

# ANNALES HYDROGRAPHIQUES

5<sup>ème</sup> Série - Vol. 16 - 1989

N° 763



Service Hydrographique  
et Océanographique de la Marine - Paris

- Toute correspondance relative au contenu de cette publication, et notamment à l'insertion d'articles, doit être adressée au Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 3, avenue Octave Gréard, 00300 Armées.
- Les idées exprimées dans les articles sont celles des auteurs et ne représentent pas nécessairement le point de vue du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.
- Toute correspondance relative au service de cette publication doit être adressée à l'Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la marine, 13, rue du Chatellier, B.P. 426, 29275 Brest Cedex.

# ANNALES HYDROGRAPHIQUES

## TABLE DES MATIÈRES

### Première partie

	Pages
Rectificatif au mémoire intitulé « Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques » par MM. Y. BIOLLAY, Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne (Suisse) et J. KRAVTCHENKO Université Scientifique et Médicale, Grenoble .....	5
Synthèse sur les caractères physiques du courant circumpolaire antarctique, par M. YOUNG-HYANG PARK, Laboratoire d'Océanographie Physique Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris .....	7
Etude des possibilités de tassement d'un sol sous-marin par moyens acoustiques, par MM. J.M. DAUPLEIX et J. PATOT, L.M.A.I., Université de Perpignan, B. DUPONT et J.P. LONGUEMARD, L.E.P.A.P., Ecole centrale A. et M., Chatenay Malabry.....	33
Corrélations entre la masse volumique et la résistivité d'un sédiment marin, par MM. T. CAPELLE et T. PLAIRE, L.M.A.I. Université de Perpignan, M. CHIBANE et E. SARRET, L.M.S.S., Ecole Centrale A. et M., Chatenay-Malabry et J.P. LONGUEMARD, L.E.P.A.P., Ecole centrale A. et M., Chatenay-Malabry.....	43

### Deuxième partie

Rapport sur les travaux géodésiques effectués par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine de 1920 à 1984, par M. A. DEMERLIAC Ingénieur Général de l'Armement (hydrographe) E.R.....	55
L'hydrographie française en Afrique Noire et à Madagascar pendant la période 1947-1965 par M. J. BOURGOIN, Ingénieur Général de l'Armement (hydrographe) E.R. ....	69
Mission Océanographique de l'Atlantique (juin 1982 — juillet 1984), par M. M. LE GUEN, Ingénieur en Chef de l'Armement (hydrographe) .....	77



*PREMIÈRE PARTIE*

## Rectificatif au mémoire intitulé

# ÉTUDE ANALYTIQUE D'UN MODÈLE DES MARÉES LITTORALES À L'AIDE DES MULTIPLICITÉS BICARACTÉRISTIQUES

par

Yves BIOLLAY et Julien KRAVTCHENKO

A la page 30 de l'article, cité en titre de la présente Note, et inséré dans le tome 14, fascicule 761, 1986, il manque, à la suite d'une erreur dactylographique, un passage important. Cette omission a échappé à l'attention des Auteurs lors de la correction des épreuves. Pour cette raison, la fin de l'alinéa 3.3.2 (cf. page précitée) semble incohérente.

La rectification ci-après n'a pu être insérée dans le fascicule 762 des Annales hydrographiques à cause d'un contretemps dont la responsabilité nous incombe. Elle paraît dans le présent fascicule avec des indications complémentaires et après corrections de quelques formulations défectueuses.

- 1) Dans la dernière ligne, 1<sup>re</sup> colonne de la page 30, remplacer la lettre  $q$  par  $Q$ .
- 2) Faire suivre cette dernière ligne par le texte ci-après : « nous désignerons par  $K$  et que nous supposerons régulière, distincte d'une caractéristique de  $(2.10)_{II}$  et par  $k$  la courbe  $\subset \mathcal{D}$ , homologue de  $K$ .

Soient alors :  $M$ , point courant  $\in K$ ;  $C(M)$ , un cône caractéristique de sommet  $M$  correspondant à la solution considérée de  $(E)$ . D'après ce qui précède, l'ensemble des  $C(M)$ , obtenu en faisant décrire au point  $M$  la courbe  $K$ , forme une famille de cônes dépendant des deux paramètres alors que le sous-ensemble obtenu en fixant  $M$  dépend d'un seul. Dans la suite, nous aurons à revenir à plusieurs reprises sur les conséquences de cette propriété évidente. En anticipant sur la suite de cet exposé, signalons qu'en 3.4.1, l'étude de la situation présente sera reprise en détail et abordée au moyen d'une méthode directe, alors qu'en 3.5.7 on ramènera la question à un problème de Riemann-Goursat. En particulier, on montrera aisément en 3.5.7 que si  $K$  est l'enveloppe d'une famille de surfaces intégrales de  $(2.10)_{II}$ , cette courbe sera aussi l'enveloppe d'une famille de surfaces intégrales de  $(2.11)_{II}$ , et inversement. Le cas particulier où  $K$  se réduit à un point isolé sera brièvement évoqué en 3.4.1 et 3.5.8 ».

C'est pourquoi la dernière phrase de l'alinéa 3.3.2 précité, p. 31 devient sans objet.

Supprimer les deux premières lignes de la 2<sup>ème</sup> colonne et reprendre le texte à « Admet- ».

- 3) Dans la 2<sup>ème</sup> ligne qui suit la formule du haut de la 2<sup>ème</sup> colonne de la page 30, mettre un point après le premier mot : existent) et remplacer la fin de la ligne en cause ainsi que les deux lignes suivantes par le texte ci-après :

« Il résulte alors des hypothèses faites que  $u(\alpha)$ ,  $v(\alpha)$ ,  $\zeta(\alpha)$  sont des fonctions déterminées et régulières le long de  $K$ . Admettons d'abord que cette courbe ne soit pas une caractéristique de  $(2.10)_{II}$ . Alors il existe une surface  $S_\alpha$ , et une seule passant par  $K$ , qui est une intégrale régulière de  $(2.10)_{II}$ , engendrée par la droite  $\delta_M$  lorsque  $M$  décrit  $K$ . Cette courbe ne peut donc être considérée comme l'enveloppe dégénérée d'une famille de surfaces  $S_\alpha$  dépendant du seul paramètre  $\alpha$ . Il s'en suit que  $K$  ne peut être que le lieu des points singuliers d'une famille des  $S_\alpha$ . Si, au contraire,  $K$  est une bicaractéristique de  $(2.10)_{II}$ , il existe une infinité des  $S_\alpha$  paramétrées par  $\alpha$  dont  $K$  est l'enveloppe dégénérée ».

- 4) A la huitième ligne à partir de l'alinéa commençant par « Cela posé », remplacer le texte « qui se réduit alors à la droite  $\delta_M$  » par : « qui est, comme on vient de le voir, tangente en chacun de ses points  $M$  à la droite  $\delta_M$  ».

- 5) Ajouter à la fin de la 2<sup>ème</sup> colonne de la page 30, le texte ci-après :

« Ainsi, il n'existe qu'un et un seul type de solution régularisable de  $(E)$  susceptible de décrire une discontinuité de la solution de  $(E)$  le long d'une courbe  $K$  : c'est celui où il existe une enveloppe de la famille  $S_\alpha$  de surfaces intégrales de l'équation  $\phi$   $(2.11)_{II}$  qui se réduit à  $K$  qui n'est pas porteuse d'une multiplicité caractéristique de  $(2.11)_{II}$ . Cette conclusion est, comme on le verra en 3.5, essentielle pour notre objet ».

6) Page 31, ligne 11, à compter du bas à partir de la fin de l'alinéa 3.3.2 (qui se prolonge par la Remarque) remplacer le membre de phrase : « est en cours ainsi que l'exa- », et la ligne suivante par le texte ci-après :

« et qui admettent pour enveloppe la courbe  $K$ , supposée réduite à une droite parallèle à  $O_t$ , est en cours. Rappelons (cf. 3.2.5) que la solution correspondante de (E) est alors continue dans le voisinage de  $K$ , alors que les lignes instantanées de courant  $\gamma$  présentent des singularités : la méthode d'exploration utilisée fait appel aux développements limités de 3.4.6. A noter que le même problème se pose aussi dans l'étude de la singularité dans le voisinage du point  $\in K$  en lequel cette courbe admet une tangente parallèle à  $O_t$ . Au contraire, rappelons que la solution considérée de (E) est régulière dans le voisinage de tout arc de  $K$  dépourvu de tangente parallèle à cette direction.

Pour terminer cette introduction à la théorie des singularités régularisables, nous dirons un mot concernant le cas où  $Q$  est le lieu des points singuliers des  $S_\alpha$ , laissé de côté jusqu'ici. Nous avons consacré plusieurs alinéas de 3.2. à la construction des surfaces  $S_\alpha$  présentant des singularités dans le domaine d'existence des solutions régulières de (E) et montré qu'elles ne pouvaient présenter d'autres singularités que des lignes arêtes ou des points coniques. Il est alors facile de construire des exemples des familles de surfaces  $S_\alpha$  dépendant de deux (ou d'un seul) paramètres et présentant des singularités régularisables des types précités, dont l'ensemble, obtenu en faisant varier les paramètres précédents, soit constitué par des surfaces ou des courbes qu'on détermine au moyen de la méthode décrite ci-dessus. Voici un exemple trivial d'une telle situation. Soient : une solution régulière de (E), définie dans  $D$ ;  $\Sigma$  (ou  $C$ ) une surface (ou une courbe)  $\subset D$ ;  $P$  un point courant de  $\Sigma$  (ou de  $C$ );  $S(P)$ , le conoïde caractéristique de sommet  $P$ , correspondant à la solution envisagée. On voit que  $\Sigma$  (ou  $C$ ) est le lieu géométrique des points singuliers des  $S(P)$ . Si  $P \in C$ , la famille des  $S(P)$  admet pour enveloppe la surface-porteuse d'une multiplicité bicaractéristique de (E) dont  $C$  est la ligne-arête, en même temps que  $C$  est le lieu des points singuliers des  $S(P)$  : on retrouve ainsi une situation classique concernant le double rôle de  $C$ , déjà mentionné à plusieurs reprises au 3.2. Par ailleurs, notons qu'il est aisé de construire, à partir d'exemples du 3.2, des familles des  $S_\alpha$  dépendant de deux (ou un seul) paramètres dont l'ensemble remplit un domaine (tridimensionnel)  $\subset D$  (ou qui recouvre une surface  $\subset D$ ). On peut d'ailleurs étendre cette discussion aux familles des  $S_\alpha$  dépendant des fonctions arbitraires. Enfin, signalons, en anticipant sur la suite de l'exposé (cf. 3.5.7), qu'il existe des solutions régularisables de (E) telle que la famille  $S(P)$  —  $P$  étant fixé en un point singulier de la solution considérée — dépend d'un paramètre et qui admet une enveloppe en forme de conoïde de sommet  $P$ , point singulier commun aux  $S(P)$ .

En résumant ce qui précède, on voit combien est étendue la gamme des singularités qu'on peut décrire au moyen des solutions régularisables de (E) ».

# SYNTHÈSE SUR LES CARACTÈRES PHYSIQUES DU COURANT CIRCUMPOLAIRE ANTARCTIQUE

par

Young-Hyang PARK

*Maître de Conférences*  
*Laboratoire d'Océanographie Physique*  
*Muséum National d'Histoire Naturelle*

## RÉSUMÉ

L'Océan Austral a fait l'objet de nombreux travaux durant ces dernières décennies, particulièrement à partir des années 1970. Ils ont permis, grâce aux observations intensives dans le Passage de Drake, à l'exploitation des données altimétriques satellitaires et au suivi des bouées dérivantes, de mieux connaître la structure du courant associée aux fronts thermo-halines ainsi que le flux et les variations spatio-temporelles du Courant Circumpolaire Antarctique (CCA). Ce travail de synthèse vise à faire le point de nos connaissances sur ces aspects physiques du CCA.

Il a en particulier été montré l'influence de la topographie du fond et du régime des vents sur la circulation générale circumpolaire. Une nouvelle définition des zones frontales dans les mers adjacentes du Passage de Drake, notamment de « la Convergence Antarctique » est précisée. La particularité des zones frontales dans le secteur Ouest de l'Océan Indien est évoquée. Les estimations du flux du CCA au Passage de Drake et de celui dans quelques autres secteurs de l'Océan Austral sont résumées. L'échelle spatio-temporelle de la variabilité moyenne-échelle du CCA ainsi que la répartition géographique de la forte variabilité du courant sont décrits. En particulier, il a été montré la forte covariation qui existait dans le Passage de Drake, à l'échelle saisonnière, entre les fluctuations du courant et les enregistrements de pression sur le fond. Quelques réflexions relatives au couplage dynamique entre les variations barotropes du courant et le vent circumpolaire sont présentés.

## ABSTRACT

The Southern Ocean has been a subject of numerous investigations during the last decades, especially since the mid-1970's. They permitted, based on : i) intensive field experiments at Drake Passage; ii) the exploitation of satellite altimetric data and iii) the tracking of surface drifters, to better understand : i) the current structure associated with the thermo-haline fronts, ii) the volume transport and iii) the spatio-temporal variations of the Antarctic Circumpolar Current (ACC). The purpose of this work is to review the most important and newly recognized physical aspects of the ACC.

It has particularly been shown the influence of the bottom topography and wind distribution on the general circumpolar circulation. A new definition of the frontal zones closed to Drake Passage, and particularly of "the Antarctic Convergence" has been detailed. The specificity of the frontal zones in the western Indian Ocean area is evoked. The estimations of the ACC transport in Drake Passage and in some other sectors of the Southern Ocean are summarized. The spatio-temporal scale of the mesoscale ACC variability as well as the geographic distribution of the strongest variabilities of the current are described. In particular, it has been shown the strong covariation which existed in Drake Passage, at the seasonal time scale, between the current fluctuations and the bottom pressure measurements. Some tentatives of defining the dynamic coupling between the barotropic variation of the current and the circumpolar wind are presented.

## SOMMAIRE

### Résumé

### Abstract

### Introduction

#### I. CARACTÈRES TOPOGRAPHIQUES DE L'OcéAN AUSTRAL

- I.1. Délimitation géographique
- I.2. Topographie du fond et bassins

#### II. RÉGIME DES VENTS DANS L'OcéAN AUSTRAL

- II.1. Pressions atmosphériques
- II.2. Régime général des vents
- II.3. Non-régularité zonale des vents

#### III. CIRCULATION SUPERFICIELLE GÉNÉRALE DE L'OcéAN AUSTRAL

- III.1. Grande dérive des vents d'Ouest
- III.2. Dérive des vents d'Est
- III.3. Fluctuations et irrégularités zonales du CCA

#### IV. HYDROLOGIE DE L'Océan AUSTRAL

- IV.1. Définition classique des zones hydrologiques
- IV.2. Masses d'eau
- IV.3. Nouvelle définition de la Convergence Antarctique

#### V. FLUX DU COURANT CIRCUMPOLAIRE ANTARCTIQUE

- V.1. Flux du CCA au Passage de Drake
- V.2. Flux du CCA dans les autres secteurs de l'Océan Austral

#### VI. VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DU COURANT CIRCUMPOLAIRE ANTARCTIQUE

- VI.1. Variabilité méso-échelle
- VI.2. Fluctuations saisonnières du CCA

#### VII. RÉSUMÉ ET DISCUSSION

- VII.1. Hydrologie
- VII.2. Flux
- VII.3. Variabilité du CCA

#### BIBLIOGRAPHIE

## INTRODUCTION

Le Courant Circumpolaire Antarctique (CCA), le plus puissant du globe par son flux énorme (130 Sv), transporte de manière continue des eaux très froides ( $2^{\circ} < T < 14^{\circ}\text{C}$ ) de l'Ouest en Est autour du globe, dans une région intermédiaire entre la zone subtropicale et la zone antarctique. Ce courant annulaire est essentiellement engendré par le régime quasi-permanent des vents d'Ouest; ses variations spatiales de direction et d'intensité sont fortement liées aux accidents topographiques du fond de l'Océan ainsi qu'aux variations de la tension du vent.

Depuis les premières investigations anglaises sur les navires « *Discovery I* », « *William Scoresby* » puis surtout sur le « *Discovery II* » (1925-1939) dans les stations baleinières des Falklands et de la Géorgie du Sud, de nombreuses observations hydrologiques dans les différents secteurs de l'Océan Austral ont été effectuées. Les aspects généraux de l'hydrologie, de la circulation et des conditions atmosphériques et climatiques de l'Océan sont bien documentés dans les ouvrages de Deacon (1984) et Tchernia (1978).

Récemment l'Océan Austral a fait l'objet de nombreux travaux avec l'exploitation des résultats des campagnes américaines menées dans le cadre du programme ISOS (International Southern Ocean Studies : 1975-1980). Des mesures intensives du courant en profondeur dans le Passage de Drake conjointement avec des stations hydrologiques ayant une résolution spatiale très fine ont été effectuées durant ce programme. Des observations spatiales de la circulation circumpolaire et de ses variations spatio-temporelles ont été également recueillies grâce aux bouées dérivantes suivies par satellites (ARGOS) ainsi que par l'altimétrie satellitaire. De nombreux résultats présen-

tant un grand intérêt ont été publiés (Clarke, 1982; Danialt et Ménard, 1985; Gordon *et al.*, 1977, 1978, 1982; Nowlin *et al.*, 1977, 1982; Patterson, 1985; Wearn et Baker, 1980; Wirthworth et Peterson, 1985 etc...).

Nowlin et Klinck (1986) ont établi une synthèse de ces travaux portant sur les principales découvertes physiques et dynamiques relatives au CCA. Les résultats récents des campagnes soviétiques menées dans le cadre du programme POLEX (POLar EXperiment) South ont été également publiés (Sarukhanyan et Smirnov, 1985; Sarukhanyan, 1985).

Le présent rapport est une synthèse des principales études relatives à la physique du CCA. Nous avons établi antérieurement une synthèse des aspects dynamiques du CCA, en particulier des modèles théoriques et numériques (Park, 1987). Ces deux rapports d'analyse bibliographique ont été préparés dans le cadre du programme SUZAN (SUBantarctic Zonal ANomalies), du Laboratoire d'Océanographie Physique du Muséum National d'Histoire Naturelle.

Dans les trois premiers chapitres de ce rapport, les grandes caractéristiques de la topographie du fond, du régime général du vent, et de la circulation superficielle sont brièvement rappelés. Dans les chapitres suivants, sont examinés d'une manière plus poussée les grands thèmes concernant l'hydrologie, le flux, et la variabilité du CCA.

## I. CARACTÈRES TOPOGRAPHIQUES DE L'Océan AUSTRAL

### I.1. Délimitation géographique

Le bassin polaire antarctique entoure le Continent Antarctique et forme un océan annulaire largement ouvert vers le Nord. Il communique librement avec les trois grands océans : Atlantique, Indien et Pacifique.

La limite Sud de l'Océan Austral est représentée par les contours du Continent Antarctique qui se trouvent entre  $66^{\circ}$  et  $70^{\circ}\text{S}$ .

Faute de limites continentales vers le Nord, il est généralement admis que la frontière Nord de l'Océan Austral correspond à une limite liée aux caractères hydrologiques (fronts thermohalins en surface :  $14^{\circ}\text{C} < T < 18^{\circ}\text{C}$ ;  $34.0 < S < 35.0$  ‰) des masses d'eau, limite dénommée la « Convergence Subtropicale » ayant une position moyenne entre  $38^{\circ}$  et  $42^{\circ}\text{S}$ .

L'anneau océanique antarctique, ainsi défini, va de  $40^{\circ}\text{S}$  environ à  $66^{\circ}/70^{\circ}\text{S}$ ; soit une largeur de  $26^{\circ}$  à  $30^{\circ}$  en latitude (soit  $\sim 3000$  km).

Il présente en outre un resserrement notable au Sud de l'Amérique, le Continent Américain

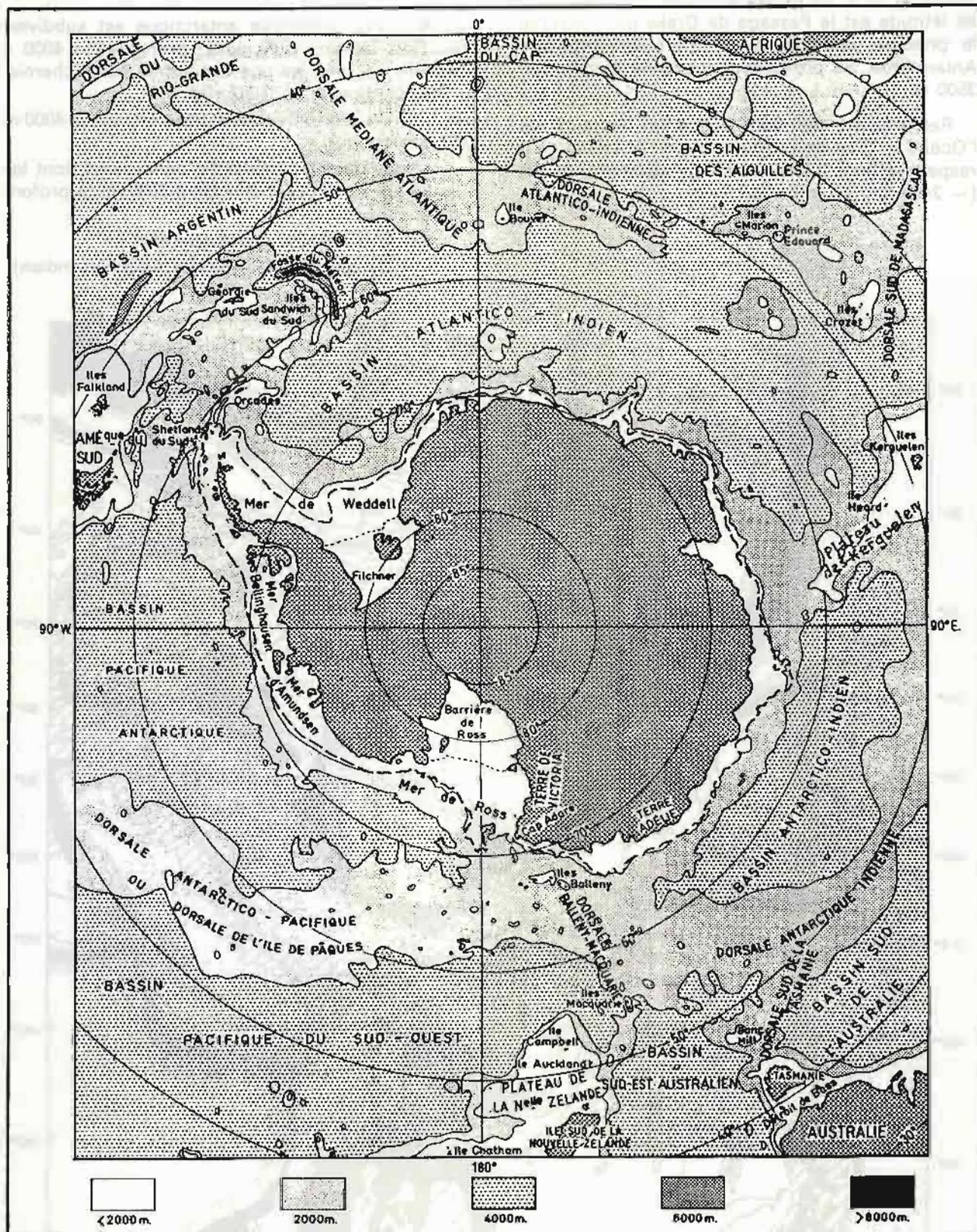


FIG. 1A. — Topographie du fond de l'Océan Austral (Tchernia, 1978).

s'avance jusqu'au 56°S; la Péninsule Antarctique atteint le 63°S. Le goulet étroit de 7° (~ 700 km) de latitude est le Passage de Drake qui constitue le principal obstacle du Courant Circumpolaire Antarctique. Sa profondeur moyenne est environ 3500 m.

Remarquons par contre que les largeurs de l'Océan au Sud de l'Afrique et de l'Australie sont respectivement d'environ 35° (~ 3500 km) et 24° (~ 2400 km) en latitude.

## 1.2. Topographie du fond et bassins

L'anneau océanique antarctique est subdivisé en trois bassins principaux, profonds de 4000 à 6500 m, séparés les uns des autres par (Tchernia, 1978; Gordon *et al.*, 1982; fig. 1) :

- trois cloisonnements transversaux à 4000 m de profondeur;
- des dorsales médianes océaniques dont les sommets se trouvent environ à 3000 m de profondeur.

