > 36,5 \text{ ‰}$) alors que l'axe SAMOA-SALOMON est baigné par des eaux de salinité inférieure à 35 ‰, dont la poussée vers l'est sud-est peut s'accroître momentanément : la Polynésie est alors touchée par des eaux dessalées dont l'influence peut encore être notée jusqu'aux îles GAMBIER, comme en hiver 1965 pendant la croisière BRISANTS. D'après WYRTKI (1979) qui étudie les mécanismes générateurs de l'arrivée, jusqu'ici imprévisible, au large des côtes du Pérou d'un courant chaud appelé "el Niño", ce sont les variations sur le long terme de la force des alizés qui sont responsables des anomalies constatées ; en particulier si une longue période d'alizés de sud-est/est bien établis, favorisant la grande dérive équatoriale des eaux vers l'ouest et créant de ce fait une accumulation d'eau en bordure occidentale du Pacifique, est suivie d'une période de calmes : la relaxation des vents ainsi créée va déclencher un renforcement considérable des courants de retour qui vont évacuer vers l'est sud-est ce surplus d'eaux dont les caractéristiques hydrologiques sont celles du système équatorial superficiel, température élevée et salinité faible. Cette dérive vers le tropique d'une fraction de la quantité de chaleur équatoriale aura, on s'en doute, de grandes conséquences climatologiques, alors qu'au plan biologique, les eaux d'origine équatoriales étant très appauvries en sels nutritifs, la productivité primaire diminuera sensiblement.



SALINITE DE SURFACE MOYENNE (1956 - 1974)

DONGUY, HENIN (1978)

— Figure 6 —

2°) Le lagon de MURUROA en mai 1980

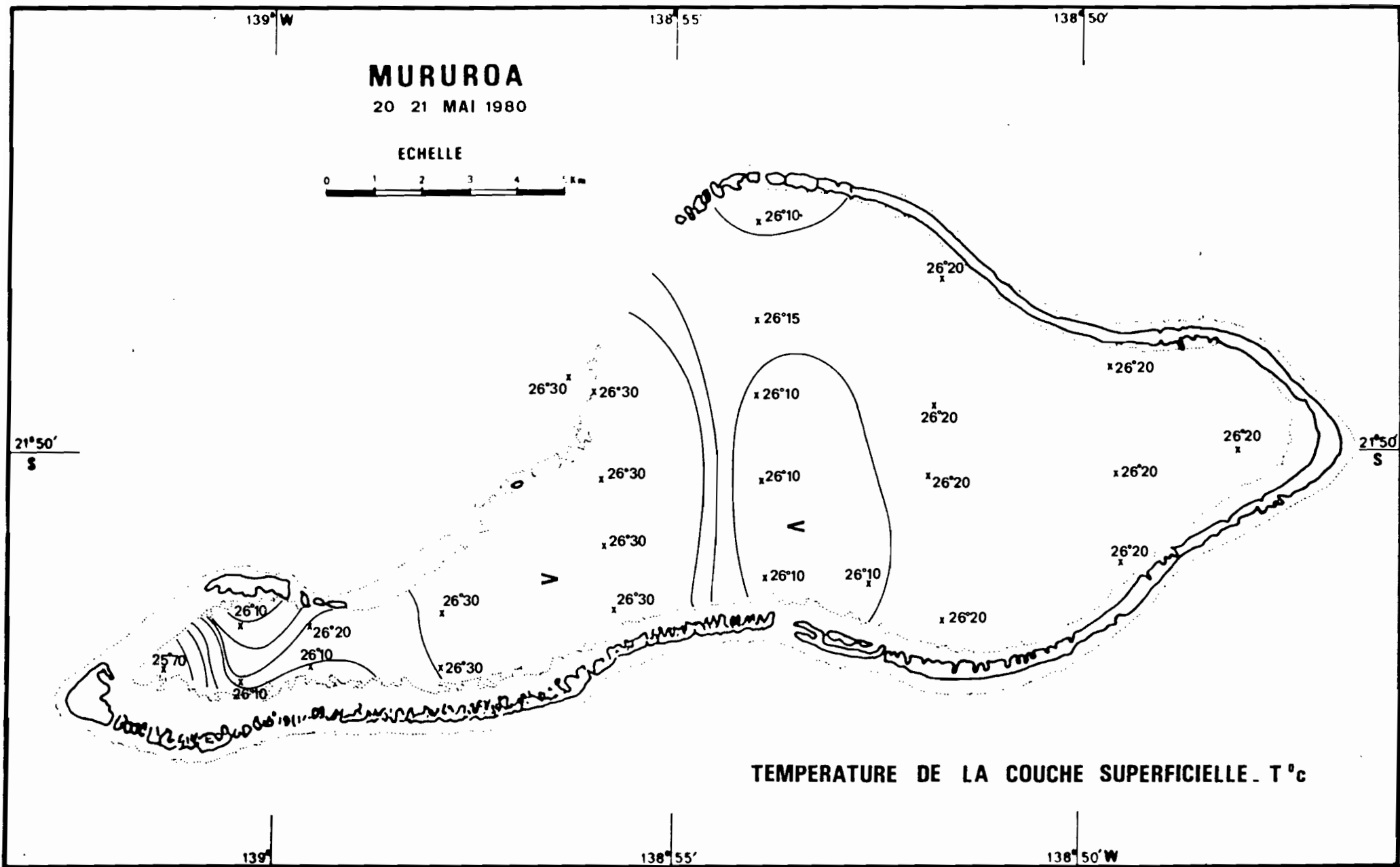
A l'échelle océanique, l'eau incluse dans un lagon constitue une quantité négligeable qui, soustraite provisoirement à la circulation générale, finit par y retourner, après un temps de résidence dépendant principalement de la géomorphologie de l'atoll. Les propriétés hydrologiques et physico-chimiques d'une eau lagonaire sont dans un premier temps celles de l'eau océanique superficielle environnante dont on a vu qu'elle pouvait subir d'importantes fluctuations selon l'advection horizontale et verticale, la saison, le rapport local évaporation/précipitation etc... A ces fluctuations à long terme se surimposent des variations à courte période, spécifiques de chaque atoll, modifiant progressivement l'eau océanique pour lui donner des caractéristiques différentes permettant de définir plus ou moins nettement une eau lagonaire.

a) couple température - salinité

En mai, à l'extérieur de l'atoll et dans la partie située au droit de la passe (station A₁), la température de la couche superficielle est de 26,30° en surface et de 26,10°C à 50 mètres de profondeur. Dans la passe elle-même, où nous avons enregistré un courant sortant de 0,4 m/s à 0,5 m/s sur toute la colonne d'eau (10 mètres) la température est uniformément de 26,30°C. Dans l'axe médian passe - extrémité Est, on note un léger refroidissement de l'eau du lagon dont les valeurs en surface sont comprises entre 26,10° et 26,20°C (Fig. 7). Dans la partie lagonaire située au sud de la passe, on retrouve en surface l'isotherme 26,30°C, signe d'une influence océanique directe, à la fois par la passe et par les hoa de la bordure sud-ouest ; l'appendice ouest abrite en revanche les eaux les plus froides avec, à l'extrémité du cul de sac terminal (A₃), des températures comprises entre 25,70°C en surface et 25,40°C au fond.

Au sein de la masse liquide du lagon, les températures sont très proches de celles observées en surface, les écarts thermiques verticaux ne dépassent pas (sauf en A₃) 0,10°C ; on peut donc estimer à 26,20°C la température globale des eaux du lagon, valeur identique à la température de la couche superficielle océanique voisine.

Au cours des 12 mois précédents, la température des eaux de surface du lagon était de 27,5°C en été (moyenne de février et mars 1980) pour 23,0°C



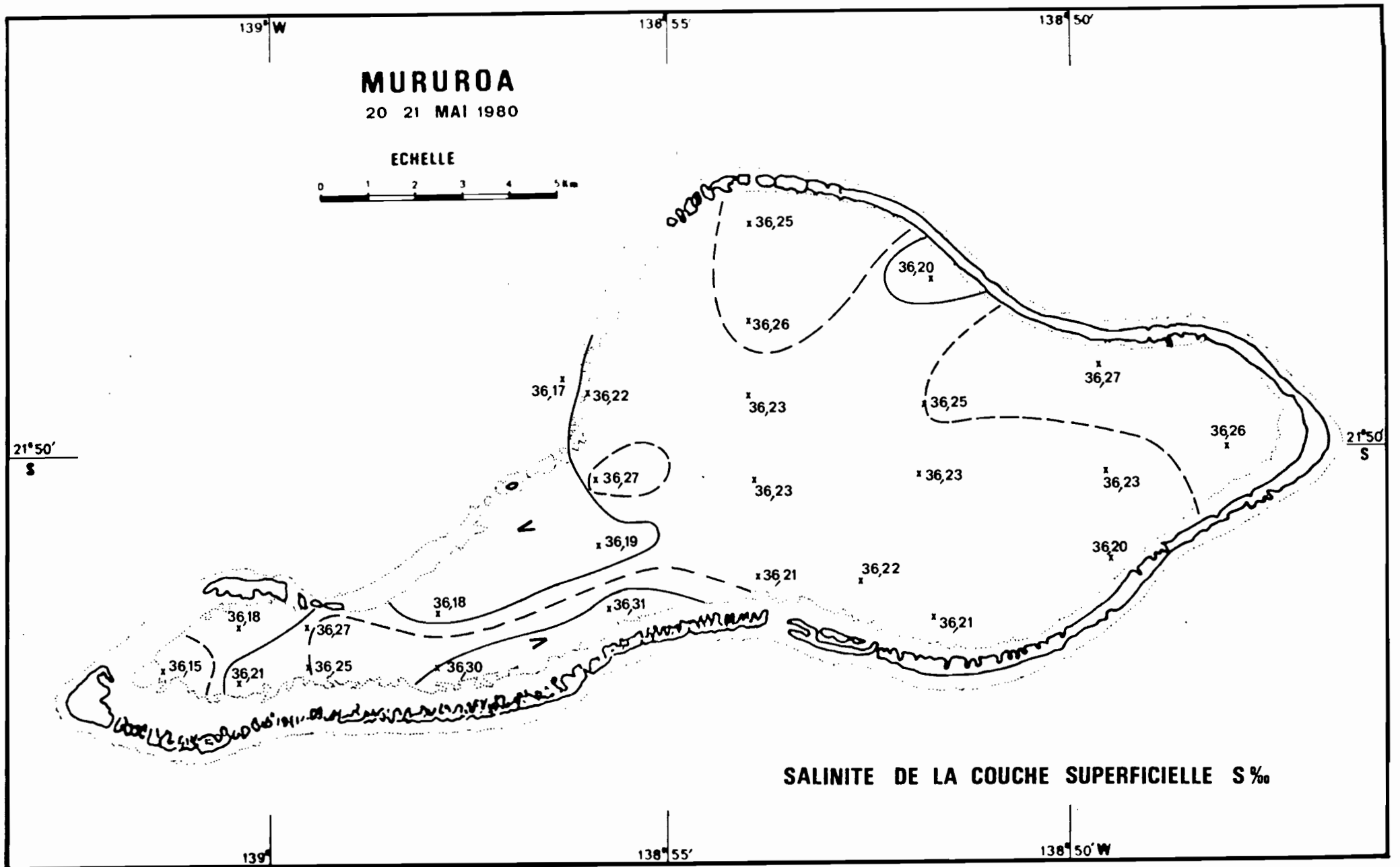
— **Figure 7** —

en hiver (moyenne d'août et septembre 1979), soit une ondulation thermique annuelle de $4,5^{\circ}\text{C}$. On trouve un chiffre identique pour la variation thermique annuelle de l'eau océanique de la frange externe de l'atoll, avec toutefois un décalage systématique vers le bas de $0,8^{\circ}\text{C}$. L'eau du lagon est donc en moyenne plus chaude que l'eau océanique superficielle, ce qui n'est pas significativement le cas en mai où les 2 systèmes ont la même quantité de chaleur. En avril 1966, MICHEL (op. cit.) avait également trouvé une différence de $0,4^{\circ}\text{C}$ en faveur des eaux du lagon (profils bathythermiques dans le lagon et à l'extérieur). En revanche des mesures effectuées par le N.O. CORIOLIS, dans l'atoll de HAO en septembre 1965, donnaient une moyenne de $25,39^{\circ}\text{C}$ pour l'eau du lagon et $25,70^{\circ}\text{C}$ pour l'eau océanique (moyenne sur 40 mètres).

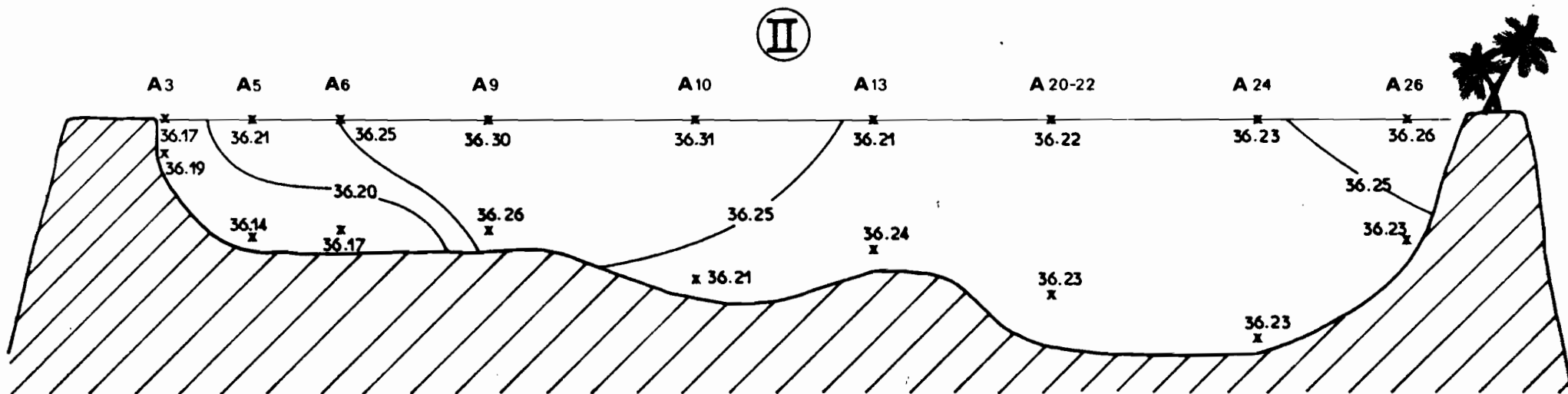
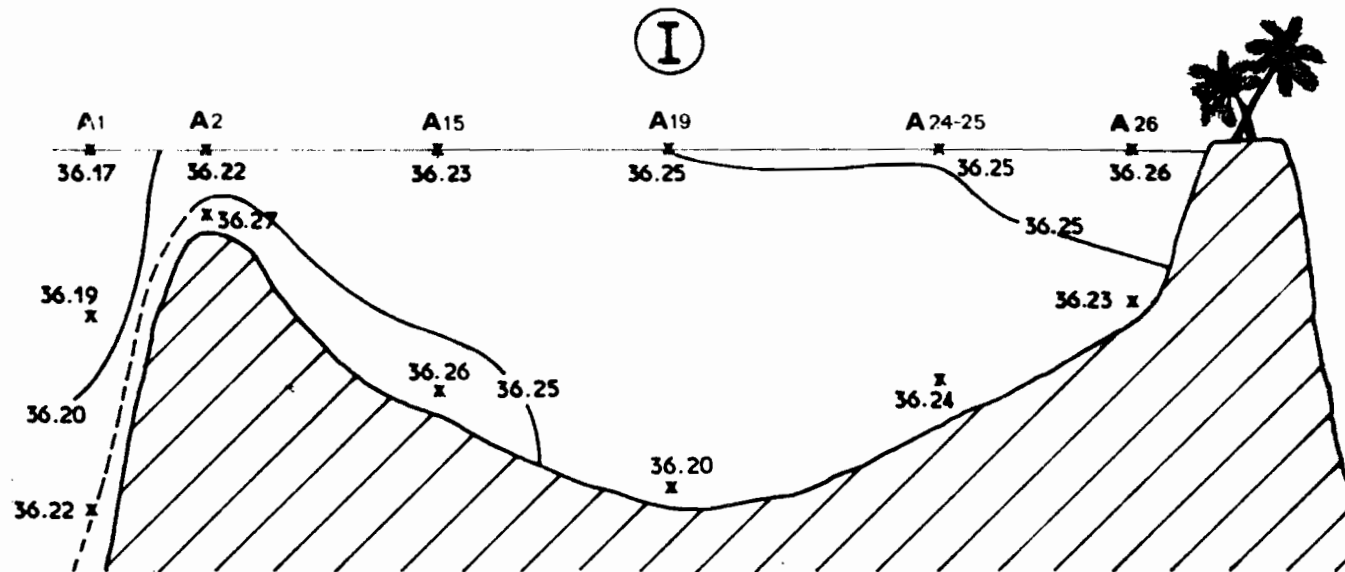
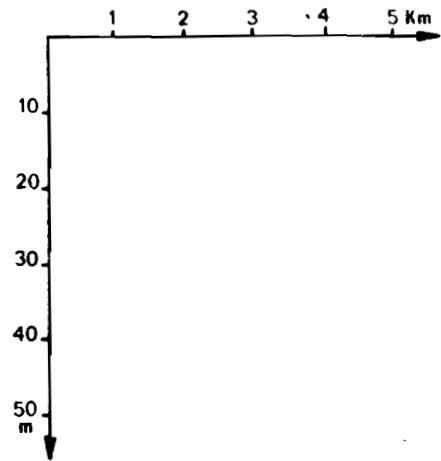
Si l'on compare ces chiffres annuels avec ceux de la température de l'air, on constate qu'en été l'air et l'eau du lagon sont en équithermie ($27,5^{\circ}\text{C}$) alors qu'en hiver c'est l'eau océanique qui est en équilibre thermique avec l'air : en hiver il y a donc transfert de chaleur du lagon à l'atmosphère alors qu'en été l'air cède des calories à l'océan.

