

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

C.40

LE LAGON DE L'ATOLL DE MURUROA

1ère partie

**EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES PARAMETRES
HYDROLOGIQUES, PHYSICO-CIMIQUES
ET PLANCTOLOGIQUES**

2ème partie

**DYNAMIQUE ET ECHANGES LAGON-OCEAN
MODELE DE CIRCULATION INTERNE
A TRAVERS LE SOCLE CORALLIEN**

par

*Francis ROUGERIE, Michel RICARD,
Edmond MAZAURY*

INSTITUT DE PROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE

DEPARTEMENT DE PROTECTION

Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses

Rapport CEA-R-5236

SERVICE DE DOCUMENTATION

C.E.N. - SACLAY 91191 GIF-sur-YVETTE Cedex FRANCE

PLAN DE CLASSIFICATION DES RAPPORTS ET BIBLIOGRAPHIES CEA

(Classification du système international de documentation nucléaire SIDON/INIS)

- | | | | |
|------|--|------|--|
| A 11 | Physique théorique | C 30 | Utilisation des traceurs dans les sciences de la vie |
| A 12 | Physique atomique et moléculaire | C 40 | Sciences de la vie : autres études |
| A 13 | Physique de l'état condensé | C 50 | Radioprotection et environnement |
| A 14 | Physique des plasmas et réactions thermonucléaires | | |
| A 15 | Astrophysique, cosmologie et rayonnements cosmiques | D 10 | Isotopes et sources de rayonnements |
| A 16 | Conversion directe d'énergie | D 20 | Applications des isotopes et des rayonnements |
| A 17 | Physique des basses températures | | |
| A 20 | Physique des hautes énergies | E 11 | Thermodynamique et mécanique des fluides |
| A 30 | Physique neutronique et physique nucléaire | E 12 | Cryogénie |
| | | E 13 | Installations pilotes et laboratoires |
| B 11 | Analyse chimique et isotopique | E 14 | Explosions nucléaires |
| B 12 | Chimie minérale, chimie organique et physico-chimie | E 15 | Installations pour manipulation de matériaux radioactifs |
| B 13 | Radiochimie et chimie nucléaire | E 16 | Accélérateurs |
| B 14 | Chimie sous rayonnement | E 17 | Essais des matériaux |
| B 15 | Corrosion | E 20 | Réacteurs nucléaires (en général) |
| B 16 | Traitement du combustible | E 30 | Réacteurs nucléaires (types) |
| B 21 | Métaux et alliages (production et fabrication) | E 40 | Instrumentation |
| B 22 | Métaux et alliages (structure et propriétés physiques) | E 50 | Effluents et déchets radioactifs |
| B 23 | Céramiques et cermets | | |
| B 24 | Matières plastiques et autres matériaux | F 10 | Economie |
| B 25 | Effets des rayonnements sur les propriétés physiques des matériaux | F 20 | Législation nucléaire |
| B 30 | Sciences de la terre | F 30 | Documentation nucléaire |
| | | F 40 | Sauvegarde et contrôle |
| C 10 | Action de l'irradiation externe en biologie | F 50 | Méthodes mathématiques et codes de calcul |
| C 20 | Action des radioisotopes et leur cinétique | F 60 | Divers |

RAPPORT CEA-R-5236 MAZAURY Edmond, RICARD Michel, ROUGERIE Francis

LE LAGON DE L'ATOLL DE MURUROA - 1ère Partie : EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES PARAMETRES HYDROLOGIQUES, PHYSICO-CHIMIQUES ET PLANCTOLOGIQUES.

Sommaire. Situé dans le sud-est de l'archipel des TUAMOTU (Pacifique Central Sud), et à proximité du tropique sud, l'atoll de MURUROA enferme un lagon qui communique avec l'océan par une passe peu profonde. Les précipitations moyennes sur cette zone océanique étant inférieures au niveau de l'évaporation, la salinité de surface océanique oscille entre 35,8 et 36,4%. Dans le lagon lui-même, les fluctuations thermohalines annuelles révèlent la présence en hiver d'une eau homogène froide et peu salée, alors qu'en été le milieu est bien stratifié et de salinité supérieure à 36,2%. Les teneurs en sels nutritifs azotés et phosphatés sont basses toute l'année, et peu différentes des teneurs de la couche océanique superficielle, déjà connue comme fortement oligotrophe. La distribution de la silice, dont les teneurs peuvent être notablement supérieures aux teneurs océaniques, indique par ailleurs qu'elle peut être injectée sporadiquement dans le lagon par le délestage intermittent de la nappe phréatique située sous la couronne émergée de l'atoll. La production primaire, exprimée par les teneurs en chlorophylle *a*, se révèle 4 à 5 fois plus importante dans le lagon que dans la couche superficielle océanique ; ceci pose le problème du maintien de la fertilité du lagon qui exporte en permanence par la passe une partie de sa biomasse. L'examen du cycle du phytoplancton indique la présence de 2 groupes distincts : l'un constitué de cellules de grandes tailles apparentées au microplancton, l'autre comportant une plus forte densité de petites cellules au turn over rapide et caractéristiques du nanoplancton.

.../...

RAPPORT CEA-R-5236 MAZAURY Edmond, RICARD Michel, ROUGERIE Francis

MURUROA LAGOON ATOLL - Part 1 : SPACE-TIME EVOLUTION OF HYDROLOGICAL, PHYSIC-CHEMICAL AND PLANKTON PARAMETERS.

Summary. The atoll of MURUROA is situated in the South East of the TUAMOTU archipelago (Central Southern Pacific) next to the southern tropic and is linked to the ocean by a shallow pass. The average rainfall on this oceanic zone is lower than the evaporation level and thus the oceanic salinity is high and varies between 35.6 and 36.4%. Within the lagoon itself, in Winter, the annual thermohaline variations show the presence of a cold homogeneous water slightly salted whereas during the Summer the environment is well stratified and its salinity superior to 36.2%. The amounts of nutritive nitrate and phosphate salts are low throughout the year and quite similar to the oceanic superficial central levels already known as very low within the Tropical South Pacific Zone. The loads of siliceous material, the percentage of which can be remarkably higher than the oceanic levels, incidently indicates that it can be sporadically injected within the lagoon by the intermittent unloading of the phreatic water lens situated under the emerged crown of the atoll. The primary production expressed in chlorophyl *a* percentages shows that it is 4 to 5 times more important in the lagoon than in the superficial oceanic levels. This fact raises some questions about the maintenance of the lagoon fertility, the lagoon exporting permanently by the pass a major part of its biomass. The inspection of the phytoplankton cycle indicates the presence of two distinct groups : one composed of sizeable cells belonging to the microplankton family and the other composed of smaller cells with a rapid turnover.

.../...

LE LAGON DE MURUROA - 2ème Partie : DYNAMIQUE ET ECHANGES LAGON-OCEAN ; MODELE DE CIRCULATION INTERNE A TRAVERS LE SOCLE CORALLIEN.

Sommaire. Les mesures directes de courant du lagon de MURUROA et les différents réarrangements du champ de densité conduisent à proposer un modèle de circulation, où le départ des eaux superficielles vers l'ouest (zone de passe) sous l'action des vents alizés dominants, est compensé dans la partie inférieure de la passe, par un flux océaniques entrant à marée montante. Dans la partie orientale, les hodographes du courant résultant indiquent une circulation opposée entre les couches superficielles et l'eau du fond, dont le processus de remontée vers la surface est analogue à celui d'un upwelling côtier.

Des prélèvements d'eau effectués dans les puits verticaux forés à partir de la couronne émergée de l'atoll permettent la mesure des paramètres hydrologiques de l'eau interstitielle, présente dans le socle corallien poreux de l'atoll, et révèlent l'étroite similitude, à niveau donné, entre celle-ci et l'eau océanique libre. L'étude comparée des gradients thermohalins et des teneurs en molécules nutritives (nitrates et silicates) dans le lagon, dans le socle corallien puis basaltique (à partir de 500 mètres) et dans l'océan prouve de façon formelle la réalité d'une diffusion ionique à travers le socle corallien, entre l'eau antarctique intermédiaire riche et l'eau du lagon épuisée en nutriments. Cet apport de sels nutritifs neufs permet le maintien du haut niveau de production primaire des eaux du lagon, et compose l'exportation permanente de biomasse vers l'océan par la passe.

1983

92 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

MURUROA LAGOON ATOLL - Part 2 : LAGOON-OCEAN DYNAMICS AND EXCHANGES ; MODEL OF INTERNAL CIRCULATION THROUGH THE CORAL BASE.

Summary. Local measurements of the MURUROA lagoon currents and the different density shift zones have led to set forth a circulation model where the drift of the superficial waters westwards (near the pass) under the action of the dominant trade winds is compensated in the lower levels of the pass by an oceanic flux coming in with the high tide. In the eastern part the graphic patterns of the resulting currents indicate an inverse circulation process between the superficial levels and bottom waters, their uplifting toward the surface being similar to a coastal upwelling process. Some water samples collected in vertical wells drilled in the emerged crown of the atoll have made it possible to measure the hydrological parameters of interstitial water in the porous coral base of the atoll. At equivalent levels, they indicate a close similarity with free oceanic water. A comparative study of thermohaline gradients and amounts of dissolved nutrients (nitrates and silicates) within the lagoon, inside the coral then the basaltic base (from 500 meters on) and in the ocean, demonstrates ionic diffusion through the coral base ; an exchange between rich intermediate Antarctic water and the lagoon water exhausted of its nutritive aliments. This flow of new nutritive salts allows to maintain a high level of primary production of lagoon waters and balances the permanent departure of biomass toward the ocean through the pass.

1983

92 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

- Rapport CEA-R-5236 -

Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses
Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire
Département de Protection
Laboratoire d'Etudes et de Surveillance de l'Environnement

LE LAGON DE L'ATOLL DE MURUROA

1ère partie

EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES PARAMETRES HYDROLOGIQUES,
PHYSICO-CHIMIQUES ET PLANCTOLOGIQUES

2ème partie

DYNAMIQUE ET ECHANGES LAGON-OCEAN
MODELE DE CIRCULATION INTERNE A TRAVERS LE SOCLE CORALLIEN

par

Francis ROUGERIE¹, Michel RICARD², Edmond MAZAURY³⁻⁴

1 - Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
B.P. 529, PAPEETE, Tahiti, Polynésie Française

2 - Muséum National d'Histoire Naturelle et Antenne Muséum E.P.H.E.
en Polynésie, B.P. 12, MOOREA, Polynésie Française

3 - Service Mixte de Contrôle Biologique, DIRCEN - B.P. 16, 91310 MONTLHERY

4 - C.E.A., I.P.S.N., DPr, B.P. 519, PAPEETE, Tahiti, Polynésie Française

- Mars 1984 -

- Rapport CEA-R-5236 -

LE LAGON DE L'ATOLL DE MURUROA

1ère partie

EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES PARAMETRES HYDROLOGIQUES,
PHYSICO-CHIMIQUES ET PLANCTOLOGIQUES

par

Francis ROUGERIE, Michel RICARD, Edmond MAZAURY

- Mars 1984 -

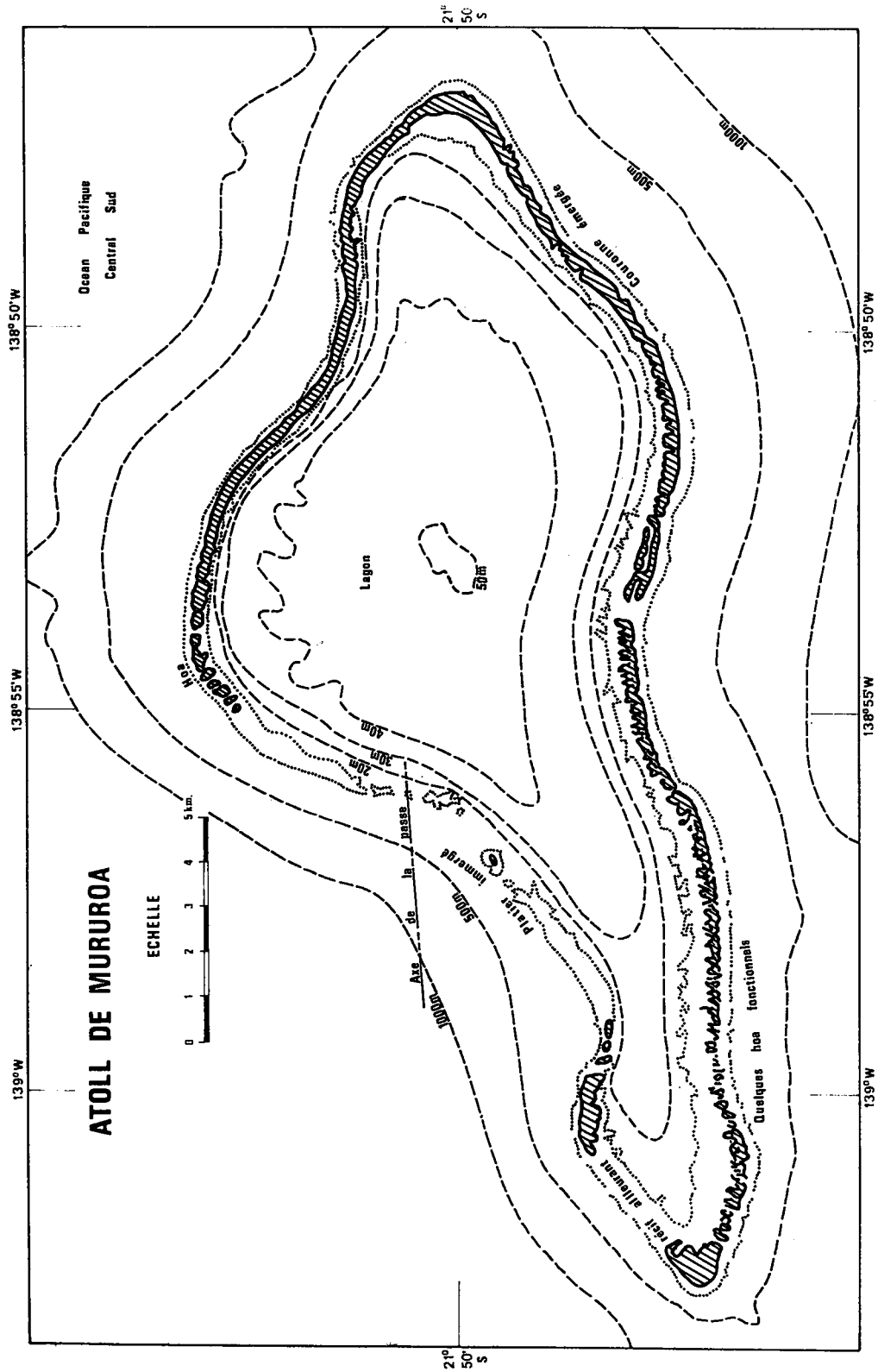


FIG. 1 : TOPOGRAPHIE ET BATHYMETRIE.

J.J.C. ORSTOM PAPEETE - P.F.

I/ - CARACTERISTIQUES GENERALES

1°) L'atoll et son lagon

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 cocoteraie. Les dimensions du lagon sont respectivement : longueur maximale 25 km, largeur 9 km, périmètre 65 km, surface 125 km² et profondeur maximale (région centrale) 52 mètres (fig. 1). 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 affleurant en surface en toutes zones et surtout dans

la partie ouest rendent 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 (chenaux peu profonds) 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°40 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 peut impliquer un rôle important d'apport d'eau au niveau des hoa mais également l'existence d'un courant subsuperficiel de compensation dans la partie inférieure de la passe.

2°) Caractéristiques hydroclimatiques

De par sa position dans le Pacifique Central tropical sud, l'atoll de MURUROA bénéficie d'un climat de type tropical humide maritime. Dans la classification du climat polynésien de CAUCHARD et INCHAUSPE (1976), la zone de MURUROA appartient à l'ensemble "PAUMOTU" caractérisé par un alizé d'est dominant, une température moyenne de l'air comprise entre 22°C et 27°C, une insolation élevée de l'ordre de 3.000 heures/an, une pluviométrie de 1,2 à 1,7 mètre/an et une faible dépendance vis-à-vis des dépressions tropicales d'été.