Les trois bassins principaux sont :

- le Bassin Weddell (Bassin Atlantico-Indien)

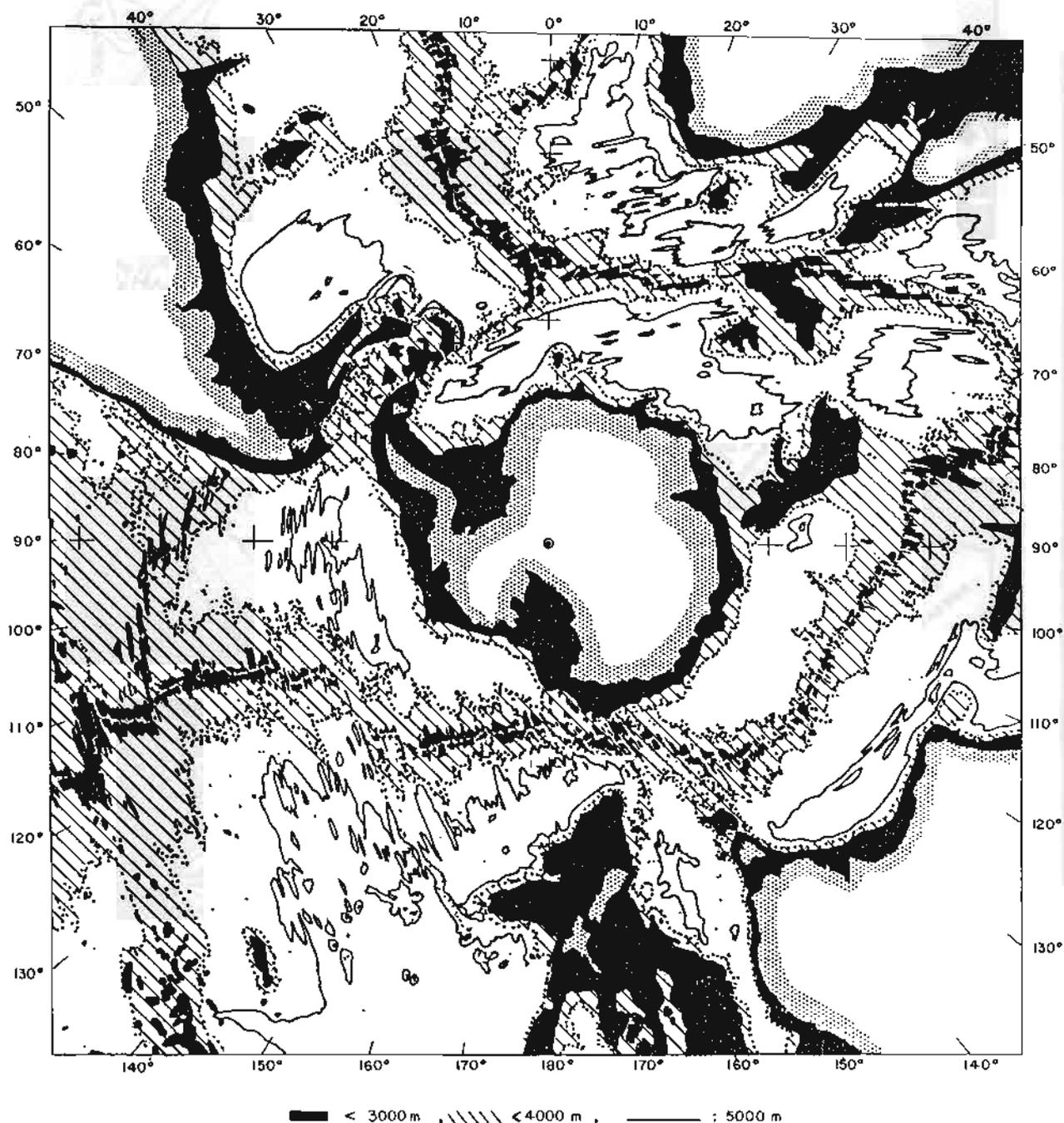


FIG. 1B. — Topographie du fond de l'Océan Austral, déduite des Atlas de Gordon *et al.* (1982).

- le Bassin Antarctico-Indien
- le Bassin Pacifique Antarctique

1) Le premier cloisonnement transversal :

- se situe dans la région maritime comprise entre le Passage de Drake et la Mer de Scotia;
- est marqué en surface par l'Arc de Scotia (îles Falkland, de la Georgie, des Sandwich, des Orcades et des Shetland du Sud).

2) La Dorsale Médiane Atlantique, qu'on rencontre en allant vers l'Est,

- s'infléchit vers l'Est en direction de l'île Bouvet (55°S) avant de rejoindre la Dorsale Ouest-Indienne au niveau du point triple de Rodriguez;

- laisse une libre et profonde communication entre le Bassin Argentin, le Bassin des Aiguilles et le Bassin Weddell.

3) Le deuxième cloisonnement transversal :

- représenté par le Plateau des Kerguelen au Sud de l'Océan Indien;

- est marqué en surface par les îles Kerguelen et Heard-Mac-Donald.

4) La Dorsale Est-Indienne :

- s'individualise de la Dorsale Médio-Indienne au niveau de point triple;

- se dirige vers l'Est le long du parallèle 50°S;

- s'étend jusqu'au Sud de la Tasmanie;

- sépare le Bassin Antarctico-Indien du Bassin Sud de l'Australie;

- rejoint la Dorsale Antarctique Pacifique.

5) Le troisième cloisonnement transversal :

- représenté par la Dorsale des Macquarie, située dans la région du Sud de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande;

- est marqué en surface par les îles Balleny et Macquarie;

- relie vers le Nord la Nouvelle-Zélande par la grande étendue du Plateau de Campbell.

6) La Dorsale Médiane Antarctico-Pacifique :

- se dirige vers le NE à travers le Pacifique et rejoint la Dorsale Est-Pacifique au niveau des zones de fracture d'Eltanin;

- sépare le Bassin Pacifique Antarctique du Bassin Pacifique Sud-Ouest.

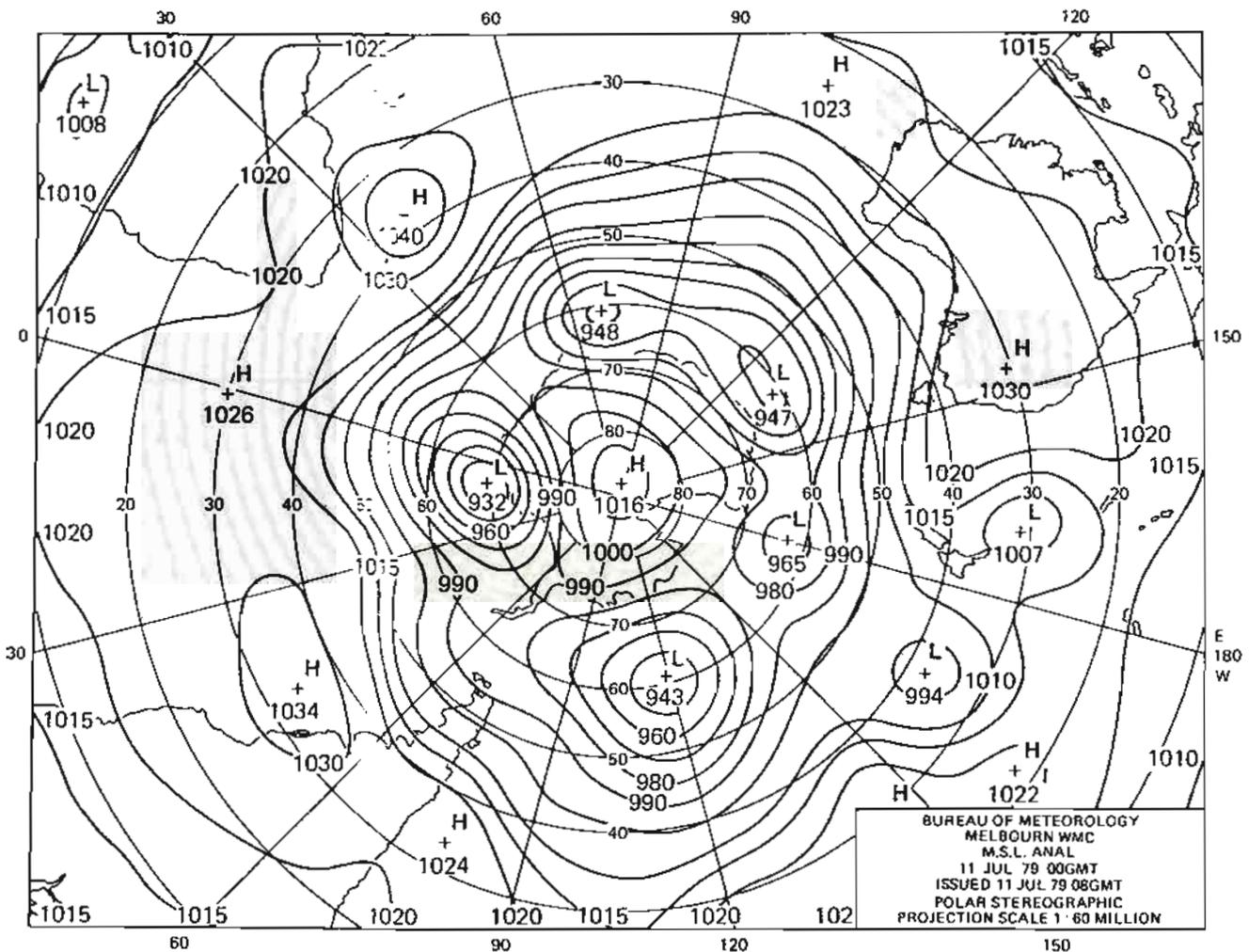


FIG. 2. — Répartition des pressions atmosphériques pour le 11 juillet 1979, préparée par le Bureau de Météorologie, Melbourne, en utilisant les données transmises par des bouées dérivantes. (Deacon, 1984).

## II. RÉGIME DES VENTS DANS L'OcéAN AUSTRAL

### II.1. Pressions atmosphériques

La répartition moyenne des pressions atmosphériques, sur l'hémisphère austral peut être caractérisée par (Tchernia, 1978; Deacon, 1984; fig. 2) :

- 1) une zone de haute pression de l'anticyclone, centrée sur le haut plateau antarctique,
- 2) un fossé de basses pressions (5 à 6 zones cycloniques) cernant le Continent Antarctique entre 60°S et 70°S,
- 3) Une ceinture des hautes pressions de l'anticyclone subtropical (4 à 5 centres) située le long

du parallèle 35°S pendant l'hiver austral (38° à 39°S pendant l'été austral).

### II.2. Régime général des vents

#### II.2.1. Vents d'Ouest

Toute la partie de l'Océan Austral comprise entre l'axe de l'anticyclone subtropical et le fossé de basses pressions péri-antarctique est soumise à un régime régulier de vents forts à composante W-E dominante. C'est le régime général des « Westerlies » de l'hémisphère Sud ou « grands frais d'Ouest » caractérisé par (fig. 3) :

- des vents de 15 à 25 nœuds
- la constance et la régularité d'un régime d'alizés

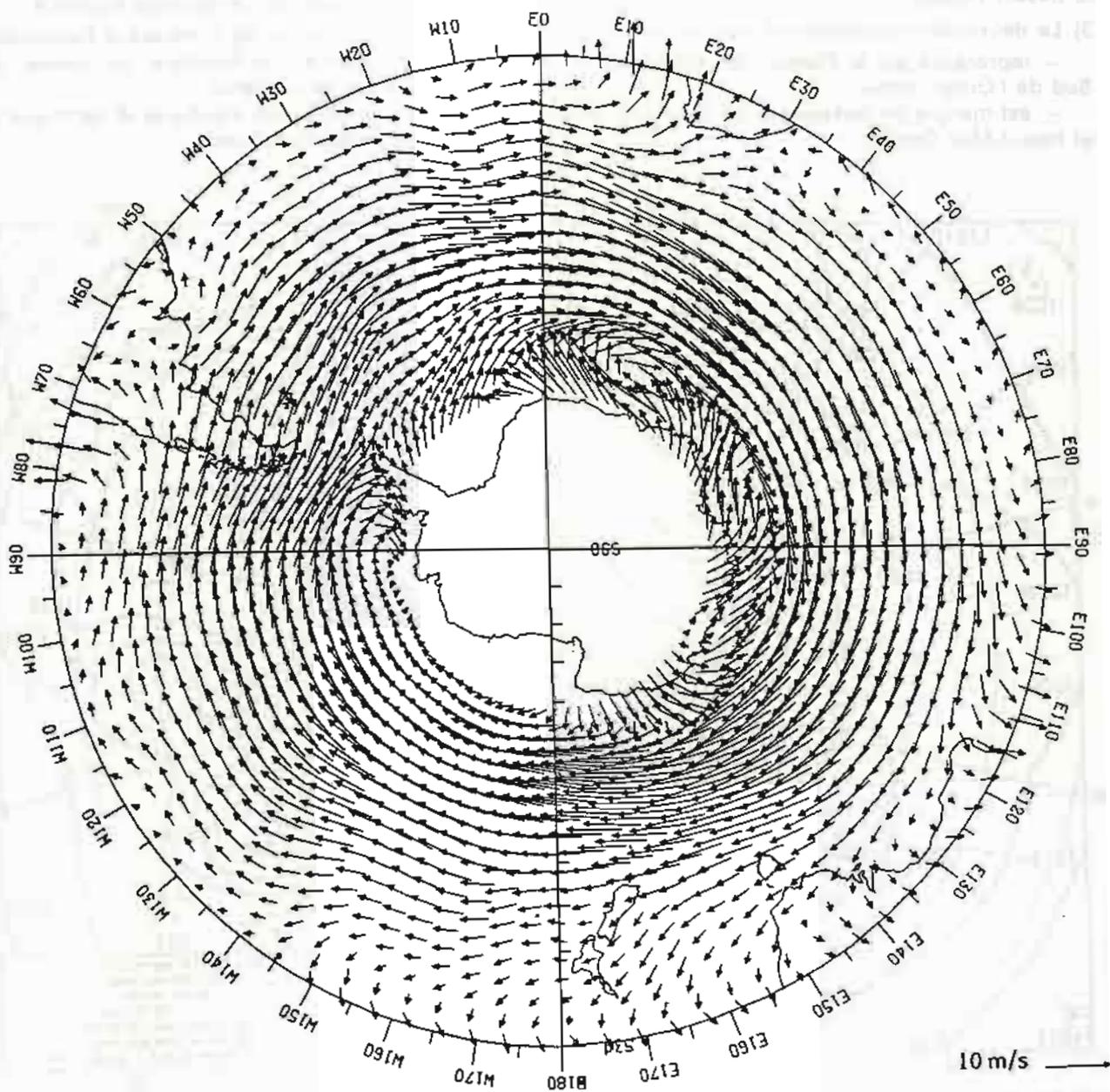


FIG. 3. — Vent à 1000 mb; moyenne sur l'année 1979, établi par Danialt (1984) d'après des mesures recueillies par le Centre Européen de Météorologie, avec notamment les mesures de pression sur l'Océan Austral relevées par les bouées dérivantes.

— la violence des vents croissant avec la latitude, avec les célèbres « Quarantièmes Rugissants » et « Cinquantièmes Hurlants » (fig. 4).

### II.2.2. Vents d'Est

Au Sud du fossé des basses pressions périantarctiques jusqu'au Continent Antarctique, on observe des vents à composante E-W dominante. Ces vents d'Est sont moins violents et moins réguliers que les « Westerlies ».

### II.3. Non-régularité zonale des vents

Les vents d'Ouest dans l'Océan Austral ne sont pas purement zonaux; leur intensité varie non

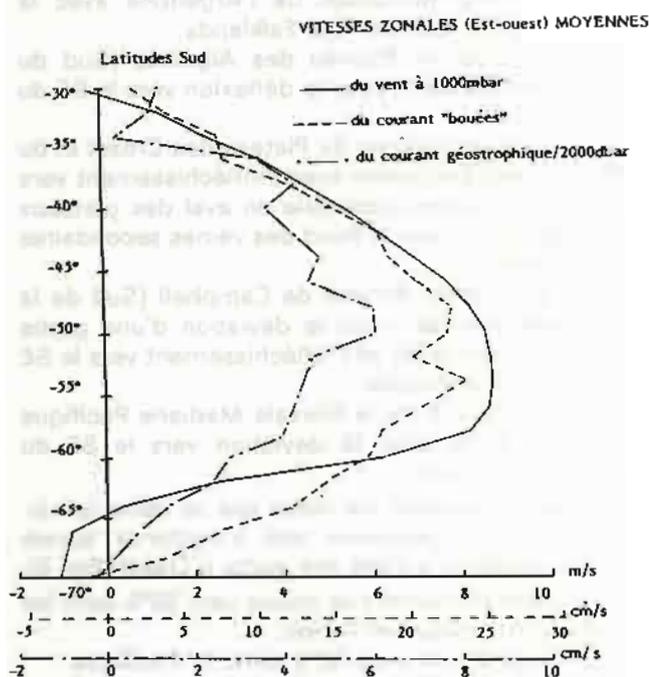


FIG. 4. — Variation méridienne de la vitesse zonale moyenne du vent (courbe continue) (Daniault, 1984).

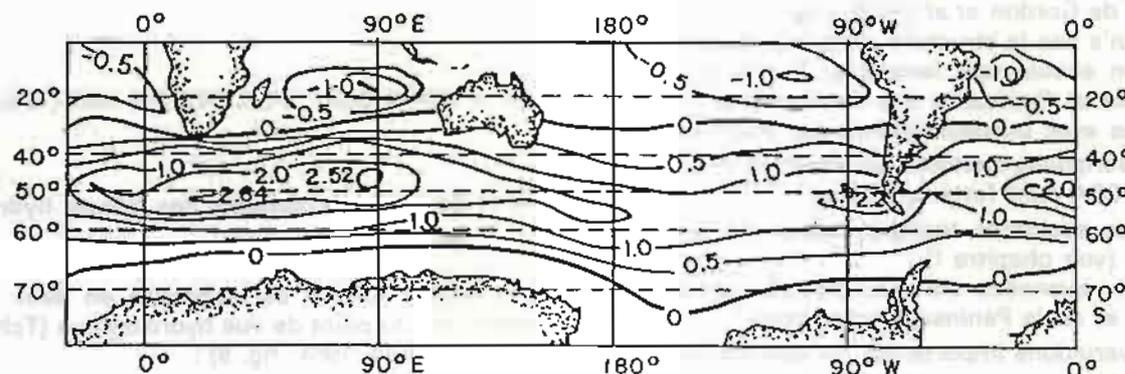


FIG. 5. — Tension du vent (composante Est) moyenne annuelle (unité : 0.1 N/m<sup>2</sup>) de Nowlin et Klinck (1986), retracée sur la projection Mercator.

seulement en fonction de la latitude mais aussi en fonction de la longitude.

II.3.1. La composante Est de la tension du vent ( $\tau$ ) en moyenne annuelle (vents climatologiques) (fig. 5) montre la non-zonalité des vents;

- les vents les plus forts ( $\tau \sim 0.2 - 0.25 \text{ N/m}^2$ ) se trouvent dans le secteur de l'Océan Indien;
- les vents les plus faibles ( $\tau < 0.1 \text{ N/m}^2$ ) dans le secteur du Pacifique;
- l'axe du maximum des vents se déplace vers le Sud (de 6° de latitude) en allant de l'Atlantique et de l'Océan Indien ( $\sim 49^\circ\text{S}$ ) au Pacifique ( $\sim 55^\circ\text{S}$ ).

II.3.2. Le rotationnel de tension du vent ( $\vec{\nabla} \times \vec{\tau}$ ) montre aussi une distribution zonale irrégulière (fig. 6);

- le maximum du rotationnel dans le secteur Indien ( $-2 \times 10^{-8} \text{ dyne/cm}^3$ ) est deux fois plus important que celui dans le secteur Pacifique ( $-1 \times 10^{-8} \text{ dyne/cm}^3$ );
- l'axe du maximum du rotationnel se déplace vers le Sud en allant de l'Océan Indien ( $\sim 56^\circ\text{S}$ ) au Pacifique ( $\sim 63^\circ\text{S}$ ).

### III. CIRCULATION SUPERFICIELLE GÉNÉRALE DE L'Océan AUSTRAL

#### III.1. Grande dérive des vents d'Ouest

La circulation en surface dans l'Océan Austral est fortement liée au régime général des vents. Le régime quasi-permanent des « Westerlies » engendre une grande dérive d'Ouest en Est dans la zone allant de 35°/38°S à 60°/65°S selon les secteurs.

En raison de l'absence d'obstacles continentaux méridiens cette dérive maintient la masse d'eau

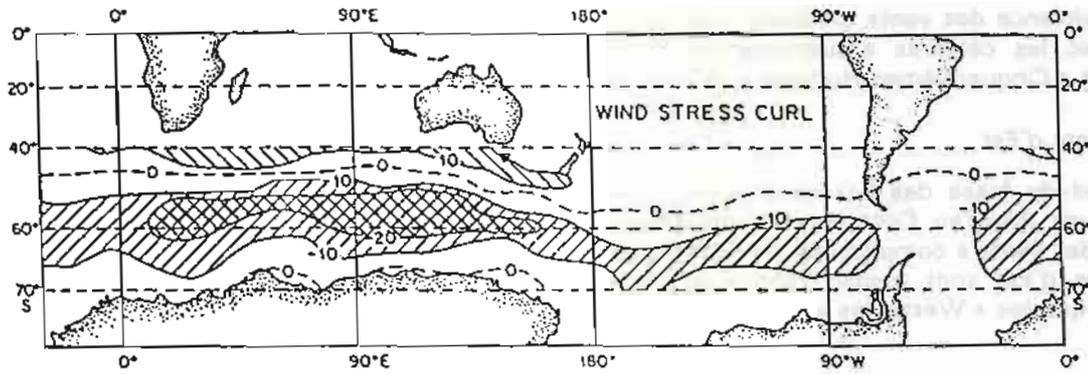


FIG. 6. — Rotationnel de la tension du vent. Contours en  $10^{-3}$  dyn/cm<sup>3</sup> (Nowlin et Klinck, 1986).

constamment en mouvement autour du Continent Antarctique : c'est le *Courant Circumpolaire Antarctique* (CCA) qui représente le plus important courant mondial du point de vue du flux (130 Sv) ( $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ d'eau/sec} \approx 10^9 \text{ kg/sec}$ ).

La vitesse moyenne du CCA est de l'ordre de 0.5 nœud en surface (25 cm/s). Mais, dans la région du Passage de Drake, là où le courant est plus rapide, on a observé des vitesses atteignant 1 à 2 nœuds (50 à 100 cm/s).

### III.2. Dérive des vents d'Est

Au voisinage des côtes de l'Antarctique un courant portant vers l'Ouest est lié aux vents d'Est péri-antarctique : c'est la dérive des vents d'Est.

Le flux de ce courant péri-continentale est très faible ( $\sim 10 \text{ Sv}$ ) et il apparaît des déviations locales du courant en présence de l'irrégularité des côtes de l'Antarctique.

### III.3. Fluctuations et irrégularités zonales du CCA

Le courant géostrophique en surface relatif à 1000 db de Gordon *et al.* (1978) (fig. 7) montre que le CCA n'a pas la structure uniforme d'une nappe d'eau en écoulement laminaire; il a la structure complexe et fluctuante des écoulements tourbillonnaires avec plusieurs veines par endroits.

Des variations spatiales de direction et d'intensité du CCA sont fortement liées :

- aux accidents topographiques du fond de l'Océan (voir chapitre I);
- aux avancées continentales de l'Amérique du Sud et de la Péninsule Antarctique.

Ces variations importantes du courant se trouvent surtout :

- au Passage de Drake avec une intensification du courant;

- le long des côtes de l'Argentine avec la remontée du Courant des Falklands;

- au Sud du Plateau des Aiguilles (Sud du Continent Africain) avec la déflexion vers le SE du courant;

- dans les régions du Plateau des Crozet et du Plateau des Kerguelen avec l'infléchissement vers le SE de la veine principale en aval des plateaux et la déviation vers le Nord des veines secondaires du courant;

- au Sud du Plateau de Campbell (Sud de la Nouvelle-Zélande) avec la déviation d'une partie des eaux vers le NE et l'infléchissement vers le SE de la veine principale;

- à l'aplomb de la Dorsale Médiane Pacifique vers le 140°W avec la déviation vers le SE du courant intensifié.

Il est intéressant de noter que la veine principale du CCA présente une irrégularité zonale quasi-identique à celle des vents d'Ouest (fig. 8);

- l'axe du courant se trouve vers 50°S dans les Océans Atlantique et Indien;

- il se trouve vers 58°S dans le Pacifique.

Dans son modèle analytique relatif au CCA, Wyrki (1960) a suggéré, pour la première fois, que le déplacement vers le Sud du CCA est lié à celui de l'ensemble du système du vent.

## IV. HYDROLOGIE DE L'OcéAN AUSTRAL

### IV.1. Définition classique des zones hydrologiques

L'Océan Austral est subdivisé en deux zones distinctes du point de vue hydrologique (Tchernia, 1978; Deacon, 1984; fig. 9) :

- la *Zone Antarctique*, caractérisée par les eaux superficielles froides et peu salées ( $T < 4^\circ\text{C}$ ,  $S < 34 \text{ ‰}$ );

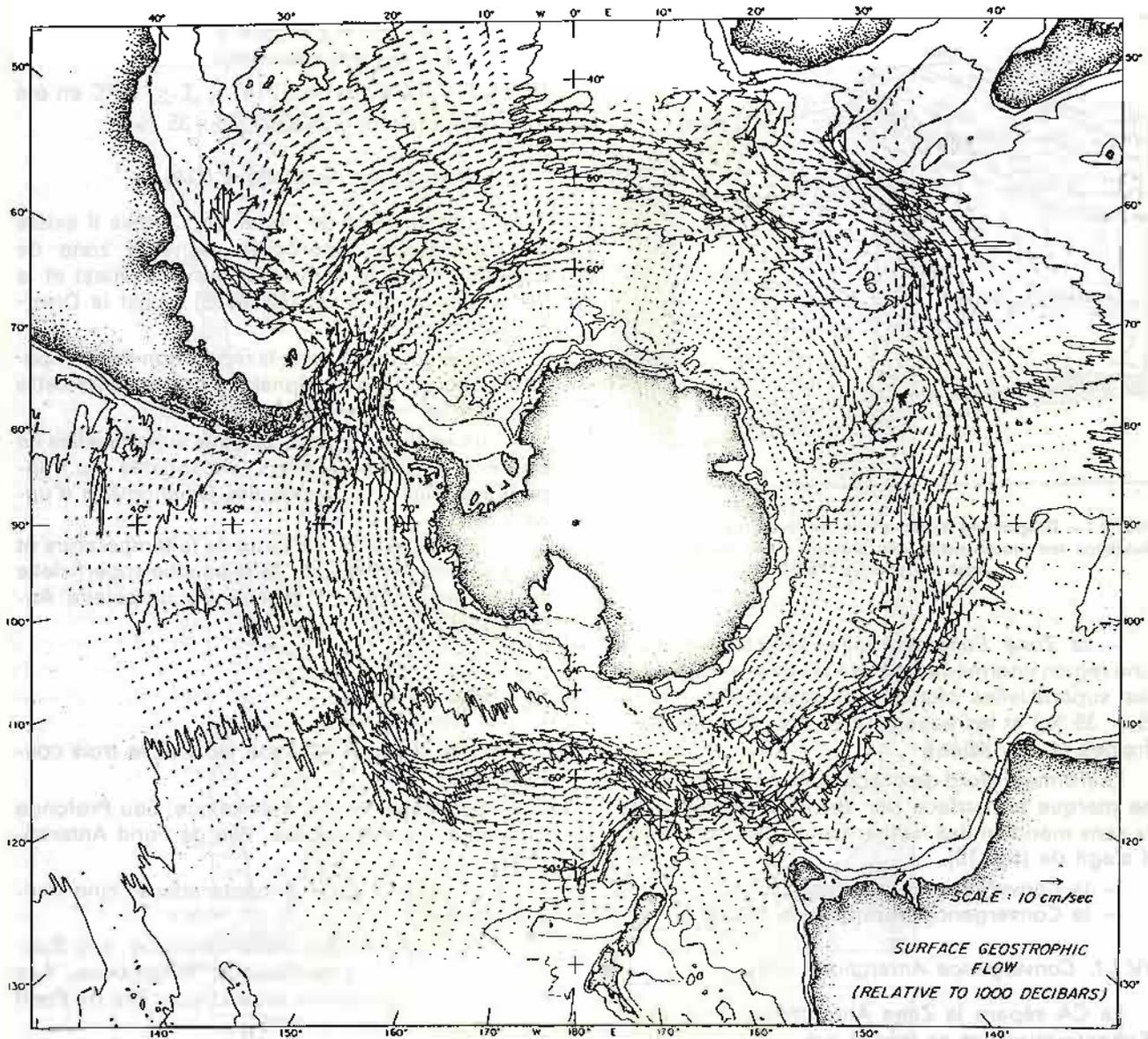


FIG. 7. — Courants géostrophiques de surface par rapport à 1000 db (Gordon *et al.*, 1978).