En mai, la salinité de l'eau océanique superficielle baignant l'atoll est comprise entre $36,17\text{ ‰}$ et $36,22\text{ ‰}$, valeurs élevées caractéristiques de l'eau subtropicale sud formées dans le nord-est des TUAMOTU (Chap. II, 1). Les eaux du lagon ont une charge en sel légèrement supérieure puisqu'elle varie de $36,15\text{ ‰}$ à $36,31\text{ ‰}$, d'où une salinité de l'ordre de $36,25\text{ ‰}$. - (Figure 8). L'appendice ouest contient les eaux les moins salées, la moyenne de la salinité des stations A_3 à A_7 était de $36,19\text{ ‰}$. Les plus faibles valeurs n'étant pas forcément celles de la couche de surface, un excès des précipitations sur l'ouest de l'atoll n'est probablement pas à l'origine de cette légère dessalure dont les causes sont plutôt à attribuer à la circulation interne des eaux du lagon - (voir chapitre III).

En l'absence de mesures régulières de la salinité dans le lagon, on ignore totalement l'amplitude des variations temporelles, une seule série de mesures effectuées le 20 octobre 1965 par SALVAT et al. (1969) ayant donné le chiffre élevé de $37,9\text{ ‰}$ pour une température de $24,7^{\circ}\text{C}$. Dans l'atoll de HAO à la même époque (septembre 1965) la salinité du lagon était de $36,18\text{ ‰}$, celle de l'eau océanique de $36,23\text{ ‰}$.



— **Figure 8** —



COUPES LONGITUDINALES SELON I ET II

SALINITE ‰

— Figure 9 —

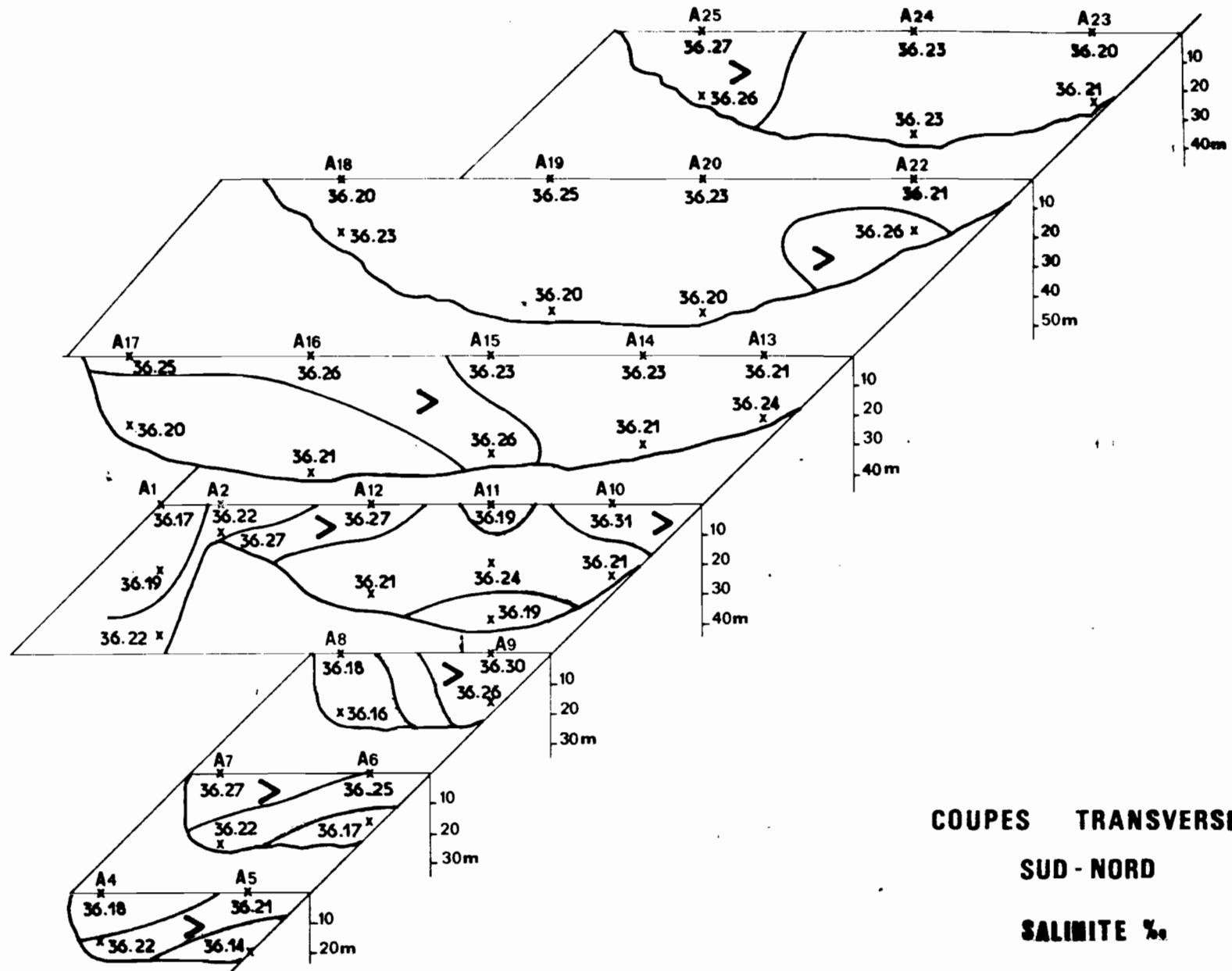
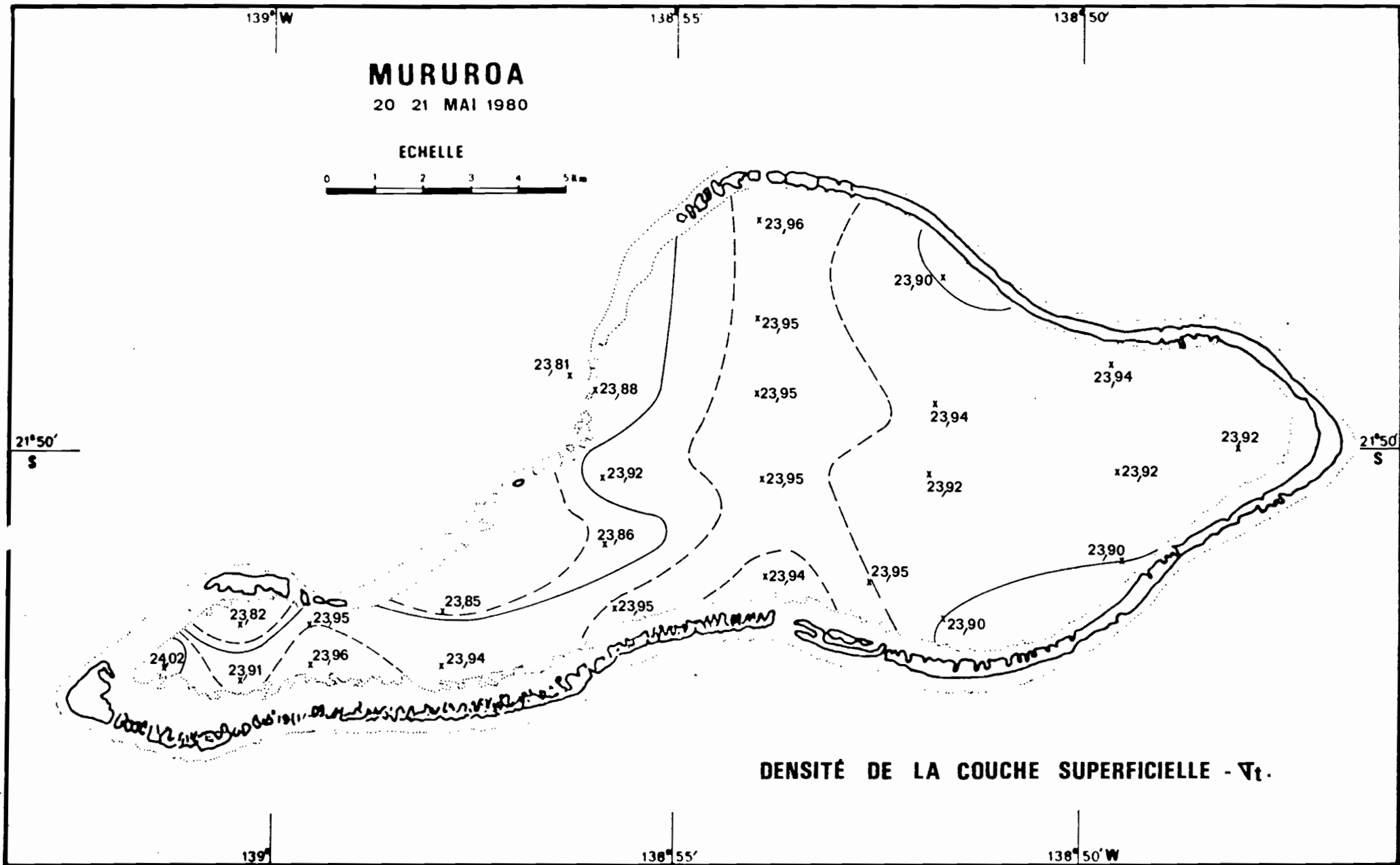


Figure 10

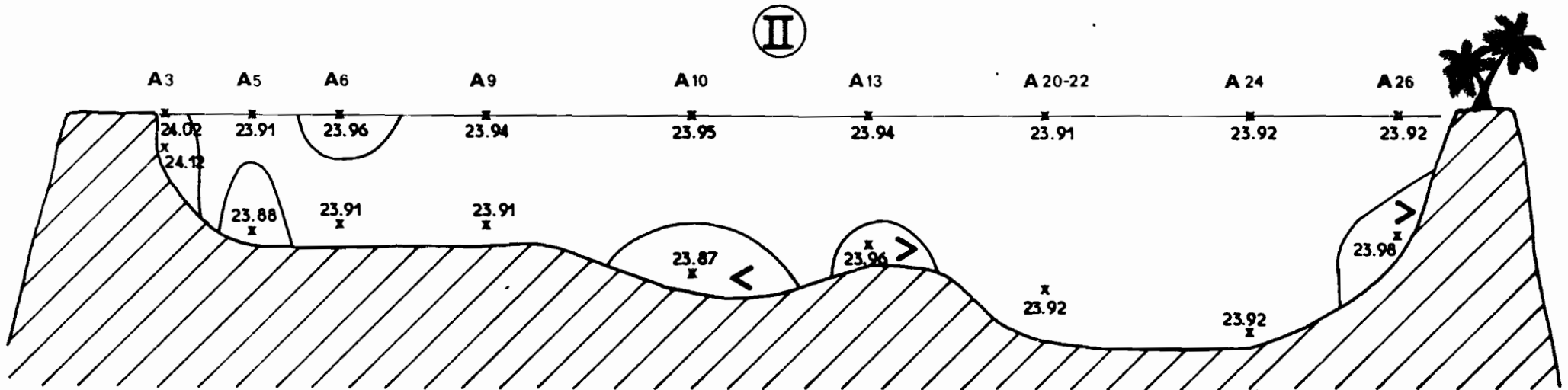
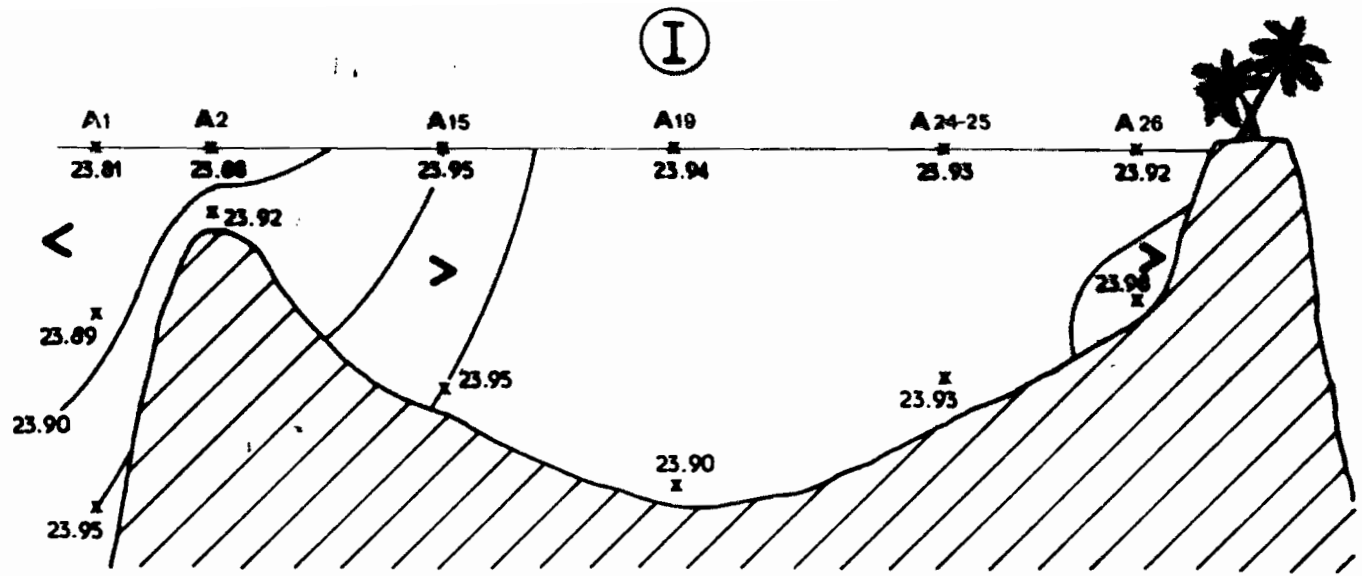
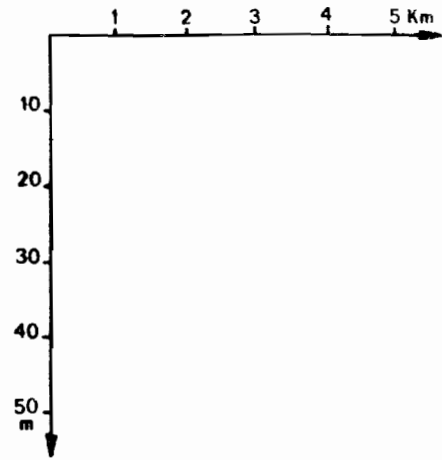
A MURUROA, la structure haline verticale (Fig. 9) révèle une dissymétrie entre les zones est et ouest du lagon : à l'ouest, existe un gradient surface - fond, soit négatif ($- 0,04/10$ m en A_6), soit positif ($+ 0,04/10$ m en A_{15}), alors que toute la partie centrale et orientale est pratiquement isohaline. Des gradients halins de signes opposés existent également aux bordures sud et nord (Fig. 10), confirmant ainsi l'hétérogénéité de la distribution du sel à la périphérie interne du lagon, indice probant de l'existence de mécanismes d'échanges turbulents lagon/océan. D'après la carte établie à partir des valeurs de la densité en surface (Fig. 11), les eaux les plus lourdes ($T_t > 24,0$) sont dans "le doigt de gant" ouest où elles bloquent une petite lentille d'eau beaucoup plus légère ($T_t = 23,8$) située en A_4 . Plus à l'est, on trouve des eaux de densité intermédiaire entre ces valeurs et une plus grande homogénéité.