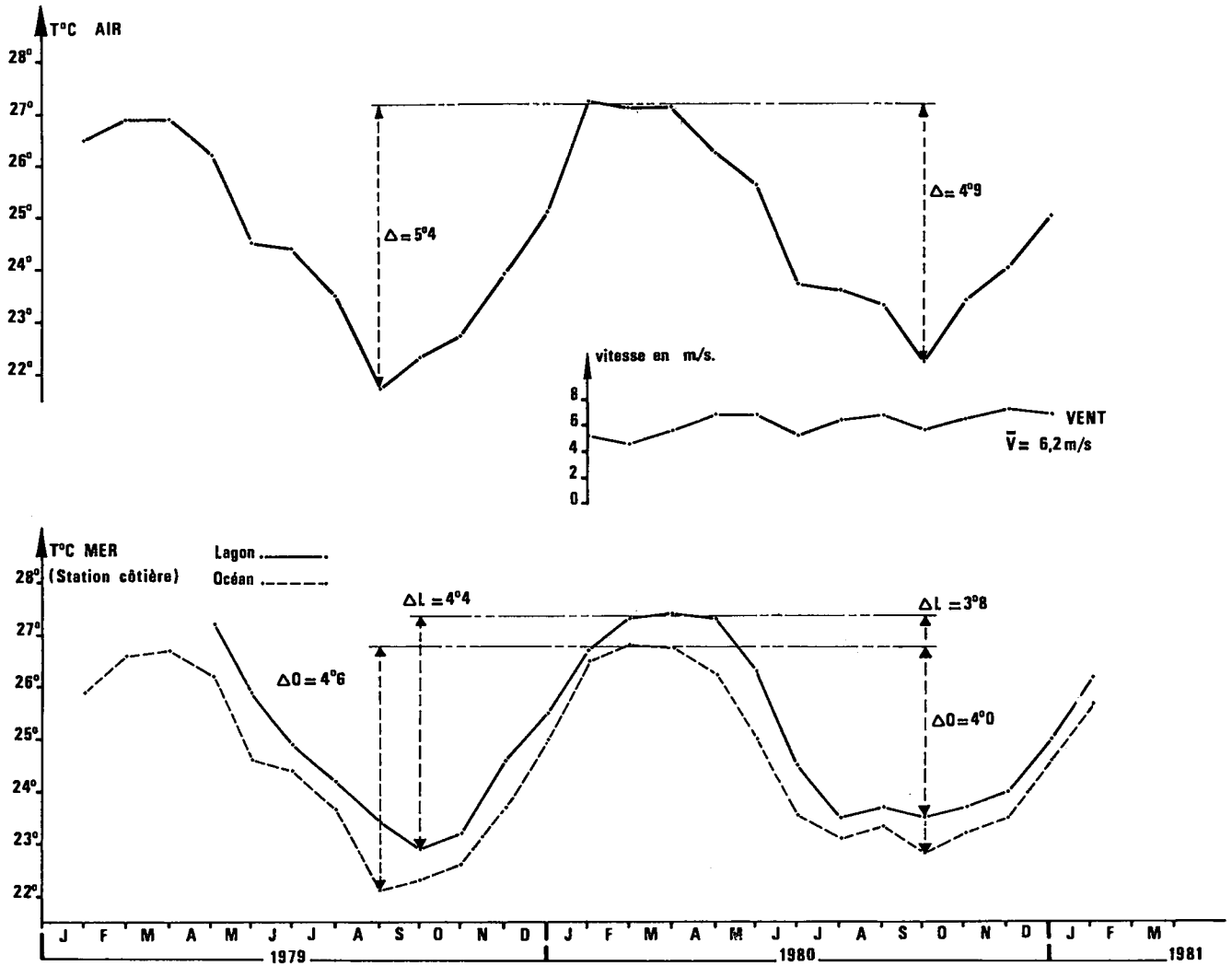
a) Météorologie de l'atoll

Le Service de la Météorologie du C.E.P. effectuée depuis 1971 le relevé des paramètres climatiques fondamentaux dont les huit observations quotidiennes sont regroupées dans un "tableau climatologique mensuel". Ces données sont par ailleurs intégrées dans les publications mensuelles et annuelles du Service de la Météorologie de la Direction du Service de l'Aviation Civile. De nombreuses publications de la Météorologie Nationale traitent du climat dans les atolls (INCHAUSPE, 1971) et aux îles Gambier (CHEVRE, 1974). Un descriptif global des conditions météorologiques régnant sur l'atoll a déjà été esquissé par ROUGERIE, GROS, BERNADAC (1980a).

Situé très près du tropique du Capricorne, l'atoll subit de juillet à septembre les effets de l'hiver austral et une température moyenne de l'air de l'ordre de 22°C. 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 noter 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. On sépare ainsi également la saison froide, à faibles précipitations mensuelles de l'ordre de 75 mm de la saison chaude où la moyenne mensuelle est supérieure à 200 mm; 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. En moyenne, l'évaporation réelle en milieu océanique tropical représente 1,8 fois la valeur

Fig. 2: MURUROA — Moyennes mensuelles.



obtenue par la méthode PICHE. 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.

3°) Interactions océan - atmosphère

La comparaison de l'évolution des températures de l'air au niveau du sol, de l'eau océanique de surface et de l'eau du lagon (figure 2) en 1979 et 1980 permet de mettre en évidence les caractéristiques thermiques principales de l'hydroclimat autour de l'atoll.

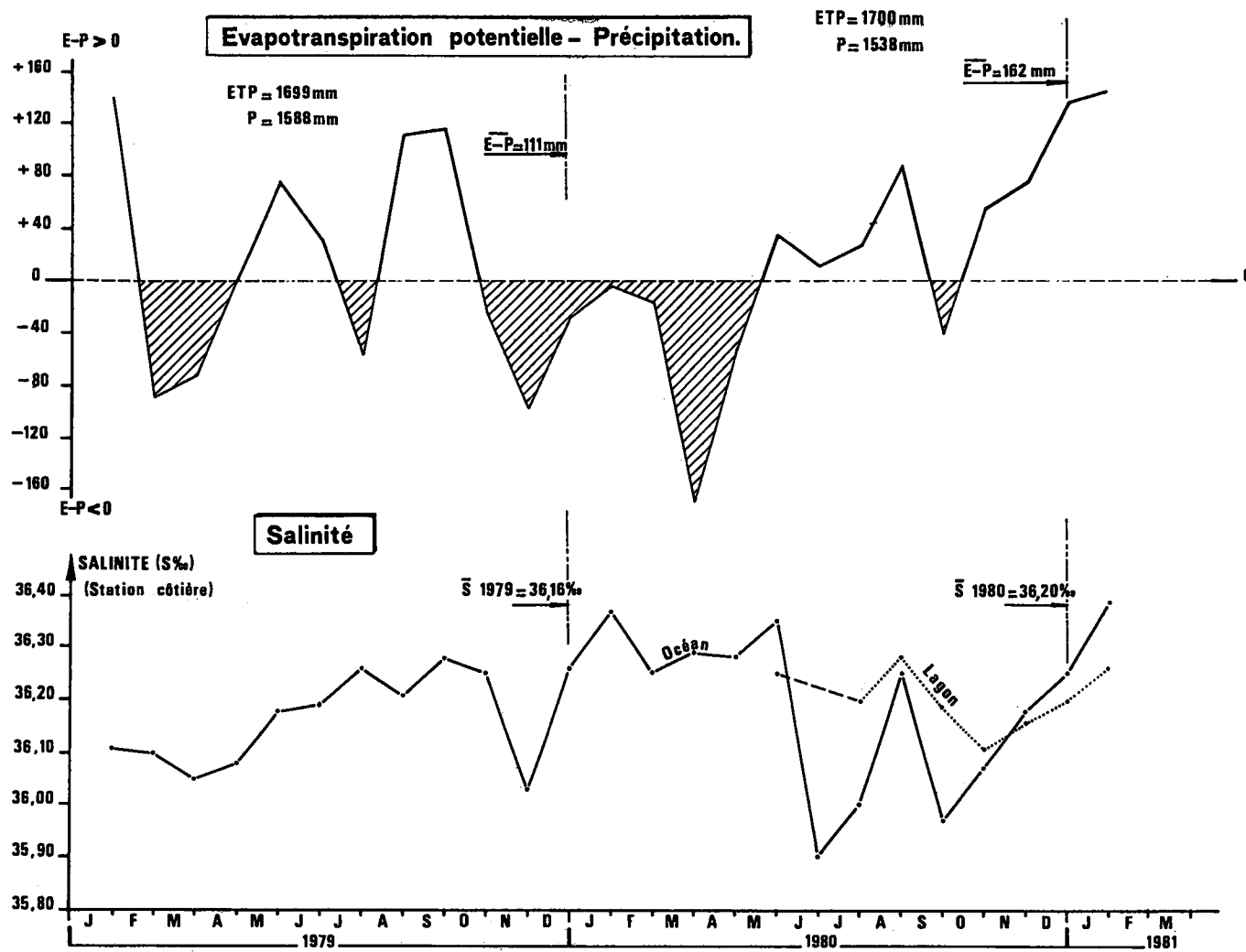
On constate que l'amplitude des variations thermiques est plus importante pour l'air que pour l'océan et que d'une année à l'autre, les minima de la période hivernale (août - septembre) se sont décalés d'un demi-degré sur les trois courbes ; le couplage thermique océan - atmosphère est donc très étroit, la faible surface émergée de l'atoll ayant une influence orographique négligeable. Pendant l'été austral (janvier à mars), l'échange thermique entre les deux milieux se fait dans le sens atmosphère - océan dont la température en surface ne dépasse pas 26°8C pour plus de 27°C dans l'air.

En hiver en revanche, la température océanique reste supérieure à 22°C : l'océan cède des calories à l'atmosphère, ce qui illustre bien l'importance de son effet modérateur sur le climat. La quantité de chaleur de l'eau lagonaire est, en toute saison supérieure, à celle des deux autres systèmes, l'écart thermique lagon - océan étant en moyenne de 0,5°C, chiffre révélateur d'un degré notable de confinement des eaux lagonaires dans la partie orientale du lagon où est mesurée cette température.

L'ambiance climatique conditionne également les variations à court terme de la salinité de l'eau océanique superficielle et, plus localement, de celles de l'eau lagonaire en fonction du signe du bilan évaporation - précipitations (E-P). La figure 3 représente l'évolution mensuelle en 1979 et 1980 des termes Evaporation-Précipitations (E-P) et salinité océanique superficielle pour la zone de MURUROA. Les parties hachurées de la courbe E-P caractérisent les périodes où les précipitations sont supérieures à l'évaporation ; on note les chutes synchrones de salinité dont le niveau mensuel peut ainsi passer en un mois de 36,25 ‰ à 36,02‰ (novembre 1979). Toutefois, à l'échelle annuelle, il n'existe pas de corrélation simple, la salinité semble fluctuer de façon erratique bien que la charge en sel moyenne tende en définitive à se conserver puisqu'elle est de 36,16 ‰ en 1979 et de 36,20 ‰ en 1980. Le bilan E-P annuel est positif pendant les 2 années considérées puisqu'il atteint respectivement 111 mm et 162 mm/an : MURUROA est donc dans une zone où globalement les phénomènes d'évaporation l'emportent sur les précipitations, ce qui implique une augmentation nette de la salinité du système superficiel. La carte donnant la distribution du bilan E-P en Polynésie en 1979 (ROUGERIE, MAREC, GOURIOU, 1980b) indique que ce bilan devient brutalement négatif au sud d'une ligne passant par les GAMBIER, s'incurvant vers l'ouest nord-ouest pour traverser les TUAMOTU du centre en direction des MARQUISES : dans la zone située à l'est de cette ligne, la salinité des eaux superficielles est généralement supérieure à 36,2 ‰ et peut dépasser 36,5 ‰ dans la zone de formation du coeur de l'Eau Subtropicale Sud. Au Sud et à l'ouest de l'axe Gambier - Australes - Iles de la Société, la salinité est généralement inférieure à 36 ‰ et descend au-dessous de 35,5 ‰ entre les îles Cook et Tahiti. Une analyse équivalente réalisée pour l'année 1980 (ROUGERIE, MAREC, GOURIOU, 1981) confirme dans la zone de MURUROA la prépondérance de l'évaporation et le maintien d'une eau océanique de salinité comprise entre 35,9 ‰ (hiver austral) et 36,5 ‰ (été austral).

Ce schéma type de la distribution de la salinité superficielle est la résultante d'un double processus, l'un contrôlé par les échanges d'eau au niveau de l'interface océan-atmosphère, l'autre par les aléas de la circulation océanique, dont les caractéristiques dépendent des états d'équilibres géostrophiques à grande et à moyenne échelle ; d'importantes anomalies peuvent apparaître : en septembre 1965 (croisière Brisants du N.O. CORIOLIS) la salinité autour de MURUROA était inférieure à 35,6 ‰ par suite de la présence d'eau froide et peu salée venant des latitudes plus Sud, révélant l'ampleur de la migration septentrionale de la Convergence subtropicale océanique.

Fig 3: MURUROA _ MOYENNES MENSUELLES.



Le lagon constitue par rapport à l'océan un système à faible inertie qui répond de façon plus rapide aux diverses pulsations météorologiques : sa salinité fluctue de part et d'autre de la valeur océanique superficielle suivant les particularités topographiques et bathymétriques en fonction de la dynamique des échanges lagon-océan et du bilan local évaporation - précipitations.

Des écarts importants mais passagers peuvent apparaître en certains points du lagon, illustrant le fait que les caractéristiques thermohalines d'une eau en transit lagonaire sont en perpétuel réarrangement et ne sauraient être comprises sans une connaissance détaillée de l'hydroclimat local.

C'est ainsi que la baisse brutale de la salinité océanique de juin et juillet 1980 (fig. 3), n'a que peu d'effet immédiat sur la salinité du lagon, ce qui indique que cette perturbation est essentiellement due à l'arrivée d'une eau peu salée à proximité de MURUROA. En août et septembre, les 2 systèmes évoluent de façon synchrone mais à partir d'octobre l'eau du lagon se ressale moins vite que l'eau océanique, celle-ci bénéficiant à la fois d'une forte évaporation (bilan E-P franchement positif) et de l'influence croissante de l'Eau Subtropicale sud très salée. On peut, dans ce cas, tenter d'évaluer la part due à l'advection océanique et celle due aux conditions météorologiques locales. On obtient 0,11 %./mois pour l'augmentation de la salinité océanique et 0,05 %./mois pour l'eau du lagon, ce qui porte à 0,06 %./mois la part due à la seule advection marine. A la fin de l'année 1980, les deux processus se révèlent donc comparables dans leurs effets sur l'augmentation de la salinité de la couche superficielle, mais les séries de données sont encore trop courtes pour pouvoir prédire l'amplitude maximale de l'oscillation haline.

4) Hydrologie de la zone marine des TUAMOTU de l'est

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 BURKOW (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 38° 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.