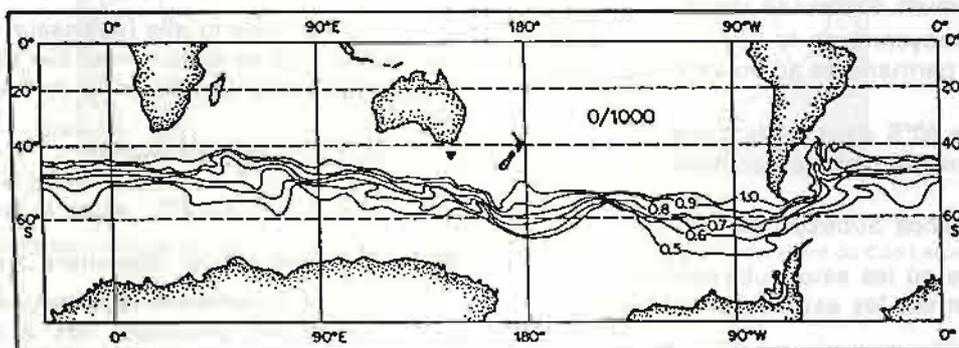


FIG. 8. — Topographie dynamique en surface par rapport à 1000 db de Gordon *et al.* (1978), retracée sur la projection Mercator (Baker, 1982).

—  $S \leq 34.0 \text{ ‰}$ ,  $1.0 < T < 4.0 \text{ °C}$  : entre la DA et la CA.

Le réchauffement de surface en été, qui est surtout sensible entre la DA et la CA, ne dépasse guère les 50 premiers mètres; au-dessous, la température reste très basse ( $-1.5$  à  $-1.8 \text{ °C}$ ) : c'est l'eau de l'hiver précédent non atteinte par le réchauffement estival.

#### IV.2.2. Eau Intermédiaire Antarctique

L'eau superficielle venant de la région de la DA, en arrivant dans la région de la CA sous l'effet des précipitations et de la fonte des glaces, a une salinité très faible,  $33.8 \text{ ‰}$  ( $T \sim 2.2 \text{ °C}$ ,  $\sigma_t \sim 27$ ). Elle s'enfonce sous l'Eau Superficielle Subantarctique de densité plus faible jusqu'à trouver vers 1000 m son équilibre de densité.

A ce niveau d'équilibre de densité, elle se caractérise par :

$$T \sim 3 \text{ °C}, S \sim 34.3 \text{ ‰}, \sigma_t \sim 27.35$$

Son trajet vers le Nord se signale sur la verticale par un minimum de salinité.

#### IV.2.3. Eau Subantarctique

C'est une eau de mélange entre l'eau « Centrale » provenant du Nord de la CST et l'Eau Superficielle Antarctique ayant plongé à la CA.

Cette eau de mélange que l'on trouve entre 200 et 800 m dans la région Subantarctique présente les caractéristiques suivantes :

$$4.0 < T < 12.0 \text{ °C}, \quad 34.3 < S < 35.0 \text{ ‰}, \\ 26.6 < \sigma_t < 27.25$$

#### IV.2.4. Eau Profonde Circumpolaire Antarctique

Cette masse d'eau, de température et de salinité plus élevées que celles des couches sus-jacentes et sous-jacentes, vient de l'Atlantique Nord (Eau Profonde Atlantique Nord). Elle s'est individualisée en grande profondeur (2000 à 4000 m).

Dans l'Océan Austral, sous l'influence de la grande dérive Ouest, elle se répand vers l'Est à travers les secteurs Indien et Pacifique. Elle représente la principale masse d'eau du CCA par son énorme volume et se caractérise par :

- $T \sim 2 \text{ °C}$ ,  $34.7 < S < 34.8 \text{ ‰}$ ,  $\sigma_t \sim 27.8$  : dans la région Subantarctique, entre 2000 et 4000 m;
- $0.4 < T < 2 \text{ °C}$ ,  $34.67 < S < 34.76 \text{ ‰}$ ,  $27.8 < \sigma_t < 27.84$  : dans la région Antarctique, entre 100 et 3000 m.

#### IV.2.5. Eau de Fond Antarctique

Dans le fond des bassins Antarctiques, au-dessous de l'Eau Profonde Circumpolaire Antarctique, on trouve l'Eau de Fond Antarctique très froide et très dense :

$$-0.5 > T > -1.4 \text{ °C}, \quad 34.63 < S < 34.75 \text{ ‰}, \\ 27.87 < \sigma_t < 27.93$$

La température la plus basse ( $-1.4 \text{ °C}$ ) s'observe dans la partie occidentale du Bassin de Weddell; c'est la source principale de l'eau de fond. Tandis que l'eau de plus forte salinité ( $34.75 \text{ ‰}$ ) se trouve dans la Mer de Ross (Gordon, 1974).

L'Eau de Fond Antarctique est essentiellement le résultat du mélange de deux masses d'eau, eau du plateau (eau sub-superficielle sur le plateau continental antarctique) et Eau Profonde Circumpolaire Antarctique, sous l'effet du processus de congélation d'hiver.

En effet, étant soumise à la congélation, la température de l'eau du plateau est voisine de son point de congélation ( $-1.9 \text{ °C}$ ), mais la salinité présente une gamme de variations assez large (de  $34.4 \text{ ‰}$  à  $34.8 \text{ ‰}$ ). Quand l'eau du plateau atteint des salinités de  $34.6 \text{ ‰}$ , elle peut former avec l'Eau Profonde Circumpolaire Antarctique remontée près du talus continental ( $T \sim 0.4 \text{ °C}$ ,  $S \sim 34.67 \text{ ‰}$ ) des mélanges plus denses que celle-ci, donc susceptibles de s'enfoncer en grande profondeur (Seabrooke *et al.*, 1971; Gordon, 1974; fig. 11).

En diverses régions (Mer de Weddell, Mer de Ross, et devant la Terre Adélie) on observe, sur les fonds du plateau continental, des eaux à la température de congélation, de salinité supérieure à  $34.6 \text{ ‰}$  (Seabrooke *et al.*, 1971; Gill, 1973; Gordon, 1974; fig. 12).

Gordon (1974) a remarqué le rôle important de la dérive d'Est et de ses fluctuations dans la production d'eau de fond. Les principaux points du modèle de Gordon sont les suivants (fig. 13):

1) La dérive d'Est retient géostrophiquement l'eau dense du plateau,

- pendant ce temps sa salinité peut augmenter du fait de la formation de glace de mer;

- pendant les périodes où la dérive d'Est se relâche, l'eau du plateau s'échappe vers les grands fonds pour former l'eau de fond;

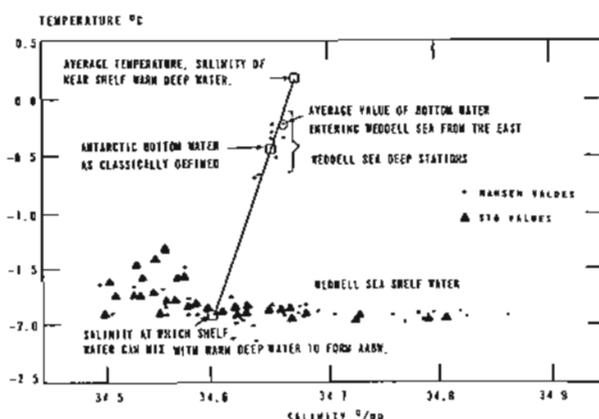


FIG. 11. — Diagramme T/S, caractérisant l'eau de plateau et l'eau de fond de la mer de Weddell. Droite de mélange, rendant compte de la formation de l'eau de fond antarctique (Seabrooke *et al.*, 1971).

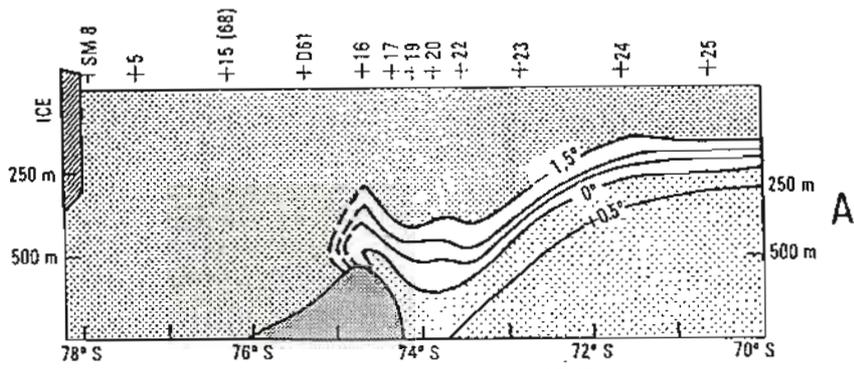


Fig. 5 (a) Temp. Section at approx. 30° W

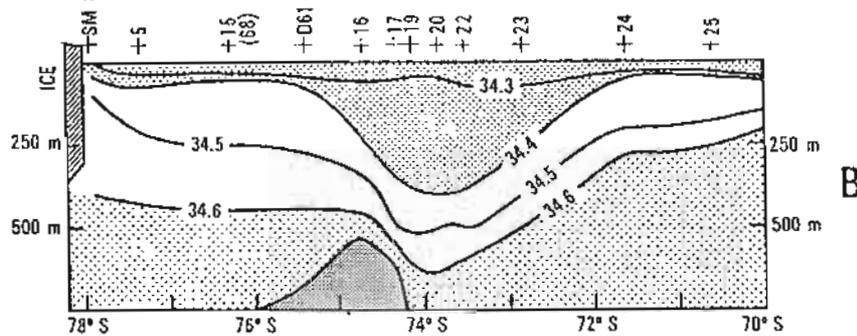


Fig. 5 (b) Salinity section at approx. 30° W

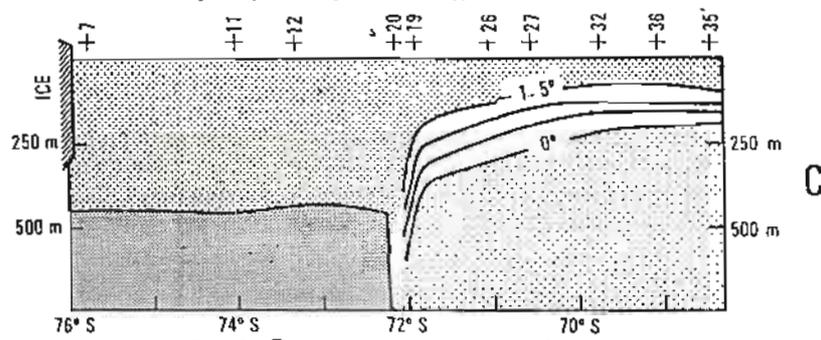


Fig. 6 (a) Temperature Section at approx. 50° W

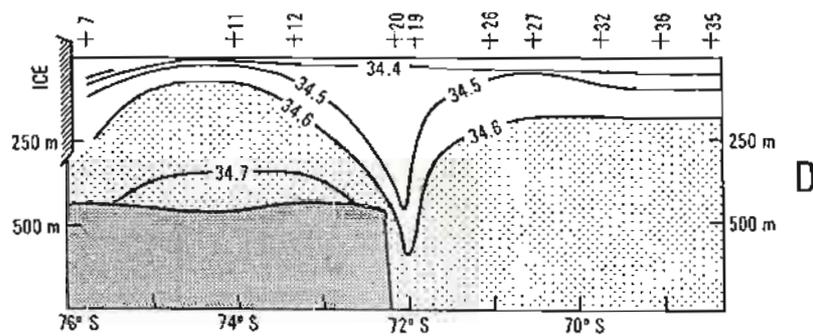


FIG. 12. — Coupe verticale de température et de salinité dans la Mer de Weddell, le long des longitudes 30°W (A et B) et 50°W (C et D) (Gill, 1973).

2) La pente de l'eau du plateau qui, dynamiquement, équilibre le courant de dérive d'Est, fait que l'eau dense du plateau est plus proche de la surface, elle peut alors recevoir une saumure plus concentrée provenant de la formation de glace de mer;

3) En conséquence, plus la dérive d'Est est forte et le plateau continental large, plus la salinité de l'eau du plateau est élevée. Notons que la Mer de Ross, où se trouve la plus forte salinité, possède le plateau continental le plus large.

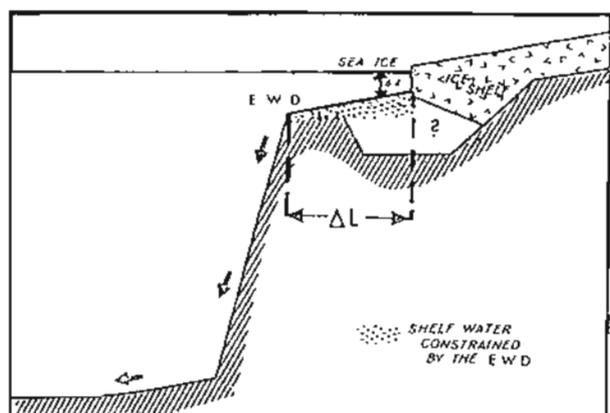


FIG. 13. — Diagramme schématique montrant la position des eaux froides de plateau par rapport à la Dérive des Vents d'Est (EWD); la Dérive (EWD) est perpendiculaire au plan de coupe, et de sens sortant.  $\Delta Z$  est la distance parcourue par le panache de haute salinité descendant, avant de se mêler à la masse d'eau froide et salée du plateau. La force de Coriolis de la EWD se dirigeant vers l'Antarctique contrebalance le gradient de pression, produit par l'eau dense du plateau (Gordon, 1974).

### IV.3. Nouvelle définition de la convergence antarctique

Les études hydrologiques récentes et détaillées, grâce surtout au dépouillement des mesures utilisant des sondes XBT, STD et des courantomètres dans quelques secteurs importants de l'Océan Austral montrent que (Gordon *et al.*, 1977; Nowlin *et al.*, 1977; Emery, 1977, Nowlin et Clifford,

1982; Sarikhanyan et Smirnov, 1985; Whitworth et Nowlin, 1987) :

- le CCA se manifeste par plusieurs bandes étroites d'écoulements rapides, associées aux fronts thermohalins;

- la CA apparaît plus comme une zone transitoire entre la Zone Antarctique et la Zone Subantarctique, appelée *Zone Frontale Polaire Antarctique* (ZFPA), que comme une ligne de convergence;

- la structure hydrologique dans la ZFPA est fondamentalement différente de celles des Zones Antarctique et Subantarctique.

IV.3.1. La nouvelle subdivision des zones hydrologiques dans l'Océan Austral est basée essentiellement sur la stratification thermohaline.

#### IV.3.1.1. Zone Subantarctique

Elle est caractérisée par :

- une couche quasi-homogène de salinité, avec un léger gradient négatif, entre 100 et 500 m de profondeur (fig. 14-B);

- un minimum de salinité et de température vers 500 m de profondeur, dû à l'extension de l'Eau Intermédiaire Antarctique;

- des courbes T/S en forme de « L » (fig. 14-A).

#### IV.3.1.2. Zone Antarctique

Elle est caractérisée par :

- un seul minimum de température bien développé vers 100 m de profondeur (fig. 14-D).

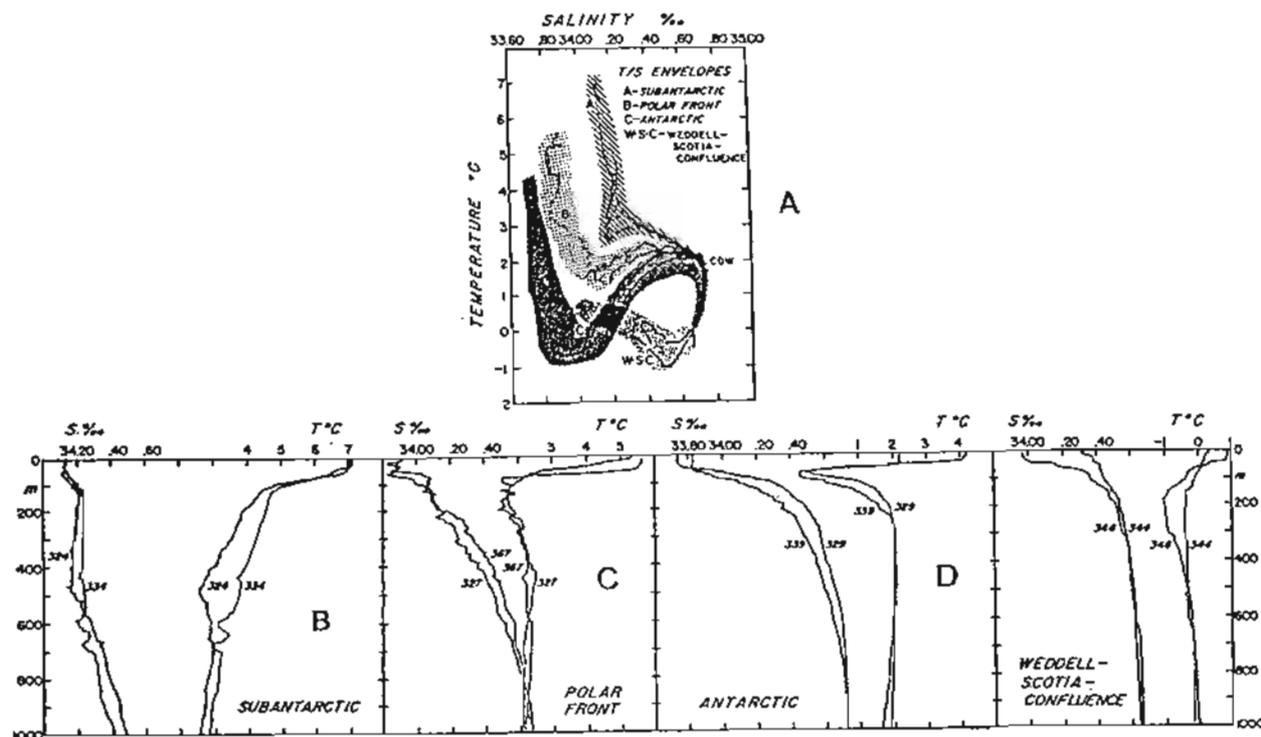


FIG. 14. — Enveloppe de T/S (A) et stratification thermohaline (B, C et D) dans différentes zones hydrologiques de la Mer de Scotia (Gordon *et al.*, 1977).

- une halocline bien marquée au-dessus de 200 m (fig. 14-D);
- des courbes T/S en forme de « S » couché (fig. 14-A).

#### IV.3.1.3. Zone Frontale Polaire Antarctique (ZFPA)

Elle est caractérisée par :

- la présence de multiples inversions de température et de salinité surtout entre 100 m et 400 m (fig. 14-C), ce qui indique la présence de processus actifs de mélange entre les Eaux Superficielles Antarctique et Subantarctique;
- une forme de courbes T/S intermédiaire entre celle de la Zone Subantarctique et celle de la Zone Antarctique (fig. 14-A).

IV.3.2. Ces trois zones hydrologiques sont séparées par deux fronts, régions étroites (~ 50 km) de forts gradients horizontaux de densité, qui s'étendent de la surface jusqu'au fond (fig. 15 et 16) :

- le Front Polaire Antarctique
- le Front Subantarctique.

#### IV.3.2.1. Front Polaire Antarctique

Il forme la limite Sud de la ZFPA et correspond :

- à la limite Nord de l'extension de « l'eau d'hiver », marquée dans la couche sub-superficielle (~ 100 m de profondeur) par un minimum de température (1° ou 2°C);
- à l'endroit où le minimum de température commence sa descente rapide.

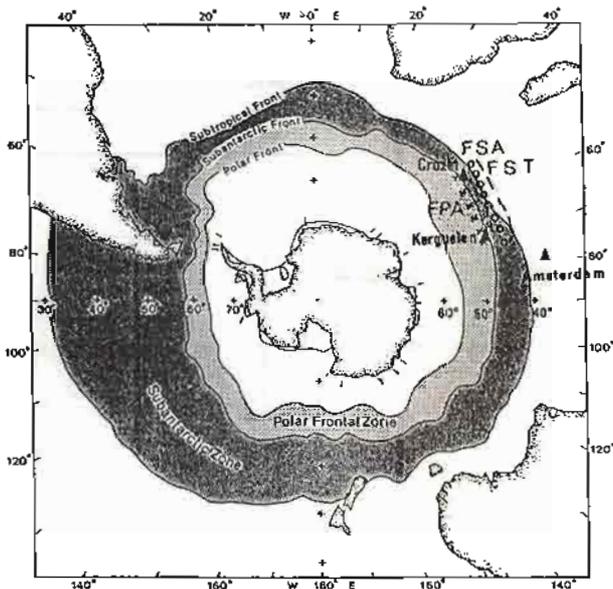


FIG. 15. — Subdivision des zones hydrologiques de l'Océan Austral (Nowlin et Klinck, 1986). Dans cette figure, les zones frontales du secteur Ouest de l'Océan Indien ne sont pas correctement représentées. Nous indiquons les positions des différents fronts déduits des travaux de Gambéroni *et al.* (1982) : FST (Front Sub Tropical), FSA (Front Sub Antarctique), FPA (Front Polaire Antarctique).

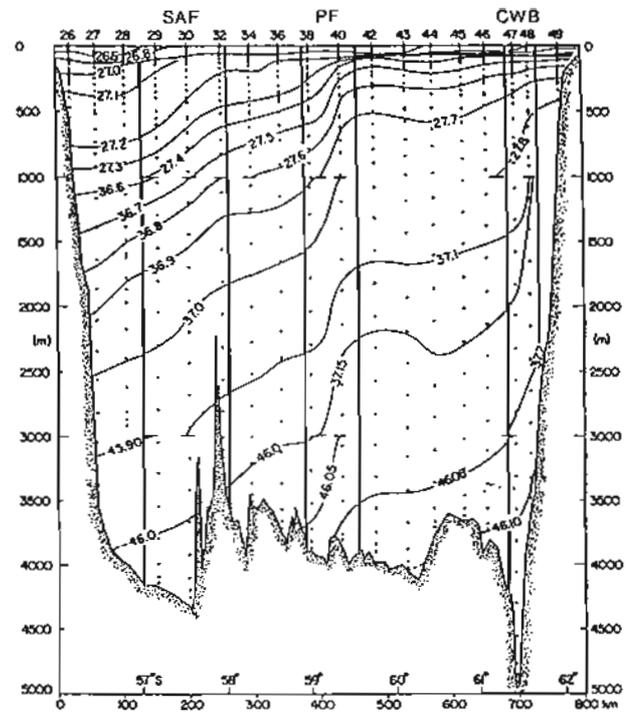


FIG. 16. — Coupe verticale de densité potentielle à travers le Passage de Drake, montrant les positions du Front Subantarctique (SAF), du Front Polaire Antarctique (PF), et de la Limite de l'Eau du Plateau (CWB) (Nowlin et Klinck, 1986).

#### IV.3.2.2. Front Subantarctique

Il forme la limite Nord de la ZFPA et correspond :

- à la descente rapide du minimum de salinité sub-superficielle (200 à 600 m de profondeur);
- aux forts gradients méridiens de température et de salinité en surface.

Ces deux fronts, surtout le Front Subantarctique, sont associés aux forts gradients méridiens de densité sur une coupe verticale (cisaillement géostrophique) et correspondent donc aux veines principales du courant circumpolaire (fig. 16 et 17).

Il est à noter que, dans le secteur Ouest de l'Océan Indien entre 50°E et 65°E, le Front Subtropical (Convergence Subtropicale) se rapproche du Front Subantarctique, définissant ainsi une zone caractérisée par un minimum de largeur (3° de latitude) de la Zone Subantarctique (voir fig. 15).

Dans leur étude des zones frontales de ce secteur Indien, Gambéroni *et al.*, (1982) ont déjà remarqué la particularité de la zone Crozet-Kerguelen; la Convergence Antarctique et la Convergence Subtropicale se rapprochent au maximum et peuvent être confondues en une seule zone de convergence, étendue sur seulement 2 à 3 degrés de latitude (entre 41° et 43°S vers 50°E; entre 43° et 46°S vers 66°E) (fig. 18).