b) Densité

Dans le nord-ouest du lagon, le tracé de l'isopycne 23,9 donne une bonne indication sur la pénétration en surface de l'eau océanique, plus légère car moins salée. L'examen de la structure verticale (Fig. 12 et 13) permet de mettre en évidence le caractère chaotique de la stratification des eaux dans la partie ouest : en plusieurs zones, la densité des eaux superficielles est plus élevée que celle des eaux du fond, signe d'une instabilité et d'un déséquilibre excluant l'existence d'un régime établi ; en effet ces inversions de densité ne peuvent être que transitoires puisque corrigées dès leur apparition au sein de la colonne d'eau par les mécanismes de diffusion et de mélanges : les mettre en évidence aussi nettement suppose donc une dynamique élevée des eaux du lagon, soit par apport d'eau de l'extérieur, soit par l'existence d'une circulation à plusieurs couches. La carte de la distribution horizontale des zones présentant une inversion de densité (Fig. 14) permet effectivement de remarquer que celles-ci sont localisées le long de la bordure sud-ouest et dans l'axe de la passe jusqu'aux stations A_{19} et A_{20} : dans le premier cas on peut invoquer le rôle des hoa (jets de rives) et dans le second celui de l'eau entrant par la partie immergée du platier nord-ouest. Ces inversions de densité apparaissent chaque fois que l'eau superficielle est plus salée que celle du fond et que le gradient de température n'est pas assez fort pour restaurer la stabilité de la colonne d'eau. Des deux seuls cas observés d'inversion de température, l'un aggrave le déséquilibre créé par l'inversion de salinité (A_{14}), l'autre est compensé par un gradient halin positif. Dans les zones d'inversion l'écart moyen des salinités entre la surface et le fond est de $0,05 \text{ ‰}$.



— Figure 11 —



COUPES AXIALES OUEST-EST

DENSITE (ρ_t)

- Figure 12 -

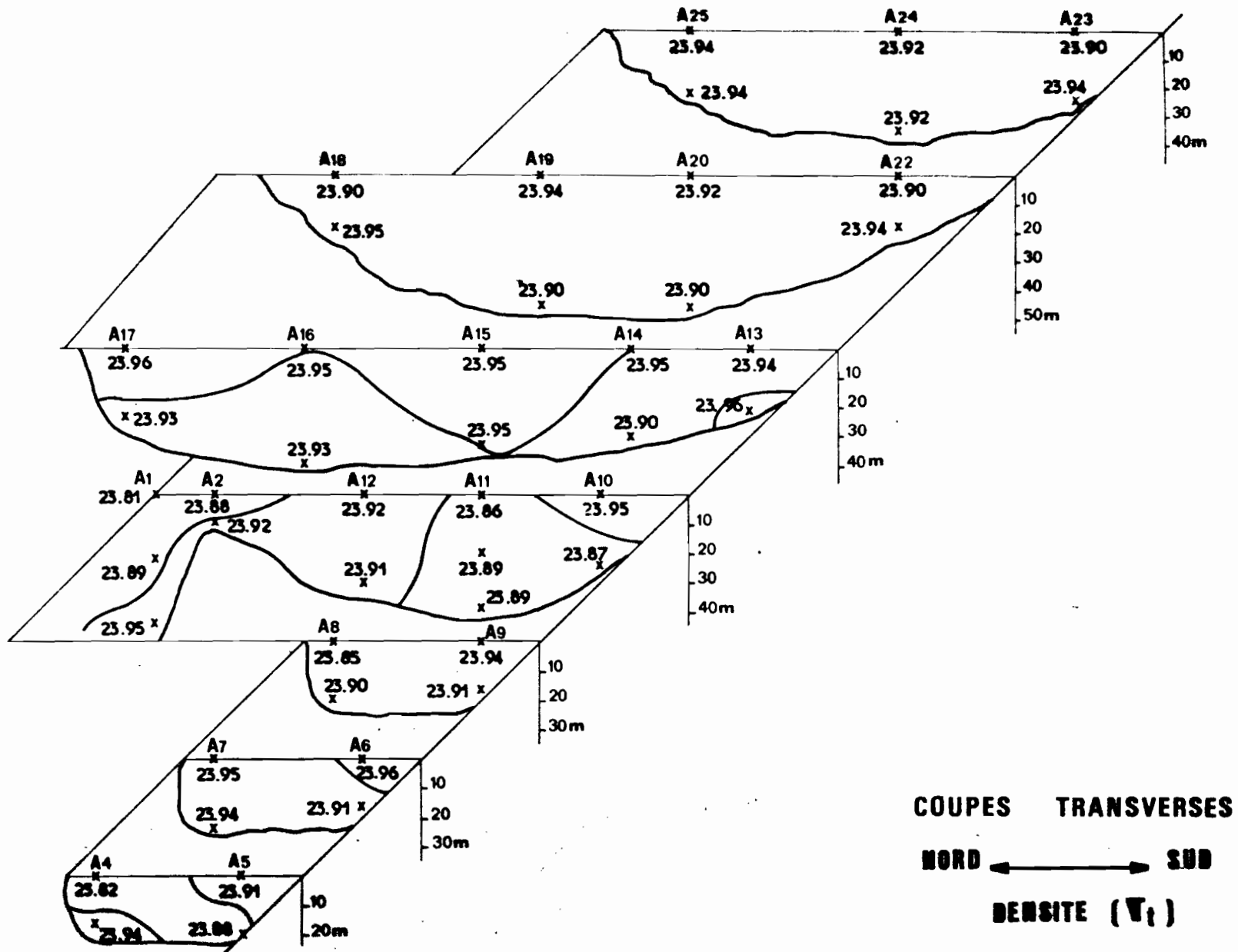
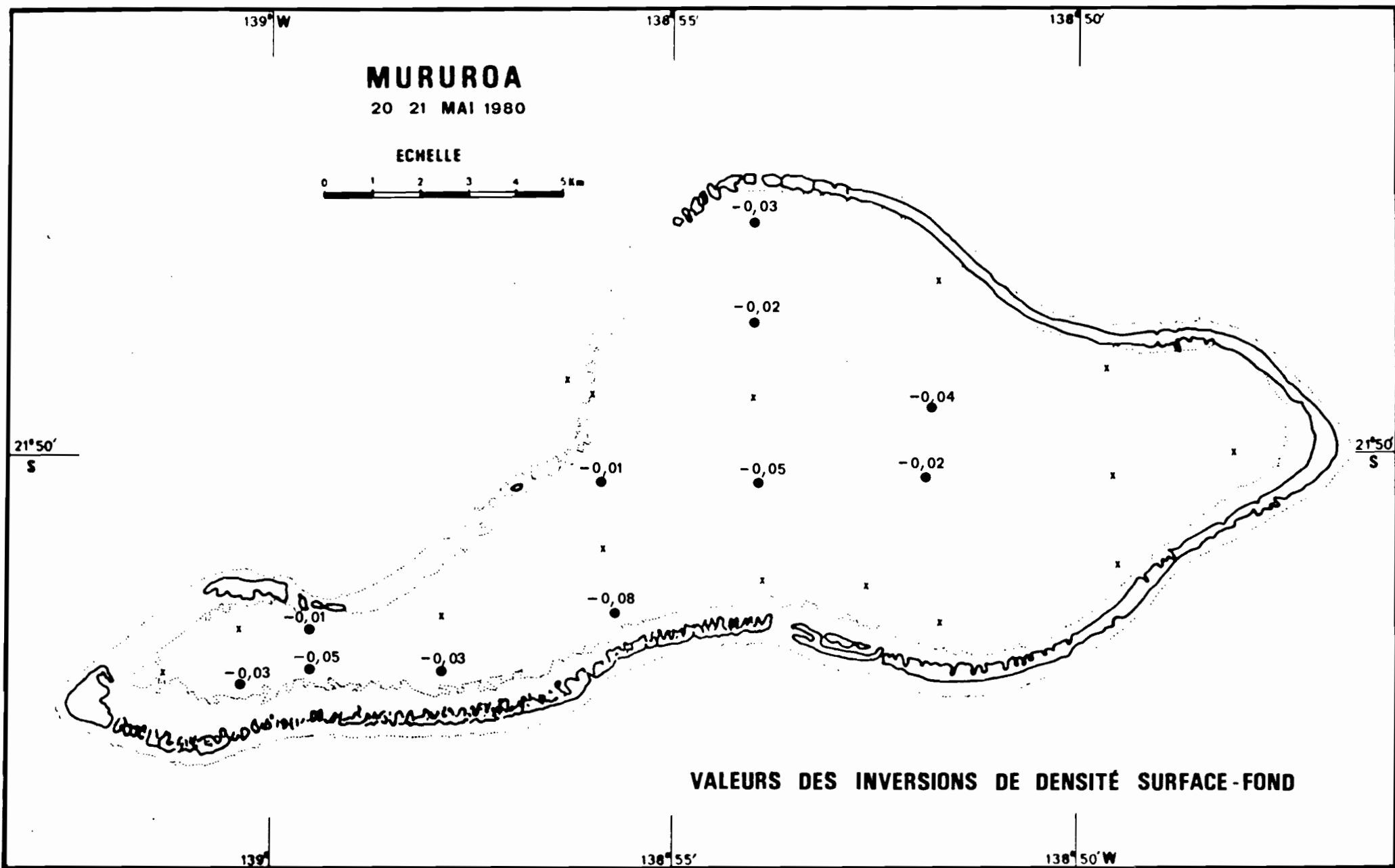
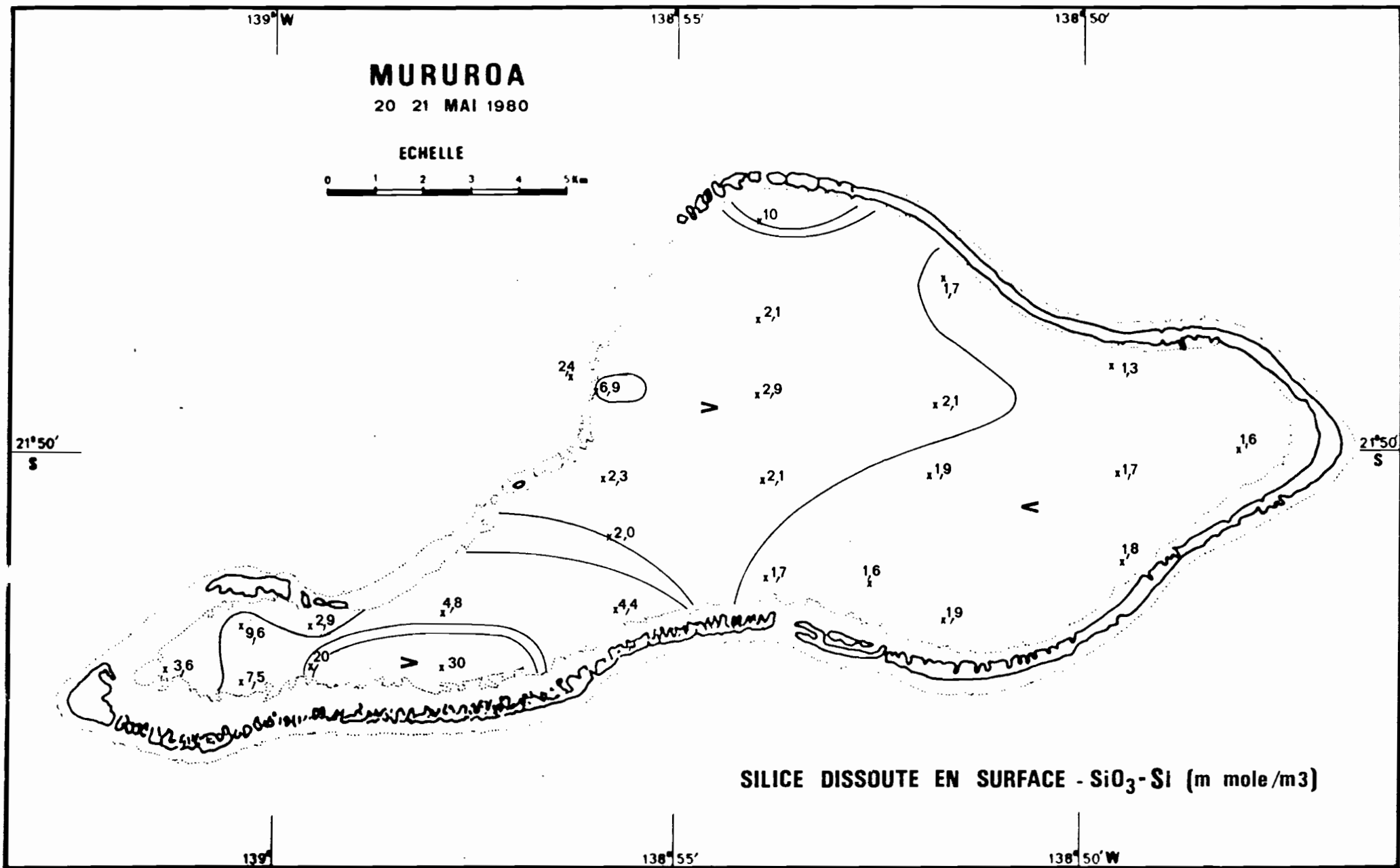


Figure 13



— Figure 14 —



— **Figure 15** —

c) Paramètres non conservatifs et production primaire

Les teneurs des eaux du fond du lagon en oxygène dissous sont comprises entre 4,38 et 4,94 ml/l d'où un pourcentage de saturation de 95 % à 106 %, chiffre habituel des eaux tropicales superficielles.