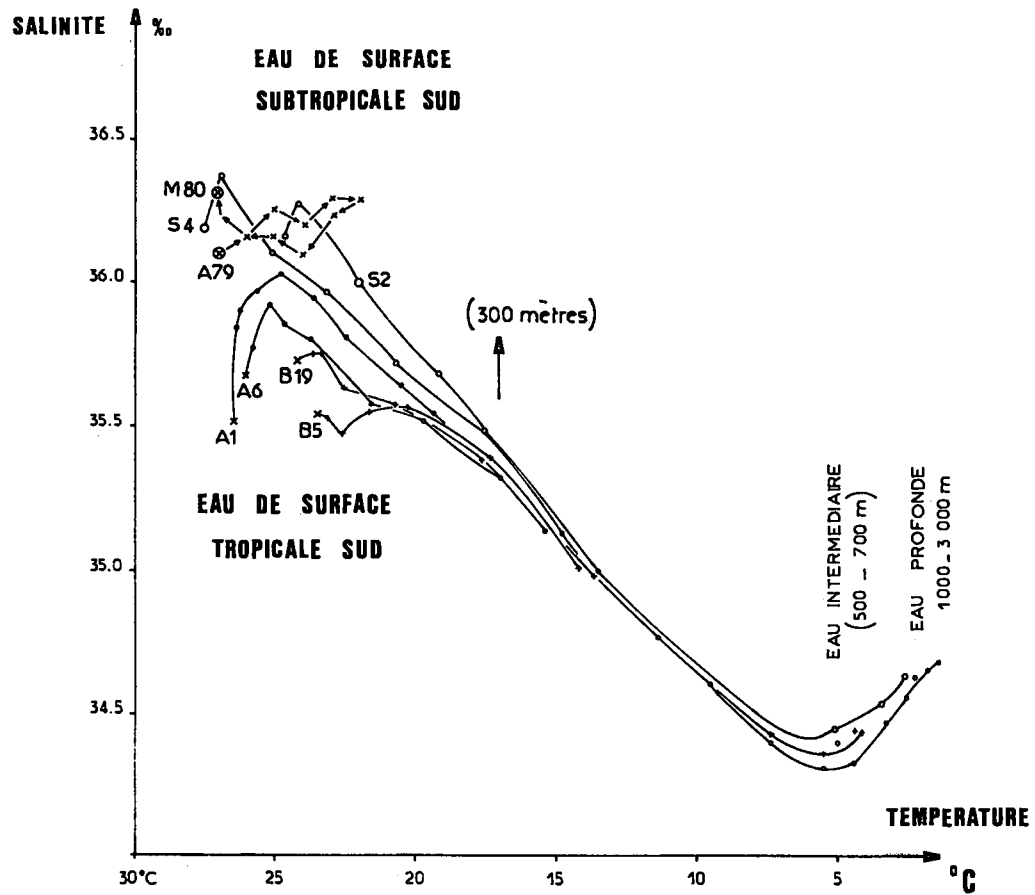


DIAGRAMME T.S. d'ensemble à proximité de l'atoll de MURUROA

Figure 4

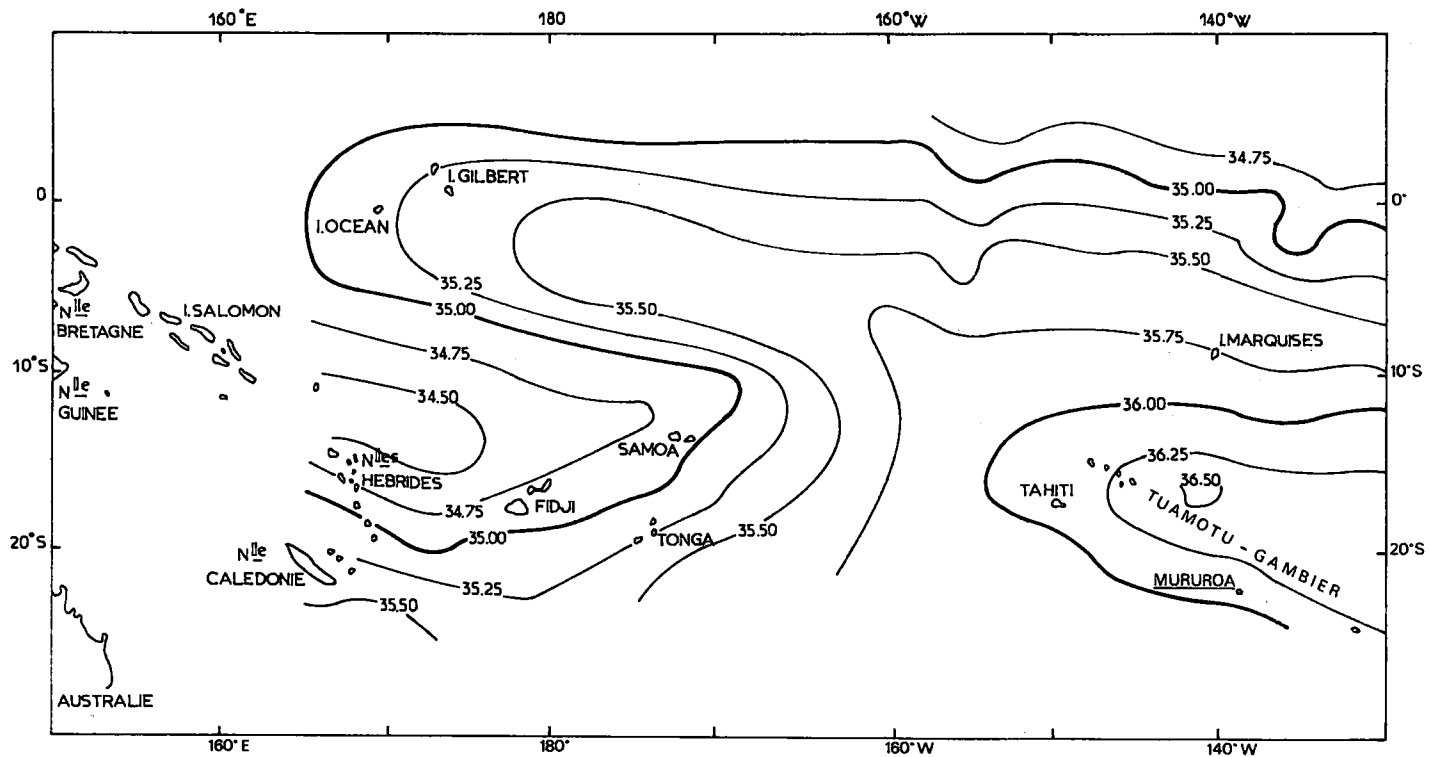
Décembre 1964	ATOLL	A1	21° 13 S 139° 10 W
Janvier 1965	ATOLL	A6	22° 17 S 141° 13 W
Septembre 1965	BRISANTS	B5	22° 32 S 137° 55 W
Septembre 1965	BRISANTS	B19	21° 40 S 138° 59 W
Mars 1977	SILLAGE	S4	21° 50 S 139° 10 W
Décembre 1977	SILLAGE	S2	21° 45 S 138° 20 W

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

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 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 tro-



SALINITE DE SURFACE MOYENNE (1956 - 1974)

d'après **DONGUY, HENIN (1978)**

Figure 5

picale sud) et celui de la croisière ATOLL (eau subtropicale sud plus salée et plus chaude). Les eaux des missions SILLAGE, BOURRET et al. (1977) et celles de 1979-1980 appartiennent à cette dernière catégorie avec une salinité comprise entre 36,1 ‰ et 36,4 ‰.

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. 5). L'est des TUAMOTU apparaît bien comme la zone de formation de l'eau la plus salée ($S > 36,5 ‰$) 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 originaires de la bordure occidentale étant très appauvries en sels nutritifs, la productivité primaire diminuera sensiblement.

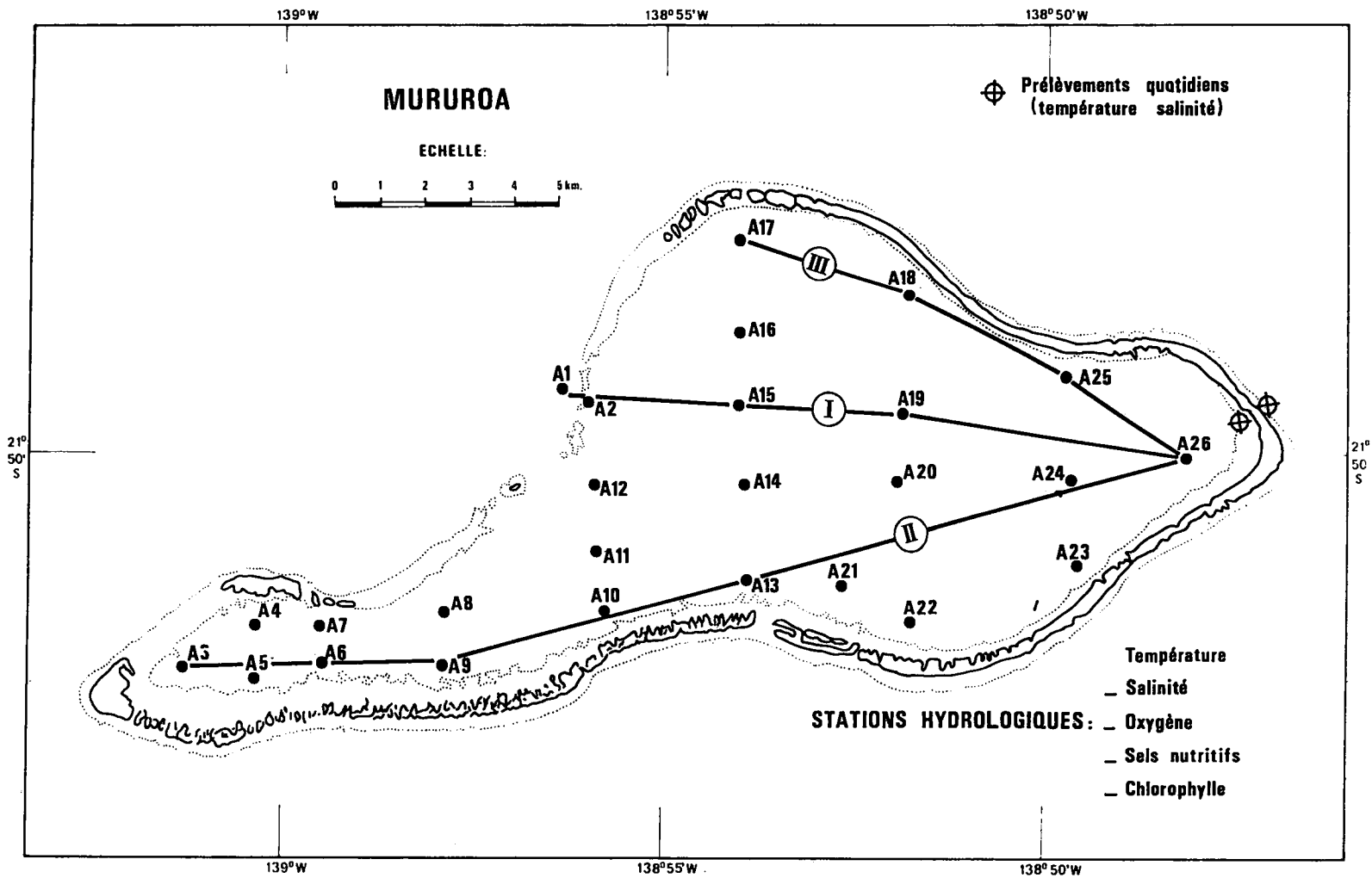


FIG. 6: RÉSEAU ET RADIALES I; II; III.

II/ - SPECIFICITE HYDROLOGIQUE DU LAGON ET VARIABILITE

Trois séquences complètes de données hydrologiques ont été relevées dans le lagon de MURUROA en mai 1980 (mission S.M.C.B. ^x, L.E.S.E. ^x, O.R.S.T.O.M. ^x), en septembre 1980 (mission S.M.C.B., M.N.H.N. ^x) et en janvier 1981 (mission S.M.C.B.). Les deux premières missions ont fait l'objet d'un rapport détaillé de ROUGERIE et al. (1980a) et RICARD (1981), comportant l'analyse hydrologique, physico-chimique et planctologique des eaux du lagon ainsi que des données sur la circulation interne et les échanges avec l'océan. Les points de prélèvements côtiers quotidiens de la température et de la salinité dans le lagon et l'océan et les positions des stations du réseau lagonaire sont indiqués dans la fig. 6.

Le tableau I présente, pour chacune des périodes de mesures intensives, la valeur moyenne obtenue à partir de la totalité des données recueillies dans le lagon (52 à 104 données selon les paramètres considérés).

TABEAU I

	Température (T°C)	Salinité (S.10 ³)	Densité (Vt)
20 - 21 Mai 1980	26,19° C	36,23	23,92
22 au 30 Septembre 1980 (moyenne série 1 et 2)	23,74° C	36,00	24,44
21 au 23 Janvier 1981	27,10° C	36,25	23,65

Cette évolution thermo-haline globale de l'eau du lagon ne correspond pas exactement aux fluctuations enregistrées à la station côtière

-
- x - S.M.C.B. : Service Mixte de Contrôle Biologique.
x - L.E.S.E. : Laboratoire d'Etude et de Surveillance de l'Environnement.
x - O.R.S.T.O.M. : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.
x - M.N.H.N. : Museum National d'Histoire Naturelle.

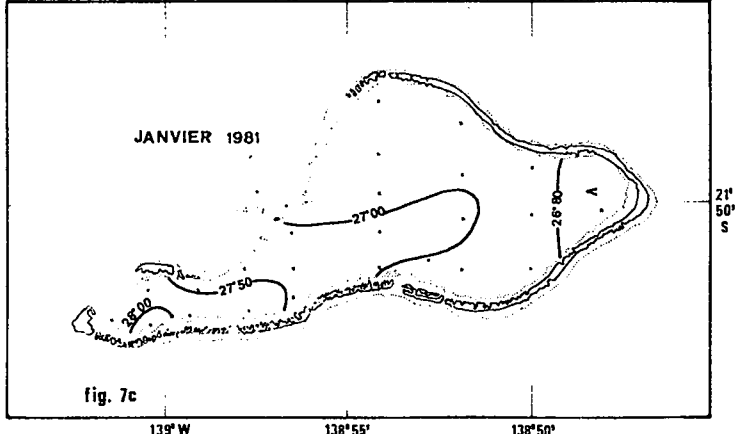
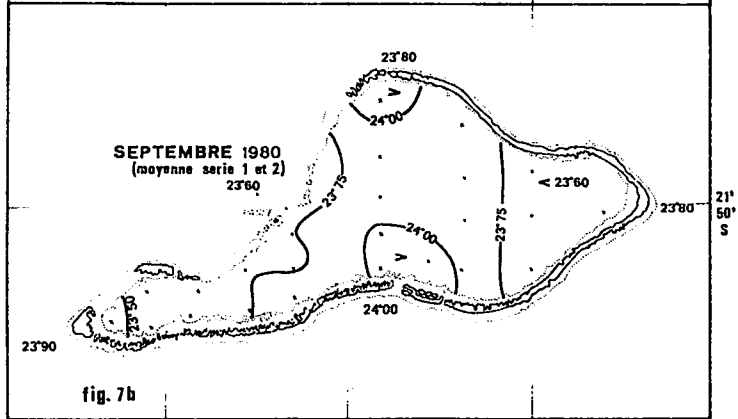
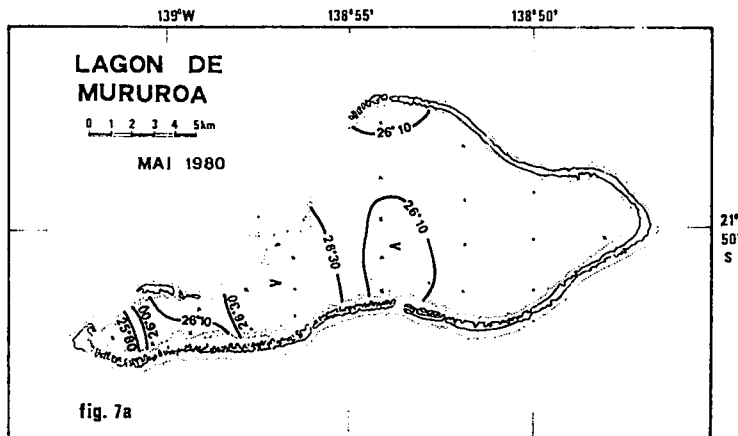


FIG. 7: TEMPERATURE DE LA COUCHE SUPERFICIELLE. (°C)