Il semble que la limite Sud de la convergence qu'ils ont observée à 43°S vers 50°E et à 46°S vers

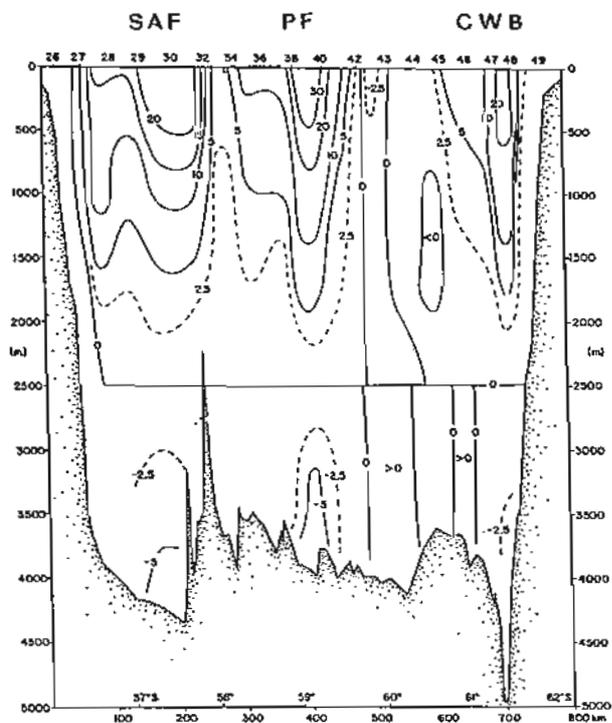


FIG. 17. — Courant géostrophique (cm/s) par rapport à 2500 db dans le Passage de Drake (Nowlin et Klinck, 1986). Les trois fronts de la figure 16 sont indiqués.

66°E correspond, en réalité, au Front Subantarctique.

Le front Polaire Antarctique dans ce secteur n'est pas associé aux forts gradients méridiens de densité mais, à partir de la limite Nord du minimum de température de 2°C, il peut être localisé entre 48° et 49°S.

Les positions des différents fronts dans cette zone Crozet-Kerguelen ne sont pas représentées

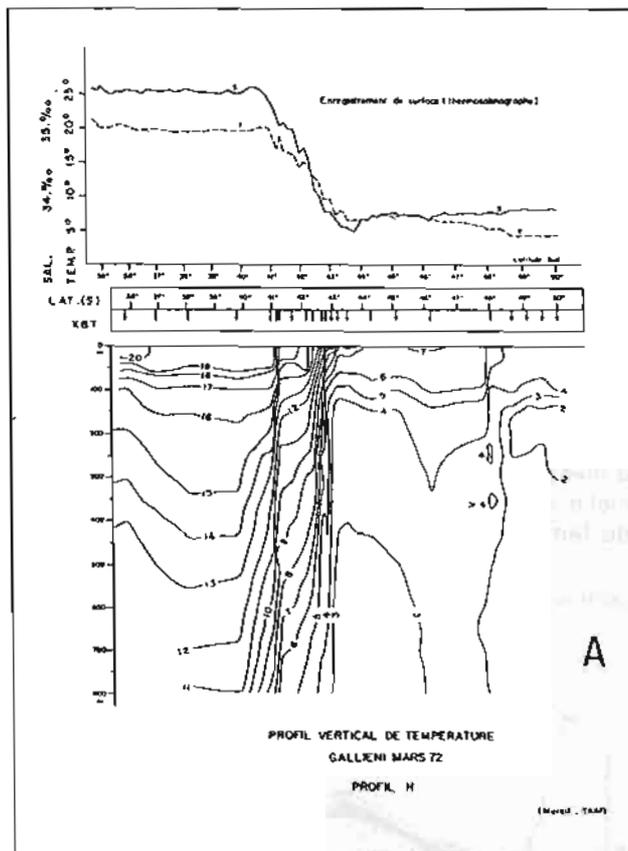
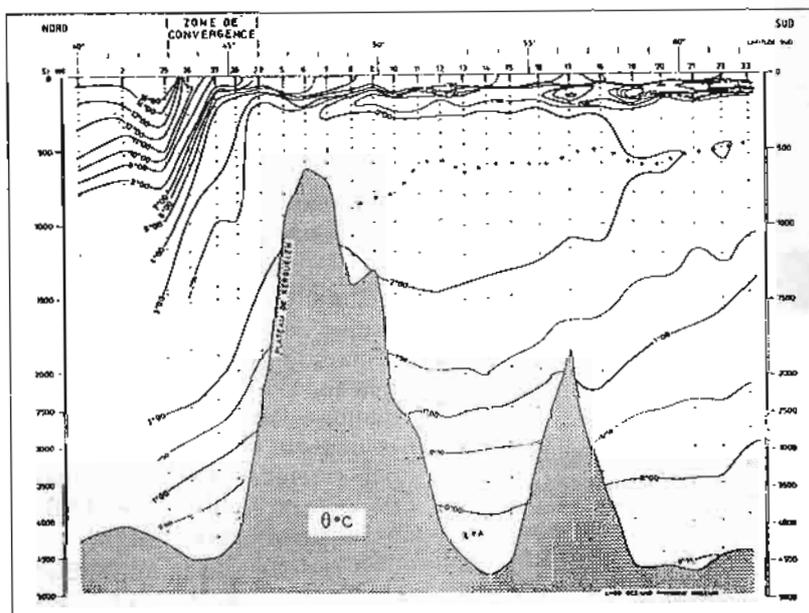


FIG. 18. — Coupe verticale de température; le long du profil H (« Gallieni », mars 1972) à l'Ouest de Crozet (A); le long des stations hydrologiques de la campagne Antipro I (mars 1977) à l'Ouest de Kerguelen (B) (Gamberoni *et al.*, 1982).



correctement dans le schéma de Nowlin et Klinck (fig. 15). Nous avons indiqué dans la même figure les fronts déduits des coupes hydrographiques de Gamberoni *et al.* : FST (Front SubTropical), FSA (Front SubAntarctique), FPA (Front Polaire Antarctique). Il est remarquable que ces trois fronts se situent tous au Nord des îles Kerguelen (49°S, 70°E), sur une étroite étendue de 6/7 degrés de latitude.

## V. FLUX DU COURANT CIRCUMPOLAIRE AN-TARCTIQUE

Le flux est un facteur déterminant dans la vérification ou le développement d'un modèle de circulation océanique.

Le problème fondamental des modèles théoriques et numériques pour l'Océan Austral est de trouver un équilibre dynamique du CCA qui permette, à partir des tensions de vent observées et qui constituent une force génératrice de mouvement, d'obtenir des valeurs raisonnables de flux.

Les estimations du flux du CCA faites avant les années 70 sont très variées suivant les auteurs, allant de - 15 Sv jusqu'à 240 Sv (in : Sarukhanyan, 1985; in : Nowlin et Klinck, 1986).

On remarque que ces désaccords viennent :

- des différents niveaux de référence choisis dans l'application de la méthode dynamique (par ex. : 2000 m, 3000 m, 3500 m, surface-zéro d'après la méthode de Defant, etc.);

- des différentes déterminations des limites du CCA (par ex., la séparation du CCA du Courant de Retour des Aiguilles dans le secteur Indien n'est pas toujours évidente !);

- du nombre insuffisant de courantomètres employés pour déterminer des vitesses de référence dans un système de courant de multiples structures;

- de la durée limitée des mesures de courant.

### V.1. Flux du CCA au Passage de Drake

Un des objectifs principaux des expériences dynamiques au Passage de Drake menées entre 1975 et 1980, dans le cadre du programme ISOS (International Southern Ocean Studies) était (Nowlin et Klinck, 1986) :

- d'obtenir une meilleure estimation du transport du CCA en employant des mouillages intensifs et de la longue durée (~ 1 an) des instruments de mesures de courant et de pression en profondeur conjointement avec des stations hydrologiques multipliées pour une résolution spatiale très fine jamais atteinte auparavant (~ 50 km).

Les différentes estimations du flux du CCA au Passage de Drake obtenues au cours des expériences ISOS sont résumées dans le Tableau 1.

La conclusion découlant de ces résultats est :

- le flux dans le Passage de Drake est assez bien défini grâce aux mesures intensives de courant, de pression en profondeur, et des paramètres hydrologiques;

- ce flux moyen : 130 Sv;

- la gamme de flux : 120-140 Sv.

### V.2. Flux du CCA dans les autres secteurs de l'Océan Austral

Excepté le Passage de Drake, les mesures directes de courant dans les différents secteurs de l'Océan Austral n'ont pas été réalisées systématiquement.

Tableau 1. — Estimations du flux du CCA au Passage de Drake

Auteurs	Flux estimés (Sv)	Niveaux de référence pour le calcul dynamique (m)	Mesures directes de courant pour la vitesse de référence
Nowlin <i>et al.</i> (1977)	124	2700	Mesures de courant à court-terme (3 semaines) sur 12 mouillages
Bryden et Pillsbury (1977)	139 ± 36	2700*	Mesures de courant à long-terme (1 an) sur 6 mouillages
Fandry et Pillsbury (1979)	127 ± 14	2700*	Mesures de courant à long-terme (35 semaines) sur 6 mouillages
Whitworth <i>et al.</i> (1982)	117 (Jan. 79) 137 (Apr. 79) 140 (Jan. 80)	2500	Mesures de courant à court-terme (3 semaines) sur 13 mouillages
Whitworth (1983)	118-146	500** 2500	Mesures à long-terme (1 an) de pression à 500 m et de courant sur 24 mouillages
Moyenne	131		

\* — Pour la valeur du flux géostrophique les auteurs ont adopté le résultat de Nowlin *et al.* (1977), 100 Sv;

— Dans le calcul de la vitesse de référence à 2 700 m, Bryden et Pillsbury ont utilisé la moyenne arithmétique, tandis que Fandry et Pillsbury ont employé, en utilisant les mêmes données, l'analyse dite « objective ».

\*\* — Niveau de référence pour la couche supérieure ( $z < 500$  m).

— La vitesse de référence à ce niveau (500 m) a été déterminée à partir de la différence de pression à travers le Passage de Drake.

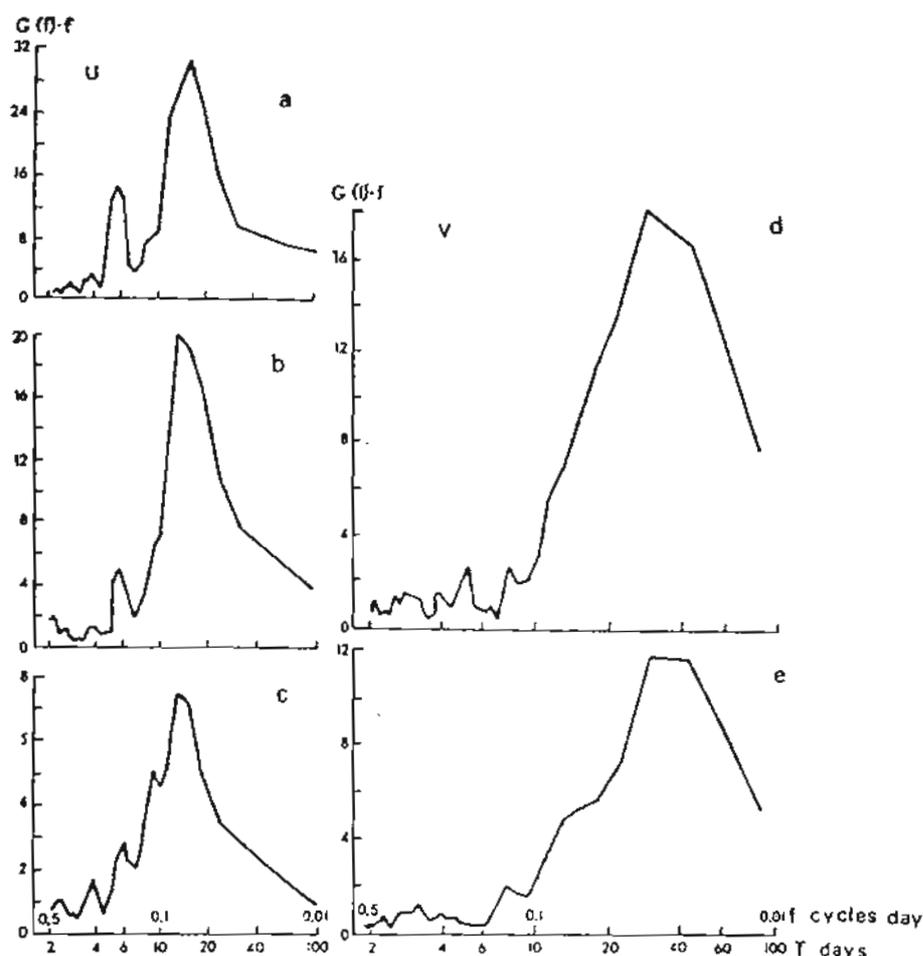


FIG. 19. — Densité spectrale du courant en profondeur au Passage de Drake; de la composante Est (U) (a, b, c); de la composante Nord (V) (d, e) (Sarukhanyan, 1985).

quement. Les estimations du flux ont été basées sur la méthode dynamique, en n'utilisant que des données hydrologiques.

Voici quelques estimations relativement récentes:

1) Le long du méridien 0°E  
162 Sv (entre 42° et 55°S) : Whitworth et Nowlin (1987)

2) Entre l'Afrique et l'Antarctique, 20/30°E  
● 140 Sv : Georgi et Toole (1982)  
● 168-197 Sv (entre 43 et 57°S) : Sarukhanyan (1985)  
● 142 Sv : Whitworth et Nowlin (1987)

3) Le long du méridien 66°30'E  
118 Sv (entre 43° et 62°S)\* : Gamberoni *et al.* (1982)  
(\* : dont 98 % passe entre 43° et 46°S)

4) Entre la Nouvelle Zélande et l'Antarctique, 170°E

- 139 Sv : Gordon (1975)
- 125 Sv : Georgi et Toole (1982)

Toutes ces estimations de flux géostrophique ont été calculées par rapport au fond ou aux immersions maximales de l'hydrologie (en général près du fond).

A part deux estimations relativement fortes, 162 Sv et 168-197 Sv, les flux estimés dans les différents secteurs de l'Océan Austral sont assez semblables à ceux du Passage de Drake (120-140 Sv).

Whitworth et Nowlin (1987) ont expliqué les différences de flux entre les secteurs :

— la différence entre le flux à 0°E (162 Sv) et celui du Passage de Drake (130 Sv) peut être attribuée à un apport d'eau venant du Nord (Eau Profonde Atlantique Nord);

— la différence entre 0°E (162 Sv) et 20°E (142 Sv) est due à un flux d'eau E → W, de l'Océan Indien vers l'Atlantique le long des côtes Sud de l'Afrique (Courant des Aiguilles).

## VI. VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DU COURANT CIRCUMPOLAIRE ANTARCTIQUE

On observe dans l'Océan Austral une forte variabilité spatio-temporelle de la circulation.

Nowlin, Bottero et Pillsbury (1986) ont calculé l'énergie cinétique de mouvements horizontaux à partir des enregistrements obtenus grâce à 84 courantomètres mouillés pendant 5 ans dans le Passage de Drake. Leurs résultats montrent que :

- l'énergie cinétique « tourbillonnaire » (partie variable) est presque deux fois plus importante (64 %) que l'énergie cinétique moyenne (36 %);
- 30 % de cette énergie cinétique « tourbillonnaire » se trouve dans la gamme de périodes,  $2J > T > 2h$  : les ondes d'inertie, de marées semi-diurnes et diurnes, et les ondes internes;
- 70 % dans la gamme de longues périodes,  $T > 2J$  : les tourbillons méso-échelles, les méandres, et les oscillations saisonnières.

### VI.1. Variabilité méso-échelle

#### VI.1.1. Echelle spatio-temporelle

La variabilité méso-échelle qui constitue la principale variabilité dans le système du CCA a :

- une échelle temporelle de  $100 J > T > 2J$ ;
- une échelle spatiale de  $1000 km > L > 30 km$ .

L'analyse spectrale des mesures de courant dans le Passage de Drake montre trois bandes de fréquences bien distinctes (Sarukhanyan, 1985; fig. 19) :

- 1) 5-6 J : associée au passage de cyclones de forte intensité (origine atmosphérique)
- 2) 14 J : associée à la marée astronomique semi-mensuelle ( $M_2$ )
- 3) 30-60 J : associée aux méandres des veines principales du CCA.

Les fluctuations à la période de 14 J ont été fréquemment observées, surtout par grandes profondeurs ( $\sim 2500 m$ ) au Passage de Drake (Bryden et Pillsbury, 1977; Whitworth et Peterson, 1985; Inoue, 1985).

En utilisant les enregistrements de courantomètre obtenus durant 1979 dans le Passage de Drake, Inoue (1985) a décrit la structure verticale des courants de basse-fréquence en termes de modes « dynamiques » et « empiriques ». En effet, la structure verticale du courant au Passage peut être décomposée, approximativement, en deux principaux modes dynamiques, le mode barotrope et le 1<sup>er</sup> mode barocline, qui représentent la quasi-totalité (83-98 %) de la variance du courant. Le 1<sup>er</sup> mode « empirique » contenant plus de 90 % de la variance du courant et qui manifeste une intensification du courant dans la couche superficielle est une combinaison essentiellement, de

deux principaux modes dynamiques. L'échelle temporelle de 20-50 J est représentative pour la variabilité de ce mode empirique (Inoue, 1985).

Les échelles spatiales du courant et de la température dans le Passage de Drake ont été analysées par Sciremammano *et al.*, (1980), à partir des données de 3 ans de courantomètres. Leurs résultats montrent que :

- l'échelle horizontale de la fluctuation de température : 80 km;
- l'échelle horizontale de vitesse :
  - 30-40 km, dans la direction perpendiculaire au courant,
  - 55-80 km, dans la direction parallèle au courant;
- les fluctuations observées sont liées aux déplacements latéraux des fronts ou des tourbillons.

L'échelle spatiale des méandres est beaucoup plus longue, de 200-500 km. Le spectre en longueur d'onde déduit de l'altimétrie indique que le maximum d'énergie se trouve à une échelle spatiale de 220-250 km (Fu, 1983; Danialt et Ménard, 1985).

#### IV.1.2. Répartition géographique de forte variabilité

L'ensemble des résultats de l'analyse des champs turbulents déduits de la trajectoire des bouées dérivantes (Danialt et Ménard 1985; Patterson, 1985), de l'altimétrie satellitaire avec l'hypothèse « géostrophique » (Cheney *et al.*, 1983; Danialt et Ménard, 1985), et de l'anomalie géopotentielle (Lutjeharms et Baker, 1980) montre que la forte variabilité d'énergie cinétique se trouve (voir figs. 20 et 21) :

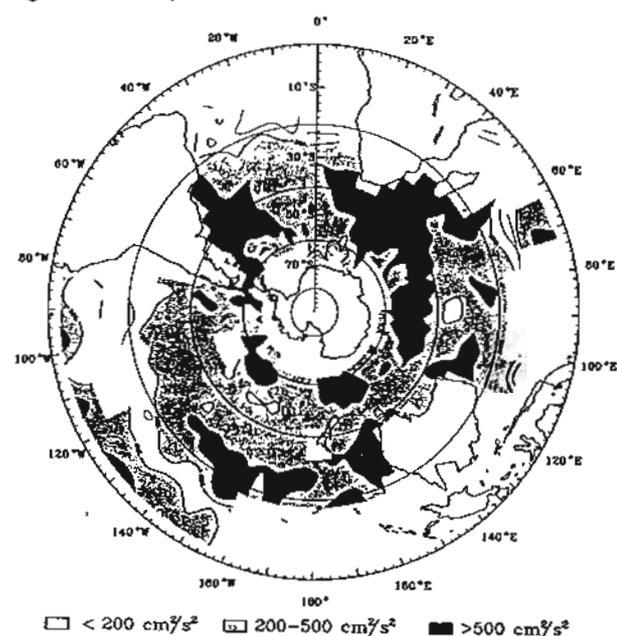


FIG. 20. — Distribution d'énergie cinétique tourbillonnaire, déduite de la trajectoire des bouées dérivantes (Patterson, 1985).

## SEASAT ALTIMETER MESOSCALE VARIABILITY

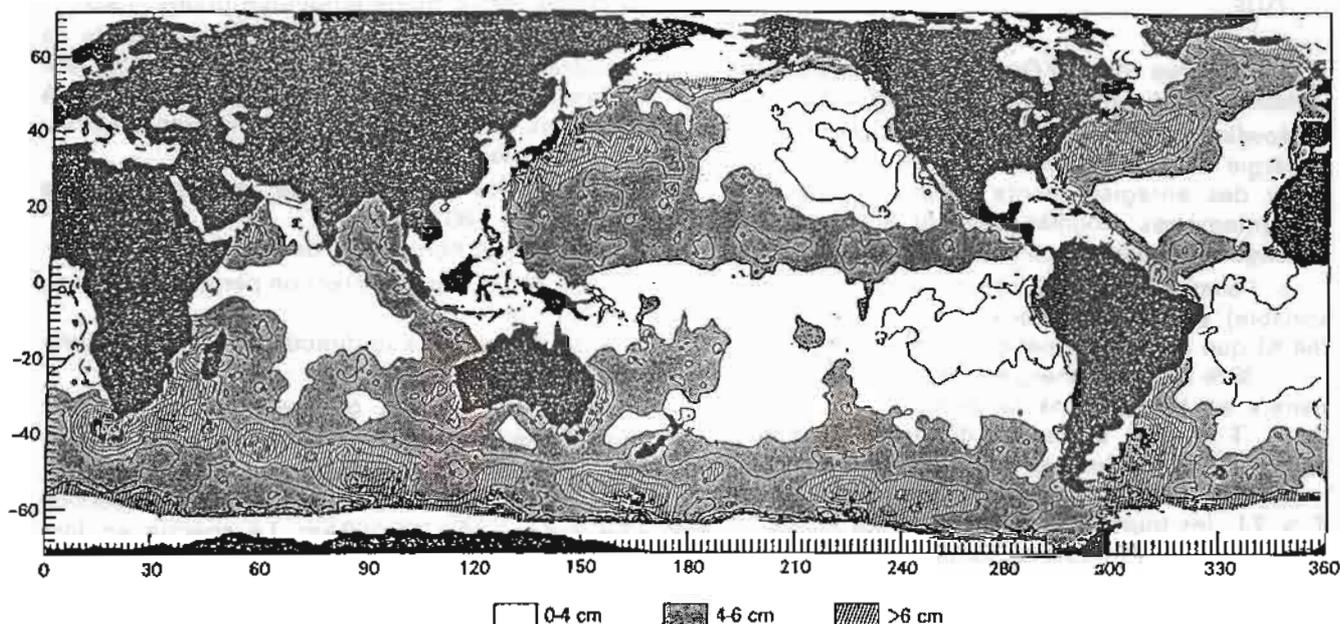


FIG. 21. — Variabilité méso-échelle de topographie de la surface marine, déduite de l'altimétrie satellitaire (SEASAT, septembre-octobre 1978) (Cheney *et al.*, 1983).

1) en aval des accidents topographiques :

- Plateau des Aiguilles (35°S, 20°E)
- Plateau des îles Crozet (45°S, 50°E)
- Plateau des Kerguelen (43°S, 68°E)
- Dorsale Médiane Antarctique Indien (50°S, 80/110°E)
- Dorsale des Macquarie/Plateau de Campbell (55°S, 150/170°E)
- Zone de Fractures Eltanin (55°S, 120°W)
- Arc de Scotia (60°S, 50°W);

2) dans les zones de convergence de différents courants :

- au Sud de l'Afrique (40°S, 20/60°E) où le Courant de Retour des Aiguilles (courant chaud) rencontre le CCA (courant froid); c'est dans cette région qu'on trouve la plus forte variabilité;
- à l'Ouest du Bassin d'Argentine (40°S, 40°W) où le Courant du Brésil (courant chaud) rencontre le Courant de Falkland (courant froid);

3) aux frontières Ouest

- Côte Est de l'Argentine
- Côte Est de l'Afrique Sud
- Côte Est de l'Australie Sud.

Il est à noter que le secteur Indien entier est le siège privilégié d'une forte variabilité d'énergie cinétique ( $> 500 \text{ cm}^2/\text{S}^2$ ) tandis que le secteur Pacifique et la région centrale du secteur Atlantique montrent une variabilité beaucoup moins importante ( $200\text{-}500 \text{ cm}^2/\text{S}^2$ ) (voir fig. 20).

Il semble que la forte variabilité dans le secteur Indien est liée aux trois facteurs suivants :

- 1) l'existence de nombreux accidents topographiques (Plateaux des Aiguilles, des îles Crozet et des Kerguelen, et Dorsale Est-Indienne),
- 2) la convergence de deux courants importants (le Courant de retour des Aiguilles et le CCA),
- 3) la tension du vent la plus élevée de l'Océan Austral (voir fig. 5).

### IV.1.3. Méandres et tourbillons méso-échelle

#### IV.1.3.1. Méandres

Les trajectoires de bouées dérivantes de la FGGE, First GARP (Global Atmospheric Research Program) Global Experiment : 1978-1979, analysées par Daniault (1984; fig. 22) et Patterson (1985) montrent la présence de méandres plus ou moins importants dans tout le système du CCA. Les méandres les plus importants se trouvent en aval des accidents topographiques.