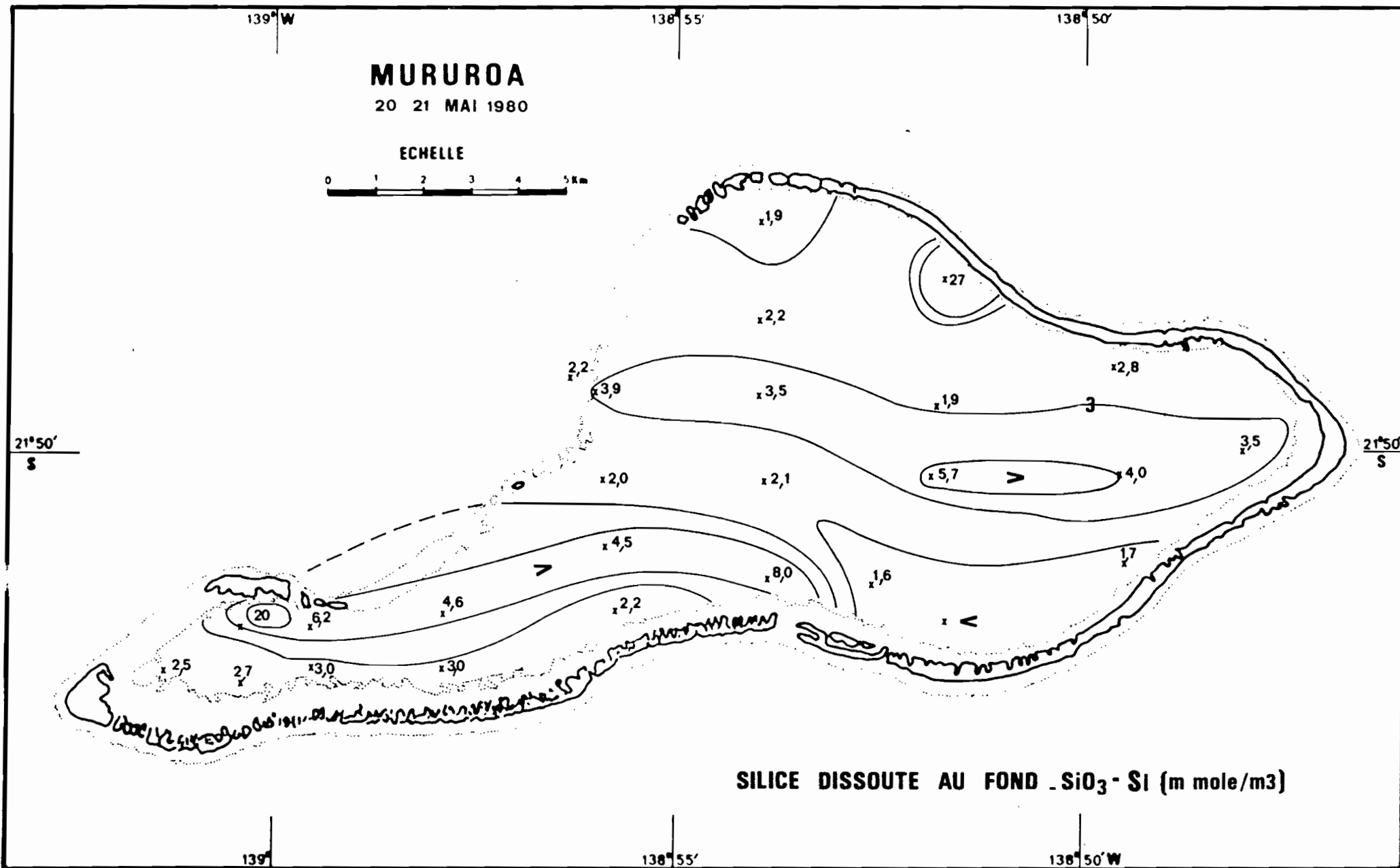
Ces valeurs élevées indiquent une absence de stratification et de cloisonnement des eaux même dans la partie centrale profonde et un milieu parfaitement propice, à cet égard, au développement de la vie marine dont CHEVALIER et al (op. cit.) et QUIGUER (1969) ont noté l'importance et la diversité. Les teneurs en nitrates (qui expriment ici la somme des molécules azotées dissoutes sous forme de nitrites et de nitrates où prédomine la forme la plus oxydée nitrate) sont faibles puisque le plus souvent inférieures à 0,1 mmole/m³ aussi bien dans le lagon que dans l'eau océanique superficielle. Pour cette dernière une augmentation des teneurs apparaît au niveau 47 mètres (0,33 mmole/m³) et se retrouve partiellement dans quelques stations soumises à l'influence océanique (A₂ et A₈) et dans l'appendice ouest. Il existe donc un léger apport de substances nutritives de l'océan vers le lagon, dont les teneurs en molécules azotées sont dans la partie centrale et orientale à la limite de détection de la méthode analytique ; les fortes valeurs mesurées en A₂₃ et surtout en A₂₄ révèlent presque certainement un apport ponctuel (nappe phréatique et/ou pollution d'origine humaine).

Les teneurs en silice réactive dissoute sont beaucoup plus disparates et varient, selon les points de prélèvements de 1,3 à 30 mmole/m³ de SiO₃ - Si. La carte de la distribution superficielle de cet élément nutritif permet de séparer trois zones : (Fig. 15).

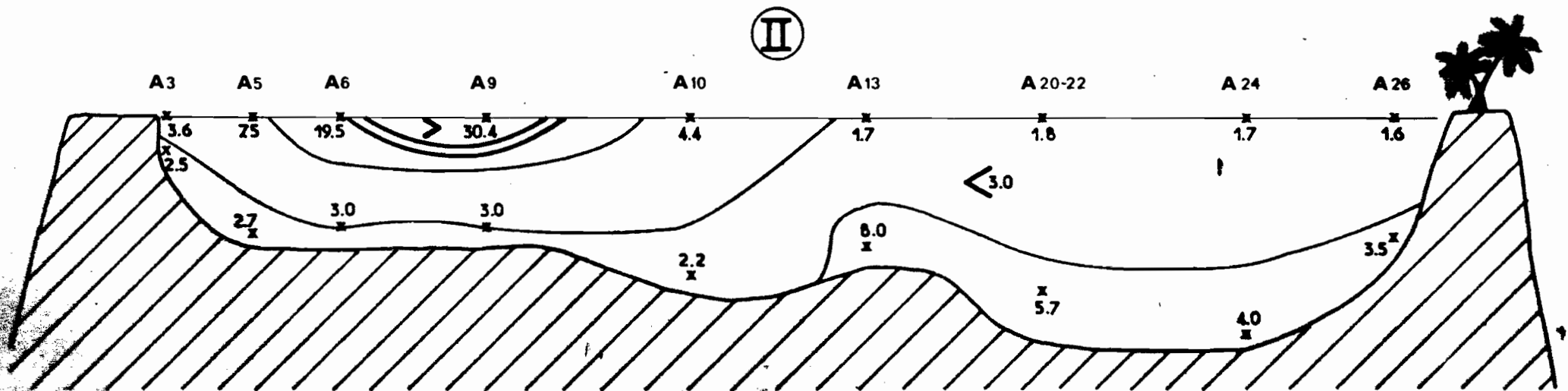
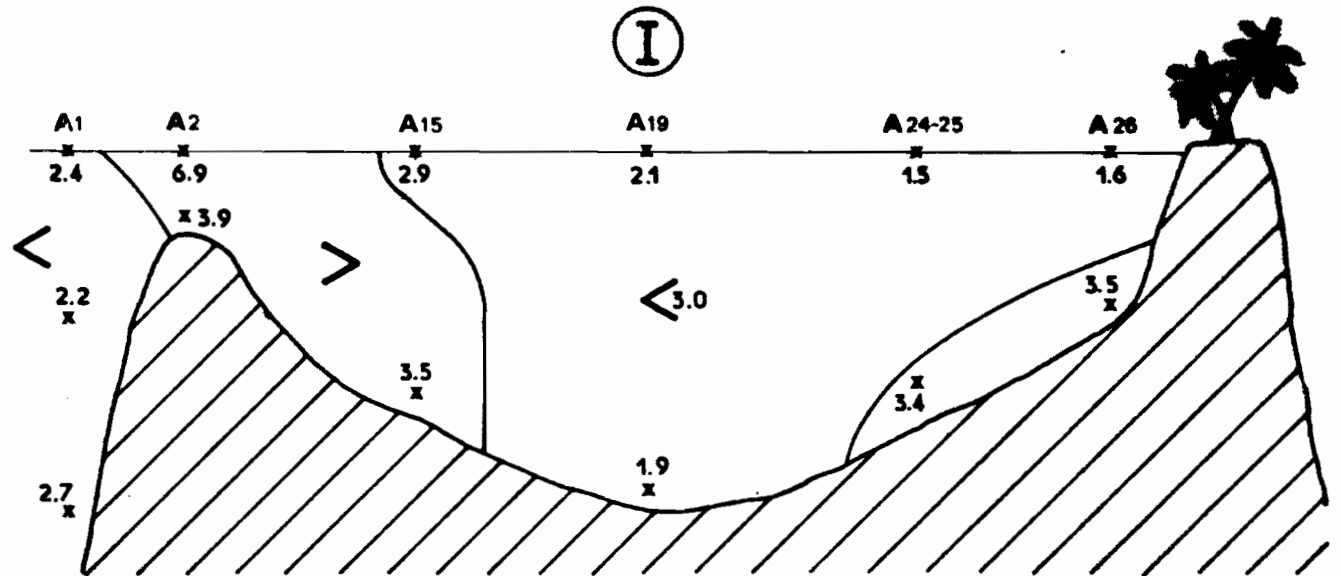
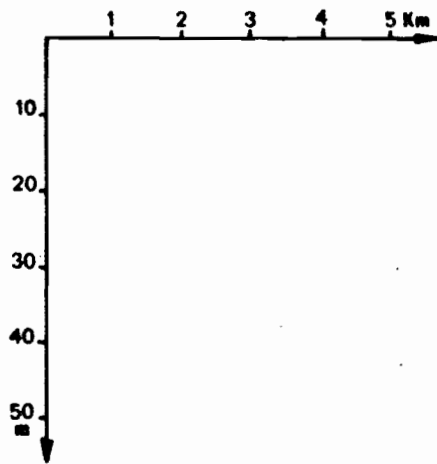
- celle qui proche de la passe et du platier immergé nord-ouest est sous l'influence de l'eau océanique : les teneurs se groupent dans la fourchette 2,0 - 2,5 mmole/m³ à partir des 2,4 mmole/m³ mesurés à l'extérieur du lagon, valeur bien représentative de la charge en silice des eaux tropicales superficielles du Pacifique Sud (croisière DANAIDES II).

- une deuxième zone formée par la partie orientale du lagon où les teneurs sont significativement inférieures à 2,0 mmole/m³ (moyenne 1,6 mmole/m³), signe d'un épuisement prononcé et d'un renouvellement lent par l'eau océanique.

- l'appendice ouest où apparaissent de très fortes valeurs en surface, avec en particulier 2 teneurs supérieures à 20 mmole/m³. Des teneurs



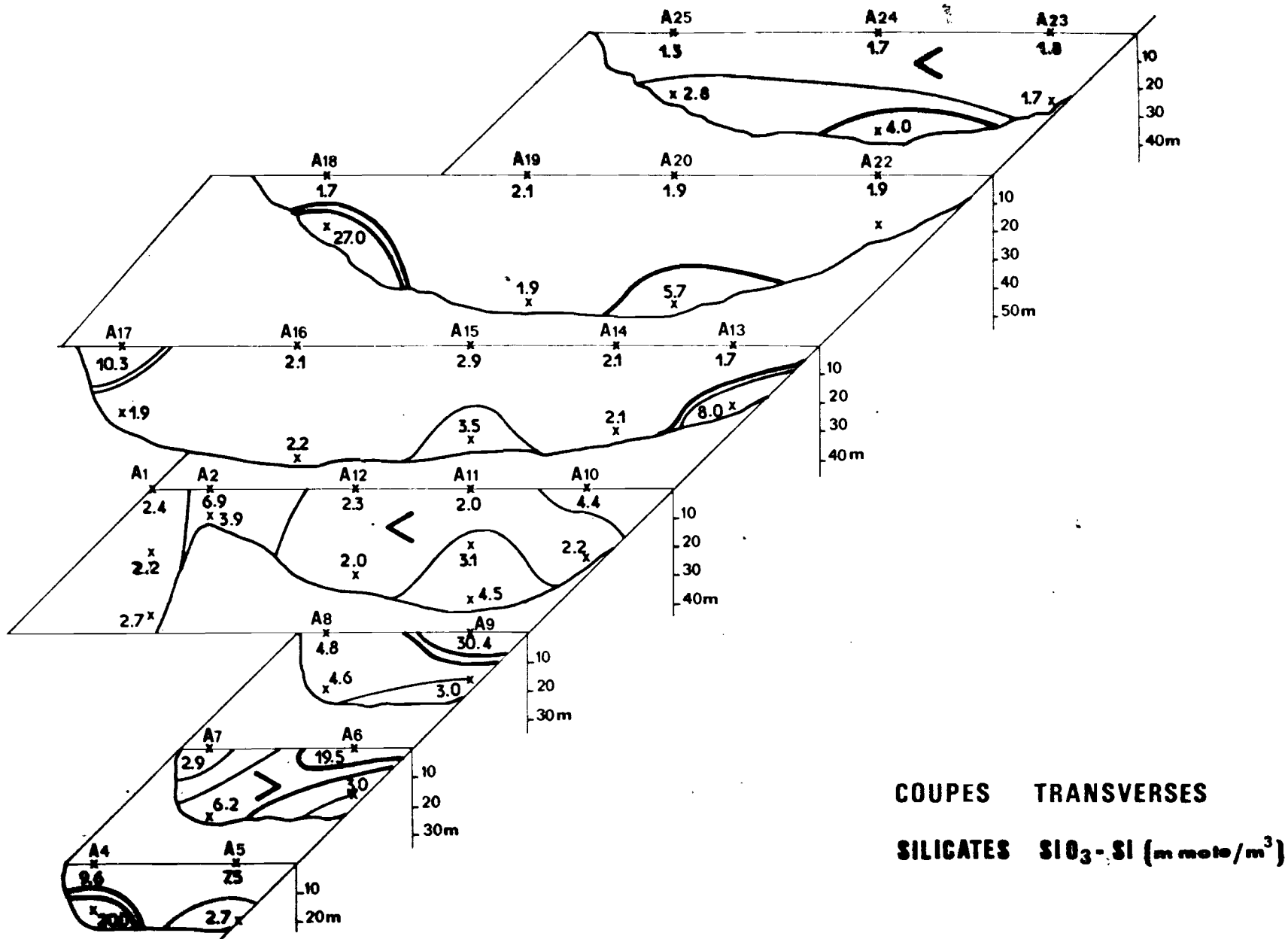
— **Figure 16** —



COUPES AXIALES OUEST-EST

SILICATES $SiO_2 - Si$ (m mole/m³)