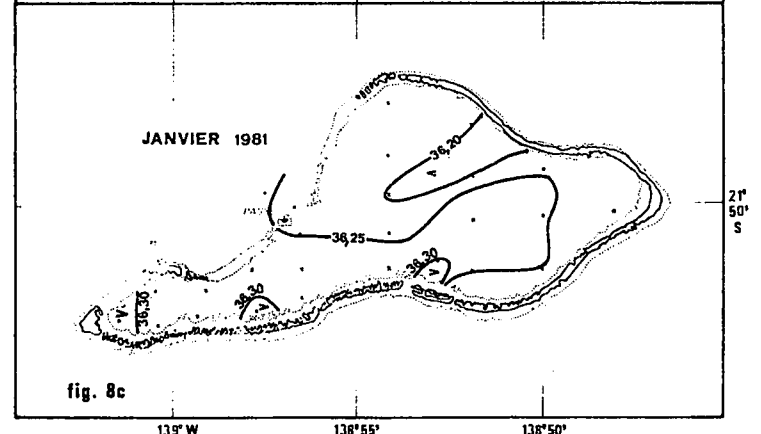
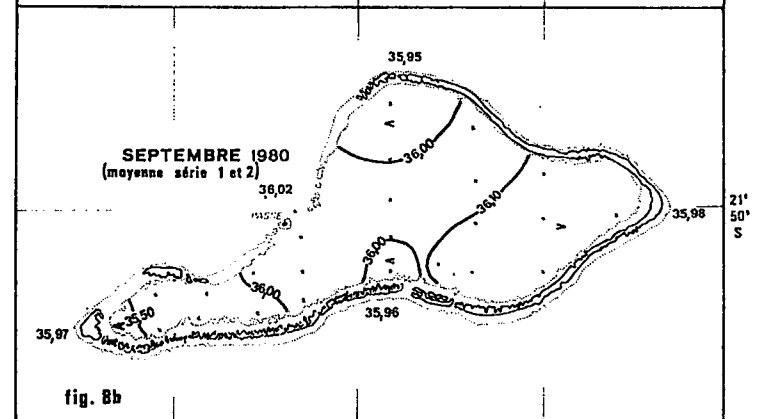
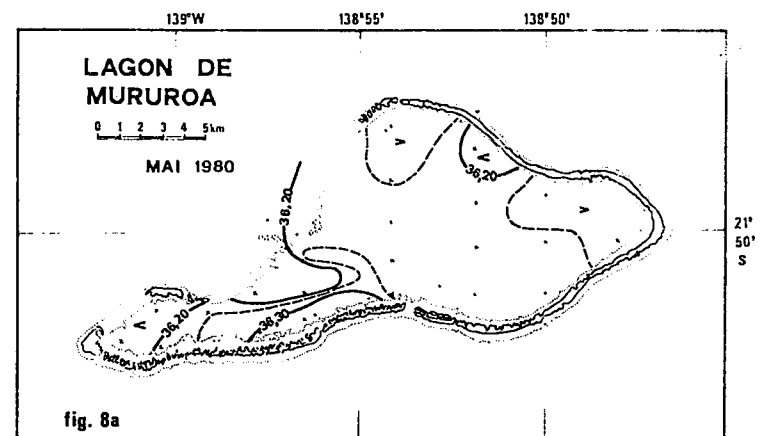


FIG. 8: SALINITE DE LA COUCHE SUPERFICIELLE. (‰)

quotidienne (côté lagon), ce qui indique que la couche superficielle lagonaire n'est pas forcément homogène et/ou qu'un certain biais peut apparaître dans les mesures effectuées par petits fonds.

1°) La couche superficielle

La structure thermo-haline superficielle se révèle effectivement assez dissemblable au cours des trois périodes de mesures intensives (figures 7 et 8).

En mai, le milieu lagonaire est d'une grande homogénéité par suite d'un brassage vertical consécutif au début du refroidissement hivernal. Une lentille d'eau plus froide et moins salée occupe, toutefois, l'extrémité de l'appendice ouest (fig. 7a et 8a) ; cette eau résulte du mélange de l'eau lagonaire superficielle et de l'eau de pluie qui, sous l'action des vents alizés à dominante est, dérive vers l'ouest du lagon : une partie est évacuée par la zone de passe, l'autre s'accumule dans l'extrémité ouest (ROUGERIE et al., 1980a).

En septembre, alors que le refroidissement global du lagon est maximal, l'appendice ouest est encore occupé par les eaux les plus froides et les moins salées du lagon (fig. 7b et 8b). Un refroidissement de même amplitude est également noté dans la partie orientale, mais associé en ce cas à une forte salinité des eaux : l'analyse de la distribution verticale confirmera la nature différente de ces deux types d'eau. Les deux "pôles" froids opposés sont séparés par la lentille centrale du lagon, plus chaude en moyenne de 0,4°C (série 1 et 2) et en équithermie avec la couche superficielle océanique. La comparaison de la distribution de la température et de la salinité océanique autour de l'atoll (9 stations) avec le tracé des isothermes et des isohalines du lagon confirme la réalité d'une entrée d'eau océanique par la partie centrale sud de l'atoll, entrée évidemment favorisée au niveau des hoas par les houles de sud - sud est qui, en hiver austral peuvent dépasser 3 mètres d'amplitude.

En janvier, le niveau maximum du réchauffement saisonnier est presque atteint, mais n'affecte pas, avec la même intensité, la totalité de la surface du lagon : un puissant gradient thermique horizontal existe selon le grand axe du lagon (fig. 7c), l'eau la plus chaude et la plus salée étant située dans l'appendice ouest, l'eau la plus froide à l'extrémité orientale. Cette situation hydrologique est donc différente des deux précédentes.

LAGON DE MURUROA

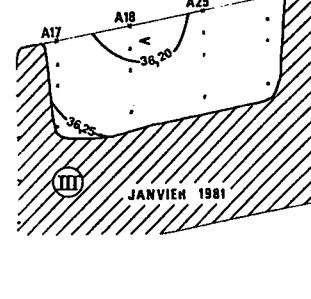
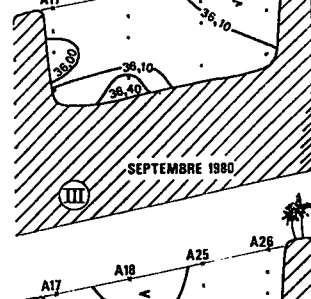
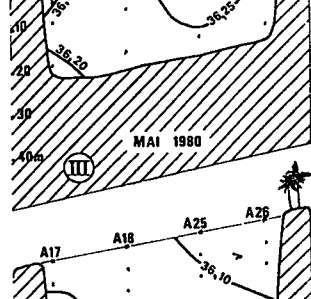
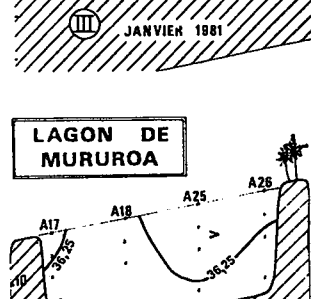
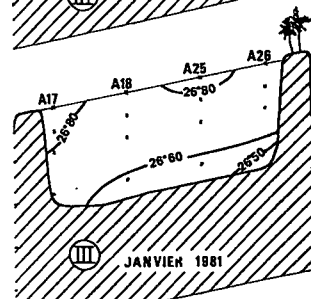
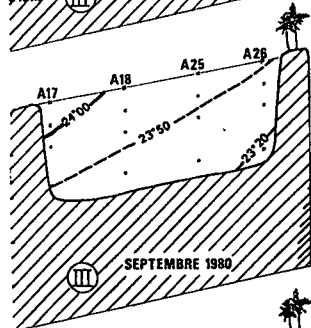
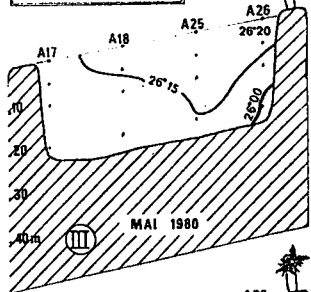


FIG. 9: TEMPERATURE (°C)

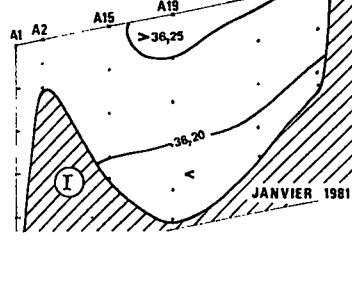
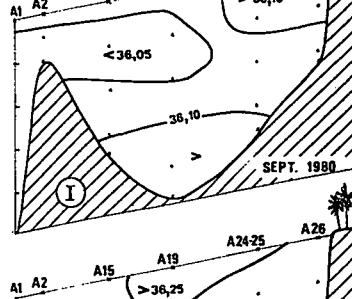
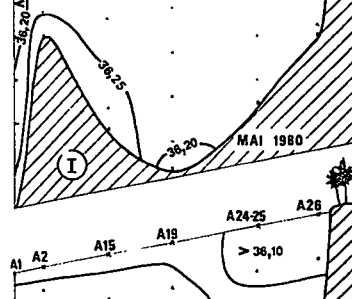
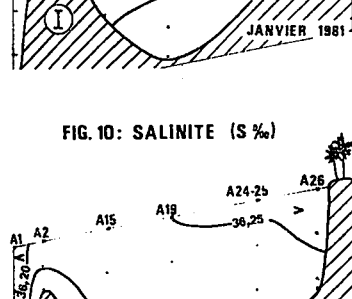
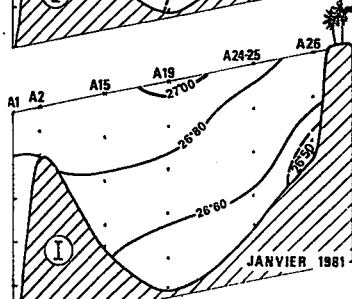
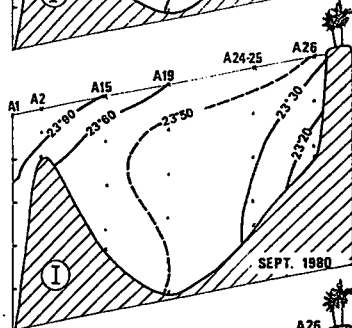
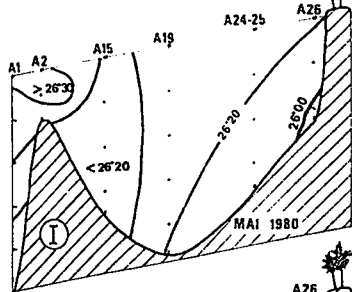
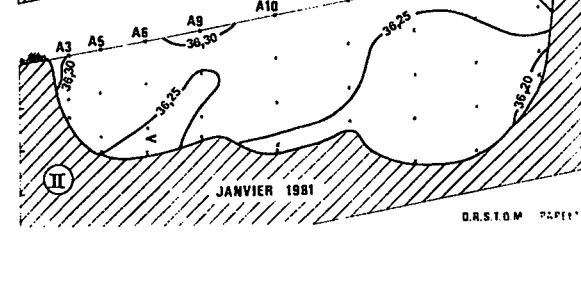
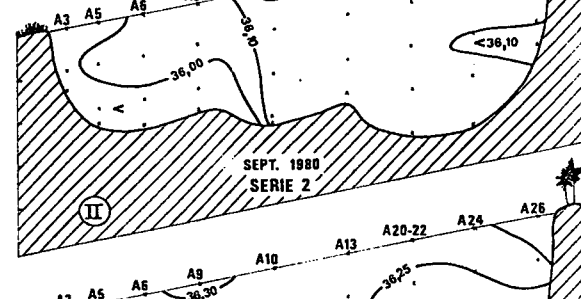
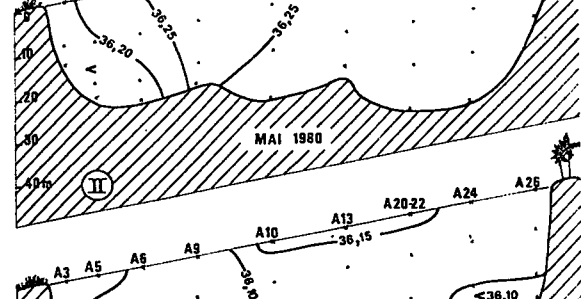
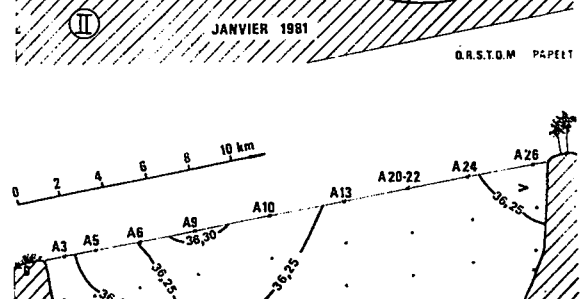
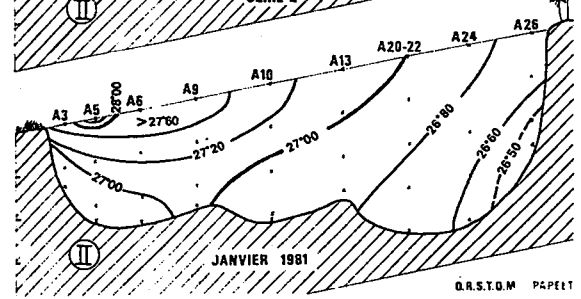
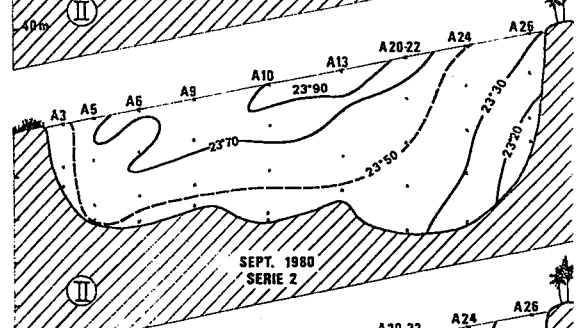
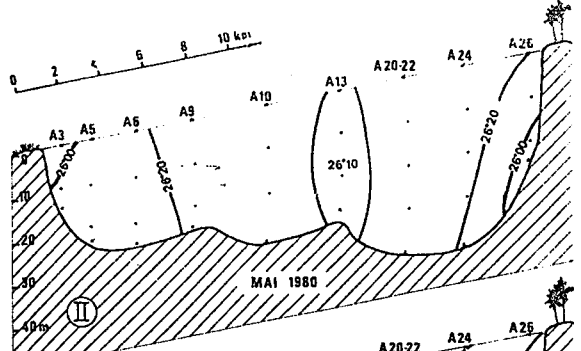


FIG. 10: SALINITE (‰)



O.R.S.T.O.M. PAPER 1

O.R.S.T.O.M. PAPER 1

et l'interprétation de cette forte variabilité thermo-haline de la couche superficielle nécessite l'analyse détaillée de la structure verticale.

2°) Structures verticales

Les figures 9 et 10 présentent les structures verticales thermiques et halines des trois séquences successives, selon les trois axes longitudinaux I, II et III définis dans la figure 6.

En mai, le milieu lagunaire possède une forte homogénéité en température et en salinité, les seules zones perturbées étant limitées à l'appendice ouest et à la proximité de la passe ; au niveau du seuil de celle-ci, entre 5 et 10 mètres de profondeur, il y a continuité hydrologique entre l'eau océanique et l'eau lagunaire, ainsi qu'en témoignent les tracés de l'isotherme 26, 20°C et de l'isohaline 36,25 ‰.