Daniault (1984) a donné les caractéristiques des méandres observés en aval du Plateau des îles Crozet et de la Discordance Antarctique :

- amplitude : 75-90 km
- longueur d'onde : 460-500 km

Elle a comparé ces longueurs d'ondes observées avec l'échelle spatiale des ondes de Rossby topographiques :

$$L = 2\pi (U/\beta)^{1/2}$$

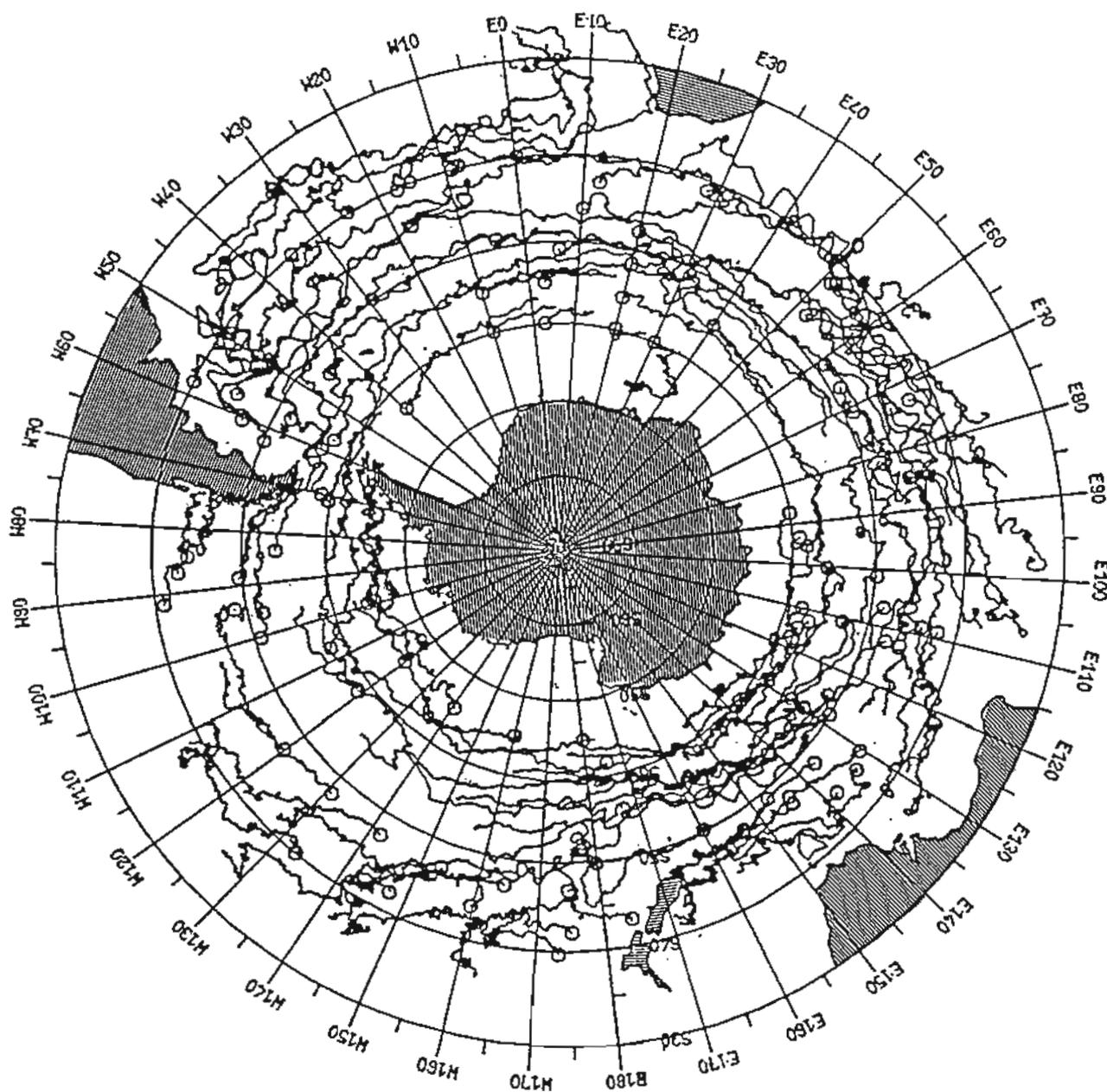


FIG. 22. — Dérive des bouées de la FGGE, 1978-1979 (Danialt, 1984).

où  $U$  est la vitesse typique du fluide,  $\beta = df/dy$  la variation du paramètre de Coriolis ( $f$ ) en fonction de la latitude ( $y$ ).

Pour un courant typique de 10 cm/s, la théorie prévoit  $L = 500-550$  km, entre 44°S et 55°S.

#### IV.1.3.2. Tourbillons méso-échelle

Les tourbillons observés dans la zone du CCA présentent les caractéristiques suivantes (voir Tableau 2) :

- Diamètre : de l'ordre de 50 km, allant de 30 km à 130 km;
- Vitesse de rotation du fluide : de l'ordre de 40 cm/s en surface;

— Tous ces tourbillons s'étendent jusqu'en grande profondeur (2500 m ou plus), avec une vitesse de rotation diminuant progressivement;

— La majeure partie de ces tourbillons ont été observés dans la Zone Frontale Polaire Antarctique.

La genèse des tourbillons, leurs mouvements et leurs dissipations éventuels représentent un mécanisme d'échange de chaleur, de sel et de quantité de mouvement à travers les fronts du CCA (Bryden, 1979; Joyce *et al.*, 1981; Georgi et Toole, 1982; Pillsbury et Bottero, 1984; Inoue, 1985).

Bryden (1979) a estimé un flux de chaleur

Tableau 2. — Tourbillons méso-échelle observés dans la zone du CCA

Région	Diamètre (km)	Vitesse de rotation du fluide (cm/s)	Auteurs
Passage de Drake	60-80	30-40	Joyce et Patterson (1977)
Passage de Drake	100	40	Joyce <i>et al.</i> (1981)
Passage de Drake	50-60	—	Peterson <i>et al.</i> (1982)
Passage de Drake	30-130	20 (à 1000 m) 10 (à 2500 m)	Pillsbury et Bottero (1984)
Sud de Madagascar	50	42	Daniault (1984)
Sud de l'Australie	100-120	40	Savchenko <i>et al.</i> (1978)
Sud de la Nouvelle Zélande	60	20 (à 1000 m)	Bryden et Heath (1985)

considérable vers le pôle dû aux mouvements des méandres et des tourbillons méso-échelle. Il a suggéré que le processus d'instabilité barocline peut être le mécanisme de production de tourbillons dans l'Océan Austral. Inoue (1985) a remarqué que la structure verticale des courants de basse fréquence au Passage de Drake manifeste la forte activité d'instabilité barocline.

## VI.2. Fluctuations saisonnières du CCA

### VI.2.1. Variabilité semi-annuelle

Les oscillations semi-annuelles du vent et de la pression atmosphérique sur l'Océan Austral sont bien connues (Van Loon, 1972; Van Loon et Shea, 1987).

L'oscillation semi-annuelle du gradient méridien de pression atmosphérique (ou du vent géostrophique) présente un déphasage ( $\sim 180^\circ$ ) à travers la latitude  $50^\circ\text{S}$  (fig. 23) :

- au Nord de  $50^\circ\text{S}$  (par ex., entre le port Elizabeth ( $33^\circ\text{S}$ ) et l'île Marion ( $47^\circ$ ), les pics sont dans les saisons extrêmes (juin et décembre);
- au Sud de  $50^\circ\text{S}$  (par ex., entre l'île Marion ( $47^\circ\text{S}$ ) et la station Syowa ( $69^\circ\text{S}$ ), les pics sont dans les saisons transitoires (mars et septembre).

Les auteurs Van Loon et Shea ont démontré schématiquement que ce changement de phase dans les oscillations semi-annuelles du vent de part et d'autre de la latitude  $50^\circ\text{S}$  est lié aux déplacements semi-annuels Nord-Sud des dépressions péri-antarctiques.

On trouve aussi la variabilité semi-annuelle dans les mesures de courant. A partir des mesures de pression à 500 m de profondeur durant 3 ans (1976-1978) sur les bords Nord et Sud du Passage de Drake, Wearn et Baker (1980) ont indiqué que la fluctuation semi-annuelle dominante (avec les pics en mars et en septembre) existe :

- sur le bord Sud (fig. 24C);
- pour la variation de la tension moyenne circumpolaire du vent (fig. 24D);

tandis que le cycle annuel (avec les pics en septembre) est très net :

- sur le bord Nord (fig. 24A);
- dans la différence de pression à travers le passage (fig. 24B).

### VI.2.2. Variabilité annuelle

En utilisant une relation linéaire (modèle linéaire) entre la différence de pression à 500 m et le flux géostrophique, Whitworth et Peterson (1985) ont obtenu une série temporelle (1979-1982) de flux au Passage de Drake (fig. 25). Ce modèle

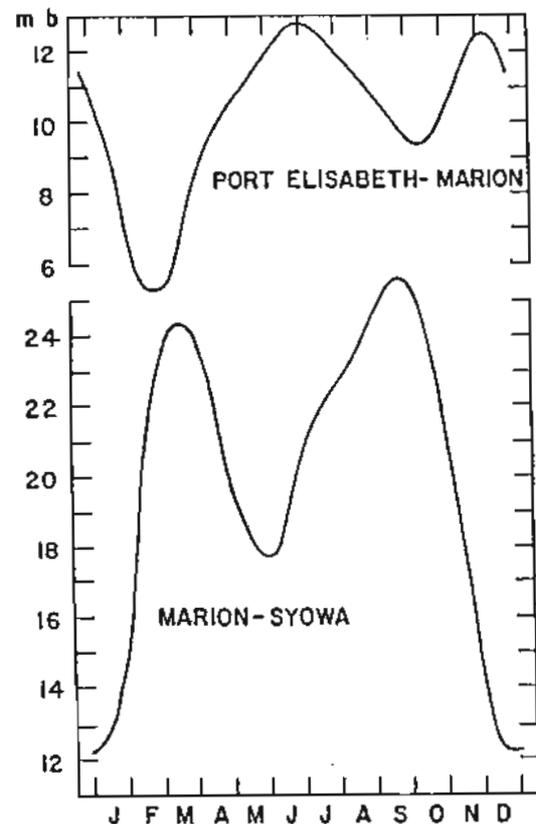


FIG. 23. — Variation saisonnière de différence de pression atmosphérique entre le Port Elizabeth ( $33^\circ\text{S}$ ), île Marion ( $47^\circ\text{S}$ ), et la station Syowa ( $69^\circ\text{S}$ ) (van Loon et Shea, 1987).

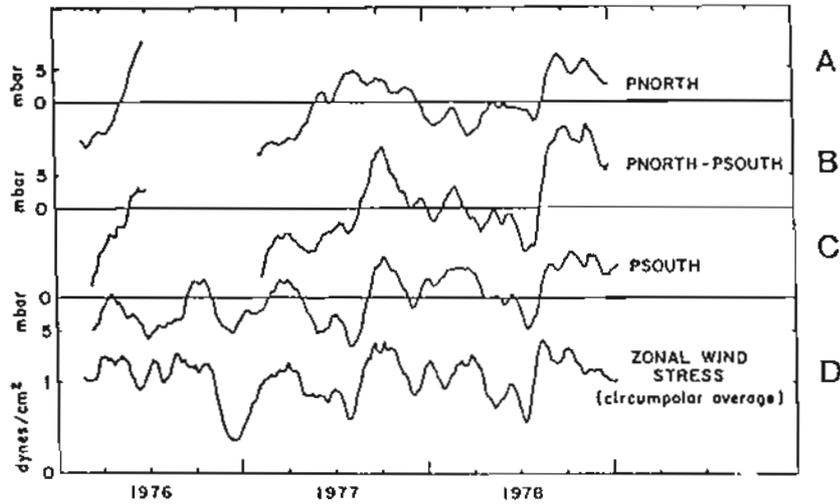


FIG. 24. — Données filtrées (par une moyenne mobile sur 28 J) de pression à 500 m de profondeur dans le Passage de Drake et du vent : A — pression sur le bord Nord; B — différence de pression à travers le Passage; C — pression sur le bord Sud (la courbe étant inversée); D — tension du vent zonal moyen circumpolaire (Wearn et Baker, 1980).

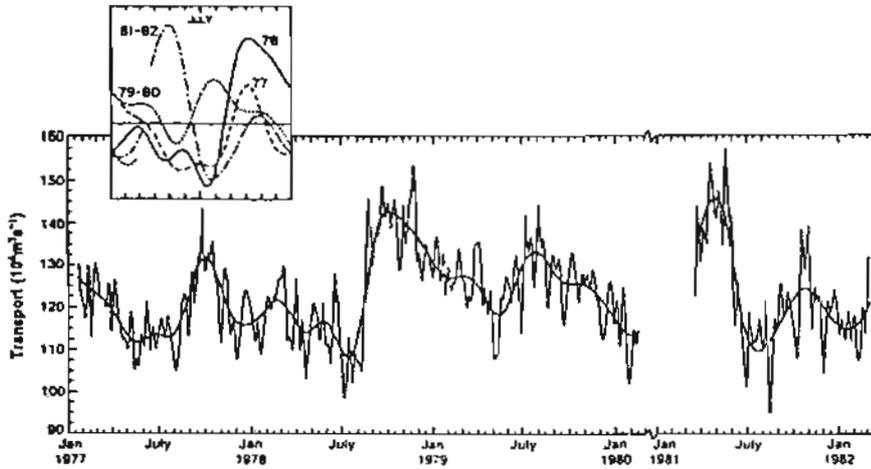


FIG. 25. — Modèle linéaire de transport à travers le Passage de Drake. Courbe à hautes fréquences : transport filtré par une moyenne sur 10 J; courbe lisse : transport filtré par une moyenne sur 90 J. Les segments annuels des séries de basses fréquences (moyenne sur 90 J) sont indiqués dans l'insertion sur la figure (Whitworth et Peterson, 1985).

prévoit une forte variabilité annuelle du flux, à laquelle se superpose des fluctuations semi-annuelles et de hautes fréquences. Les résultats importants de ce modèle sont les suivants :

- la gamme de fluctuations maximales annuelles : 95-158 Sv,
- la gamme de fluctuations à basses fréquences : 110-145 Sv,
- la valeur moyenne du flux : 123 Sv,
- la saison du maximum de flux : septembre-octobre,
- la saison du minimum de flux : juillet,
- la variabilité semi-annuelle n'apparaît d'une manière très claire qu'en 1981-1982, avec :
  - les maxima en mai et en octobre,
  - les minima en juillet et en janvier,

— les différences interannuelles sont grandes, l'année 1979-1980 étant très différente des autres années.

### VI.2.3. Réponse de l'Océan Austral au vent

Quelques efforts ont été faits pour trouver un couplage dynamique entre le flux du CCA et le vent circumpolaire.

Wearn et Baker (1980) ont interprété les mesures de pression (1976-1978) à 500 m dans le Passage de Drake (fig. 24) en termes de fluctuations de flux. L'analyse spectrale croisée montre que (fig. 26) :

— les fluctuations à des périodes supérieures à 30 jours sont plus fortement corrélées avec le vent moyen circumpolaire qu'avec le vent local;

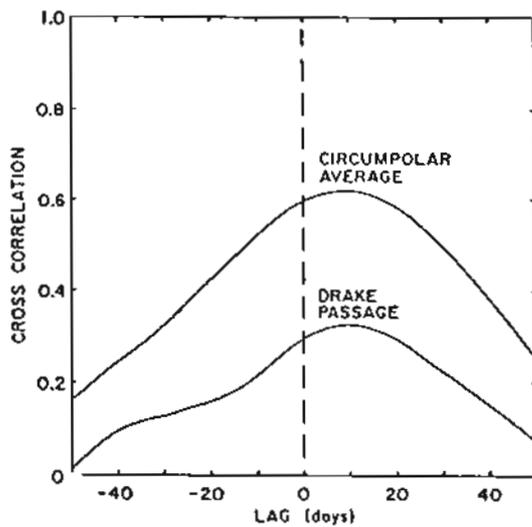


FIG. 26. — Corrélations croisées entre la tension du vent moyenne circumpolaire et la différence de pression à travers le Passage de Drake (Pnorth-Psouth) d'une part, et entre la tension du vent local au Passage de Drake et la différence de pression d'autre part (Wearn Baker, 1980).

— le flux (ou la différence de pression) accuse un retard de 9 jours par rapport au vent.

Ce « déphasage » de 9 jours s'accorde bien avec le temps d'ajustement barotrope de 7 jours déduit de leur modèle simple de la réponse.

Ils ont suggéré que les fluctuations de transport, de périodes de 30 jours ou plus, sont engendrées plutôt par le vent global circumpolaire que par le vent local; la réponse de l'Océan Austral au vent, dans cette gamme de périodes, est pratiquement barotrope et celle-ci doit être cohérente tout le long du système circumpolaire.

Whitworth (1983) a comparé le vent moyen circumpolaire avec le flux géostrophique au Passage de Drake, pour l'année 1979. L'analyse spectrale croisée indique que les deux séries sont cohérentes (au niveau de confiance statistique 95 %) :

- à des périodes de 16 jours à 24 jours;
- avec un déphasage de 17 jours.

Une autre comparaison faite par le même auteur (*in*: Nowlin et Klinck, 1986) entre la différence de pression à 500 m pour les années 1977-1979 et le vent moyen circumpolaire indique que les deux séries sont cohérentes;

- à des périodes de 15 jours à 30 jours;
- avec un déphasage de 3 jours.

En faisant l'analyse théorique de la dynamique à grande échelle ( $T > 1$  mois,  $L \sim 7000$  km), Clarke (1982) a démontré que la réponse de l'Océan Austral avec le temps d'ajustement de 9 jours et dans une gamme de périodes d'un mois ou plus ( $1 \text{ mois} < T \ll 2 \text{ ans}$ ) est purement barotrope, et qu'elle est fortement corrélée avec le vent moyen circumpolaire. Ces résultats sont en très bon

accord avec les observations de Wearn et Baker (1980).

Par ailleurs il a été démontré aussi que la composante barocline du transport ne varie pas sensiblement dans une gamme de périodes de quelques années ( $2 \text{ mois} \ll T \ll 70 \text{ ans}$ ). Autrement dit le courant barocline et la densité dans l'Océan Austral ne peuvent varier de façon intensive que sur une échelle de temps de 100 ans.

Chelton (1982) a critiqué sévèrement les résultats de Wearn et Baker (1980). Il a suggéré que la forte corrélation de Wearn et Baker entre le flux et le vent moyen circumpolaire peut être due largement à la présence d'un fort signal semi-annuel dans les deux séries temporelles (vent et flux).

Il a démontré que la présence d'une bande étroite du signal énergétique dans les deux séries temporelles peut réduire considérablement la confiance statistique dans une analyse de la corrélation croisée, à cause de la diminution du nombre effectif de degrés de liberté.

Il a suggéré qu'un filtrage préalable du signal semi-annuel dans les deux séries serait nécessaire afin de garantir une meilleure confiance statistique.

## VII. RÉSUMÉ ET DISCUSSION

### VII.1. Hydrologie

Classiquement, l'Océan Austral est subdivisé en deux zones hydrologiques, Zone Antarctique et Zone Subantarctique, séparées par une frontière : La Convergence Antarctique.

Des études hydrologiques récentes et détaillées montrent que le CCA se manifeste par plusieurs bandes étroites d'écoulements rapides, associées aux fronts thermohalins. Les zones hydrologiques dans le Passage de Drake sont relativement bien définies grâce aux mesures intensives des paramètres hydrologiques et du courant depuis les années 70. Une nouvelle subdivision des zones hydrologiques a été proposée : Zone Antarctique, Zone Frontale Polaire Antarctique, et Zone Subantarctique. La Zone Frontale Polaire Antarctique qui remplace le concept classique de la Convergence Antarctique est séparée des Zone Antarctique et Zone Subantarctique par deux fronts, régions étroites ( $\sim 50$  km) de forts gradients horizontaux de densité : Front Polaire Antarctique et Front Subantarctique. Plusieurs critères ont été adoptés pour déterminer la position de chacune de ces zones frontales.

L'hydrologie dans les autres secteurs de l'Océan Austral n'est pas encore bien exploitée mais quelques observations récentes dans les

zones frontales du secteur Ouest de l'Océan Indien mettent en évidence la particularité de la zone Crozet-Kerguelen. Dans ce dernier secteur le Front Subantarctique et le Front Subtropical se rapprochent au maximum et peuvent être confondus en une seule zone frontale, étendue sur seulement 2 à 3 degrés de latitude. La quasi totalité du CCA passe dans cette zone frontale. Tandis que le Front Polaire Antarctique n'est pas associé ici aux forts gradients horizontaux de densité et non plus aux veines principales du CCA; il s'approche, néanmoins, très près (2 à 3 degrés) du Front Subantarctique.

Pour obtenir une meilleure description de la structure hydrologique tout au long du CCA, des mesures détaillées et répétitives des paramètres hydrologiques et de courant dans plusieurs secteurs de l'Océan Austral seront nécessaires.

## VII.2. Flux

Une bonne estimation du flux est très importante car le flux est un facteur déterminant dans la vérification ou le développement d'un modèle de circulation océanique.

Le flux du CCA dans le Passage de Drake est assez bien déterminé grâce aux mesures intensives de courant, de pression en profondeur et des paramètres hydrologiques. Le flux moyen y est voisin de 130 Sv; les estimations récentes de différents auteurs sont très semblables avec des valeurs variant entre 120 et 140 Sv.

Dans les autres secteurs de l'Océan Austral des mesures directes de courant ne sont pas encore disponibles et les estimations du flux reposent essentiellement sur la méthode dynamique, en utilisant seulement des données hydrologiques. Les estimations du flux sont assez variées suivant les auteurs et les secteurs, allant de 120 Sv à 200 Sv. Ces désaccords découlent essentiellement des différentes déterminations des limites du CCA et de l'absence de mesures directes de courant.

Là aussi, une meilleure estimation du flux dans les différents secteurs de l'Océan Austral nécessite des mesures intensives de courant, conjointement avec des stations hydrologiques à résolution spatiale très fine.

## VII.3. Variabilité du CCA

L'Océan Austral présente une forte variabilité spatio-temporelle de la circulation. Les mesures de courant, le suivi des bouées dérivantes et l'altimétrie satellitaire montrent que l'énergie cinétique tourbillonnaire est beaucoup plus importante que l'énergie cinétique moyenne.

La forte variabilité d'énergie cinétique est associée aux accidents topographiques, à la convergence de différents courants et aux effets des

bords Ouest. Le secteur Indien, où il existe de nombreux accidents topographiques, où convergent deux courants importants (le Courant de Retour des Aiguilles et le CCA), et où règne le vent le plus fort de l'Océan Austral, est le siège privilégié d'une forte variabilité.

La variabilité méso-échelle (tourbillons méso-échelles, méandres etc.) qui constitue la principale variabilité dans le système du CCA a une échelle temporelle de  $100 \text{ J} > T > 2 \text{ J}$  et une échelle spatiale de  $1000 \text{ km} > L > 30 \text{ km}$ . Des tourbillons de diamètre de l'ordre de 50 km et de vitesse de rotation de fluide de l'ordre de 40 cm/s en surface ont été fréquemment observés dans la Zone Frontale Polaire Antarctique. Les méandres les plus importants avec une longueur d'onde de l'ordre de 500 km se trouvent en aval des accidents topographiques.

On estime que cette variabilité méso-échelle dans les zones frontales du CCA joue un rôle primordial dans l'échange de chaleur entre l'Océan Austral et l'atmosphère et donc dans le changement du climat mondial à l'échelle planétaire.

Le CCA présente aussi une forte variabilité annuelle, à laquelle se superposent des fluctuations semi-annuelles et de haute fréquence. Il serait très intéressant de rechercher pourquoi la variabilité semi-annuelle du CCA n'est pas aussi nette que celle du vent ou de la pression atmosphérique dans l'Océan Austral.

Récemment quelques efforts ont été faits pour trouver un couplage dynamique entre le CCA et le vent circumpolaire. Mais les résultats sont assez variés suivant les auteurs et la durée des données utilisées. Pour mieux étudier la réponse de l'Océan Austral au vent circumpolaire, une intensification des mesures de courant et de pression en profondeur durant une période suffisamment longue (au moins 5 à 10 ans) et l'intercomparaison des résultats entre les différents secteurs de l'Océan Austral doivent être effectuées. L'analyse des données de l'altimétrie satellitaire sera aussi très utile pour cette étude.

## BIBLIOGRAPHIE

- BAKER (1982). — J.M.R., 40, suppl., 21-26.  
BRYDEN et PILLSBURY (1977). — J.P.O., 7, 803-810.  
BRYDEN (1979). — J.M.R., 37, 1-22.  
BRYDEN et HEALTH (1985). — *Prog. Océanogr.*, 14, 65-87.  
CHELTON (1982). — D.S.R., A, 29 (11), 1381-1388.  
CHEYNEY, MARSH et BECKLEY (1983). — J.G.R., 88 (C7), 4243-4354.  
CLARKE (1982). — J.P.O., 12, 1092-1105.  
DANIAULT (1984). — *Thèse Doct. Ingénieur*, Univ. Bretagne Occidentale, Brest.  
DANIAULT et MENARD (1985). — J.G.R., 90 (C6), 11877-11889.