— Figure 17 —

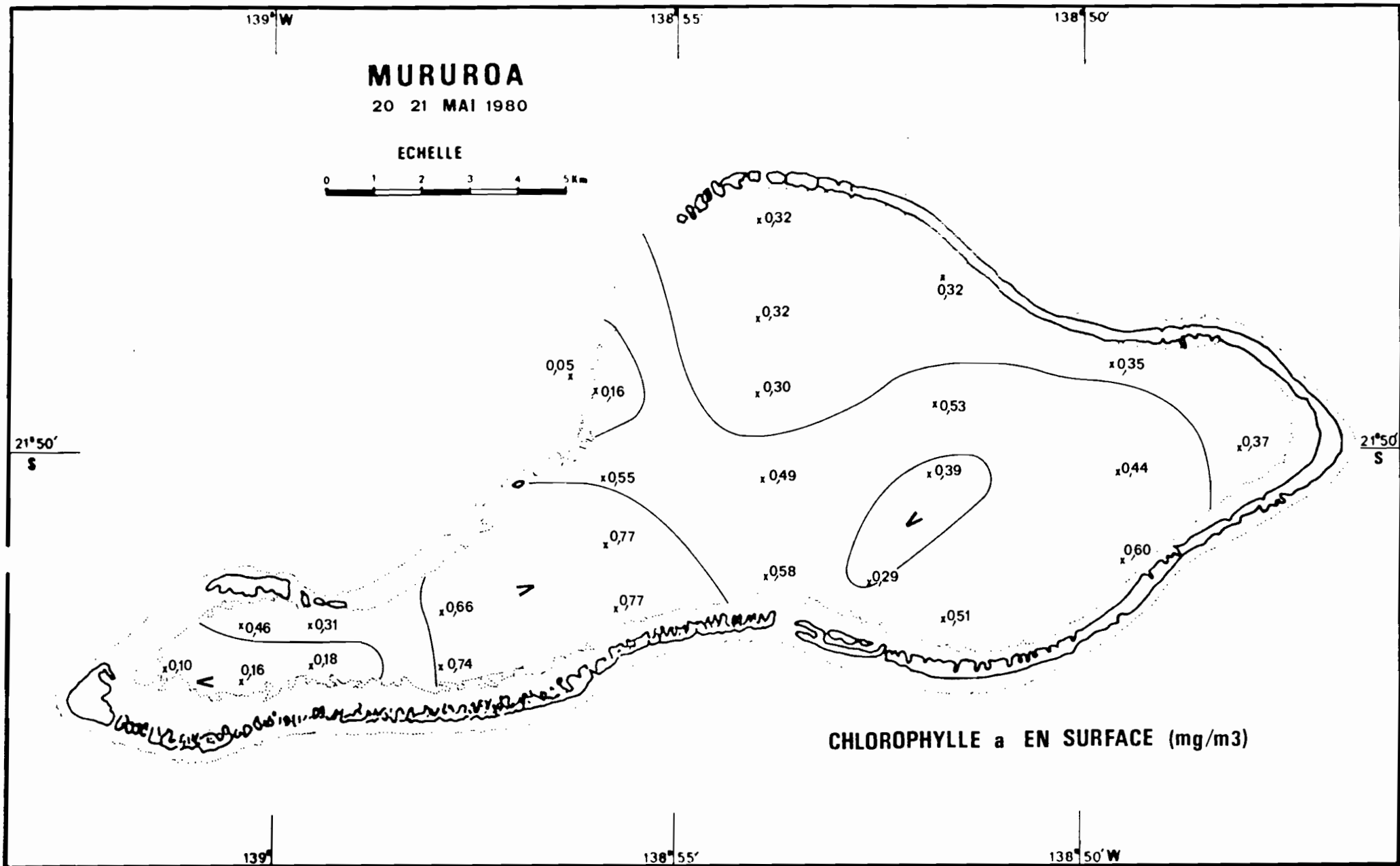


— Figure 18 —

aussi élevées ne peuvent provenir de l'eau océanique superficielle et ne sont présentes dans l'eau intermédiaire qu'à partir de 400 mètres de profondeur ; cette origine océanique et celle due à un ruissellement sur l'atoll étant donc à exclure, seule une injection locale d'eau chargée en silice peut rendre compte du phénomène. FRAIZIER et al (1980) ont également trouvé des valeurs très élevées en silice dans l'atoll de RANGIROA, à la fois dans des bassins d'aquaculture creusés sur le pourtour de l'atoll et dans l'eau lagonaire évacuée par une passe. Cette possibilité d'enrichissement du lagon par la nappe d'eau phréatique est confirmée par des mesures faites sur des eaux pompées en profondeur (27 mètres) sous le motu MUTE à BORA-BORA (îles sous-le-vent) (MEYER, 1980) et qui contiennent 20 à 70 mmole/m³ de silice dissoute (GROS, 1980). Ces eaux phréatiques sont dans une moindre mesure riches en éléments azotés (1 à 2 mmole/m³ de nitrates-nitrites) et phosphatés (0,8 mmole/m³ de phosphates) et leur salinité varie avec la saison (influence directe des précipitations). A MURUROA, le contact direct entre la nappe phréatique et l'eau lagonaire peut être un phénomène naturel plus ou moins permanent comme à RANGIROA, mais a pu également être favorisé, voire déclenché, par les travaux et forages (DENEUFBOURG, 1969) effectués en certains points du pourtour de l'atoll.

La distribution de la silice au fond du lagon (Fig. 16) est assez dissemblable à celle observée en surface : dans la partie ouest le tracé de l'isoplethe 4,0 mmole/m³ montre une langue à teneur élevée s'étirant du point A₁, au point A₁₃, ce qui suggère un déplacement de l'eau de fond d'ouest en est. Une seconde tâche à forte teneur est centrée en A₂₀ - A₂₄, site de la forte anomalie positive des nitrates, et s'allonge aussi bien vers l'extrémité orientale que vers la passe. La similitude entre les fortes teneurs en silice de la couche superficielle de l'appendice ouest et celles de la couche de fond à l'est du lagon est bien apparent le long de l'axiale II (Fig. 17 et 18) : on aurait dans le premier cas enrichissement au niveau de la couronne récifale par écoulement de la nappe phréatique selon un processus plus ou moins forcé et dans le second cas résurgence naturelle au fond du lagon (40 à 50 mètres) par délestage sporadique de la lentille de GYBEN-HERZBERG.

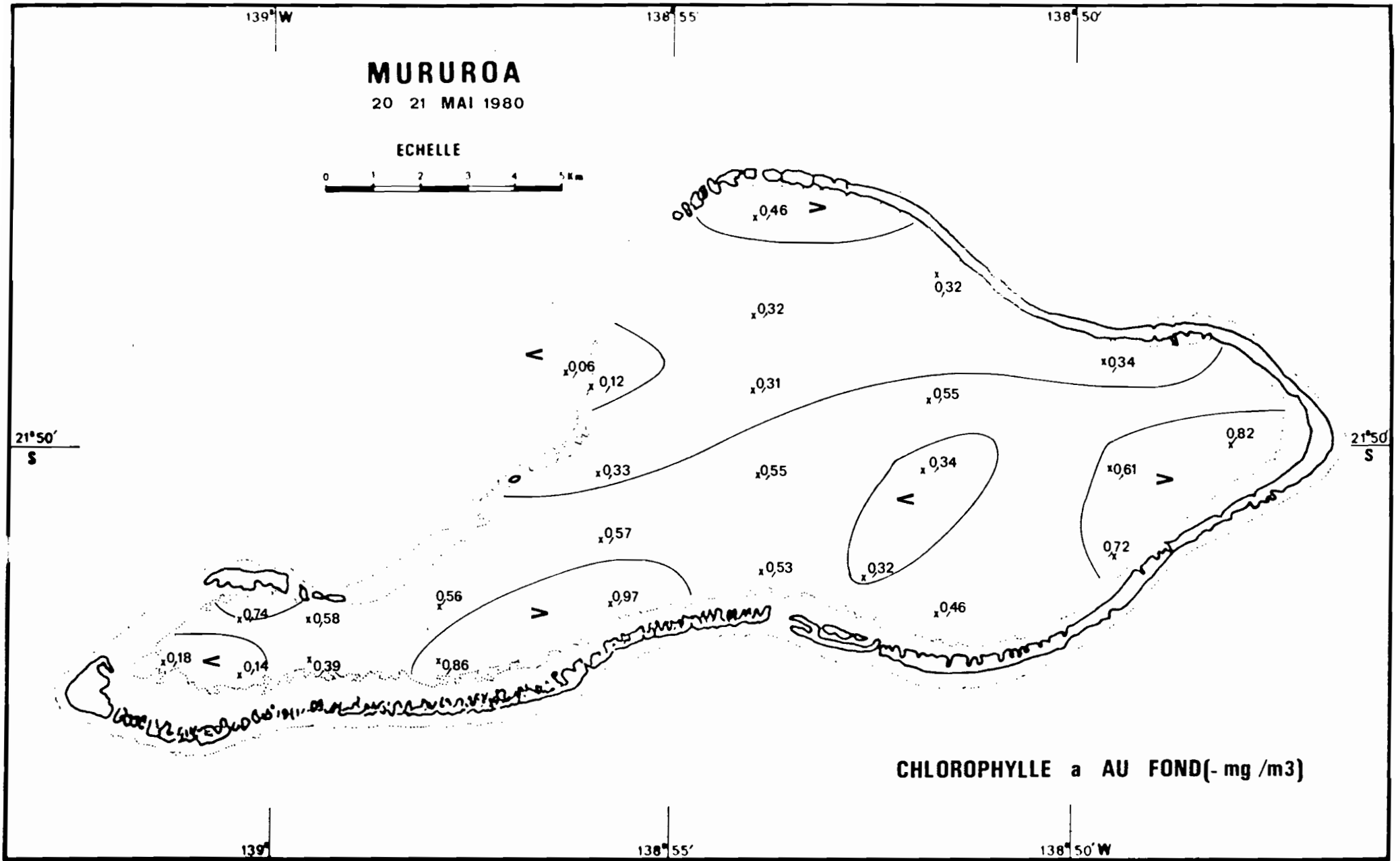
Quoiqu'il en soit, l'apport en silice dissoute est un facteur favorisant la production autotrophe du lagon, en particulier pour les populations de diatomées dont les cellules secrètent une membrane siliceuse. Les conditions



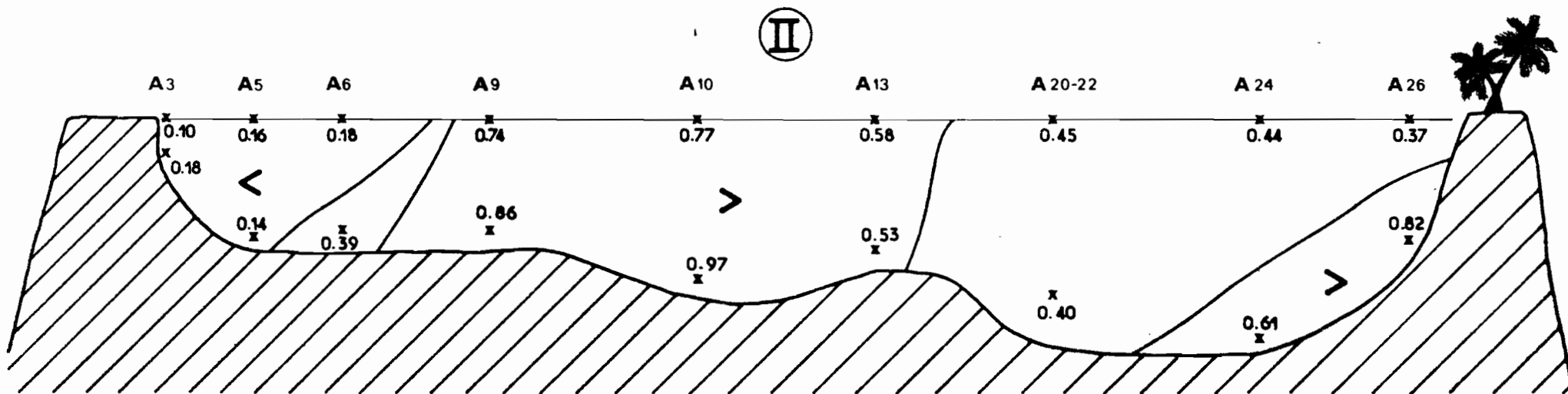
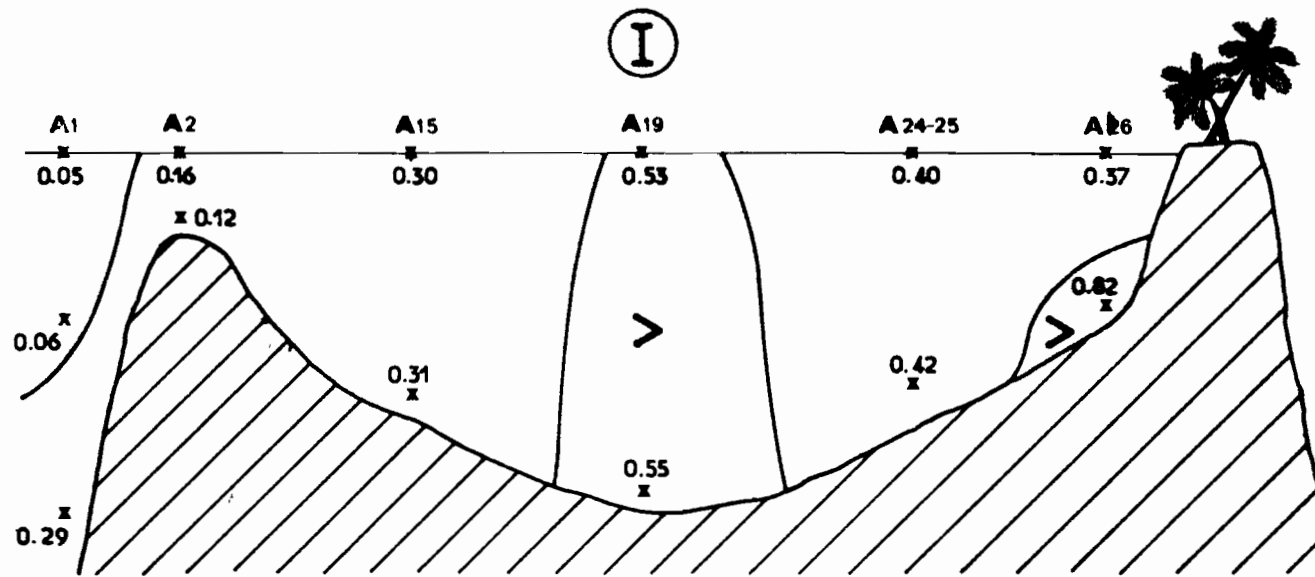
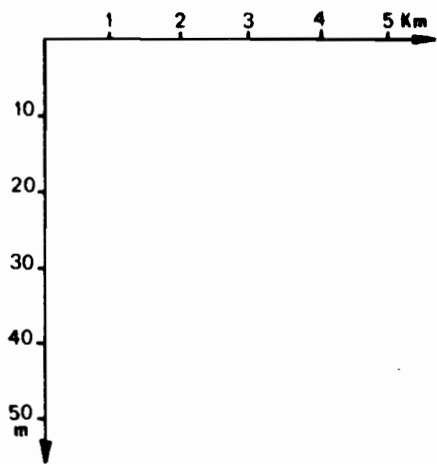
— **Figure 19** —

générales de la photosynthèse étant toujours réunies en milieu tropical (température et insolation élevées, pH alcalin), ce sont les disponibilités en sels nutritifs phosphatés et azotés qui vont essentiellement limiter la production primaire : à MURUROA, les faibles teneurs en nitrates mesurées en mai 1980 indiquent que la relative carence en élément azoté pourrait être un facteur limitant la croissance du phytoplancton ; les phosphates minéraux dissous n'ont pu être dosés dans des conditions satisfaisantes mais les concentrations moyennes relevées dans l'atoll de HAO en septembre 1965 sont de 0,4 mmole/m³ de PO₄ - P (et également moins de 0,1 mmole/m³ de NO₃ - N), niveau nettement oligotrophe. La distribution de la chlorophylle a dans le lagon donne une bonne estimation de la production primaire en mai (Fig. 19 et 20). On note le long de l'axiale I une diminution rapide de la richesse en pigments vers l'ouest, puisque de 0,8 mg/m³ en A₂₆, on passe à 0,2 mg/m³ dans la passe et à 0,06 mg/m³ dans l'eau océanique. Dans l'appendice ouest les teneurs restent élevées sauf à l'extrémité, et les coupes verticales révèlent une bonne homogénéité d'ensemble de la colonne d'eau (Fig. 21 et 22) en pigments chlorophylliens. Il n'y a pas d'effet de fond notable, cette production "in situ" s'exerçant de façon plus intense dans la zone orientale la plus confinée aux dépens des sels minéraux azotés et silicatés, dont les teneurs en surface sont effectivement les plus faibles du lagon. La charge de l'ensemble de l'eau lagonaire en pigments est de 0,46 mg/m³ et de 0,54 mg/m³ dans le triangle est. Ces valeurs sont supérieures à celles des lagons de RANGIROA (GROS et al. 1980) et de TIAHURA, de l'île haute de MOOREA, (RICARD, 1980), mais voisines de celles de TAKAPOTO (SOURNIA et al. 1976).

On peut se demander dans quelle mesure le seul déficit apparent en sels nutritifs, observé en particulier dans la zone orientale du lagon, permettrait de soutenir une pareille production primaire et si celle-ci ne se trouve pas augmentée par des apports nutritifs d'effluents produits par l'importante population basée sur le pourtour est de l'atoll. Toutefois, si tel était le cas, et dans la mesure où cette biomasse végétale reste partiellement piégée dans le lagon, les processus d'oxydation des cellules détritiques et de reminéralisation des éléments C, N, P, etc... consommeraient de grandes quantités d'oxygène dissous dont les teneurs devraient baisser en conséquence. L'oxygénation de l'eau lagonaire étant pour l'instant normale, le stade primaire d'eutrophisation n'est, soit pas encore atteint, soit masqué par l'efficacité des échanges gazeux lagon/océan.