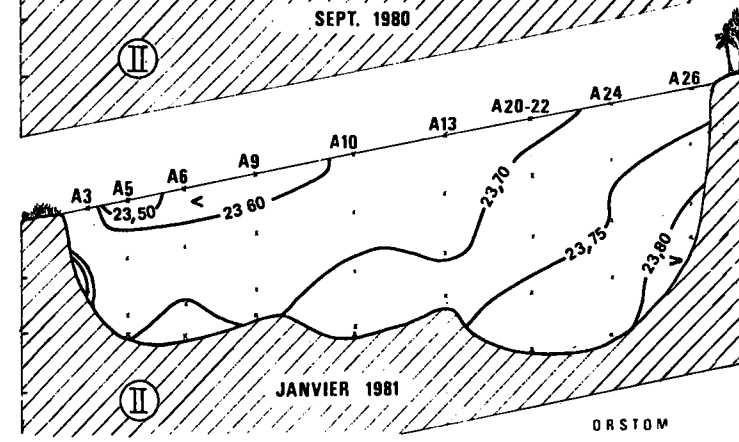
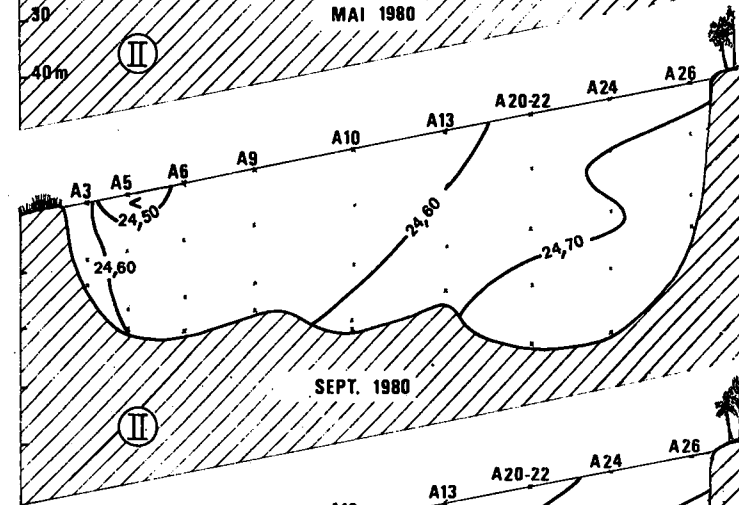
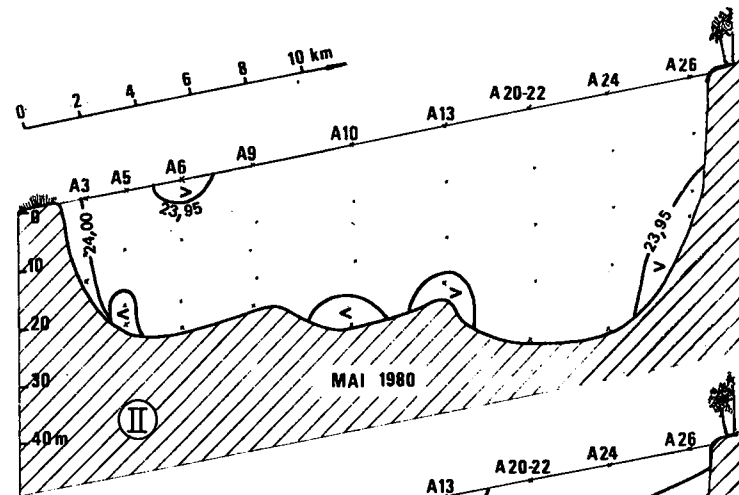
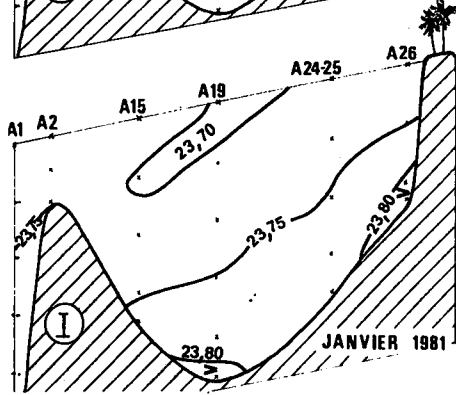
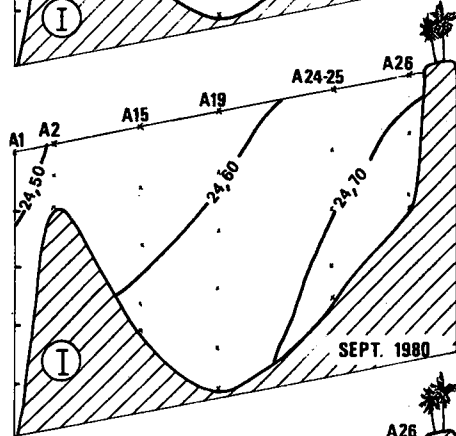
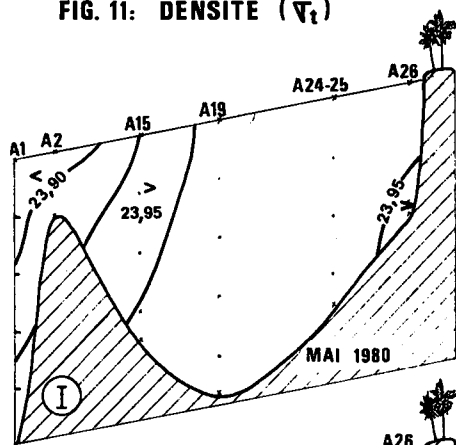
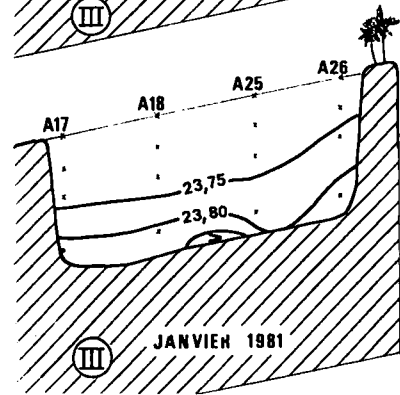
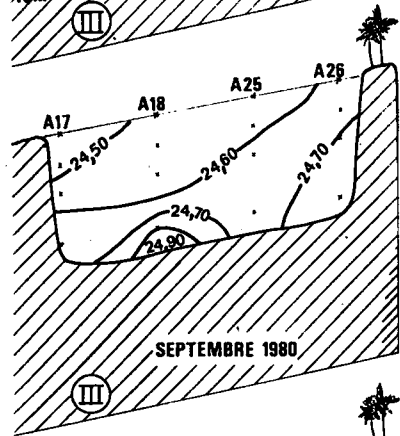
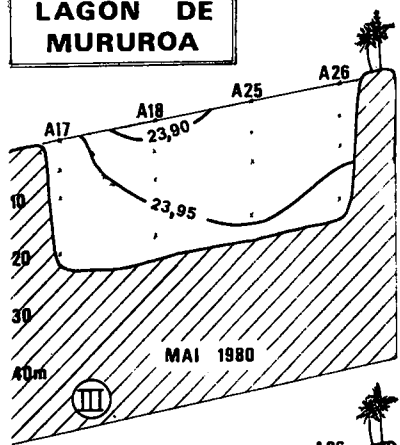
En septembre (série 2), les eaux orientales et occidentales sont fortement stratifiées, l'écart thermique surface fond pouvant atteindre 0,5°C (station A 10). Toutefois, dans la moitié est du lagon, et particulièrement selon les axes I et III, le tracé des isothermes est devenu oblique, ce basculement dans le plan vertical traduisant un refroidissement d'ensemble de l'ordre de 0,6°C entre la passe et le bord oriental.

Cette structure thermique reflète logiquement une remontée de l'eau de fond lagunaire le long de la pente interne du bord oriental, hypothèse renforcée par le fait que la salinité varie peu dans toute cette colonne d'eau. Près de la passe, la situation thermo-haline est complexe mais on retrouve, comme en mai, une entrée d'eau océanique au-dessus du seuil : la température de cette eau océanique est, dans ce cas, intermédiaire entre celle de la couche superficielle et celle de l'eau de fond lagunaire.

En janvier, l'obliquité des isothermes le long de l'axe est-ouest s'est maintenue alors que le réchauffement estival accentuait la stratification d'ensemble : les eaux les plus chaudes sont dans l'appendice ouest, les plus froides sur la pente interne du bord oriental. En revanche, les écarts de salinité d'une couche à l'autre ne dépassent pas 0,1 ‰, toute la masse lagunaire s'étant ressalée depuis septembre.

LAGON DE MURUROA

FIG. 11: DENSITE (σ_t)



ORSTOM

L'étude du champ de densité (fig. 11) confirme les grands traits de l'analyse thermo-haline précédente ; en mai, de légers gradients de densité sont localisés sur les pentes internes et à proximité de la passe. En septembre, l'eau la plus lourde ($\sigma_t \geq 24,70$) occupe le fond du lagon et la pente du bord oriental. Une petite lentille d'eau de plus forte densité est également présente à l'extrémité de la partie ouest. En janvier, la stratification s'est accrue et deux types d'eau bien distincts sont présents dans le lagon, une eau superficielle légère en zone ouest et une eau lagonaire plus dense, sur le fond et la pente interne de la partie orientale. Le mécanisme responsable de la remontée d'eau de fond lagonaire décelé en septembre s'est donc maintenu au cours du dernier trimestre avec, pour conséquence évidente, l'apparition du spectaculaire gradient thermique superficiel entre les extrémités ouest et est (fig. 7c).

Si l'on compare la distribution de la salinité en surface et au fond en prenant la moyenne des 3 séquences et leurs valeurs extrêmes (fig. 12), on constate que sur la radiale I, la salinité dans la partie ouest est significativement plus faible en surface qu'au fond ; c'est aussi la zone où les fluctuations halines sont les plus importantes ; dans les parties centrales sud et orientales, l'écart surface-fond est en revanche très faible et même inversé, l'eau de surface de la bordure orientale étant légèrement plus salée que l'eau subsuperficielle.

Le long de la radiale II, l'écart thermique surface-fond n'est important que dans la partie centrale du lagon (station A 15) et du même ordre de grandeur ($0,5^\circ\text{C}$) que dans la partie nord, décrite par la radiale III.

C'est donc dans la partie orientale que l'eau lagonaire est la plus homogène et possède la plus grande spécificité par rapport à l'eau océanique dont elle est issue ; le léger excédent de salinité en surface résulte manifestement de la conjonction d'une circulation interne bien définie, qui sera étudiée en 2ème partie (dynamique des eaux lagonaires), et du bilan positif/évaporation - précipitation enregistré en 1980 et 1981 sur l'atoll.

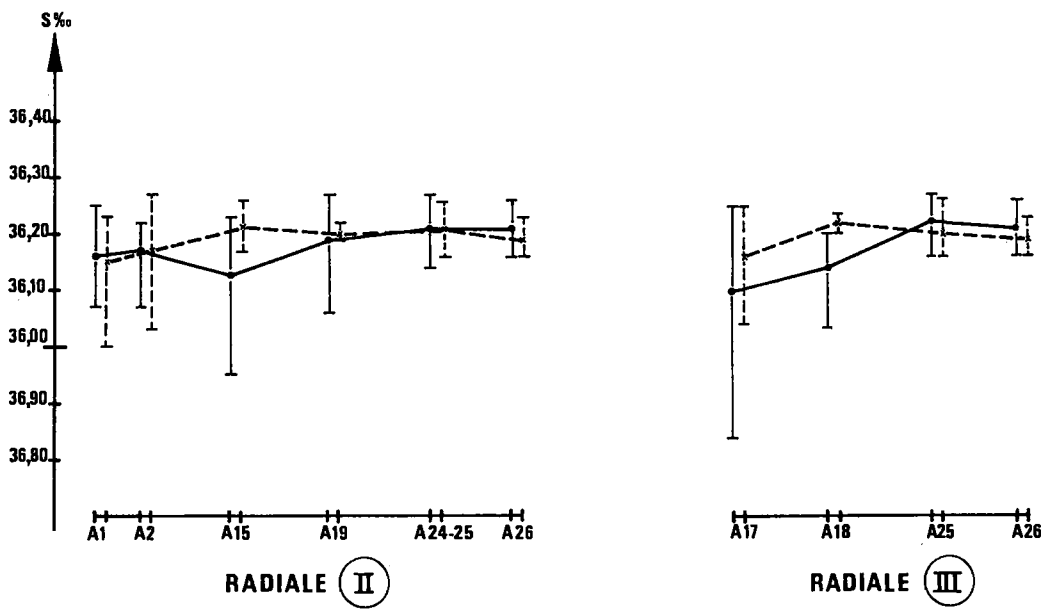
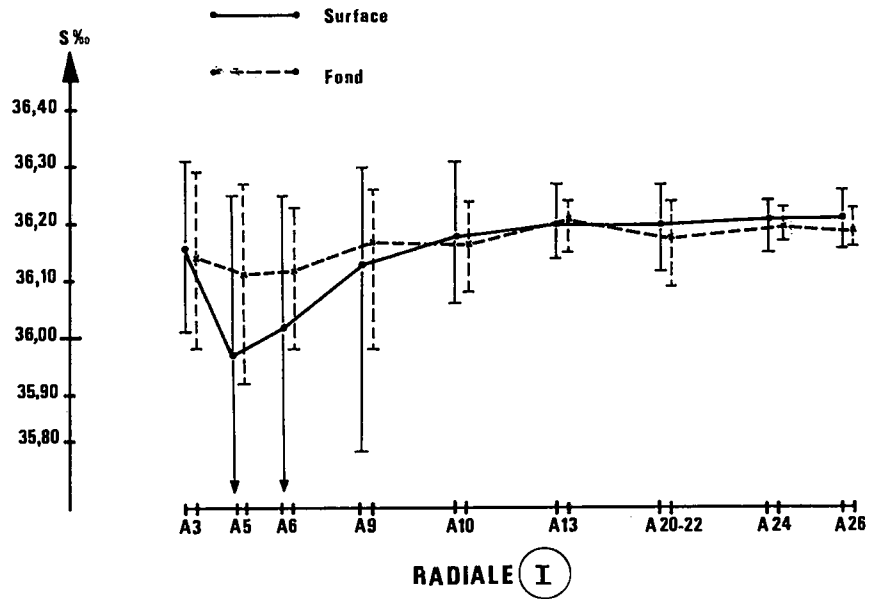


Fig. 12: SALINITE : Moyenne des 3 situations et valeurs extrêmes.

III/ - SELS NUTRITIFS ET PRODUCTION PRIMAIRE

1°) Echantillonnage et méthodologie

Les prélèvements d'eau de mer destinés aux analyses des sels nutritifs dissous, de l'oxygène dissous et de la chlorophylle a ont été effectués à chaque niveau à l'aide de bouteilles hydrologiques NISKIN de 1,7 l.

Une double prise en flacon plastique de 50 ml était alors portée à congélation dans les heures suivantes. Les analyses étaient ensuite effectuées au L.E.S.E. à TAHITI sur une chaîne automatique Technicon, avec un délai ne dépassant pas 1 mois et selon les méthodologies classiques suivant Strickland et adaptées au Technicon.

Malgré les précautions prises, quelques ruptures de la chaîne de froid ont pu se produire, entraînant la fusion partielle ou totale des échantillons congelés. Dans ces conditions opératoires peu favorables, on pouvait s'attendre à ce que les molécules les plus stables comme les silicates fournissent les résultats les plus cohérents, et les molécules les plus labiles (phosphates et nitrites) des résultats plus dispersés.

En fait, un contrôle de la triple série de données montre que la dispersion la plus importante porte sur les silicates, mesurés entre 1 mmole/m^3 et 35 mmole/m^3 de Si - Si O₃, des valeurs très différentes pouvant apparaître sur de faibles écarts de profondeur (5 mètres). Toutefois l'interprétation hydrologique proposée à partir de la première série de données (ROUGERIE et al., 1980a) fait intervenir la réserve en silice de la nappe phréatique et rend plausible une distribution hétérogène des silicates à l'intérieur du lagon.

Les nitrates dissous paraissent offrir le plus de garantie, à la fois par les écarts modérés des valeurs extrêmes (entre 0,10 et 0,40 mmole/m^3 de N - N O₃) et par la cohésion d'ensemble des valeurs superficielles océaniques autour de l'atoll : $0,18 \pm 0,05 \text{ mmole/m}^3$ en septembre.

Les nitrites sont présents dans le lagon à l'état de traces, la concentration moyenne n'atteignant pas 0,10 mmole/m^3 en N - N O₂. Les quelques

valeurs supérieures à $0,30 \text{ mmole/m}^3$ sont donc sujettes à caution et ces données ne seront pas interprétées.

Les molécules phosphatées ont été également dosées, mais les conditions de stockage ne permettent pas de considérer ces résultats comme totalement fiables. Toutefois, les valeurs de la couche océanique superficielle ($\text{P O}_4 - \text{P} = 0,46 \text{ mmole/m}^3$) mesurées en septembre sont normales pour cette zone tropicale.