- DEACON (1984). — *The Antarctic Circumpolar Ocean*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- EMERY (1977). — J.P.O., 7 (6), 811-822.
- FANDRY et PILLSBURY (1979). — J.P.O., 9 (3), 449-455.
- FU (1983). — J.G.R., 88 (C7), 4331-4341.
- GAMBERONI, GERONIMI, JEANNIN et MURAIL (1982). — *Oceanologica Acta*, 5 (3), 289-299.
- GEORGI et TOOLE (1982). — J.M.R., 40, suppl., 183-197.
- GILL (1973). — D.S.R., 20, 111-140.
- GORDON (1974). — *Colloques Internationaux du CNRS*, n° 215, 33-47.
- GORDON (1975). — D.S.R., 22, 357-377.
- GORDON, GEORGI et TAYLOR (1977). — J.P.O., 7 (3), 309-328.
- GORDON, MOLLINELLI et BAKER (1978). — J.G.R., (C6), 3023-3032.
- GORDON, MOLLINELLI et BAKER (1982). — *Southern Ocean Atlas*, Columbia Univ. Press, New York.
- INOUE (1985). — J.P.O., 15, 1157-1181.
- JOYCE et PATTERSON (1977). — *Nature*, 265 (5590), 131-133.
- JOYCE, PATTERSON et MILLARD (1981). D.S.R., A, 28 (11), 1265-1287.
- LUTJEHARMS et BAKER (1980). — D.S.R., A, 32 (12), 1499-1510.
- NOWLIN, WHITWORTH et PILLSBURY (1977). — J.P.O., 7 (6), 788-802.
- NOWLIN et CLIFFORD (1982). — J.M.R., 40, suppl., 481-507.
- NOWLIN et KLINCK (1986). — *Rev. Geophys.*, 24 (3), 469-491.
- NOWLIN, BOTTERO et PILLSBURY (1986). — J.P.O., 16 (1), 87-108.
- PARK (1987). — *Rapport Interne LOP/MNHN*, n° 87-01.
- PATTERSON (1985). — J.P.O., 15 (7), 865-884.
- PETERSON, NOWLIN et WITHWORTH (1982). — J.G.R., 12 (7), 712-719.
- PILLSBURY et BOTTERO (1984). — J.M.R., 42, 853-874.
- SARUKHANYAN (1985). — *Structure and Variability of the Antarctic Circumpolar Current*, Amerind, New Delhi.
- SARUKHANYAN et SMIRNOV (1985). — *Investigations of the POLEX South — 78 Program*, Amerind, New Delhi.
- SAVCHENKO, EMERY et VLADIMIROV (1978). — J.P.O., 8, 825-837.
- SCIREMAMMANO, PILLSBURY, NOWLIN et WHITWORTH (1980). — J.G.R., 85 (C7), 4015-4028.
- SEABROOKE, HUFFORD et ELDER (1971). — J.G.R., 76 (09), 2164-2178.
- TCHERNIA (1978). — *Océanographie Régionale*, ENSTA, Paris.
- VAN LOON (1972). — D.S.R., 19, 525-527.
- VAN LOON et SHEA (1987). — *Scientific Seminar on Antarctic Ocean Variability and its Influence on Marine Living Resources, particularly Krill*, IOC, Paris.
- WEARN et BAKER (1980). — D.S.R., A, 27 (11), 875-888.
- WHITWORTH, NOWLIN et WORLEY (1982). — J.P.O., 12, 960-971.
- WHITWORTH (1983). — J.P.O., 13, 2045-2057.
- WHITWORTH et PETERSON (1985). — J.P.O., 15 (6), 810-816.
- WHITWORTH et NOWLIN (1987). — J.G.R., 92 (C6), 6462-6476.
- WYRTKI (1960). — *Dtsch. Hydrogr. Z.*, 3, 153-173.

# ÉTUDE DES POSSIBILITÉS DE TASSEMENT D'UN SOL SOUS-MARIN PAR MOYENS ACOUSTIQUES

JUIN 1987

par

J.-M. DAUPLEIX\*, Br. DUPONT\*\*, J.-P. LONGUEMARD\*\* et J. PATOT\*

## RÉSUMÉ

Le tassement ( $\varepsilon$ ) d'un sol sous l'effet d'une contrainte verticale se fait suivant deux modes (instantané :  $\varepsilon_0$  et retardé :  $\Delta\varepsilon$ ). L'équation générale qui régit ce comportement est de la forme :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon \left( 1 - \exp - \frac{t}{\tau} \right)$$

D'après la théorie générale du tassement, on peut écrire que la déformation  $\varepsilon$  d'un corps viscoélastique est reliée à la contrainte effective par :

$$\sigma' = E' f(v) \varepsilon$$

où :

- $E'$  est le module oedométrique,
- $\sigma'$  est la contrainte effective.

Or,  $E'$  est relié au module de Young par une expression prenant le coefficient de Poisson  $\nu$  en compte :

$$f(\nu) \cdot E' = E \quad \text{avec} \quad f(\nu) = \left( 1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu} \right)$$

Or, la célérité des ondes de compression ( $C_L$ ) est fonction de  $E$  et de la masse volumique  $\rho$ , soit :

$$C_L = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

Le sujet proposé concerne la prévision du tassement du fond sous-marin  $\varepsilon$  à partir de deux types de mesures acoustiques pour des contraintes données :

- la célérité des ondes de compression,
- le coefficient de réflexion de ces ondes à l'interface eau/sédiment.

## ABSTRACT

### *Prevision of marine sediments — compression by ultra-sounds*

The reaction of a marine sediment subjected to a constraint is given by the following law :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon \left( 1 - \exp - \frac{t}{\tau} \right)$$

where :

- $\varepsilon$  is the compression
- $\varepsilon_0$  is the instantaneous compression
- $\tau$  is the time constant.

The compressional theory expresses the relation between the constraint and the effect :

$$\sigma' = E' f(\gamma) \cdot \varepsilon$$

where :

- $E'$  is the oedometric modulus
- $\gamma$  is the Poisson ratio
- $\sigma'$  is the real constraint.

\* L.M.A.I. : Université de Perpignan — av. de Villeneuve — 66025.

\*\* L.E.P.A.P. : Ecole Centrale A. & M. — Châtenay-Malabry — 92295.

The authors proposed an experimental relation between  $\varepsilon$  and the experimental celerity ( $C_L$ ) of compressional waves, in fact :

$$f(\gamma) \cdot E' = E = \lambda + 2\nu$$

$$\text{and } C_L = \sqrt{\frac{\lambda + 2\nu}{\rho}}$$

The two factors  $E$  and  $C_L$  are fonction of  $\lambda + 2\nu$ . It is possible to express the compression  $\varepsilon$  in fonction of the celerity  $C_L$ . The reflexion coefficient of acoustic waves is in correlation which geoacoustical properties of marine sediments too. This possibility is also retained for the experiments.

## I. INTRODUCTION (Rappel sur l'enfouissement)

L'enfouissement par gravité peut avoir lieu suivant deux modes :

- cylindre en appui sur une argile,
- cylindre en appui sur un sable fluidisé.

Un enfouissement de mine ne peut avoir lieu sur un sable non fluidisé. Une action de la houle (ou force ascendante) doit modifier l'agencement des grains pour qu'il y ait tassement par la suite sous l'action d'une contrainte verticale.

La modélisation d'un tel comportement comprendra donc :

- l'influence du corps,
- la nature du fond : granulométrie et forme des grains,
- la prise en compte des conditions hydrodynamiques.

Ce modèle sera plus simple dans le cas des argiles; seulement deux familles de facteurs sont à prendre en considération. Un cylindre en appui sur le fond (argile ou vase) provoque un tassement du sédiment dont l'importance croît rapidement avec la teneur en eau de ce dernier. Ce tassement a lieu instantanément d'une part, et suivant un accroissement exponentiel d'autre part, soit :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon \left( 1 - \exp \frac{-t}{\tau} \right)$$

où :

- $\varepsilon$  = tassement final
- $\varepsilon_0$  = tassement instantané
- $\Delta\varepsilon$  = amplitude du tassement retardé
- $\tau$  = constante de temps.

Le tassement final  $\varepsilon$  est fonction de la forme et du poids de l'engin qui assure la contrainte ainsi que de la nature du sédiment qui peut être représentée par certains paramètres géotechniques. Nous avons sélectionné :

— l'indice de compression ou le module oedométrique comme facteurs corrélables avec la célérité. La masse volumique, de par les intercorrélations entre ces divers paramètres, peut également être retenue.

## II. MODÉLISATION DE LA PRÉVISION DE L'ENFOUISSEMENT (analyse théorique)

Les possibilités sont de deux ordres :

- utilisation de la pénétrométrie in situ,
- utilisation de l'acoustique.

Alors que la première méthode est uniquement ponctuelle, la seconde peut, dans certains cas être utilisée sur des systèmes embarqués naviguant au-dessus du fond. Le processus de contrôle peut être basé sur l'utilisation du module oedométrique (analogue au module de Young) qui intervient dans les conditions de propagation acoustique ainsi que dans la valeur de l'enfouissement.

En élasticité linéaire, un matériau est généralement défini mécaniquement à partir d'un couple de paramètres :

- soit le module de compressibilité  $K$  (ou module de déformation volumique sous pression hydrostatique) et le module de cisaillement  $G$  (ou module de déformation par glissement)

- soit le module de déformation linéaire  $E$  (ou module de Young) et le coefficient de Poisson  $\nu$ .

Ces paramètres sont liés par les relations :

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad (1)$$

et

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2)$$

On peut également considérer les coefficients de Lamé  $\lambda$  et  $\mu$  qui s'écrivent :

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (3)$$

et

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (4)$$

Ces coefficients sont intéressants dans la mesure où ce sont ceux qui sont généralement utilisés dans les équations de propagation des ondes sonores dans les milieux élastiques. Ainsi, on a :

$$C_L = \left( \frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \right)^{1/2} \quad (5)$$

$$C_T = \left( \frac{\mu}{\rho} \right)^{1/2} \quad (6)$$

où :

$C_L$  est la vitesse de propagation des ondes longitudinales,

$C_T$  est la vitesse de propagation des ondes transversales,

$\rho$  la masse volumique du sédiment naturel, en place (que l'on peut assimiler au poids volumique du sol saturé).

On voit donc l'intérêt que peuvent présenter les mesures acoustiques dans l'approche des caractéristiques mécaniques des sédiments; même si l'on sait que les hypothèses simplificatrices de la théorie de l'élasticité ne s'appliquent pas toujours très bien aux sols.

En exprimant le coefficient de Poisson en fonction des coefficients de Lamé :

$$\nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)} \quad (7)$$

et en déduisant les valeurs de  $\lambda$  et  $\mu$  des équations (5) et (6), il vient :

$$\nu = \frac{(C_L/C_T)^2 - 2}{2[(C_L/C_T)^2 - 1]} \quad (8)$$

Les schémas utilisés en mécanique des sols sont toujours très simplifiés et ne permettent pas de rendre compte à eux seuls de tous les phénomènes observés. Dans les conditions très restrictives de Terzaghi, le comportement d'un sol est déterminé par  $K$ ,  $G$  (ou  $E$ ,  $V$ ) et  $K$ .

—  $K$  et  $G$  définissant ses caractéristiques élastiques (ses caractéristiques plastiques étant la cohésion effective  $C'$  et l'angle de frottement interne effectif  $\gamma'$ )

—  $k$  (coefficient de perméabilité) étant un sous-paramètre permettant de tenir compte du fluide interstitiel.

Cependant, dans le cas des argiles ( $K$ ,  $G$  et  $k$  faibles), ce schéma est intéressant et se traduit dans la pratique par l'essai oedométrique.

Terzaghi a appelé

$$-\frac{1}{m_v} = -\left(K + \frac{4}{3}G\right) \quad (9)$$

le module de déformation  $\tau_3/\varepsilon_3$  dans le cas particulier où il n'y a pas de déformations latérales :

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0$$

( $m_v$  = coefficient de compressibilité)

Il définit aussi le coefficient de consolidation :

$$C_v = \frac{(K + 4/3 G) k}{\gamma_w} \quad (10)$$

avec  $\gamma_w$  le poids volumique de l'eau.

Le coefficient de compressibilité  $m_v$  n'est autre que l'inverse du module oedométrique  $E'$  :

$$E' = K + \frac{4}{3}G \quad (11)$$

L'équation (10) devient alors :

$$C_v = \frac{kE'}{\gamma_w} \quad (12)$$

Le coefficient de Poisson pouvant être déterminé par mesures de  $C_L$  et  $C_T$ , il est possible de déterminer le module élastique du sol en apportant une correction au module oedométrique, correction faisant intervenir le coefficient de Poisson.

Des équations (1), (2) et (11) il vient :

$$E = \left(1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}\right) E' \quad (13)$$

Pratiquement, lors de la réalisation d'un essai oedométrique,  $E'$  correspond à :

$$E' = -\frac{\Delta\tau'}{\Delta h/h} \quad (14)$$

où  $\Delta h$  est, pour un échantillon de hauteur  $h$ , le tassement correspondant à l'augmentation de contrainte  $\Delta\tau'$ .

$E'$  n'est pas une constante, puisqu'il varie en fonction de  $\tau'$  et  $\Delta\sigma'$ . L'indice de compression  $C_c$ , correspondant à la pente de la courbe oedométrique en coordonnées semi-logarithmiques, au-delà d'une contrainte normale supérieure à la pression de consolidation, s'écrit :

$$C_c = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma'} \quad (15)$$

( $e$  : indice des vides)

On définit alors :

• soit un module sécant dans l'intervalle de pression  $\sigma'$  et  $\tau' + \Delta\tau'$  :

$$E' = \frac{1 + e}{C_c} \cdot \frac{\Delta\sigma'}{\log(1 + \Delta\sigma'/\sigma')} \quad (16)$$

• soit un module tangent correspondant à la pression  $\sigma'$ , si  $\Delta\sigma'$  est plus petit devant  $\tau'$  :

$$E' = 2,3 \sigma' \frac{1 + e}{C_c} \quad (17)$$

Dans le cas des sols marins sous-consolidés ( $\tau'_c < \tau'_0$ ), on peut obtenir une valeur approchée du module oedométrique correspondant à la charge naturelle effective  $\tau'_0$  :

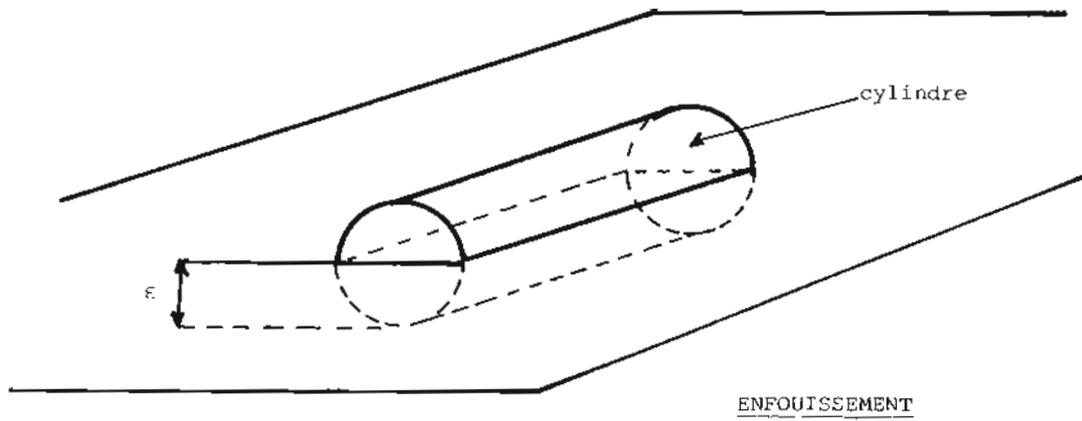
$$E' = 2,3 \tau'_0 \frac{1 + e_0}{C_c} \quad (18)$$

avec :  $\tau'_0 = \gamma' \times z = (\gamma_{sat} - \gamma_w) z$  (19)

où :

- $\gamma'$  est le poids volumique déjaugé du sol,
- $z$  est la profondeur d'enfouissement de l'échantillon prélevé
- $\gamma_{sat}$  est le poids volumique du sol saturé (=  $\rho$  dans le cas sols marins).
- $\gamma_w$  est le poids volumique de l'eau.

La valeur du module oedométrique  $E'$  étant fonction de  $\lambda + 2\mu$ , on voit qu'il est possible d'établir une relation entre la célérité des ondes longitudinales (5) et l'indice de compression  $C_c$  (18) (fig. 1) donc, par voie de conséquence entre la célérité des ondes de compression et l'enfouissement par gravité d'un corps pesant. Pour un corps circulaire plan, le tassement est proportionnel à  $C_c$  [1]. Une relation entre  $\varepsilon$  et le carré de  $C_L$  est possible.



ENFOUISSEMENT

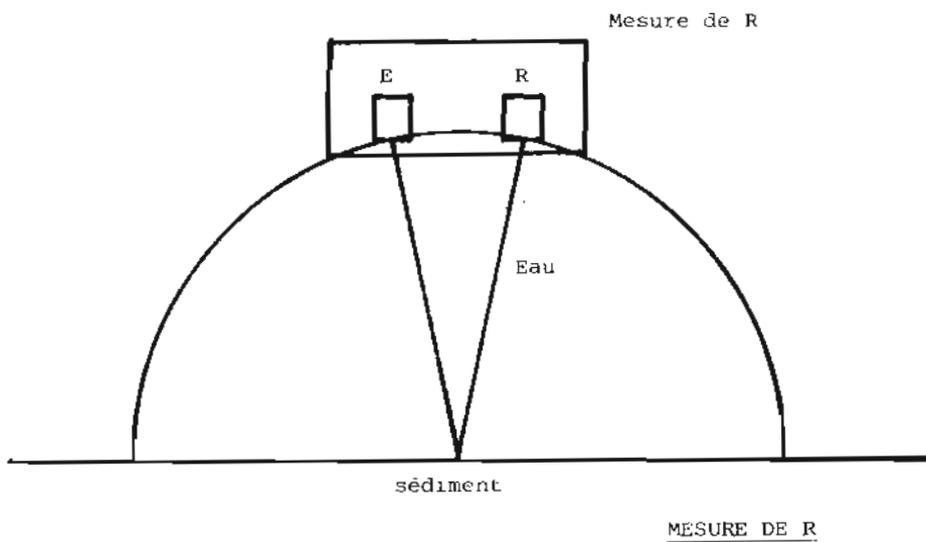
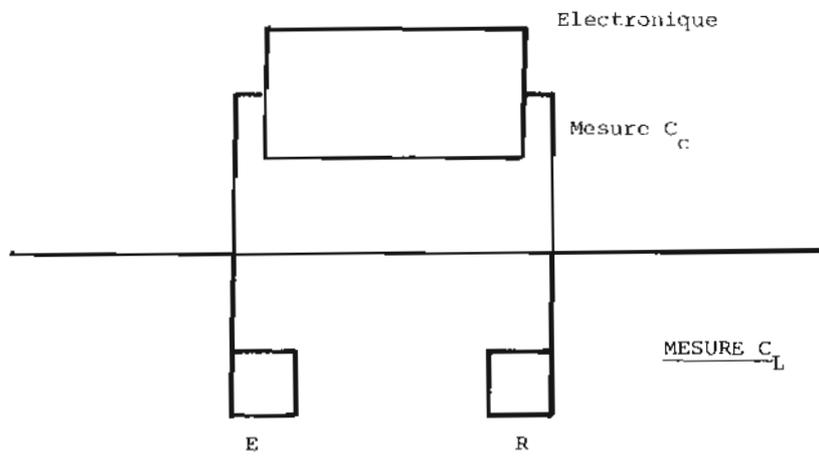
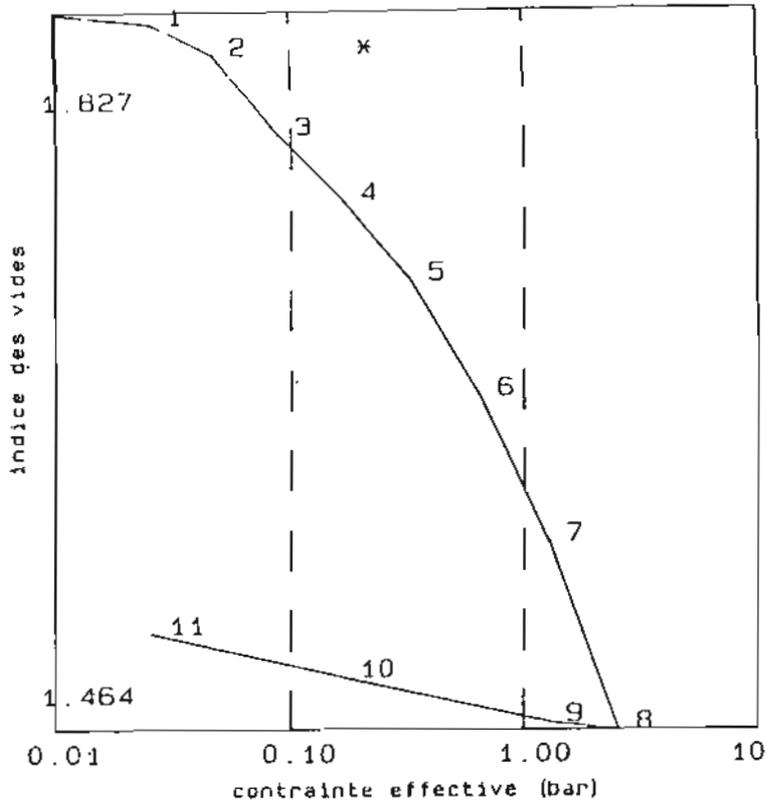


FIG. 1. — Schéma mesure.



Echantillon : ALPHA (95 - 100)  
 Indice de compression : 0.46  
 Indice de décompression : 0.03

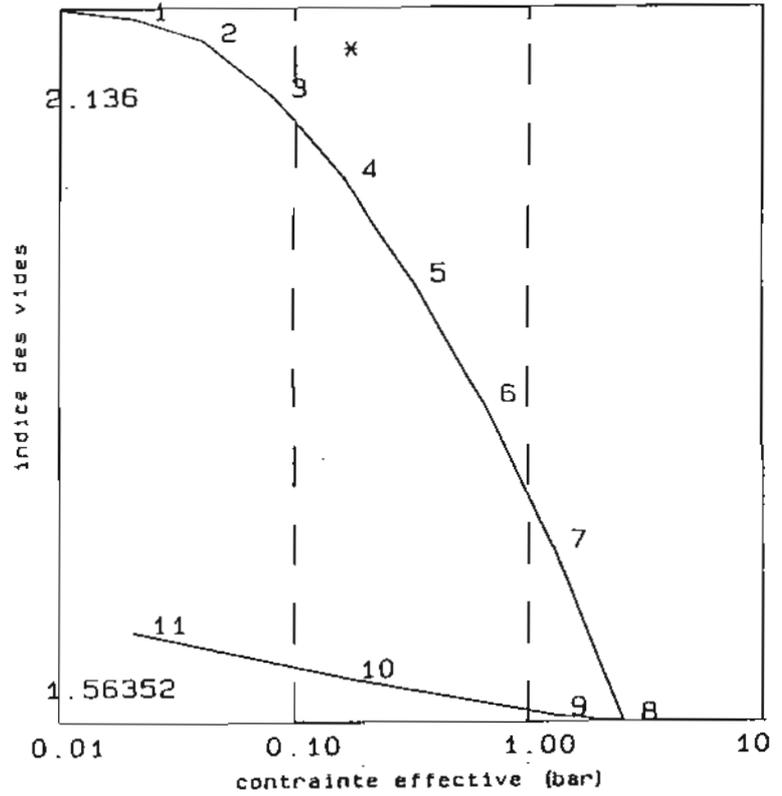


FIG. 2. — Essais œdométriques — compressibilité.

### III. ANALYSE EXPÉRIMENTALE

Deux voies sont possibles :

- utilisation de la célérité des ondes de compression pour des essais ponctuels (fig. 2),
- utilisation du niveau des ondes réfléchies par l'interface eau/sédiment (fig. 3).

#### III.1. Corrélation entre $C_L$ et $C_c$

L'objectif final est de relier  $\varepsilon$  à  $C_L$ , mais il nous a semblé préférable de corrélérer dans un premier stade  $C_L$  et  $C_c$  de manière aussi simple que possible.

La relation expérimentale fut antérieurement établie entre  $C_L$  et  $C_c$  pour une trentaine de couples de valeurs sous la forme suivante :

$$C_L = 1400 + \frac{77,5}{(C_c + 0,02)^{0,5}} \quad (20)$$

Elle traduit nettement la possibilité de prévoir la compressibilité éventuelle d'un sol saturé sous l'effet d'une contrainte. Son utilisation peut être simplifiée dans le but de cette opération, et elle peut être ramenée à une nouvelle formule proposée d'après une soixantaine de couples de valeurs, de la forme :

$$C_c = \frac{A}{(C_L - C_{ste})^n} \quad (21)$$

L'évolution de  $C_c = f(C_L)$ , d'après les relations précédentes ( $C_c$  variant comme l'inverse de  $\lambda + 2\mu$  et  $C_L$  variant comme  $\lambda + 2\mu$ ), implique que  $C_c$  décroisse suivant une puissance de 2 de  $C_L$ .