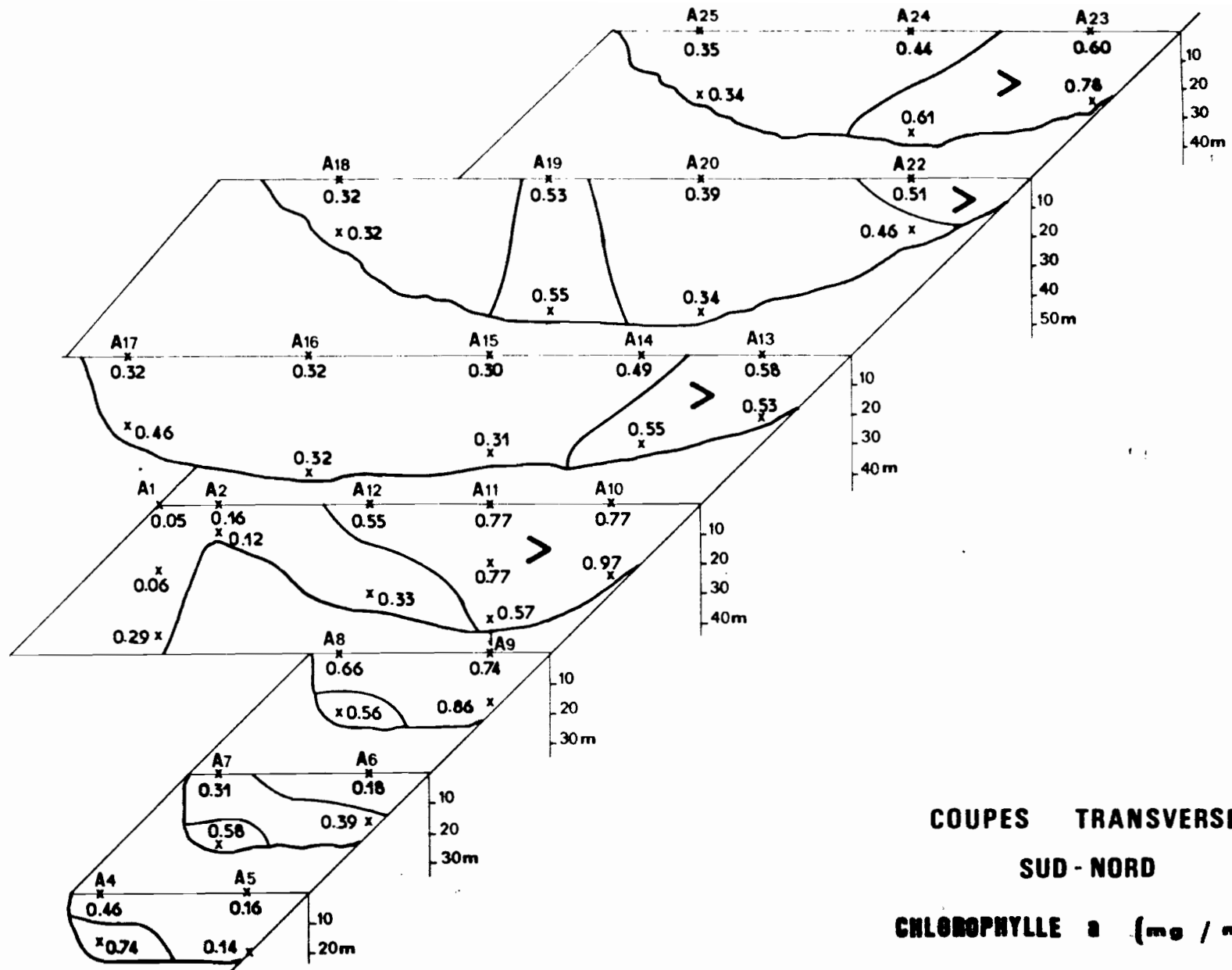
— **Figure 20** —



COUPES AXIALES OUEST-EST

CHLOROPHYLLE a (mg / m³)

Figure 21



**COUPES TRANSVERSES
SUD - NORD
CHLOROPHYLLE a (mg / m³)**

Figure 22

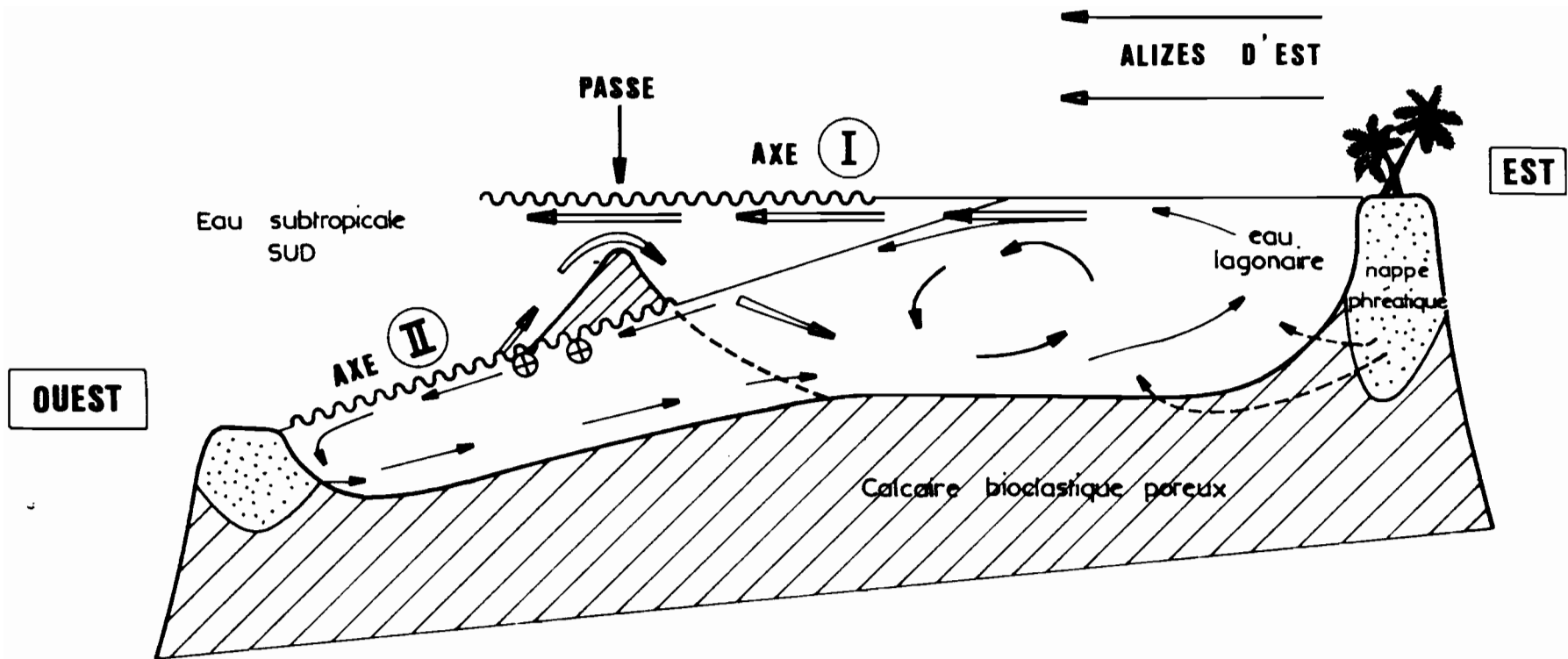
III - CIRCULATION ET RENOUVELLEMENT DES EAUX

Bien qu'à l'échelle océanique, les déplacements des eaux dans un lagon puissent se rapporter à l'expression "Tempête dans un verre d'eau", les modalités de cette circulation ont des conséquences importantes sur les équilibres physico-chimiques et biologiques des eaux en place. MICHEL (op. cit.) appliquant au lagon de MURUROA le modèle de VON ARX proposait un schéma de circulation où les éléments moteurs du mouvement des eaux étaient essentiellement le vent, l'onde de marée et le débit des hoa.

N'ayant pas en mai 1980 procédé à de nouvelles mesures in situ, à l'exception de quelques évaluations instantanées avec un courantomètre à hélice, nous nous limiterons ici à montrer que certaines particularités de la structure hydrologique du lagon impliquent des mouvements bien définis des masses d'eaux.

En premier lieu, la situation thermo-haline à l'extrémité de l'appendice ouest y indique la présence de l'eau la moins salée et la plus froide du lagon : par vent dominant soufflant de l'est, il y a transport vers l'ouest de l'eau superficielle dont une partie est évacuée dans la zone de passe, l'autre s'accumulant dans le doigt de gant; cette eau à la fois dessalée mais surtout refroidie par la pluie a une densité élevée et tend à s'enfoncer le long de la pente interne pour s'écouler vers l'est en suivant le fond du lagon avec une vitesse proportionnelle à la hauteur de la surcôte, donc à la force du vent. L'accumulation d'eau dessalée dans la partie concave située sous le vent dominant, et soumise à un fetch maximal, est un processus général puisqu'il a été observé aux îles MARSHALL (SMITH, 1973), à RANGIROA (GROS et al. o. cit.) et à TAKAPOTO (GUEREDRAT et al. 1978).

En l'absence de sortie directe vers l'océan, cette couche dessalée a tendance à s'écouler au sein du lagon vers le bord opposé, cette contre-circulation se renforçant avec le vent et créant une instabilité de la colonne d'eau où apparaissent des inversions de salinité, de température (TAKAPOTO) et même de densité (MURUROA). Les hoa des bords nord-ouest et surtout sud-ouest de l'atoll permettent des entrées d'eau océanique de surface en fonction de la



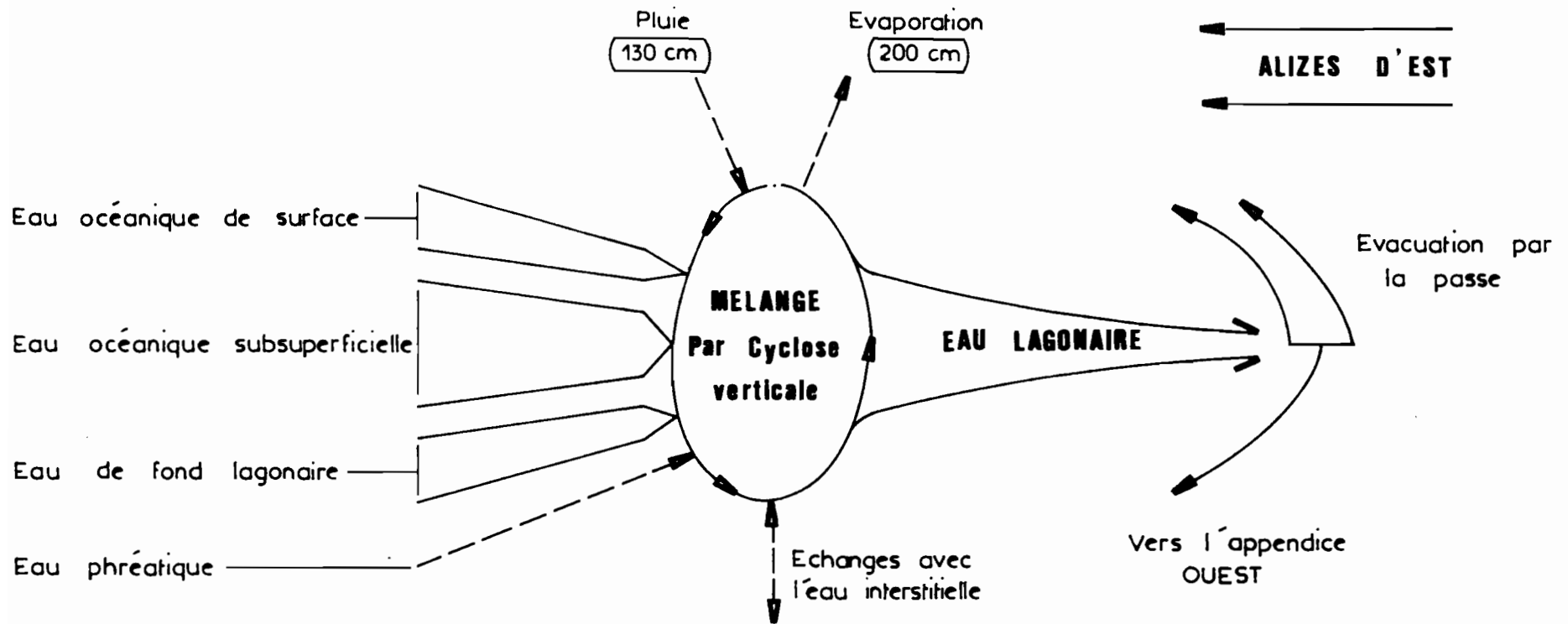
CIRCULATION DEDUITE DES PROPRIETES HYDROLOGIQUES

Figure 23b

marée et de la houle : on conçoit aisément que cette eau puisse avoir des caractéristiques thermo-halines différentes de celle de l'eau lagonaire en place, constituée d'eau océanique piégée modifiée par les conditions climatiques locales. En mai, l'eau entrant par les hoas est aussi chaude mais plus salée que l'eau du lagon : sa densité est un peu plus forte, ce qui entraîne les inversions de densité déjà décrites au chapitre II 2. Au droit de la passe, les tracés de l'isohaline 36,25 ‰ (Fig. 9) et de l'isopycne 23,95 (Fig. 12) indiquent une pénétration d'eau océanique subsuperficielle par le seuil. Bien que les pulsations de l'onde de marée et des ondes internes océaniques jouent un rôle important dans l'équilibre hydrostatique du lagon, on peut penser, par analogie avec le mécanisme dit de "circulation d'estuaire" (FRONTIER, 1978) que le départ global d'eau de surface (BABLET op. cit.) est compensé par une arrivée continue par le fond d'eau océanique subsuperficielle, légèrement plus salée (Fig. 23b) et plus riche en sels nutritifs que celle de surface. Dans sa progression au fond du lagon, cette eau océanique est recouverte par l'eau lagonaire : en mai, la couche de surface, refroidie par l'abaissement des températures nocturnes, est plus dense que celle du fond, créant là aussi des inversions de densité qui tendront à disparaître sous l'action de cellules d'advection verticales (cycloses).

Il existe donc dans le lagon de MURUROA, un double mécanisme d'alimentation des courants de fond, en compensation dynamique de la dérive et de l'évacuation de la couche superficielle; ce système est sous la dépendance directe du régime d'alizé d'est, dont la force conditionne ainsi le volume des flux sortant et entrant et fixe le taux de renouvellement des eaux du lagon. Une longue période de calme plat tendrait à supprimer ces processus d'échanges turbulents et à favoriser une stratification des eaux, alors que les coups de vent d'ouest doivent modifier considérablement, mais généralement pour une courte durée, l'aspect des échanges lagon/océan.

Dans la partie centrale du lagon, enserrée par la couronne continue de l'atoll, les conditions hydrologiques sont plus homogènes et assurent une légère stratification des eaux. Le triangle formé par les stations A₂₃ à A₂₆ abrite des eaux lagonaires que l'on peut considérer comme le résultat final du mélange des différentes masses d'eaux décrites (Fig. 23a) : eau de fond venant de l'appendice ouest, eau subsuperficielle océanique entrant par le fond



FORMATION DE L'EAU LAGONAIRE

— **Figure 23 a** —

de la passe, fraction d'eau superficielle pénétrant à marée montante au nord-ouest augmentée de celle déferlant par forte houle par les haies sud-ouest et nord.

La distribution de la silice permet en outre de supposer l'existence d'une résurgence d'eau phréatique au fond du lagon en A₂₀ et A₂₄ (et à 18 mètres en A₁₈). Aucun abaissement corrélatif de la salinité n'étant observé, on en déduit que les processus de mélange surface - fond sont effectivement très efficaces dans toute cette zone et que la nappe peut libérer de grosses quantités de silice dissoute.

IV - MODELE DE FONCTIONNEMENT

L'existence de fortes teneurs en silice dans la nappe phréatique pose tout de même un problème pour des atolls comme RANGIROA ou MURUROA où le socle basaltique de l'ancien volcan est recouvert de plusieurs centaines de mètres de débris coralliens, totalement dépourvus de silice (DENEUFBOURG, op. cit.). Les analyses de sol faites par TERCINIER (1969) à MURUROA confirment l'absence de silice, tout au plus détectée à l'état de micro-traces, sur le pourtour de l'atoll. Les analyses d'eau de la lentille ouest, faites par le même auteur, donnent en moyenne : pH = 7,7, charge ionique totale = 0,77 g/l, silice = 1,3 mg/l. Quelle est l'origine dans la lentille de GYBEN - HERZBERG de cette silice, qui peut donc atteindre plusieurs mg/litres ?