De plus, tout en restant prudent sur la signification de ces données en valeur absolue, on peut les utiliser de façon relative dans la comparaison des 2 systèmes océan et lagon.

Le pH a été mesuré in situ avec un pH mètre Seibold avec une précision de $\pm 0,005$ unité pH. L'oxygène dissous a été mesuré in situ avec une sonde à oxygène Ysi, avec une précision de $\pm 0,05 \text{ ml/l}$.

Les concentrations en chlorophylle a ont été déterminées après filtration sur filtres Whattman GF/C, extraction acétonique puis fluorimétrie dans les heures suivant le prélèvement avec une précision estimée de $\pm 0,02 \text{ mg/m}^3$.

2°) Distribution des nutriants

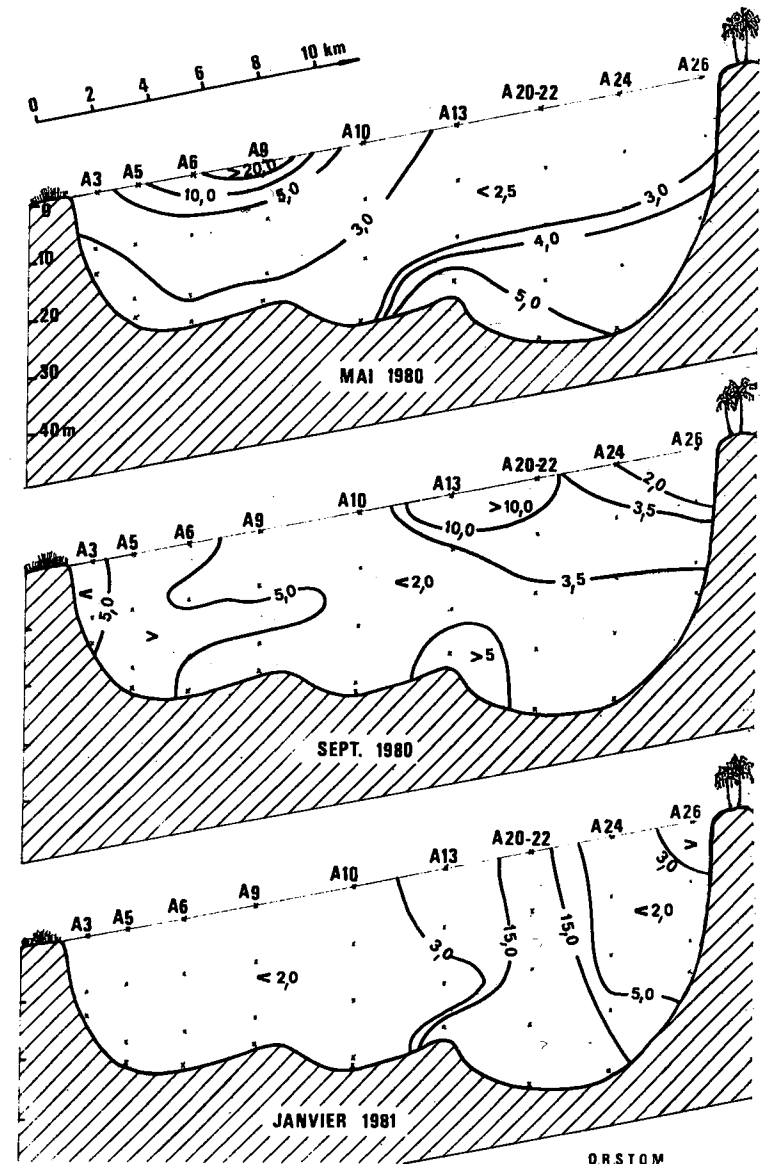
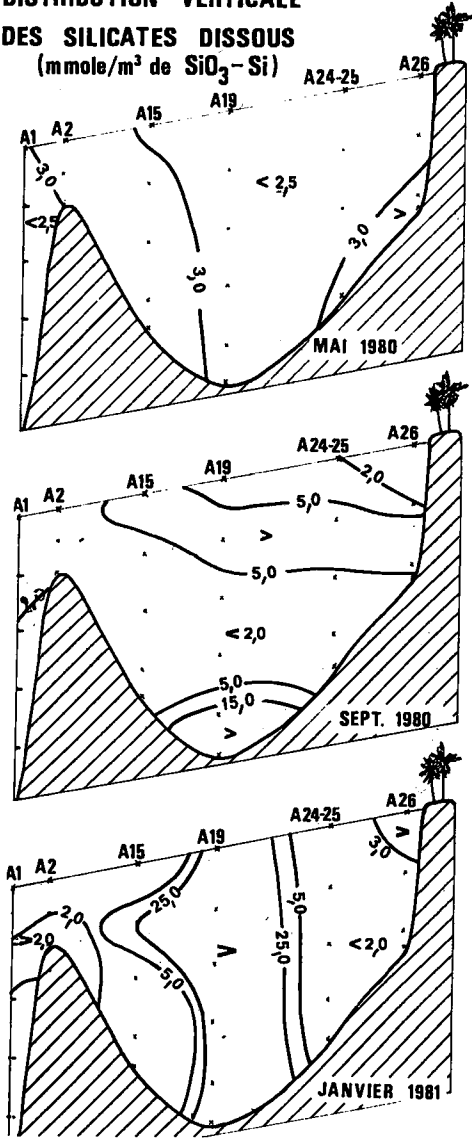
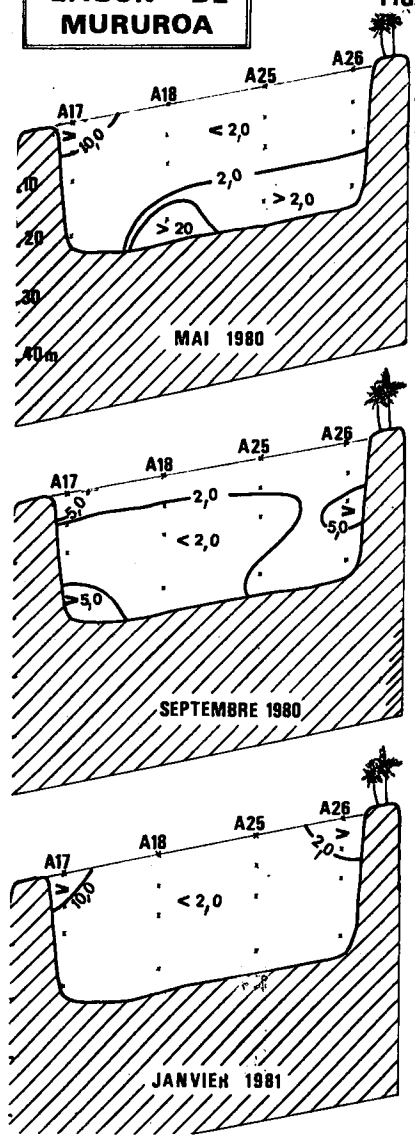
Le tableau II fournit les valeurs moyennes globales des sels nutritifs et de la chlorophylle a, pour l'ensemble du lagon et à chacune des trois séquences de mesures.

TABEAU II

	$\text{N O}_3 - \text{N}$ (mmole/m^3)	$\text{P O}_4 - \text{P}$ (mmole/m^3)	$\text{Si O}_3 - \text{Si}$ (mmole/m^3)	Chloro- phyllé <u>3a</u> (mg/m^3)
Mai 1980	0,12	-	5,1	0,46
Septembre 1980 (série I)	0,24	0,48	5,2	0,35
Janvier 1981	0,16	0,54	7,7	-
Moyenne des trois séries	0,17	0,51	6,0	0,41
Océan (moyenne) à la station A)	0,18	0,46	2,4	0,12
Océan (0-50m)	0,15	0,40	1,5	0,08

LAGON DE MURUROA

FIG.13: DISTRIBUTION VERTICALE DES SILICATES DISSOUS (mmole/m³ de SiO₃-Si)



ORSTOM

On constate que les concentrations en nitrates et phosphates sont très proches dans le lagon et dans la couche océanique 0 - 50 mètres. Cette équivalence ne se retrouve pas pour la silice dissoute puisque les teneurs dans le lagon sont près de trois fois supérieures aux teneurs océaniques.

Ainsi, se trouve confortée l'interprétation proposée auparavant (ROUGERIE et al., op. cit.) qui, s'appuyant, sur les fortes valeurs en silice dissoute trouvées dans la nappe phréatique de certains atolls, les considérait comme étant à l'origine de l'enrichissement des eaux lagunaires en ce bioélément. Il semble, toutefois, que ces injections d'eau de la nappe phréatique dans le lagon aient un caractère épisodique et aléatoire ; en effet, les profils de la distribution verticale de la silice aux trois séquences successives (fig. 13) ne mettent pas en évidence des zones préférentielles ou permanentes de délestage. La partie profonde orientale qui est la plus riche en silice en mai et janvier est, en effet, très appauvrie en septembre et les tracés des différents isoplèthes sont dissemblables d'un trimestre à l'autre.

Il semble, toutefois, que la partie centrale nord du lagon (radiale III) soit systématiquement moins riche en silice, ce qui est également le cas à proximité de la passe et à l'extrémité de l'appendice ouest.

Les concentrations en nitrates varient en proportions bien moindres et dans le même ordre de grandeur que dans la couche superficielle océanique et, s'il y a enrichissement par la nappe phréatique, elle est donc discrète et ne modifie pas de façon significative la disponibilité de cet élément dans le lagon. Une comparaison des distributions verticales des nitrates dissous des trois situations de mai, septembre et janvier ne révèle aucune structure remarquable ; aussi, avons-nous préféré considérer les valeurs moyennes sur toute la colonne d'eau, point par point (fig. 14).

Il apparaît que les teneurs en nitrates des deux systèmes océan - lagon varient de façon similaire ; en mai, les teneurs dans le lagon sont de $0,15 \pm 10 \text{ mmole/m}^3$ et s'écartent peu de la moyenne océanique.

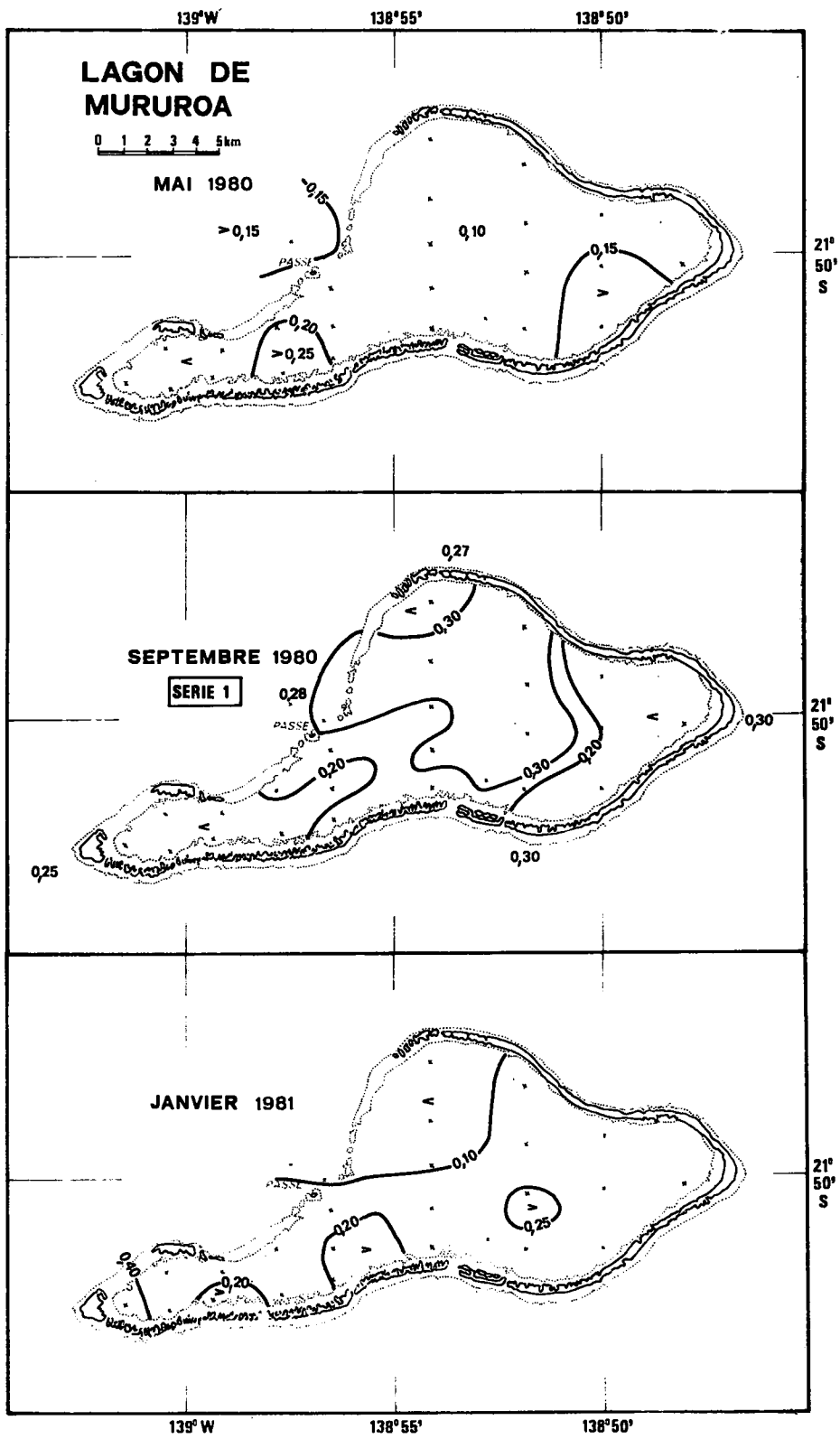


FIG. 14: NITRATE DISSOUS - VALEUR MOYENNE PONCTUELLE. (mmole/m³)

En septembre, celle-ci a presque doublé du fait de la présence, autour de MURUROA, d'une eau superficielle de type tempéré plus riche en sels nutritifs. La concentration moyenne du lagon en nitrates atteint alors le double de celle du trimestre précédent, les valeurs les plus élevées étant localisées dans la partie centrale et dans la zone d'influence de la passe. En janvier, l'eau océanique tropicale oligothrophe baigne à nouveau l'atoll et des concentrations inférieures à $0,10 \text{ mmole/m}^3$ de $\text{NO}_3 - \text{N}$ sont observées de part et d'autre de la zone de passe. Au cours des trois séries étudiées, les teneurs en nitrates sont restées les plus constantes dans la partie orientale du lagon, là où les échanges directs avec l'océan sont les plus limités.

Cette analyse de la distribution et de l'évolution saisonnière des teneurs des principaux sels nutritifs dissous permet donc de faire 2 remarques importantes :

- d'une part, les teneurs des bioéléments phosphatés et azotés sont, à l'intérieur du lagon, proches des valeurs de la couche océanique de surface et bénéficient de l'apport hivernal du au changement de la nature hydrologique de l'eau océanique,

- d'autre part, les molécules silicatées sont, en moyenne, près de 3 fois plus abondantes dans le lagon que dans l'océan, ce qui implique un apport exogène qui pourrait être partiellement dû à des décharges intermittentes de la nappe phréatique.

3°) Pigments chlorophylliens

La richesse en chlorophylle a du lagon s'avère toujours 3 à 4 fois supérieure à celle des eaux océaniques voisines dont la teneur moyenne dans la couche 0 - 50 mètres est de $0,12 \text{ mg/m}^3$. Cette valeur constitue, en fait, une limite maximale car les données relevées en septembre autour de l'atoll mettent nettement en évidence un "effet de lagon" : les teneurs en pigments des stations sous le vent de l'atoll (cadran ouest) s'établissent en moyenne à $0,16 \text{ mg/m}^3$ contre seulement $0,08 \text{ mg/m}^3$ aux six autres stations océaniques périphériques. Cet écart situe l'importance de la décharge d'eau lagonaire par alizé établi et indique que la station A_1 , située à 500 mètres à l'extérieur de la passe, ne peut pas être considérée comme purement océanique. Quoi qu'il en soit, la vasque lagonaire possède une teneur de pigments

chlorophylliens de l'ordre de $0,40 \text{ mg/m}^3$ soit 5 fois la charge océanique de surface, et constitue une véritable oasis par rapport à la couche productive océanique qui, dans ces eaux très claires, a une épaisseur de 150 à 200 mètres. Toutefois, l'intégration de la charge volumique en pigments sur toute la couche euphotique fournit une charge par unité de surface océanique de l'ordre de 20 mg/m^2 (LE BOURHIS et al., 1967), chiffre très voisin de celui obtenu par la même méthode dans le lagon (fig. 15c).