La relation expérimentale fournissant les meilleurs résultats en fonction des sites est :

$$C_c = \frac{10\,500}{(C_L - C_{ste})^2} \quad (22)$$

La valeur de la célérité est fonction de la teneur en carbonate  $\psi$ . A masse volumique égale, la célérité est plus rapide pour les sédiments carbonatés (cas du large de Brest). Cette influence est

traduite par la croissance de la constante. Nous avons retenu :

- pour  $\psi \leq 20\%$   $C_{ste} = 1\,350$  (Méditerranée)
- pour  $\psi \geq 80\%$   $C_{ste} = 1\,380$  (rade de Brest)

Etat comparatif entre  $C_c$  calculé et  $C_c$  mesuré

$C_c$ mesuré	$C_L$ mesuré	$C_c$ calculé
0,28	1540	0,29
0,177	1608	0,159
0,054	1646	0,12
0,032	1694	0,08
0,28	1540	0,29
0,25	1551	0,26
0,096	1652	0,11
0,06	1689	0,08
0,159	1618	0,15
0,166	1601	0,16
0,2	1580	0,2
0,155	1610	0,15
0,33	1590	0,18
0,222	1600	0,17
0,204	1607	0,16
0,23	1550	0,25
0,078	1629	0,12
0,284	1561	0,23
0,09	1632	0,13
0,168	1569	0,24
0,19	1579	0,2
0,22	1577	0,22
0,2	1541	0,26
0,16	1608	0,16
0,17	1597	0,17
0,126	1597	0,17
0,22	1580	0,2
0,27	1548	0,26
0,24	1550	0,26
0,079	1640	0,12
0,67	1562	0,24
0,85	1503	0,47
0,9	1508	0,87
0,8	1497	0,7
1,26	1498	0,7
1,3	1438	1,2
0,32	1511	0,41
0,46	1461	0,85
0,49	1469	
0,59	1479	0,62
0,64	1435	0,80
0,9	1411	1

Tableau récapitulatif des essais

Exp	$\phi$	$L/\phi$	$\gamma_{app}$	$\varepsilon_0$	$\Delta\varepsilon$	$\varepsilon$
1	150	2	0,2	25	7	32
2	150	4	0,2	24	12	36
3	150	6	0,2	26	10	36
4	150	8	0,2	?	?	37,5
5	150	2	0,65	32	16	48
6	150	4	0,65	43	20	63
7	150	6	0,65	51	27,5	68,5
8	150	8	0,65	37,5	16	53,5
9	150	2	0,9	42	15	57
10	150	4	0,9	40	20	61
11	150	6	0,9	45	20	65
12	150	8	0,9	44	17	61
13	150	2	1,08	50	22	72
14	150	4	1,08	43	32	75
15	150	2	1,55	63	28	81
16	150	4	1,55	53	18	71

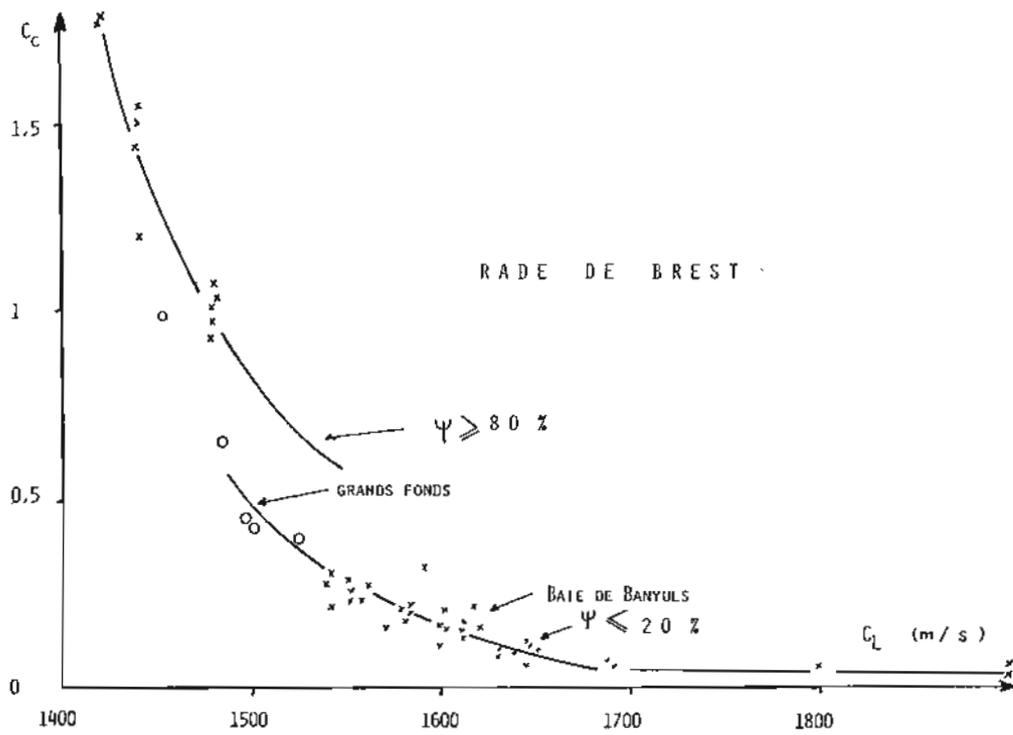


FIG. 3A. — Corrélation entre  $C_L$  et  $C_c$ .

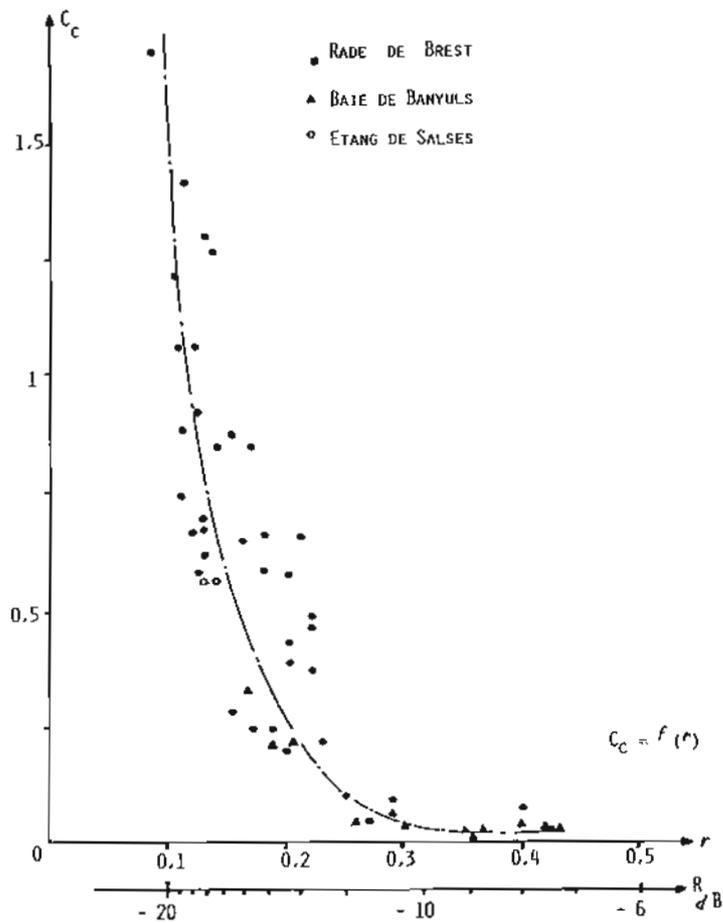


FIG. 3B. — Corrélation entre  $R$  et  $C_c$ .

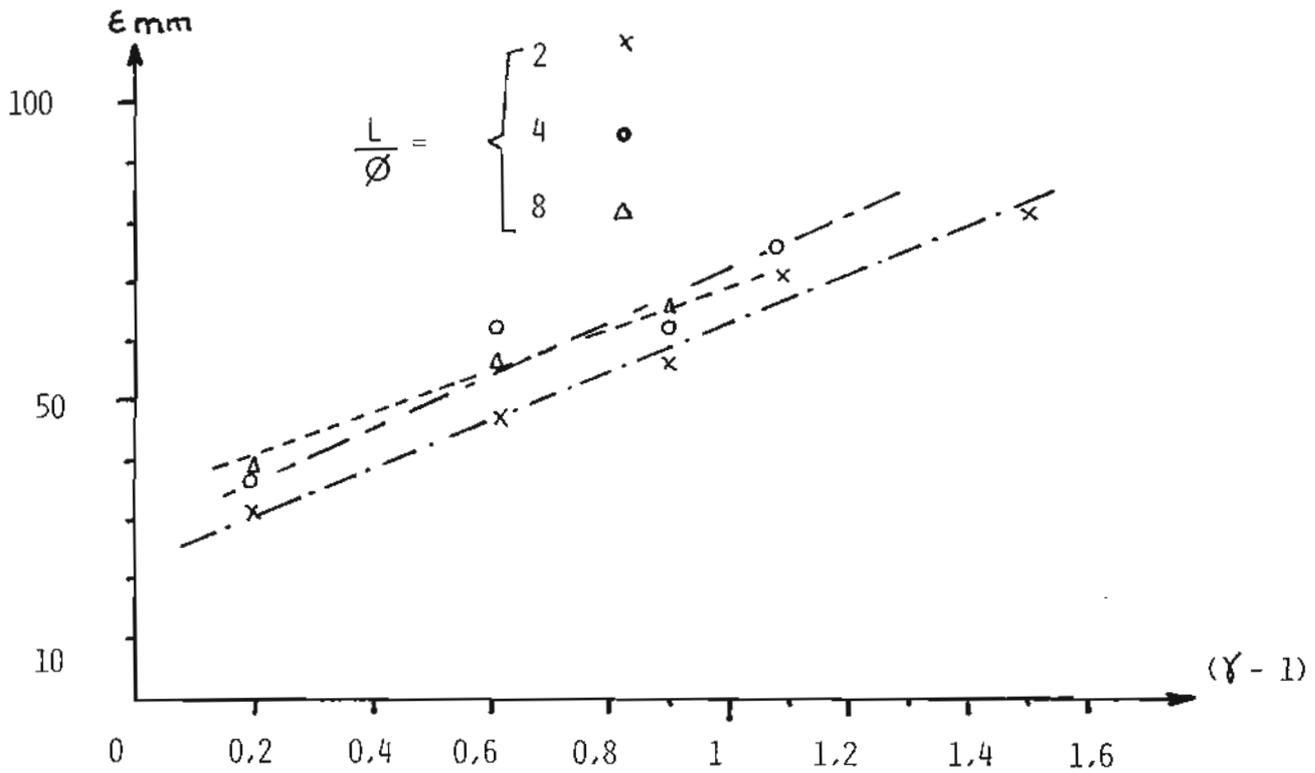


FIG. 4. — Corrélation entre  $(\gamma - 1)$  et  $\varepsilon$  pour un cylindre de  $\varnothing$  15 cm.

Le coefficient de corrélation obtenu à partir de 60 couples de valeurs est de 0,95. Ces données concernent différents types de fond :

- Méditerranée,
- Iroise,
- fond du Pacifique,
- large du Cap Vert.

### III.2. Utilisation des ondes réfléchies

La nature des fonds marins ainsi que leur comportement mécanique réagissent directement sur le niveau des ondes acoustiques réfléchies par ce dernier. Sous incidence verticale et pour des fréquences comprises entre quelques kHz et une centaine de kHz, nous avons pu corréler  $C_c$  et  $r$  [6-7].

Pour une onde incidente verticale,  $r$  vaut :

$$\sqrt{R} = r = \frac{Z_s - Z_e}{Z_s + Z_e} \quad (23)$$

$Z_s = \rho_s C_{LS}$  = impédance du sédiment

$Z_e = \rho_e \cdot C_{Le}$  = impédance de l'eau.

Or,  $Z_e = 1,5 \cdot 10^6 \text{ kgm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  et est pratiquement constante;  $C_{LS}$  est fonction de  $\rho_s$ , ou vice versa. Pour plus d'une quarantaine de points, nous avons pu obtenir le résultat expérimental suivant :

$$C_c = \frac{0,004}{r^2} - 0,004 r \quad (24)$$

Cette corrélation entre  $r$  et  $C_c$  peut conduire à des relevés en continu.

### III.3. Conséquences sur la prévision de l'enfouissement par gravité (résultats expérimentaux)

#### III.3.1. Rappel sur les mesures d'enfouissement

Deux familles d'essais furent réalisées en laboratoire et *in situ* :

##### III.3.1.1. Essais en laboratoire

Les données acquises en laboratoire sur une argile reconstituée « kaolinite », dont la masse volumique est proche de  $1450$  à  $1500 \text{ kgm}^{-3}$  : l'indice de compression (0,5) est extrêmement élevé, ce qui est dû à une très forte teneur en eau (70%), la cohésion, au niveau de l'interface, est de l'ordre de  $5 \text{ g/cm}^2$ . Du fait que le cylindre est posé sur une génératrice, la contrainte décroît avec l'enfouissement ce qui n'est pas le cas pour une surface plane, le facteur de proportionnalité entre  $C_c$  et  $\varepsilon$  en est plus délicat à quantifier.

Les paramètres importants concernant le cylindre sont :

- le rapport longueur/diamètre ( $L/\phi$ )
- la densité apparente dans l'eau  $\gamma_{app}$
- le choix d'une dimension pour le calcul de  $\varepsilon$  (ceci découle du fait que  $\varepsilon$  est proportionnel à  $C_c$ ) :

$$e = AC_c \quad (25)$$

Dans ces conditions, le facteur A sera :

- proportionnel au diamètre,
- fonction du rapport  $L/\phi$
- fonction de la densité apparente  $\gamma_{app}$

$$A = \frac{\phi}{2} \cdot \psi \left( \frac{L}{\phi} \right) \cdot g(\gamma_{app}) \quad (26)$$

L'enfouissement évolue pour un sédiment donné, donc pour  $C_c$  connu en fonction de la densité apparente  $\gamma_{app} = (\gamma - 1)$  et de la longueur L.

Les remarques les plus importantes sont les suivantes :

- l'enfouissement croît avec  $L/\phi$  jusqu'à  $L/\phi = 4$ , puis devient indépendant de la longueur,
- l'enfouissement devrait être nul pour  $\gamma - 1 = 0$  et tendre vers l'infini lorsque  $\gamma - 1$  est telle que la contrainte au sol soit supérieure à la valeur limite acceptable par le sol.

Or, dans l'état actuel, le poids d'une mine dans l'eau varie de 200 kg à 350 kg, ce qui fournit une densité apparente comprise entre 0,5 et 0,870. Nous choisirons un modèle tel que  $\varepsilon$  croisse linéairement avec  $(\gamma - 1)$  et avec  $C_c$ . Dans ces conditions, il vient :

$$C_o = \gamma \left( \frac{L}{\phi} \right) \cdot \frac{\phi}{2} \cdot C_c \cdot (a + b \cdot \gamma_{app}) \quad (27)$$

où :

$\gamma \left( \frac{L}{\phi} \right)$  est constante en fonction du rapport longueur/diamètre

pour  $\frac{L}{\phi} = k < 3$   $\gamma \left( \frac{L}{\phi} \right) = 1$

pour  $\frac{L}{\phi} = k > 3$   $\gamma \left( \frac{L}{\phi} \right) = 1,4$

### III.3.1.2. Essais en nature

Les essais en nature ont été réalisés avec un cylindre de 60 cm de diamètre et d'une longueur maximale de 1,2 m avec des densités apparentes de 0,58 - 0,62 - 0,93 et 1,83. Ils conduisent, pour la baie de Banyuls, pour des sédiments dont les valeurs moyennes des paramètres représentatifs sont ( $C_c = 0,1$  à  $0,3$   $\rho = 1,710^3 \text{ kgm}^{-3}$   $c = 20$  à  $40 \text{ g.cm}^{-2}$ ) à des valeurs de A de :

pour $\gamma_{app} = 0,58$	A cm = 33
pour $\gamma_{app} = 0,62$	A cm = 36
pour $\gamma_{app} = 0,93$	A cm = 54
pour $\gamma_{app} = 1,83$	A cm = 75

Les valeurs calculées de A, d'après les données de A, d'après les données acquises en laboratoire, seraient respectivement de :

$$A \text{ cm} = 33 - 37,5 - 48 - 75$$

On peut alors admettre que les valeurs calculées et mesurées sont identiques.

### III.3.2. Modèle prévisionnel

#### III.3.2.1. L'utilisation de mesures acoustiques pour la prévision de $\varepsilon$ conduit à deux modèles :

- avec l'emploi de  $C_L$  :

$$\varepsilon = \frac{\phi}{2} \cdot K \cdot (0,58 + 1,03 \gamma_{app}) \cdot \frac{10\,600}{(C_L - C_{ste})^2}$$

où :

$\frac{10\,600}{(C_L - C_{ste})^2}$  correspond à un nombre sans dimensions.

$\frac{\phi}{2}$  est le rayon du cylindre.

- avec l'emploi du coefficient de réflexion :

$$\varepsilon = \frac{\phi}{2} \cdot K \cdot (0,58 + 1,03 \gamma_{app}) \cdot$$

$$\left[ \frac{0,004}{R^{1,3}} - 0,004 \sqrt{R} \right]$$

#### III.3.2.2. Une trentaine d'essais conduits en mer avec un cylindre de 2 m de long sur différents sols nous ont permis d'observer les résultats suivants :

- pour un cylindre dont  $\gamma_{app}$  est voisine de 0,2 :

$$L/\phi > 4 \quad \text{et} \quad L = 2 \text{ m}$$

$$\begin{matrix} (C_L = 1\,800 \text{ ms}^{-1} & \varepsilon = 3 \text{ cm à } 5 \text{ cm} \\ (R = 0,09 \text{ à } 0,15 & \text{soit : } -6 \text{ à } -10 \text{ dB} \end{matrix}$$

- pour un cylindre dont  $L/\phi = 2$  ( $L = 1,2 \text{ m}$ ),  $\gamma_{app} = 0,58$  :

$$\begin{matrix} (C_L = 1\,800 \text{ ms}^{-1} & & \varepsilon = 2 \text{ cm} \\ (R = 0,09 \text{ à } 0,15 & \text{soit : } & -6 \text{ à } -10 \text{ dB} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} (C_L = 1\,600 \text{ ms}^{-1} & & \varepsilon = 8 \text{ cm à } 10 \text{ cm} \\ (R = 0,04 \text{ à } 0,10 & \text{soit : } & -10 \text{ dB à } -15 \text{ dB} \end{matrix}$$

$$L/\phi = 2 \quad \gamma_{app} = 0,93$$

$$\begin{matrix} (C_L = 1\,600 \text{ ms}^{-1} & & \varepsilon = 15 \text{ cm} \\ (R = 0,04 \text{ à } 0,1 & \text{soit : } & -10 \text{ dB à } -15 \text{ dB} \end{matrix}$$

- pour un cylindre dont  $L/\phi = 4$  et  $\gamma_{app} = 0,2$  ( $L = 2 \text{ m}$ ) :

$$\begin{matrix} (C_L = 1\,500 \text{ ms}^{-1} & & \varepsilon = 20 \text{ cm} \\ (R = 0,012 & \text{soit : } & -18 \text{ dB} \end{matrix}$$

Il existe une relation directe entre  $C_c$  (ou R) d'une part, et  $\varepsilon$  d'autre part. Par ailleurs, il semble tout-à-fait possible de déduire  $\varepsilon$  de valeurs de paramètres acoustiques.

### III.4. Conclusion

Des essais réalisés dans le domaine géoacoustique, d'une part, et d'enfouissement par gravité d'autre part, ont permis d'établir des modèles de comportement. Quelques sites expérimentaux ont fait l'objet d'analyses complètes (acoustique et enfouissement). Les données recueillies (quelquefois nombreuses - une dizaine de séries ou plus par site) confirment les résultats prévisionnels. Il semble que l'utilisation du coefficient de réflexion soit le plus facile d'un point de vue opérationnel.

Il permet l'utilisation d'un système acoustique en mouvement par rapport au fond.

Le modèle de comportement comprendra les paramètres suivants :

— pour le corps :

- la densité apparente
- le rapport  $L/\phi \rightarrow$  valeur de K
- le rayon du cylindre.

— pour le sol et l'environnement :

• l'indice de compression ou des éléments permettant de le calculer, soit :

- la célérité des ondes de compression
- le coefficient de réflexion.

Toutefois, un sable de dépôt récent ou fraîchement remis en suspension provoque un enfoncement important de l'engin. L'utilisation des ondes renvoyées par le fond reste possible, mais il conviendra de travailler à plusieurs fréquences pour discriminer la taille des grains.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. COSTET, G. SANGLERAT. — Cours pratique de mécanique des sols, T. 1, Dunod, 1975.
- [2] Mc DANIEL & J.H. BEEBE. — Influence of semi-consolidated sediments on sound propagation in a coastal region, *NATO conference series, Marine Sciences Plenum Press, NEW-YORK, 1980.*
- [3] E.L. HAMILTON. — Prediction of deep sea sediment properties state of the art. *Deep sea sediments, Plenum Press, 1973.*
- [4] E.L. HAMILTON. — Sound velocity density relation in sea floor sediments and rocks, *J. Acoust. Society Am.* (63), 1978.
- [5] C.C. LEROY, J.M. DAUPLEIX & J.P. LONGUEMARD. — Relationships between the acoustical characteristics of deep sea sediments and their physical environment, *NATO Conf. series Plenum Press, NEW-YORK, 1980.*
- [6] J.P. LONGUEMARD & J. BRENSON. — Corrélation entre le coefficient de réflexion et l'indice de compression d'un sédiment marin, *J. de Recherches Océanographiques*, Vol. VI, n° 1, 1981.
- [7] J.P. LONGUEMARD. — Influence de l'indice de compression des sédiments marins sur la célérité d'ondes ultrasonores de fréquence comprise entre 15 et 100 kHz. *Revue du CETHEDC*, 19<sup>e</sup> année, 2<sup>e</sup> trimestre, n° 71, 1982.
- [8] J. MOUSSESSIE. — Contribution à l'étude des relations entre l'acoustique et les qualités géotechniques des sédiments marins, *Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 1984.*
- [9] A.F. RICHARDS. — Marine géotechnique, Univ. of Illinois, *Press Urbana Chicago, London, 1967.*
- [10] R.C. TYCE. — Realtime processing and display of near bottom acoustical reflectivity measurement, *IEEE Ocean 30*, 1975.

# « CORRÉLATIONS ENTRE LA MASSE VOLUMIQUE ET LA RÉSISTIVITÉ D'UN SÉDIMENT MARIN »

AVRIL 1987

par

T. CAPELLE\*, M. CHIBANE\*\*, J.-P. LONGUEMARD\*\*\*, T. PLAIRE\*, E. SARRET\*\*

## RÉSUMÉ

La résistivité d'une argile saturée ou d'un sol sous-marin découle de la répartition des conducteurs ou particules qui constituent ce sol. En effet, deux modes de circulation co-existent

- l'un par les particules solides,
- l'autre par le fluide remplissant les corps.

Le schéma équivalent d'un tel sol repose sur des résistances électriques placées en parallèle.

Chacune d'entre elles a une valeur fonction de sa nature ou de sa charge en ions.

Les auteurs se proposent, dans le cadre de cette étude, une analyse théorique confortée par des essais conduits sur des argiles avec des courants continus ou des courants alternatifs.

La porosité joue un grand rôle, mais elle est délicate à quantifier; c'est pourquoi, une corrélation est établie entre la masse volumique, la teneur en eau et la résistivité ou le courant électrique traversant l'argile saturée.

## ABSTRACT

### *Correlations between the bulk density and the electrical resistivity of a marine clay*

The resistivity of marine sediments is a function of the ratio between particles and water content. The electrical current circulates through the solid constituents and by the ions in the water.

The electrical equivalent schema is composed of two parallel resistances.

The authors propose a theoretical analysis and some experimental studies. Porosity and bulk density are the geotechnical parameters compared with electrical current and soil resistivity.

## I. INTRODUCTION

La connaissance de la résistivité d'un sol est nécessaire dans différents cas (détermination de l'énergie électrique nécessaire à la consolidation d'un sol — reconnaissance des caractéristiques d'un même sol). Nous nous intéresserons ici à l'application de ce procédé à la caractérisation d'un sol saturé. La densité humide prenant en compte tous les éléments constitutifs semble le paramètre géotechnique le plus approprié.

## II. ANALYSE THÉORIQUE

Le courant électrique peut circuler (sol conducteur) suivant plusieurs modes distincts. Dans certains cas, la matière du conducteur ne participe nullement à l'écoulement; il y a transport d'électrons: la conductibilité est alors dite électronique ou métallique (par exemple, la pyrite ou le graphite).

Dans l'autre cas, le sol ne présente pas de conductibilité métallique, mais seulement une

\* L.M.A.I. : Université de Perpignan — av. de Villeneuve — 66025.

\*\* L.M.S.S. : Ecole Centrale A. & M. — Châtenay-Malabry — 92295.

\*\*\* L.E.P.A.P. : Ecole Centrale A. & M. — Châtenay-Malabry — 92295.

conductibilité ionique. Les roches ne conduisent le courant que par l'eau d'imbibition qu'elles contiennent, et d'une façon plus précise par les ions existant dans ce milieu liquide. La conductibilité n'est plus une « constante » du corps minéral, mais est d'autant plus grande que ces terrains renferment davantage d'eau et que cette dernière est plus minéralisée.

La plupart des minéraux constitutifs des roches (meubles ou non) présentent des résistivités élevées, et les roches elles-mêmes ont une grande résistance si elles sont compactes ou non saturées.

La conductibilité d'un sol dépend de quatre facteurs :

- le volume des pores (lié directement à la porosité  $n$ ),
- la disposition de ces pores,
- le volume de ces pores remplis d'eau que l'on peut lier à la teneur en eau, mais qu'il est préférable de lier au degré de saturation, ce

dernier représentant le pourcentage des pores remplis d'eau,

— la conductibilité de l'eau d'imbibition, qui dépend de sa « salinité ».