Deux hypothèses paraissent envisageables : la première fait intervenir la redissolution, par l'eau de la lentille moins basique que l'eau de mer, des diatomées détritiques incluses dans le réseau calcaire fossile qui s'est édifié pour compenser la subsidence du fond océanique. On pourrait ainsi avoir des niveaux enrichis en diatomées, comme certains le sont pour les phosphates issus du guano, mais dans ce cas les analyses précédentes auraient dû les mettre en évidence. La deuxième possibilité repose sur l'existence d'un processus de transfert capillaire entre l'eau océanique libre et la lentille de GYBEN - HERZBERG qui repose sur la nappe d'eau salée traversant l'infrastructure de l'atoll (TRICHET, 1969). On sait en effet (LAM, 1974) que le socle corallien est poreux et imprégné d'eau de mer, DENEUFBOURG ayant évalué à MURUROA la porosité des différentes couches, maximale pour l'horizon 0-125 mètres

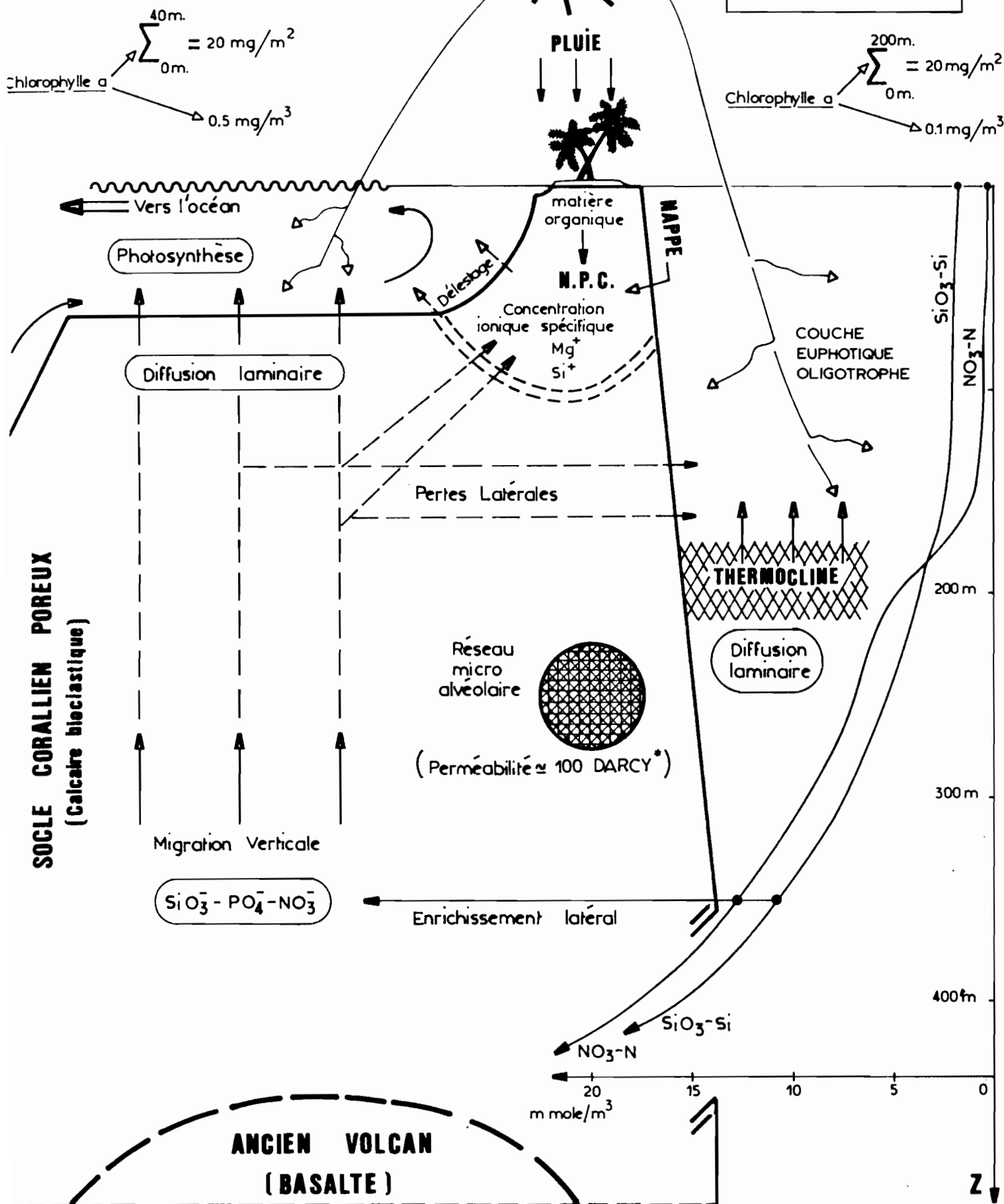
Des phénomènes de percolation liés aux variations des niveaux relatifs lagon/océan accélèrent les échanges à travers le socle poreux et comme l'a démontré ROUGERIE (1979) à TAKAPOTO assurent pour ce lagon fermé, la presque totalité des transferts de sel lagon/océan.

Il peut donc y avoir réajustement ionique chaque fois qu'un gradient élevé apparaît entre le système fermé et l'eau océanique ; or les teneurs en sels minéraux dissous, et spécialement les silicates et les nitrates, croissent très fortement à partir de 200 mètres de profondeur. Les échanges latéraux peuvent donc enrichir l'eau interstitielle dont les sels minéraux migrent vers le haut au sein du réseau cavitaire de l'atoll et diffusent soit dans la nappe phréatique, soit directement dans le lagon où ils accroissent la production primaire. Dans la nappe phréatique, qui reçoit également par ruissellement de la matière organique riche en azote et en phosphore, la concentration en sels minéraux est contrôlée par les conditions physico-chimiques du milieu, qui peuvent entraîner une concentration ionique spécifique puisque, comme l'a observé TRICHET, le magnésium s'y accumule également. La nappe étant située essentiellement sous la couronne de l'atoll, la plus grande partie du lagon est directement alimentée par un flux faible mais permanent de sels nutritifs, dont l'intensité dépend de la valeur du gradient vertical ; c'est en fait le même processus que dans l'océan, où les éléments nutritifs diffusent vers le haut à travers la thermocline et sont rapidement consommés par photosynthèse ; on peut donc postuler que la disponibilité en sels nutritifs et donc la production primaire est équivalente dans les deux cas, la différence étant qu'elle s'exerce dans un lagon sur une colonne d'eau moins épaisse entraînant une moins grande "dilution" des pigments. Si on compare la profondeur moyenne du lagon de MURUROA (40 mètres) à la hauteur moyenne de la couche euphotique (200 mètres), on trouve un rapport de 1/5, inverse de celui des densités en chlorophylle *a*, lagon (0,5 mg/m³)/eau océanique (0,1 mg/m³). Dans les 2 cas, la quantité de matière végétale présente dans la couche productive est de l'ordre de 20 mg/m², chiffre également trouvé par LE BOURHIS (1967) en sommant les teneurs niveau par niveau.

Outre son intérêt pour expliquer la présence de silice, cette hypothèse rend donc également compte de la fertilité apparente plus élevée des eaux lagunaires par rapport aux eaux océaniques. Toutefois, seules des mesures adéquates sur des échantillons prélevés à différents niveaux lors de forages,

LAGON

OCEAN PACIFIQUE TROPICAL SUB



* Darcy = Perméabilité d'un matériau aquifère débitant 1 cm³/s à travers surface de 1 cm² sous gradient normal à cette surface de un atmosphère par centimètre.

ECHANGES LAGON OCEAN PAR CAPILLARITE A TRAVERS LE SOCLE CORALLIEN POREUX

Figure 24

permettront de tester la validité réelle de ce modèle (Fig. 24) en mettant, ou non, en évidence, des gradients verticaux de sels nutritifs dans l'eau interstitielle. Un autre aspect de l'importance des échanges interstitiels est de permettre également un réajustement des teneurs en gaz dissous ; ainsi si une forte augmentation de la production primaire d'un lagon se produit par déversement d'effluents ou pompage d'eau profonde, la demande biologique et chimique en oxygène pour reminéraliser les éléments constitutifs des cellules mortes, pourra être en partie comblée par diffusion moléculaire à travers le socle. Ce processus, qui resterait discret dans le lagon ouvert de MURUROA deviendrait prépondérant dans un lagon fermé, où les possibilités de phytoculture par pompage d'eau profonde présentent justement le plus d'intérêt.

Si l'on raisonne en terme de biomasse planctonique, la vasque lagonaire apparaît comme une oasis au milieu du "désert" océanique, puisque les évaluations de MICHEL (op. cit.) donnent pour le rapport pondéral des teneurs en biomasse des eaux lagonaires de MURUROA (415 mg/m³) à celles des eaux océaniques (24 mg/m³) le chiffre de 17. Si l'on fait abstraction des méduses, on aboutit à une biomasse lagonaire de 150 mg/m³ et à un rapport de 7 avec le plancton extérieur de la couche 0-50 mètres. Une fraction de cette biomasse est évacuée chaque jour par la zone de passe, ce qui crée le gradient d'abondance décroissant vers le large signalé par BOURRET (op. cit.). Bien que ce "sillage d'île" ne soit faiblement apparent que sous le vent de l'atoll et constitue un apport de second ordre pour l'écosystème pélagique, il correspond à une perte importante pour le lagon.

En estimant à 10.000 m² la section où, dans la zone de passe $\overline{\underline{(4.000 \times 2 \text{ m}) + (400 \text{ m} \times 5 \text{ m})}}$, existe un courant sortant continu de 0,25 m/s, on obtient une sortie d'eau lagonaire de 216. 10⁶ m³/jour (1), compensée évidemment par une entrée équivalente d'eau océanique par le plancher de la passe et les hoa. En notant d'autre part que :

- a) la couche superficielle évacuée est moins riche en plancton que les couches profondes
- b) une fraction de l'eau qui sort peut repénétrer par les bords et à marée montante

(1) Cette estimation, qui semble réaliste par alizé bien établi, donne pour ce lagon de 3 milliards de m³ un temps de résidence des eaux de 14 jours, soit un taux de renouvellement quotidien de 7 %.

c) l'eau océanique qui entre dans le lagon possède une certaine charge planctonique, on peut ramener à 50 mg/m³ la biomasse contenue dans l'eau qui sort, soit une perte de l'ordre de 10 tonnes/jour (poids humide) (2). Ce chiffre est identique à celui calculé de façon analogue par MICHEL et al (1971) à RANGIROA, où les 2 passes fonctionnelles sont plus profondes mais étroites. Il reste que le lagon exporte continuellement la biomasse planctonique qu'il produit et que, comme dans tout système ouvert en équilibre, ce qui part doit être compensé atome par atome par ce qui entre.

Sur ce point, les modèles "horizontaux" classiques, tel celui proposé par MICHEL et al (op. cit.), s'ils rendent bien compte des processus de transformations biocénotiques sur la couronne récifale et dans le lagon par les mécanismes d'assimilation des zooxanthelles et les cycles courts de dégradation des agrégats organiques par les bactéries, ne satisfont guère au principe d'équilibre homéostatique. La machine récifo-lagonaire accomplirait donc le prodige d'être traversée par une eau claire, pauvre en sels nutritifs, en phytoplancton et en zooplancton tout en restituant le même volume d'eau considérablement plus riche en espèces planctoniques. L'assimilation directe d'azote atmosphérique par les algues bleues benthiques de la zone d'estran devant apporter une contribution très modeste au bilan énergétique, l'apport en sels nutritifs neufs par diffusion sur le fond du lagon semble bien constituer l'explication adéquate de cette situation apparemment paradoxale, discutée par de nombreux auteurs dont RICARD et al. (1977).

V - RESUME ET CONCLUSION

Le lagon de MURUROA constitue un écosystème original dont les principales caractéristiques hydrologiques font apparaître que :

- les profils thermohalins s'écartent peu de ceux des eaux océaniques superficielles (eau subtropicale sud), sauf dans l'appendice occidental où s'accumulent, par vent dominant d'est, les eaux dessalées par la pluie.

(2) Pour une biomasse totale de l'ordre de 1000 tonnes (400 mg/m³ x 3-10⁹ m³), cette perte entraînerait un épuisement complet en 100 jours ; temps compatible avec le degré d'endémicité des espèces planctoniques du lagon.

- cette accumulation engendre une contre-circulation profonde vers l'est du lagon, qui, conjuguée aux entrées d'eaux océaniques par les hoas, entretient des inversions de densité entre la surface et le fond.
- le flux sortant par la zone de passe est compensé en profondeur par une arrivée d'eau océanique subsuperficielle, ce système dynamique à 2 couches favorisant également les instabilités.
- dans la partie orientale du lagon, les processus de mélange homogénéisent ces différents types d'eau et aboutissent à la formation de l'eau lagonnaire proprement dite.
- les teneurs très élevées en silice dissoute, émises épisodiquement par la nappe phréatique, amènent à proposer un schéma d'alimentation en sels nutritifs de cette nappe et du lagon par capillarité à travers le socle corallien, à partir de l'eau océanique intermédiaire.
- cette hypothèse rendrait également compte de la forte productivité primaire des eaux du lagon, enrichies partiellement par l'eau océanique subsuperficielle et peut être, dans la partie orientale par des effluents d'origine humaine. Toutefois calculée sur l'épaisseur de la couche éclairée, la richesse en chlorophylle a est la même pour le lagon et l'océan proche.
- par alizé établi, le renouvellement des eaux du lagon entraîne une perte nette en biomasse planctonique estimée empiriquement à 10 tonnes/jour. L'équilibre du bilan énergétique de ce système ouvert nécessite donc de compléter, par un processus d'apport vertical en sels nutritifs, les modèles horizontaux de transferts entre les écosystèmes océaniques, récifaux et lagonnaires.

Le lagon de MURUROA est donc un milieu assez ouvert où la pénétration d'eau océanique régie par la force des alizés assure un renouvellement rapide de l'eau. La confirmation des conclusions de cette étude nécessiterait un suivi hydrologique quotidien du lagon, analogue à celui effectué sur l'eau océanique extérieure, des analyses de la nappe phréatique et de l'eau interstitielle à différents niveaux et la mise en place d'un réseau de courantographes.

BIBLIOGRAPHIE

- ARX, VON (W.S.), 1954 - Circulation systems of BIKINI and RONGELAP lagoons.
MARSHALL Islands - U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 260 (B); 265-273.
- BABLET (J.P.), 1980 - DIR.C.E.N./S.M.C.B. - Communication personnelle.
- BARKLEY (R.C.), 1972 - JOHNSTON Atoll's wake.
J. Mar. Res. 30 (2) : 201-216.
- BOURRET (Ph.), BINET (D.), HOFFSCHIR (C.), RIVATON (J.), VELAYOUDON (H.),
1979 - Evaluation de "l'effet d'île" d'un atoll : Plancton et
micronecton au large de MURUROA (TUAMOTU) - Centre ORSTOM-NOUMEA.
124 p.
- BURKOV (V.A.), 1966 - Structure and nomenclature of Pacific Ocean currents.
Oceanology, 6 : 1-11.
- CHEVALIER (J.P.), DENIZOT (M.), MOUGIN (J.C.), PLESSIS (Y.), SALVAT (B.),
1969 - Etude géomorphologique et bionomique de l'atoll de
MURUROA (TUAMOTU). Cah. Pacif., 13 : 3-144, 24 pl.
- CHEVRE (A.), 1971 - Relations entre la situation météorologique et le
niveau des lagons dans l'archipel des TUAMOTU.
Cah. Océanogr. 23, 7 : 603-610.
- DANAÏDES II, 1977 - Résultats de croisière du N.O. CORIOLIS - NOUMEA.
- DENEUFBOURG (G.), 1969 - Les forages de MURUROA.
MURUROA, DIR.C.E.N./S.M.C.B. p. 191-202.
- DESROSIERES (R.), WAUTHY (B.), 1972 - Distribution du phytoplancton et
structure hydrologique dans la région des TUAMOTU (Océan
Pacifique Central). Cah. ORSTOM, sér. Océanogr. Vol X, n°3,
275-287.