En calculant, comme pour les teneurs en nitrates, la valeur moyenne ponctuelle de la colonne d'eau, on obtient une bonne représentation de la répartition spatiale des pigments chlorophylliens (fig. 15). Bien que moins abondants de 24 % en septembre (Tableau II), ce qui traduit un fléchissement d'ensemble que l'on peut attribuer au refroidissement hivernal, la répartition des pigments n'est pas très différente d'un trimestre à l'autre ; dans la zone d'influence de la passe et dans la partie nord, les teneurs sont inférieures à la moyenne lagonaire alors que les bordures sud et sud-ouest sont nettement plus riches.

Comme pour les nitrates, cette répartition spatiale semble donc a priori directement tributaire de l'intensité des échanges lagon - océan et donc du temps de résidence de l'eau en un point donné. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que ces deux paramètres évoluent de façon opposée au cours de la "maturation" de l'eau lagonaire, la production de cellules chloroplastées se faisant au détriment des molécules nutritives dissoutes, dont les teneurs doivent corrélativement diminuer.

Or, nous savons qu'à MURUROA les concentrations globales en sels nutritifs azotés et phosphatés sont équivalentes dans le lagon et dans la couche superficielle océanique (Tableau II). Le plus haut niveau de productivité primaire du lagon n'est donc pas dû à une consommation plus intense des nutriments disponibles mais plutôt à l'utilisation de sels nutritifs exogènes, qui pourraient résulter d'un apport faible mais constant à travers le socle corallien à partir de l'eau océanique intermédiaire (voir ROUGERIE et al., op. cit. et en 2ème partie, "Gradients verticaux dans le socle et dans l'océan").

Un processus d'enrichissement par advection verticale de l'eau océanique dans le "sillage" de l'atoll est également possible, mais aurait probablement peu d'effet dans le lagon lui-même.

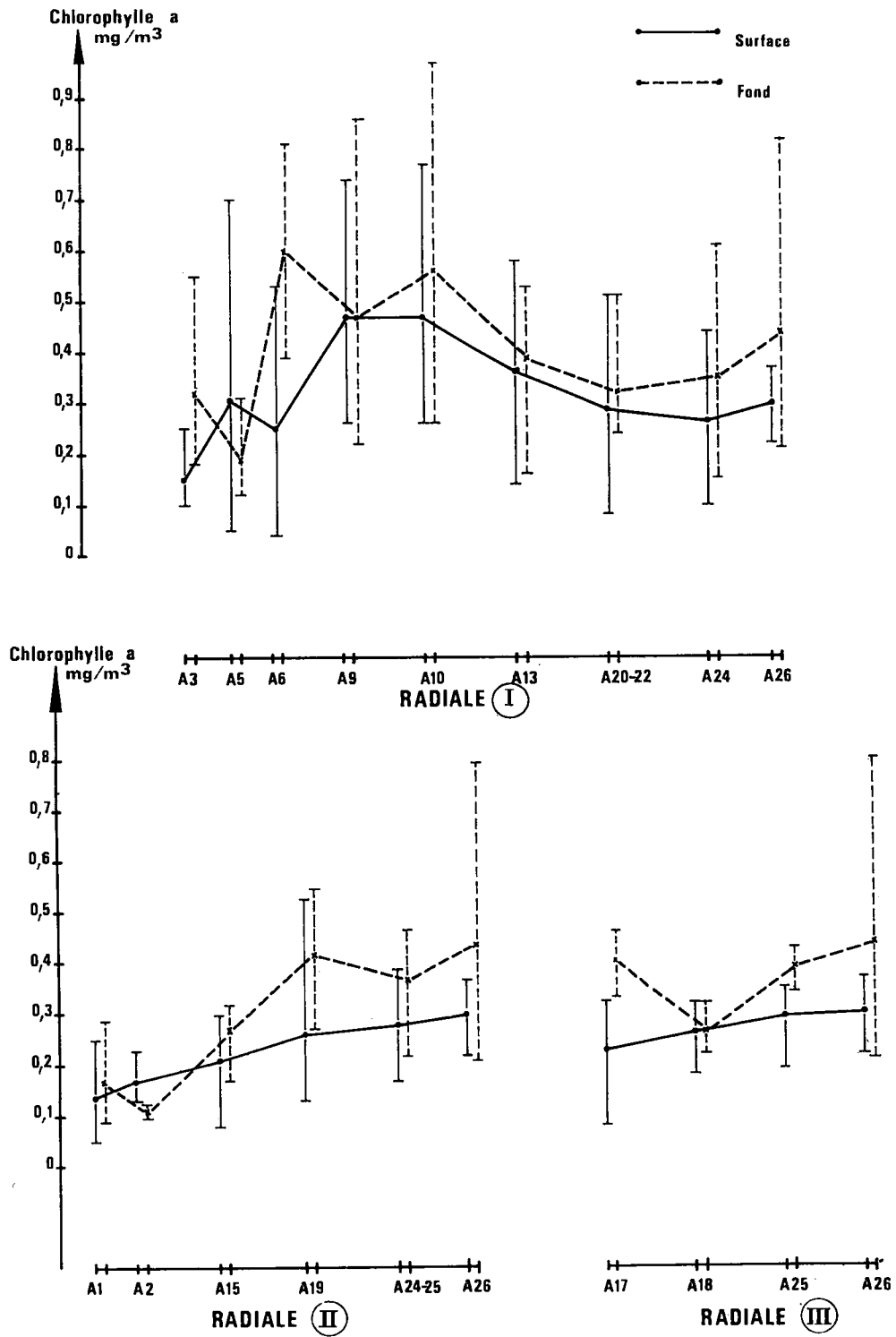


Fig. 16 : CHLOROPHYLLE a : Moyenne des 2 situations et valeurs extrêmes.

En fait, aucune divergence ou upwelling côtier n'a été mis en évidence de façon permanente autour de MURUROA et ce, malgré une investigation appropriée (BOURRET et al., 1979). Si l'on analyse la moyenne des situations de mai et septembre et les valeurs extrêmes selon les radiales I II et III, (fig. 16) on note que l'eau de fond lagonaire est plus riche en pigments que l'eau de surface, sauf dans l'appendice ouest (station A5) et dans la passe ; cette anomalie de la distribution verticale confirme l'existence d'une entrée globale d'eau océanique pauvre en chlorophylle par la partie inférieure de la passe, et d'une sortie équivalente en surface d'eau lagonaire plus riche en pigments.

Cette relative abondance phytoplanctonique dans le lagon entraîne-t-elle un déséquilibre au plan des cycles physiologiques ? Il semble que non puisque même dans les zones de concentrations maximales ($0,8 \text{ mg/m}^3$ de chl.a) la proportion des pigments actifs est très supérieure à celle des pigments dégradés, comme en témoignent les rapports d'acidification relativement élevés et équivalents pour le lagon et pour l'océan : ce rapport est en septembre de 1,59 pour l'ensemble du lagon et de 1,58 pour la couche océanique 0 - 150 mètres (pour des rapports d'acidification maximaux théoriques de 1,85).

Aucune eutrophisation ou bio-stratification du lagon n'est donc à craindre, même dans la zone ouest peu profonde et resserrée, ce qui est par ailleurs en accord avec les résultats de mesures d'oxygène dissous, dont la teneur s'est toujours révélée égale ou supérieure à la saturation.

IV/ - COMPOSITION ET DISTRIBUTION DU PLANCTON

1) Remarques préliminaires

Dans le tableau récapitulatif (III) sont rassemblés en annexe les résultats des comptages des cellules végétales retenues lors de la filtration sur filtre Millipore HAWP en cellulose : ces filtres, rendus translucides par une goutte d'huile à immersion, ont été observés entre lame et lamelle sous un microscope photonique et les organismes présents ont été dénombrés et identifiés. Les résultats des comptages ont été rapportés au litre.

Au sein de chaque récolte, ont été précisés les groupes et les espèces dominants ainsi que l'origine de ces espèces : O pour océanique planctonique, N pour néritique planctonique, B pour benthique. En outre, le volume particulière recueilli lors de la filtration a été estimé par mesure sous microscope, et le recouvrement des filtres ainsi défini : peu chargé (PC) pour un filtre recouvert de 0 à 5 % ; moyennement chargé (MC) pour un recouvrement de 5 à 10 % ; assez chargé (AC) pour un recouvrement de 10 à 20 % et très chargé (TC) au-delà de 20 %.

2) Origine et distribution du phytoplancton du lagon

L'analyse des résultats des comptages et des identifications cellulaires (Tableau III) met en évidence deux faits principaux :

- juxtaposition, et parfois superposition, dans le lagon de deux ensembles distincts par la composition de leurs populations phytoplanctoniques : le premier ensemble, le plus important, issu des parties centrales et orientales (station A1, A2 et A10 à A26), le 2ème ensemble plus réduit et limité à l'extrémité ouest du lagon (station A3 à A9) ;

- existence, au sein du premier ensemble de deux sous-ensembles phytoplanctoniques : le premier présent dans la partie centrale du lagon (stations A12, A14 - A16, A19, A20, A24) et le deuxième à la périphérie (A1, A2, A10 - A13, A17, A18, A21 - 23, A25 - A26).

a) Phytoplancton de la bordure sud du lagon :

La flore planctonique ne possède pas, à proprement parler, de caractéristiques particulières si ce n'est l'importance, quand ce n'est pas la dominance, des formes planctoniques océaniques et/ou des formes benthiques. Cette spécificité du phytoplancton s'explique par la morphologie particulière du lagon à cet endroit : la ceinture corallienne est basse et facilement submergée par les eaux océaniques qui la franchissent au niveau des hoas. Cet hydrodynamisme particulier explique, d'une part, l'importance des formes océaniques dans le lagon et, d'autre part, en raison de la faible profondeur des eaux, le décapage et la remise en suspension des formes benthiques.

b) Phytoplancton de la partie centrale et orientale du lagon :

Dans cette partie que l'on pourrait être tenté d'appeler le lagon proprement dit, les flores planctoniques et tychoplanctoniques présentent des caractéristiques qui permettent de distinguer les deux sous-ensembles précités :

- La partie centrale où les diatomées et les dinoflagellés dominent l'ensemble des récoltes et sont normalement caractéristiques d'un plancton lagonaire. Ces formes néritiques composent la plus grande partie des récoltes de surface ; en profondeur, ces formes néritiques sont associées à des formes benthiques et tychoplanctoniques qui ne sont, cependant, jamais dominantes, même près du fond .

- La partie périphérique est peuplée principalement de diatomées et de dinoflagellés, mais d'origine différente des cellules observées dans la partie centrale : la plupart de ces cellules proviennent du plancton océanique et ont pénétré dans le lagon par les passes, les hoas ou par dessus la barrière récifale ; néanmoins, les populations de ces eaux périphériques comportent un grand nombre de formes néritiques à tychoplanctoniques originaires des eaux côtières.

3) Discussion

Les analyses qualitatives et quantitatives du phytoplancton fournissent de précieuses informations sur la nature, la composition et l'écologie des divers peuplements du lagon. Le phytoplancton joue parfaitement son rôle de biotraceur, marqueur des masses d'eau lagonaires et océaniques : il est ainsi possible de définir dans le lagon un ensemble occidental caractérisé par des cellules soit océaniques soit benthiques tychoplanctoniques d'une part et, d'autre part, un grand ensemble central et oriental comprenant deux sous-ensembles, 1 central et 1 périphérique. Dans leur grande majorité, les espèces dominantes sont tropicales ou tropicales tempérées, les espèces ubiquistes sont plus rares ; les espèces d'origine antarctique ou subantarctique n'atteignent jamais des concentrations élevées mais leur présence en hiver témoigne de l'influence des eaux de type tempéré lorsque la convergence subtropicale se trouve à sa limite la plus septentrionale (I, 4).

Par ailleurs, la confrontation des populations floristiques avec les concentrations en sels nutritifs et les teneurs en chlorophylle a et en phéopigments permet de définir des groupes d'espèces de dynamique très différente :

- Le phytoplancton de la zone périphérique du lagon est essentiellement constitué d'espèces de petite taille, souvent en voie de multiplication où les diatomées dominent : ceci correspond à un nanophytoplancton dynamique se renouvelant rapidement (turn-over rapide). Ces observations sont d'ailleurs confirmées par les dosages de pigments qui font état de rapports d'acidification élevés (III, 3) .

- Le phytoplancton de la zone centrale est constitué de cellules dont la taille moyenne est plus grande et le pourcentage de dinoflagellés plus important que dans la zone périphérique : ceci correspond à un microphytoplancton moins actif, dont les cellules sont plus chargées en pigments détritiques et dont le taux de renouvellement est plus faible.

CONCLUSION

Les données recueillies dans ce lagon d'atoll au cours de l'année 1980-1981 permettent de suivre l'évolution thermohaline de l'eau en transit lagonaire, et d'expliciter la formation, en début d'été austral, d'une eau lagonaire de fond.

Au plan physico-chimique, l'essentiel de la discussion porte sur la mise en évidence d'une équiconcentration en sels nutritifs azotés et phosphatés entre l'eau lagonaire et l'eau superficielle océanique, alors que la production primaire, exprimée par les teneurs en chlorophylle a, est en moyenne 5 fois plus forte dans le lagon. Cette situation paradoxale reflète, cependant, une fertilité apparente du même ordre de grandeur, puisque l'intégration des teneurs en chlorophylle a par unité de surface, dans toute la couche éclairée euphotique, fournit un résultat identique, de l'ordre de 20 mg/m^2 , pour chacun des 2 écosystèmes. Le problème, non résolu par les modèles de fonctionnement horizontaux des lagons d'atoll (MICHEL et al., 1971) où le départ par la passe d'eau lagonaire riche en plancton est compensé par une pénétration équivalente d'eau océanique, pauvre en plancton et en nutriments, est donc de pouvoir proposer une explication satisfaisante au maintien de la production autotrophe de la vasque lagonaire.

Un élément de réponse est fourni par la distribution de la silice minérale dissoute dont les concentrations infra-lagonaires peuvent être notablement plus élevées que dans les eaux océaniques superficielles baignant l'atoll.

En montrant que l'origine de cette silice est liée au délestage épisodique, à la périphérie interne du lagon, de la nappe phréatique, il reste à expliquer le mécanisme permettant à ces molécules nutritives d'atteindre la nappe, à partir d'une source qui sera identifiée dans la 2ème partie de cette étude.

Au plan floristique, cette grande disponibilité en silice dissoute est à rapprocher de l'abondance des populations de diatomées et de silicoflagellées dans le lagon. Il existe, de plus, une corrélation entre les concentrations ponctuelles de cellules néritiques et le site lagonaire : les eaux les plus chargées se trouvent dans les zones centrales et orientales, là où le temps de résidence des eaux est le plus long et les entrées directes d'eau océanique les plus réduites.