- DIETRICH (G.), KALLE (K.), 1957 - Allgemeine meereskunde - Eine einführung in die ozeanographie.
Berlin - 429 pp + cartes.
- DONGUY (J.R.), HENIN (C.), JARRIGE (F.), ROUGERIE (F.), 1974 - Esquisse dynamique et hydrologique du pacifique central sud.
Cah. ORSTOM, ser. Oceanogr., Vol XII, n° 2, 129 - 139.
- DONGUY (J.R.), HENIN (C.), 1978 - La salinité de surface dans l'océan pacifique tropical sud-ouest - Cah. ORSTOM, sér. Oceanogr., Vol. XVI, n° 2, 107 - 136.
- FRAIZIER (A.), SIU (P.), 1980 - Etudes menées dans l'atoll de RANGIROA en relation avec l'élevage d'un poisson : le Chanos-Chanos.
Rapport C.E.A. - R - 5047, 12 p. + annexes.
- FRONTIER (S.), 1978 - Ecosystème d'estuaire dans les baies de la côte nord-ouest de MADAGASCAR. Bull. Ecol. 9, 1, p. 39 - 50.
- GORSHKOV (S.G.), 1974 - Oceanic Atlas, Pacific Ocean, Navy Ministry, 302 maps and 25 p. (in Russian).
- GROS (R.), JARRIGE (F.), FRAIZIER (A.), 1980 - Hydrologie de la zone nord-ouest du lagon de RANGIROA
Rapport C.E.A. - R - 5028, 11 pages + annexes.
- GROS (R.), 1980 - Développement agricole et problèmes de pollution de l'environnement sur atolls.
Commission du Pacifique Sud - Conférence Technique Régionale de la Culture sur les Atolls - TAHITI.
- GUEREDRAT (J.A.), ROUGERIE (F.), 1978 - Etude physico-chimique et planctologique du lagon de l'atoll de TAKAPOTO.
Rap. de convention ORSTOM - Service de la Pêche - PAPEETE
39 p., 3 annexes.
- HISARD (P.), JARRIGE (F.), 1967 - Résultats des observations physico-chimiques de la croisière "BRISANTS" du N.O. CORIOLIS.
Rap. 7, ORSTOM - NOUMEA, 38 p.

- LAM (R.K.), 1974 - Atoll permeability : Calculated from tidal diffusion, Jour. of. Geophys. Res., Vol. 79, n° 21, 3073 - 3081.
- LE BOURHIS (J.), WAUTHY (B.), DESROSIERES (R.), MICHEL (A.), 1967 - Résultats de production primaire des croisières "ATOLL" et "BRISANTS" du N.O. CORIOLIS. Rap. 8, ORSTOM - NOUMEA, 32 p. multigr.
- MEYER (X.), 1980 - Les ressources en eau douce d'un atoll. Commission du Pacifique Sud. Conférence Technique Régionale de la Culture sur les Atolls - TAHITI, 66 p.
- MICHEL (A.), 1969 - Plancton du lagon et des abords extérieurs de l'atoll de MURUROA. Cah. Pacif., 13 : 81 - 132.
- MICHEL (A.), COLIN (C.), DESROSIERES (R.), OUDOT (C.), 1971 - Observations sur l'hydrologie et le plancton des abords et de la zone des passes de l'atoll de RANGIROA. (Archipel des TUAMOTU, Océan Pacifique Central). Cah. ORSTOM, sér. Oceanogr., Vol. IX, n° 3, p. 375 - 402.
- QUIGUER (J.P.), 1969 - Quelques données sur la répartition des poissons des récifs coralliens. MURUROA - DIR.C.E.N./S.M.C.B., p. 325 - 329.
- REVEL (F.), 1966 - Marées et courants dans les atolls polynésiens Rapport de mission hydrographique.
- RICARD (M.), BADIE (C.), RENON (J.P.), SOURNIA (A.), 1977 - Données sur l'hydrologie, la production primaire et le zooplancton du lagon de l'atoll fermé de TAKAPOTO (Archipel des TUAMOTU). Rapport M.A.B..
- RICARD (M.), 1980 - Diminution de la production primaire du lagon de TIAHURA (île de MOOREA, Polynésie Française) sous l'influence de la pollution liée à l'exploitation de sables coralliens. Cah. de l'Indo-Pacifique, Vol. 2, n° 1, p. 73 - 90.
- ROUGERIE (F.), 1979 - Caractéristiques du milieu liquide lagonaire de l'atoll de TAKAPOTO. Journal de la Soc. des Océanistes. 62 - T. 35, p. 35-45.

- SALVAT (B.), RENAUD-MORNANT (J.), 1969 - Etude écologique du macrobenthos et du meiobenthos - MURUROA - DIR.C.E.N./S.M.C.B. p. 303-323.
- SOURNIA (A.), RICARD (M.), 1976 - Données sur l'hydrologie et la productivité du lagon d'un atoll fermé (TAKAPOTO, îles TUAMOTU). Vie et milieu, sér. B. 26 (2) : 243-279.
- SMITH (S.V.), MARSH (J.A.), 1973 - Organic carbon production on the windward reef flat of Eniwetok atoll - Limnol. Oceanogr., 18 : 953-961.
- STRICKLAND (J.D.H.), PARSONS (T.R.), 1968 - A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Canada, Bull. 167-311.
- TERCINIER (G.), 1969 - Note de synthèse sur les sols du MOTU - FAUCON - in MURUROA - DIR.C.E.N., p. 161-189.
- TRICHET (J.), 1969 - Quelques aspects de la sédimentation calcaire sur les parties émergées de l'atoll de MURUROA. in MURUROA - DIR.C.E.N., p. 145-158.
- WYRTKI (K.), 1979 - EL NIÑO
La recherche n° 106, Vol. 10 - Décembre.
57, rue de Seine - PARIS - p. 1212-1220.

- TABLEAU I -

STATION	DATE ET HEURE	PROFON- DEUR (m)	TEMPERA- TURE (°C)	SALINITE (g/kg)	DENSITE (σ _t)	OXYGENE		SILICATES (mmole/m ³)	NITRATES (mmole/m ³)	CHLOROPHYLLE (mg/m ³)
						(ml/l)	satura- tion %			
A 1	20/5/80 09H30	0	26,30	36,167	23,81			2,4	< 0,1	0,05
		22	26,20	36,190	23,89			2,2	< 0,1	0,06
		47	26,10	36,223	23,95			2,7	0,23	0,29
A 2	20/5/80 10H15	0	26,30	36,219	23,88			6,9	0,21	0,16
		8	26,30	36,270	23,92			3,9	< 0,1	0,12
A 3	20/5/80 11H15	0	25,70	36,152	24,02			3,6	0,12	0,10
		5	25,40	36,161	24,12	4,94	106	2,5	< 0,1	0,18
A 4	20/5/80 12H35	0	26,40	36,183	23,82			9,6	< 0,1	0,46
		16	26,10	36,215	23,94	4,62	101	20,0	0,12	0,74
A 5	20/5/80 13H00	0	26,20	36,211	23,91			7,5	< 0,1	0,16
		20	26,10	36,142	23,88	4,81	105	2,7	0,10	0,14
A 6	20/5/80 13H25	0	26,10	36,245	23,96			19,5	0,10	0,18
		19	26,10	36,174	23,91	4,59	100	3,0	< 0,1	0,39
A 7	20/5/80 13H40	0	26,20	36,272	23,95			2,9	< 0,1	0,31
		24	26,10	36,217	23,94	4,63	101	6,2	< 0,1	0,58
A 8	20/5/80 14H00	0	26,30	36,180	23,85			4,8	0,19	0,66
		20	26,10	36,162	23,90	4,62	101	4,6	0,20	0,56

STATION	DATE ET HEURE	PROFON- DEUR (m)	TEMPERA- TURE (°C)	SALINITE (g/kg)	DENSITE (σ_t)	OXYGENE		SILICATES (mmole/m ³)	NITRATES (mmole/m ³)	CHLOROPHYLLE (mg/m ³)
						(ml/l)	satura- tion %			
A 9	20/5/80 14H10	0	26,30	36,298	23,94			30,4	< 0,1	0,74
		18	26,30	36,260	23,91	4,38	95	3,0	0,39	0,86
A 10	20/5/80 14H45	0	26,30	36,306	23,95	4,91	107	4,4	< 0,1	0,77
		26	26,30	36,208	23,87	4,38	96	2,2	< 0,1	0,97
A 11	20/5/80 15H00	0	26,30	36,194	23,86	4,75	104	2,0	< 0,1	0,77
		20	26,30	36,237	23,89	4,59	100	3,1	< 0,1	0,77
		40	26,20	36,186	23,89	4,61	100	4,5	< 0,1	0,57
A 12	20/5/80 15H25	0	26,30	36,270	23,92			2,3	< 0,1	0,55
		30	26,20	36,213	23,91	4,67	101	2,0	< 0,1	0,33
A 13	21/5/80 09H00	0	26,10	36,214	23,94			1,7	< 0,1	0,58
		22	26,10	36,236	23,96			8,0	< 0,1	0,53
A 14	21/5/80 09H30	0	26,10	36,227	23,95			2,1	< 0,1	0,49
		30	26,20	36,207	23,90			2,1	< 0,1	0,55
A 15	21/5/80 09H50	0	26,10	36,229	23,95			2,9	< 0,1	0,30
		33	26,15	36,257	23,95			3,5	< 0,1	0,31
A 16	21/5/80 10H10	0	26,15	36,257	23,95			2,1	< 0,1	0,32
		40	26,10	36,208	23,93			2,2	< 0,1	0,32

TABLEAU CLIMATOLOGIQUE MENSUEL

(8 OBSERVATIONS PAR JOUR)

Renseignements
sur les heures d'ouverture de la station

0045

2015

STATION : MURUROA

COMMUNE : TUREIA - TUAMOTU

DEPARTEMENT : POLYNESIE FRANÇAISE

Heure légale = Heure TU ± 10

ANNEE : 1 980

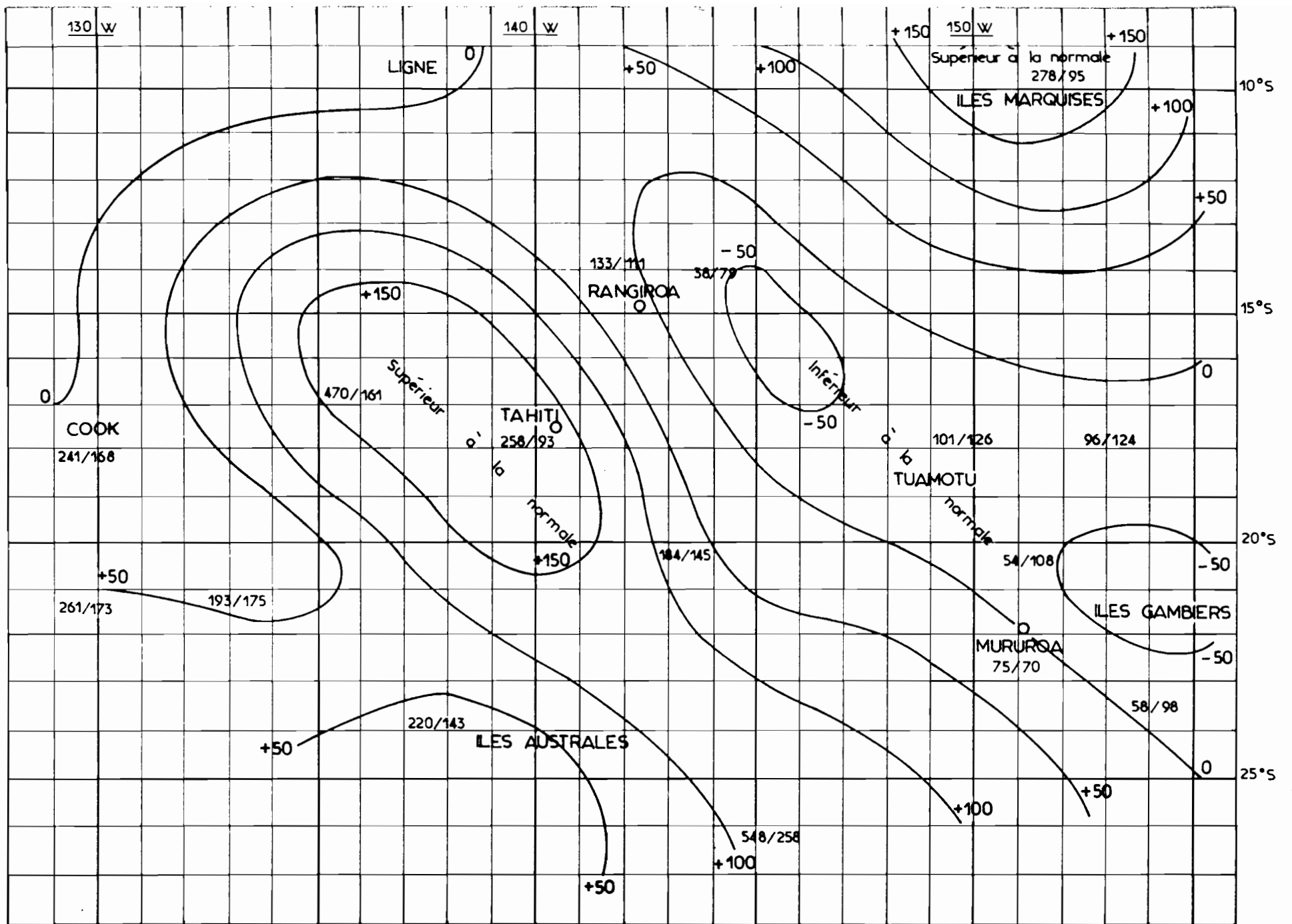
MOIS : MAI

Latitude : 21° 48' 52" S

Longitude : 138° 47' 48" W

Altitude : 2 m.

RESUME CLIMATOLOGIQUE	MOIS	1 ^{ère} Décade	2 ^{ème} Décade	3 ^{ème} Décade
TEMPERATURES (en degré CELSIUS et 1/10)				
Moyenne des Minimums \bar{T}_n	23.6	24.1	23.7	23.0
Moyenne des Maximums \bar{T}_x	27.9	28.7	28.0	27.0
Moyenne des $\bar{T}_n + \bar{T}_x$	25.7	26.4	25.9	25.0
Moyenne des 8 ² Observations synoptiques	25.6	26.1	25.8	24.8
Minimum absolu et date	20.1 le 29	22.8 les 3 et 8	22.9 le 16	20.1 le 29
Maximum absolu et date	30.0 le 5	30.0 le 5	29.7 le 12	28.6 le 21
Moyenne quotidienne la plus basse et date	22.8 le 29	25.7 le 1	24.7 le 20	22.8 le 29
Moyenne quotidienne la plus élevée et date	26.6 les 12 et 23	26.5 le 7	26.6 le 12	26.6 le 23
Cumulée au dessous du seuil 18°				
RAYONNEMENT global mesuré, total en J/cm²				
INSOLATION durée totale en heures	192	75	52	65
PRECIPITATIONS				
Hauteur totale des précipitations en mm et dixièmes	75.0	21.3	19.1	34.6
Durée totale des précipitations en heures et dixièmes				
Hauteur maximale quotidienne des précipitations et date	26.6 le 31	12.8 le 8	7.7 le 18	26.6 le 31
Épaisseur maximale de la couche de neige (en cm) et date				
Intensité remarquable des précipitations en mm/h durée et date				
EVAPORATION (Piche) hauteur totale en mm et dixièmes				
	73.4	21.5	20.3	31.6
VENT vitesse moyenne du vent en m/s et 1/10				
(Vitesse maximales en m s et directions en dizaines de degré)				
Vent maximal instantané : vitesse et date	18 le 29	17 le 8	14 le 16	18 le 29
Vent maximal instantané : direction	14	36	02	14
Vent maximal moyen sur 10 min : vitesse et date	14 les 8 et 31	14 le 8	13 le 16	14 le 31
Vent maximal moyen sur 10 min : direction	36 et 02	36	02	02



ISONHYETES ET ECARTS (%) PAR RAPPORT A LA MOYENNE

- Tableau II b -

O.R.S.T.O.M.

DIRECTION GENERALE

24, rue Bayard, (PARIS 8^{ème})

SERVICE CENTRAL DE DOCUMENTATION

70-74, Route d'Aulnay, BONDY (93140)

CENTRE O.R.S.T.O.M. de PAPEETE

BP 529 PAPEETE (TAHITI)

. . .