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.
- 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.
- CAUCHARD (G.) et INCHAUSPE (J.), 1976 - Le climat de la Polynésie. La Météorologie , Numéro spécial "Météorologie Tropicale", VIème série, N° 6.
- 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.
- CHEVRE (H.), 1974 - Aperçu sur la météorologie des Iles Gambier - Cahiers du Pacifique 18 , Tome I.
- DESROSIERES (R.), WAUTHY (B.), 1972 - Distribution du phytoplancton et structure hydrologique dans la région des TUAMOTU (Océan Pacifique Central). Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr., 10 , n° 3, 275-287.
- DIETRICH (G.), KALLE (K.), 1957 - Allgemeine meereskunde - Eine ein führung in die zeoanographie. Berlin, 429 pp + cartes.
- DONGUY (J.R.), HENIN (C.), JARRIGE (F.), ROUGERIE (F.), 1974 - Esquisse dynamique et hydrologique du pacifique central sud. Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr., 12 , n° 2, 129-139.
- DONGUY (J.R.), HENIN (C.), 1978 - La salinité de surface dans l'océan pacifique tropical sud-ouest - Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr., 16, n° 2, 107-136.
- GORSHKOV (S.G.), 1974 - Oceanic Atlas, Pacific Ocean, Navy Ministry, 302 maps and 25 p. (in Russian).
- HISARD (P.), JARRIGE (F.), 1967 - Résultats des observations physico-chimiques de la croisière "BRISANTS" du N.O. CORIOLIS. Rap. 7, ORSTOM-NOUMEA, 38 p.
- INCHAUSPE (J.), 1971 - Variation diurne des précipitations sur les atolls de Polynésie Française. N.I.T. - Direction Météorologique Nationale.
- 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.

- 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. Océanogr., 9, n° 3, 375-402.
- MURUROA, 1969 - DIR. CEN/SMCB - Monographie de l'atoll. Extraits des Cahiers du Pacifique N° 12 et 13, 333 pages.
- REVEL (F.), 1966 - Marées et courants dans les atolls polynésiens. Rapport de mission hydrographique.
- RICARD (M.), 1980 - Etude hydrologique courantologique et planctonologique des eaux du lagon de MURUROA. Rapport S.M.C.B. N° 01/81, 87 p.
- ROUGERIE (F.), GROS (R.), BERNADAC (M.), 1980a - Le lagon de MURUROA : Esquisse des caractéristiques hydrologiques et échanges avec l'océan. Notes et Documents d'Océanographie N° 80/16, 28 p. Papeete - Tahiti.
- ROUGERIE (F.), MAREC (L.), GOURIOU (Y.), 1980b - Caractéristiques hydroclimatiques de la zone marine de Polynésie Française pendant l'année 1979. Notes et Documents d'Océanographie N° 80/23, 63 p.
- ROUGERIE (F.), MAREC (L.), GOURIOU (Y.), 1981 - Caractéristiques hydroclimatiques de la zone marine polynésienne pendant l'année 1980. Notes et Documents d'Océanographie N° 81/13, 72 p. Papeete-Tahiti.
- WYRTKI (K.), 1979 - EL NIÑO. La recherche n° 106.1212-1220.

A N N E X E

TABLEAU III

Distribution et origine des genres et des espèces dominants du phytoplancton aux diverses stations du lagon de Mururoa ; importance de la charge particulaire recueillie sur les filtres.

O : formes océaniques

Te : forme tempérée

N : formes néritiques

Tr : forme tropicale

B : formes benthiques

U : forme ubiquiste

PC : filtre peu chargé, recouvrement du filtre par les particules : 0 à 5 %.

MC : filtre moyennement chargé, recouvrement 5 à 10 %.

AC : filtre assez chargé, recouvrement 10 à 20 %.

TC : filtre très chargé, recouvrement supérieur à 20 %.

TABLEAU III

Station	Niveau	Cell./Litre	Charge Particule	Espèces Dominantes		Ecologie	Distribution
A1	0 m	11.600	AC	Rhizosolenia calcar-avis	D	0	Tr
				Thalassiosira excentrica	D	0 - N	U
				Amphisolenia bidentata	d	0	Tr
				Ornithocercus splendidus	d	0	Tr
	50 m	6.960	AC	Amphiprora alata	D	0 - N	Tr - Te
				Chaetoceros peruvianum	D	0	Tr - Te
				Trachyneis aspera	D	N - B	U
				Dinophysis candata	d	0	Tr - Te
A2	0 m	10.300	PC	Rhizosolenia calcar-avis	D	0	Tr
				Chaetoceros peruvianum	D	0	Tr - Te
				Climacodinium fravenfeldianum	D	0	Tr - Te
				Ceratium tripos	d	0	Tr - Te
	10 m	4.720	AC	Bacteriastrum delicatulum	D	0	Tr
				Mastogloia crucicula	D	B	Te - Tr
				Gonyaulax polygramma	d	B	Te - Tr
				Thalassiosira decipiens	D	N	Te - Tr
A3	0 m	12.100	MC	Coscinodiscus centralis	D	0	Te
				Bacteriastrum delicatulum	D	0	Tr
				Rhizosolenia calcar-avis	D	0	Tr
				Ceratium contortum	d	0	Tr
	6 m	24.900	AC	Thalassiosira decipiens	D	N	Tr - Te
				Amphora cymbifera	D	B	Tr - Te
				Navicula directa	D	B	Tr - Te
				Nityschia seriata	D	0 - N	U
A4	0 m	24.320	MC	Coscinodiscus centralis	D	0	Te
				Thalassiosira excentrica	D	0 - N	U
				Chaetoceros peruvianum	D	0	Tr - Te
				Rhizosolenia calcar-avis	D	0	Tr
		25.460	AC	Thalassiosira decipiens	D	N	Tr - Te
				Melosira sulcata	D	N - B	Tr - Te
				Mastogloia binotata	D	B	Tr - Te
				Surirella fastuosa	D	N - B	U
A5	0 m	36.800	PC	Coscinodiscus centralis	D	0	Te
				Asterolampra marylondica	D	0	Tr
				Rhizosolenia calcar-avis	D	0	Tr
				Exuviella marina	d	0 - N	Tr - Te
	20 m	19.400	PC	Diploncis bombus	D	N - B	Tr - Te
				Thalassiosira decipiens	D	N	Tr - Te
				Nitzschia tryblionella	D	B	Tr - Te
				Surirella fastuosa	D	N - B	U

Station	Niveau	Cell./Litre	Charge Particule	Espèces Dominantes	Ecologie	Distribution
A6	0 m	19.360	AC	<i>Thalassionema nitzschioides</i> D <i>Ceratium contortum</i> d <i>Tropidoneis lepidoptera</i> D <i>Hemianlus hanckii</i> D	N O O - N O - N	Tr - Te Tr Tr - Te Tr - Te
	25 m	28.280	MC	<i>Thalassiosira decipiens</i> D <i>Nitzschia seriata</i> D <i>Surirella fastuosa</i> D <i>Dinophysis candata</i> d	N N N - B O - N	Tr - Te U U Tr - Te
A7	0 m	26.100	PC	<i>Skeletonema costatum</i> D <i>Thalassiosira excentrica</i> D <i>Tropidoneis lepidoptera</i> D <i>Rhizosolenia calcar-avis</i> D	N O - N O - N O	Tr - Te U Tr - Te Tr
	20 m	30.060	MC	<i>Coscinodiscus nitidus</i> D <i>Chaetoceros peruvianum</i> D <i>Exuviella marina</i> d <i>Gonyaulax polygramma</i> d	N O N N - B	Tr - Te Tr - Te Tr - Te Tr - Te
A8	0 m	27.230	MC	<i>Ornithocercus splendidus</i> d <i>Chaetoceros peruvianum</i> D <i>Asteromphalus heptactis</i> D <i>Thalassiosira excentrica</i> D	O O O - N O - N	Tr Tr - Te Tr - Te U
	25 m	18.560	MC	<i>Biddulphia pulchella</i> D <i>Skeletonema costatum</i> D <i>Amphora coffeaeformis</i> D <i>Gonyaulax polygramma</i> d	N - B N B N - B	Tr - Te Tr - Te Tr - Te Tr - Te
A9	0 m	18.560	AC	<i>Chaetoceros peruvianum</i> D <i>Thalassionema nitzschioides</i> D <i>Thalassiosira excentrica</i> D <i>Ceratium massiliense</i> d	O N O - N O	Tr - Te Tr - Te U Tr
	15 m	14.310	AC	<i>Biddulphia pulchella</i> D <i>Mastogloia splendida</i> D <i>Climacodinium fravenfeldianum</i> D <i>Gonyaulax polygramma</i> d	N - B B O N - B	Tr - Te Tr - Te Tr Tr - Te
A10	0 m	17.260	PC	<i>Rhizosolenia calcar-avis</i> D <i>Ceratium contortum</i> d <i>Climacodinium fravenfeldianum</i> D <i>Asterionella notata</i> D	O O O N	Tr - Te Tr Tr Te
	25 m	22.420	PC	<i>Actinocyclus ehrenbergii</i> D <i>Nitzschia seriata</i> D <i>Exuviella marina</i> D <i>Melosira sulcata</i> D	N O - N N N - B	Tr - Te Tr - Te Tr - Te Tr - Te
A11	0 m	17.630	PC	<i>Actinocyclus ehrenbergii</i> D <i>Ceratium massiliense</i> d <i>Amphisolenia bidentata</i> d <i>Thalassiosira excentrica</i> D	N O O O - N	Tr - Te Tr - Te Tr U
	25 m		MC	<i>Biddulphia pulchella</i> D <i>Nitzschia tryblionella</i> D <i>Gonyaulax polygramma</i> d <i>Trachyneis aspera</i> D	N - B N - B N - B B	Tr - Te Tr - Te Tr - Te Tr - Te

Station	Niveau	Cell./Litre	Charge Particule	Espèces Dominantes	Ecologie	Distribution	
A12	0 m	18.310	PC	Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
				Ceratium contortum	d	O	Tr
				Exuviella marina	d	N	Tr - Te
				Nitzschia ventricosa	D	N	Tr - Te
	30 m	17.360	MC	Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
				Asterionella notata	D	N	Te
			Navicula directa	D	B	Te	
			Peridinium breve	d	N - B	Tr - Te	
A13	0 m	19.860	PC	Chaetoceros peruvianum	D	O	Tr - Te
				Ceratium declinatum	d	O	Tr
				Tropidoneis lepidoptera	D	O - N	Tr - Te
				Prodocystis spathulata	D	B	Tr - Te
	20 m	24.600	MC	Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
				Rhabdonema adriaticum	D	B	Tr - Te
			Navicula marina	D	B	Tr - Te	
			Mastogloia crucicula	D	B	Tr - Te	
A14	0 m	14.230	PC	Skeletonema cestatum	D	N	Tr - Te
				Chaetoceros peruvianum	D	O	Tr - Te
				Nitzschia closterium	D	N - O	Tr - Te
				Thalassionema nitzschioides	D	N	Tr - Te
	35 m	23.720	AC	Amphiprora olata	D	O - N	Tr - Te
				Nitzschia plana	D	N	Tr - Te
			Surirella fastuosa	D	N - B	U	
			Pendinium breve	d	B	Tr - Te	
A15	0 m	16.100	PC	Thalassionema nitzschioides	D	N	Tr - Te
				Nitzschia closterium	D	O - N	Tr - Te
				Ceratium trichoceros	d	O	Tr - Te
				Skeletonema costatum	D	N	Tr - Te
	35 m	14.840	PC	Amphiprora alata	D	O - N	Tr - Te
				Delonia sulcata	D	N - B	Tr - Te
			Exuviella marina	d	N	Tr - Te	
			Surirella fastuosa	D	N - B	U	
A16	0 m	9.740	PC	Thalassionema nitzschioides	D	N	Tr - Te
				Rhizosolenia alata	D	O	Te
				Skeletonema costatum	D	N	Tr - Te
				Biddulphia auritae	D	N - B	Tr - Te
	40 m	21.950	PC	Thalassionema nitzschioides	D	N	Tr - Te
				Nitzschia plana	D	N - B	Tr - Te
			Surirella fastuosa	D	N - B	U	
			Thalassiosira decipiens	D	N	Tr - Te	
A17	0 m	12.860	PC	Astuolampra marylanolica	D	O	Tr
				Nitzschia seriata	D	O - N	Tr - Te
				Chaetoceros peruvianum	D	O	Tr - Te
				Ornithocercus steinii	d	O	Tr
	10 m	10.200	MC	Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
				Nitzschia seriata	D	O - N	Tr - Te
			Thalassiosira decipiens	D	N	Tr - Te	
			Mastogloia binotata	D	B	Te	

Station	Niveau	Cell./Litre	Charge Particle	Espèces Dominantes		Ecologie	Distribution
A18	0 m	12.460	PC	Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
				Asterolampra marylandica	D	O	Tr
				Chaetoceros peruvianum	D	O	Tr - Te
				Gyrosigma sp.	D	-	-
	20 m	13.600	PC	Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
				Thalassionema nitzschioides	D	N	Tr - Te
				Nitzschia seriata	D	O - N	Tr - Te
				Gonyaulax polygramma	d	N - B	Tr - Te
A19	0 m	7.080	MC	Thalassionema nitzschioides	D	N	Tr - Te
				Nitzschia seriata	D	O - N	Tr - Te
				Speletonema costatum	D	N	Tr - Te
				Gyrosigma sp.	D	-	-
	45 m	18.740	AC	Thalassionema nitzschioides	D	N	Tr - Te
				Nitzschia seriata	D	O - N	Tr - Te
				Thalassiosira decipiens	D	N	Tr - Te
				Gonyaulax polygramma	d	N - B	Tr - Te
A20	0 m	11.800	MC	Thalassionema nitzschioides	D	N	Tr - Te
				Nitzschia seriata	D	O - N	Tr - Te
				Skeletonema costatum	D	N	Tr - Te
				Coscinodiscus marginatus	D	O	Tr - Te
	40 m	18.920	AC	Thalassionema nitzschioides	D	N	Tr - Te
				Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
				Peridinium breve	d	N	Tr - Te
				Surirella fastuosa	D	N - B	U
A21	0 m	12.060	MC	Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
				Thalassionema nitzschioides	D	N	Tr - Te
				Rhizosolenia alata	D	O	Te
				Bacteriastrium delicatulum	D	O	Tr
	20 m	15.800	AC	Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
				Surirella fastuosa	D	N - B	U
				Exuviella marina	d	N	Tr - Te
				Mastogloia baldjickiana	D	B	Te
A22	0 m	15.180	TC	Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
				Thalassionema nitzschioides	D	N	Tr - Te
				Rhizosolenia alata	D	O	Te
				Bacteriastrium delicatulum	D	O	Tr
	20 m	11.300	TC	Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
				Surirella fastuosa	D	N - B	U
				Exuviella marina	d	N	Tr - Te
				Peridinium breve	d		
A23	0 m	13.450	AC	Amphiprora alata	D	O - N	Tr - Te
				Ceratium controtum	D	O	Te
				Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
				Bacteriastrium delicatulum	D	O	Tr
A24	20 m	14.310	MC	Nitzschia senatra	D	O - N	Tr - Te
				Rhizosolenia alata	D	O	Te
				Tropidoneis lepidoptera	D	O - N	Tr - Te
				Thalassiosira decipiens	D	N	Tr - Te

Station	Niveau	Cell./Litre	Charge Particule	Espèces Dominantes	Ecologie	Distribution	
A24	0 m	13.310	PC	Thalassionema nitzschioides	D	N	Tr - Te
				Gyrosigma sp.	D	-	-
				Nitzschia seriata	D	O - N	Tr - Te
				Biddulphia pulchella	D	N - B	Tr - Te
	40 m	13.850	MC	Thalassionema nitzschioides	D	N	Tr - Te
				Triceratium alternarus	D	N - B	Te
				Mastogloia binotata	D	B	Tr - Te
				Peridinium breve	d	B	Tr - Te
A25	0 m	15.780	MC	Thalassiosira excentrica	D	O - N	U
				Ceratium contortum	d	O	Tr
				Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
				Melosira sulcata	D	N - B	Tr - Te
	25 m	18.020	MC	Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
				Thalassionema nitzschioides	D	N	Tr - Te
				Nitzschia seriata	D	O - N	Tr - Te
				Mastogloia binotata	D	B	Te
A26	0 m	16.820	PC	Asterolampra marylandica	D	O	Tr
				Ceratium contortum	d	O	Tr
				Thalassiosira excentrica	D	O - N	U
				Actinocyclus ehrenbergii	D	N	Tr - Te
	20 m	14.360	PC	Chaetoceros peruvianum	D	O	Tr - Te
				Asterolampra marylandica	D	O	Tr
				Gonyaulax polygramma	d	N - B	Tr - Te
				Peridinium depressum	d	N	Tr