Le schéma électrique équivalent, pour les argiles concernées, peut être résumé en plaçant deux résistances en parallèle ( $R_{eau}$  et  $R_{roche}$ ) pour former une résistance équivalente  $R_{sédiment}$  telle que :

$$R_s = \frac{R_e \cdot R_r}{R_e + R_r}$$

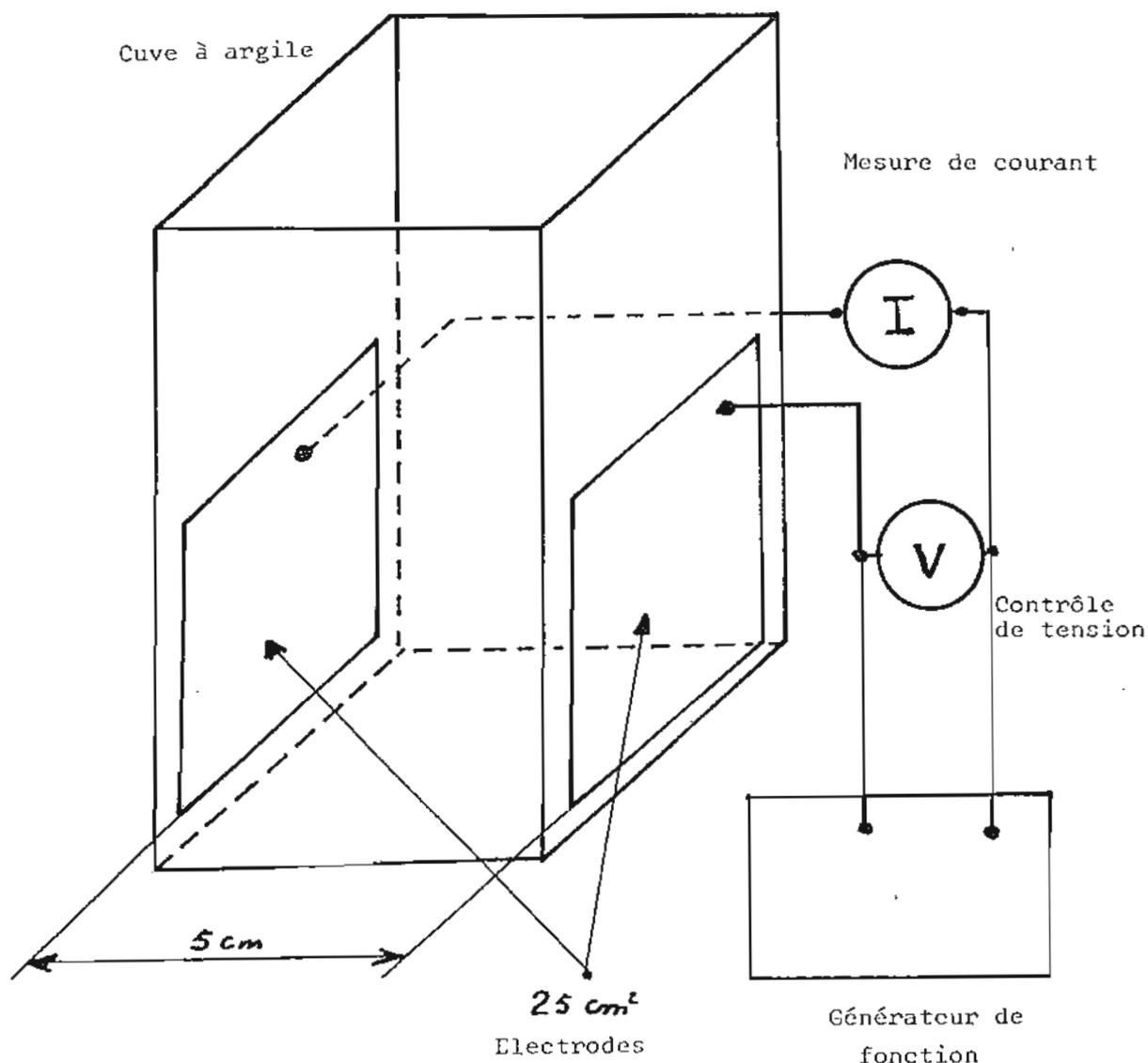
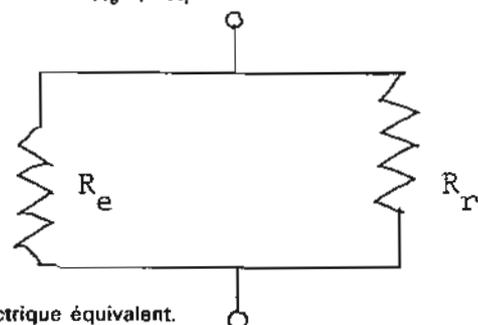
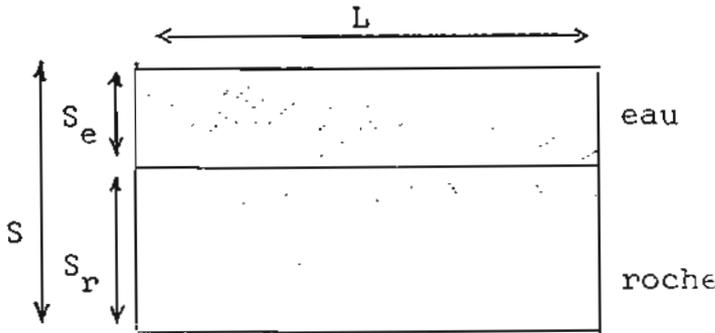


FIG. 1. — Schéma des essais.

Cette disposition correspond, pour un élément de sol saturé de longueur L et de section S à :

$$R_r = \alpha_r \times \rho_r \times \frac{L}{S_r}$$

$$R_e = \alpha_e \times \rho_e \times \frac{L}{S_e}$$



où :  
 $\rho_r$  et  $\rho_e$  sont les résistivités de la roche et de l'eau,  
 $S_r$  et  $S_e$  sont les sections équivalentes de la roche et de l'eau.

$$(S_e + S_r = S)$$

$\alpha_r$  et  $\alpha_e$  sont des facteurs qui quantifient l'action de la forme et la position des pores. Ce facteur tient compte du fait que le conducteur n'est pas massif mais alvéolé.

$S_e$  et S (section du sédiment) sont reliées entre elles, pour un sédiment saturé par la porosité n :

$$n = \frac{V_{vide}}{V_{total}} = \frac{V_{eau}}{V_{total}} = \frac{S_e}{S}$$

Le volume du solide devient :

$$V_r = V(1 - n) = S(1 - n) \cdot L$$

d'où :

$$R_s = \rho_s \frac{L}{S} = \left( \frac{\alpha_e \frac{\rho_e}{n} \alpha_r \frac{\rho_r}{1-n}}{\alpha_e \frac{\rho_e}{n} + \frac{\alpha_r \rho_r}{1-n}} \right) \times \frac{L}{S}$$

Or, la masse volumique ou la densité humide  $\gamma_h$  d'un sol est dépendante de la porosité n. Pour un échantillon de volume  $V = SL$ , la masse m vaut :

$$m = S_e L \times \gamma_w + S_r L \cdot \gamma_r = SL \gamma_h$$

d'où :

$$\gamma_h = n \gamma_w + (1 - n) \gamma_r$$

où :

$\gamma_w$  = poids spécifique de l'eau,

$\gamma_r$  = poids spécifique de la roche (ou particules solides).

La valeur  $\gamma_r$  la plus courante est égale à 2,65 [g/cm<sup>3</sup>] et  $\gamma_w$  vaut 1, dans ce cas :

$$\gamma_h = n + (1 - n) 2,65 = 2,65 - 1,65 n \quad (1)$$

Il paraît alors possible de comparer la résistivité du sol  $\rho_s$  à  $\gamma_h$ ; en effet :

$$\rho_s = \left( \frac{\alpha_e \rho_e}{n} \cdot \frac{\alpha_r \rho_r}{1-n} \right) / \left( \frac{\alpha_e \rho_e}{n} + \frac{\alpha_r \rho_r}{1-n} \right) \quad (2)$$

La combinaison des équations (1) et (2) conduit à :

$$\rho_s = \frac{\frac{\rho'_e}{2,65 - \gamma_h} \times \frac{\rho'_r}{\gamma_h - 1}}{\frac{\rho'_e}{2,65 - \gamma_h} + \frac{\rho'_r}{\gamma_h - 1}}$$

avec :

$$\alpha_e \rho_e = \rho'_e$$

$$\text{et} \quad \alpha_r \rho_r = \rho'_r$$

Après réduction au même dénominateur il vient :

$$\rho_s = \frac{\rho'_e \times \rho'_r \times 1,65}{\rho'_e (\gamma_h - 1) + \rho'_r (2,65 - \gamma_h)}$$

soit :

$$\rho'_e (\gamma_h - 1) + \rho'_r (2,65 - \gamma_h) = \frac{\rho'_e \times \rho'_r}{\rho_s} \times 1,65 \quad (3)$$

$\gamma_h$ , déduit de l'expression précédente, s'écrit alors sous la forme :

$$\gamma_h = \frac{1,65 \rho'_e \rho'_r + \rho_s \rho'_e - \rho_s \rho'_r \times 2,65}{\rho_s \rho'_e - \rho_s \rho'_r}$$

ou encore :

$$\gamma_h = 1 + 1,65 \frac{\rho'_e \rho'_r - \rho_s \rho'_r}{\rho_s \rho'_e - \rho_s \rho'_r} \quad (4)$$

or,

$$\frac{\gamma_h - 1}{1,65} = \frac{\gamma_h - 2,65}{1,65} + 1 = \frac{\rho'_e \rho'_r - \rho_s \rho'_r}{\rho_s \rho'_e - \rho_s \rho'_r}$$

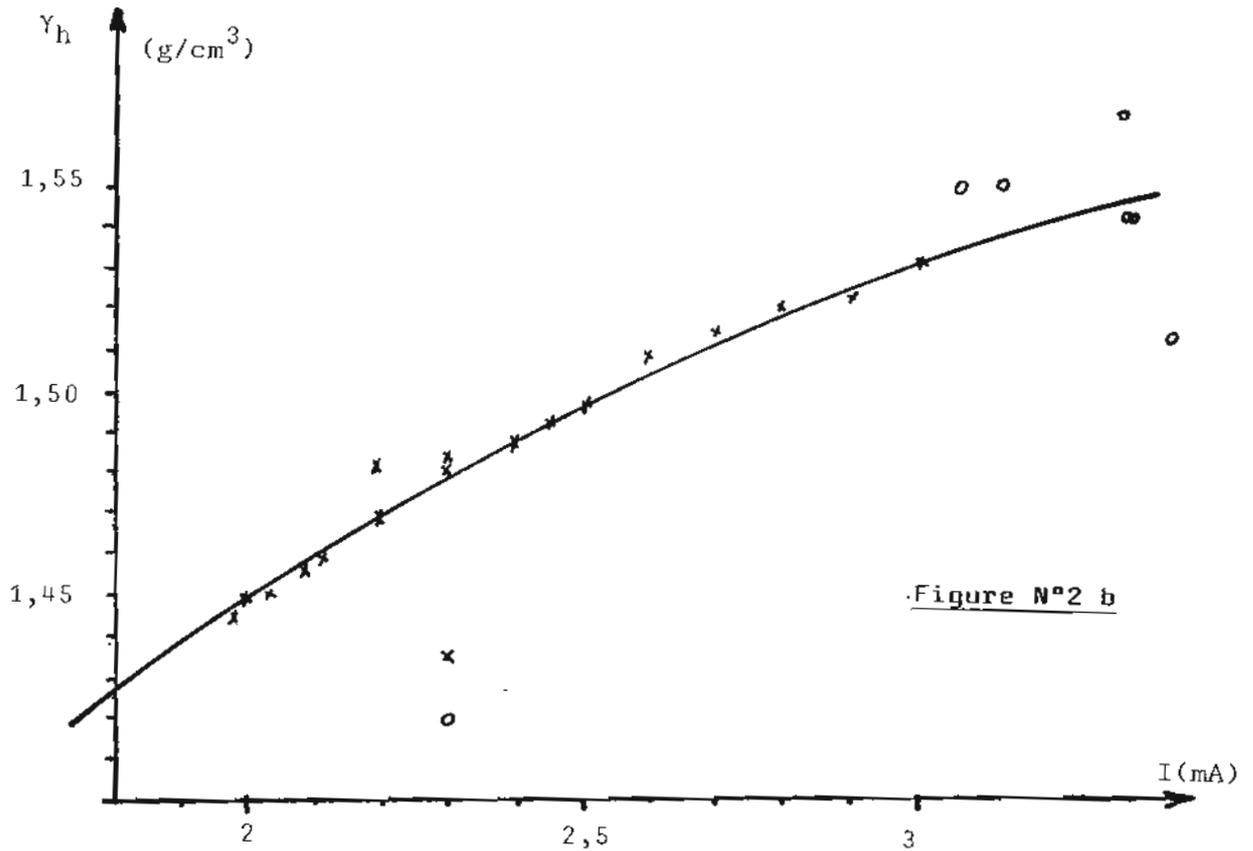
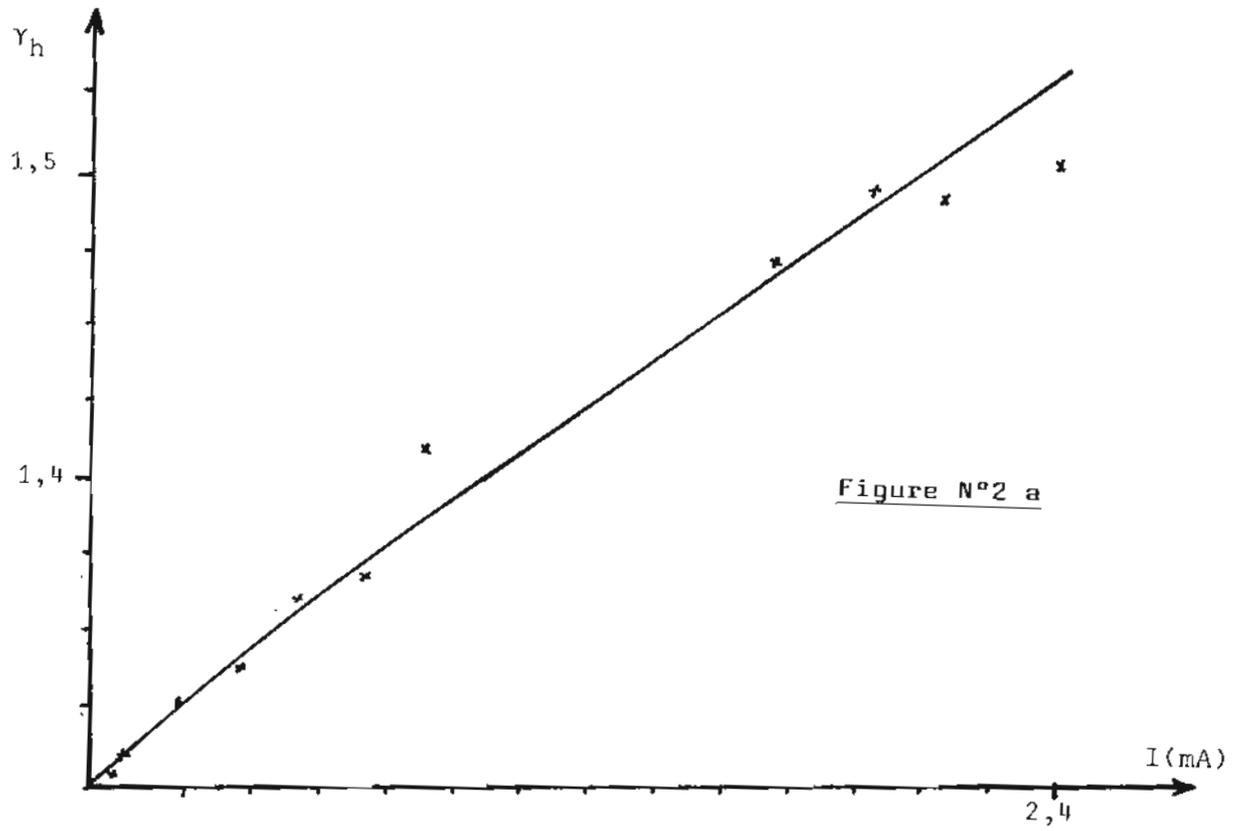
donc, on peut écrire également :

$$\gamma_h = 2,65 + 1,65 \frac{\rho'_e \rho'_r - \rho_s \rho'_r}{\rho_s \rho'_e - \rho_s \rho'_r} \quad (5)$$

Les hypothèses concernant le mode de circulation du courant se confirment. Toutefois, la nature des sédiments présents dans les fonds marins conduit à une grande conductivité de l'eau (un des constituants), et à une grande possibilité d'avoir  $\rho'_r > \rho'_e$  (cas de l'argile).

L'analyse se simplifie si l'on admet que la résistance d'un élément est très grande devant celle de l'autre.

$A/\rho'_r \gg \rho'_e$  : il s'agit des sables saturés et des argiles en suspension ou venant de se déposer, donc n'ayant encore subi de contrainte leur permettant d'acquiescer une cohésion véritable.



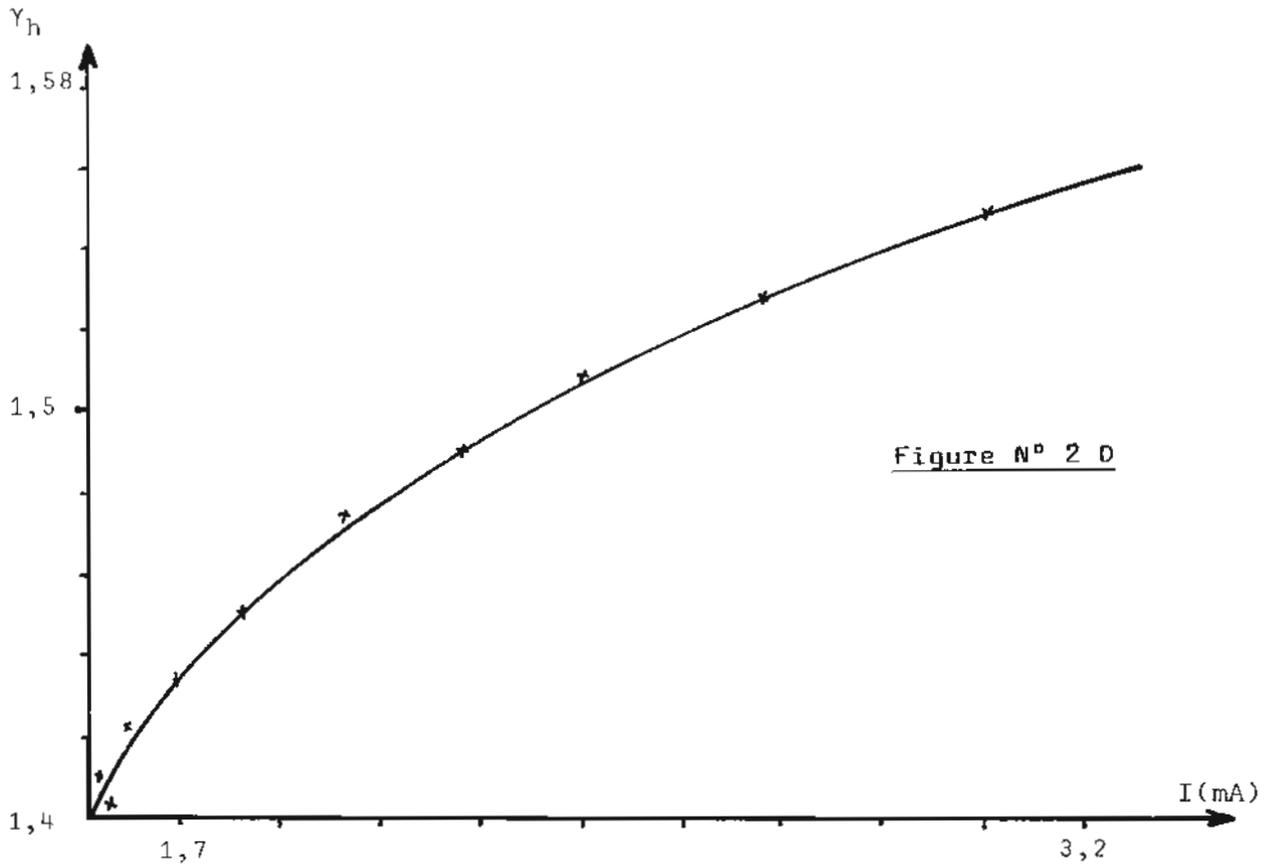
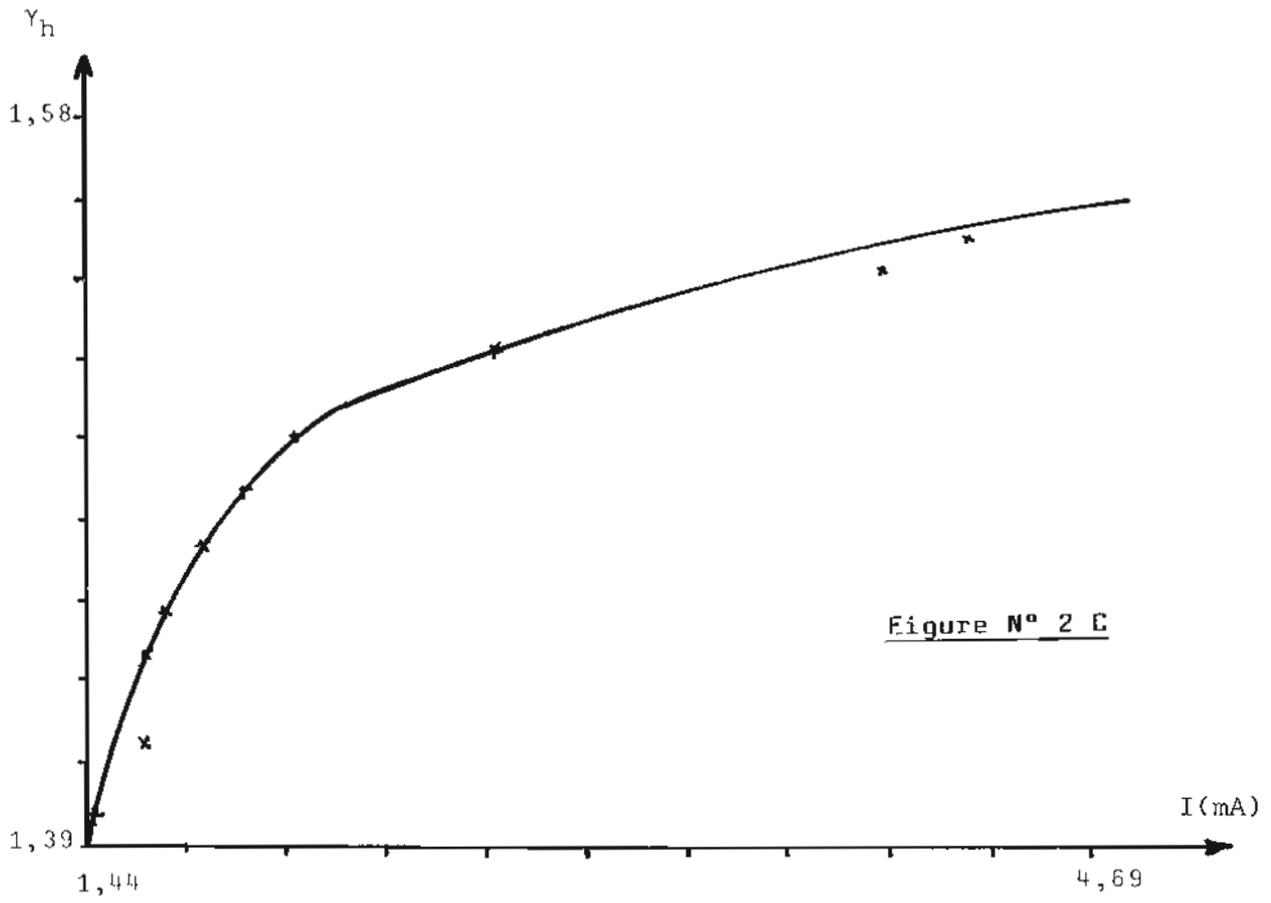


FIG. 2 A-B-C-D. — Corrélations  $\gamma_p = f(I)$ .

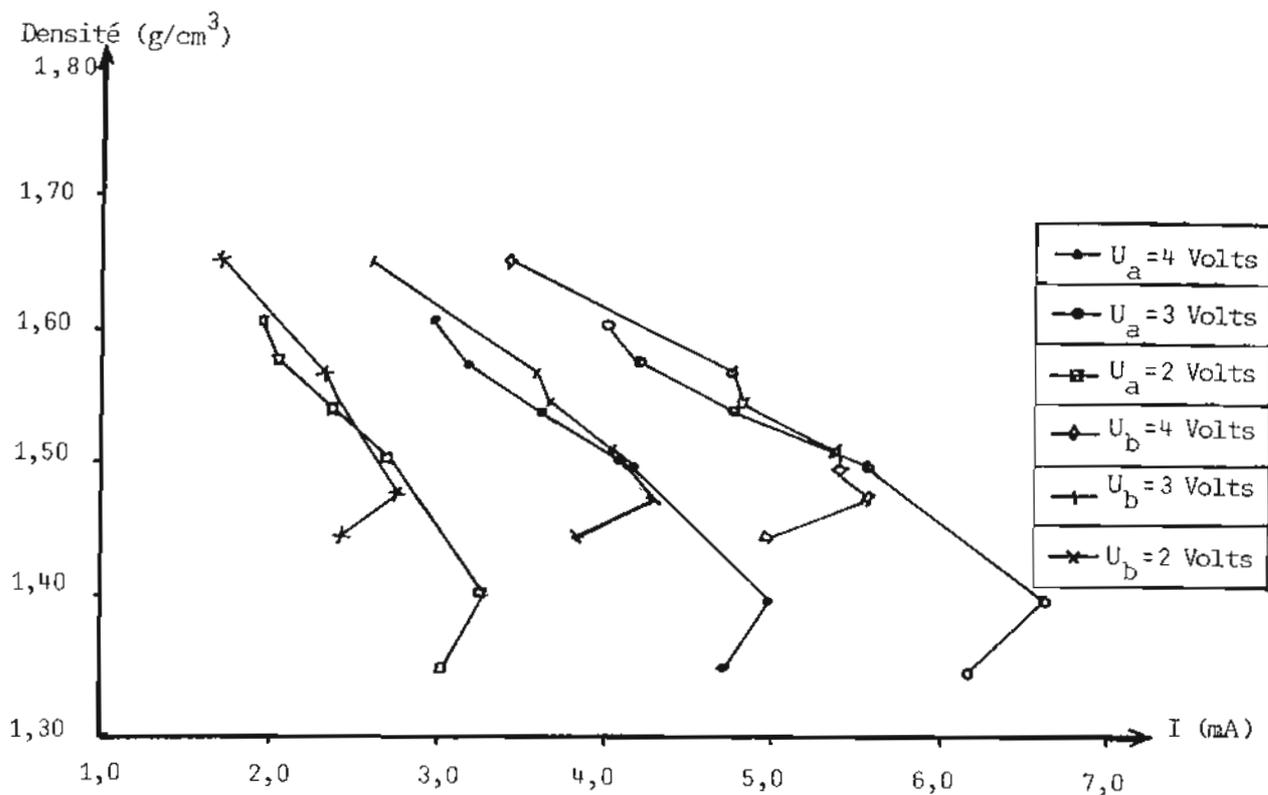


FIG. 3A. — Relation : Densité humidité de la kaolinite — Intensité du courant.

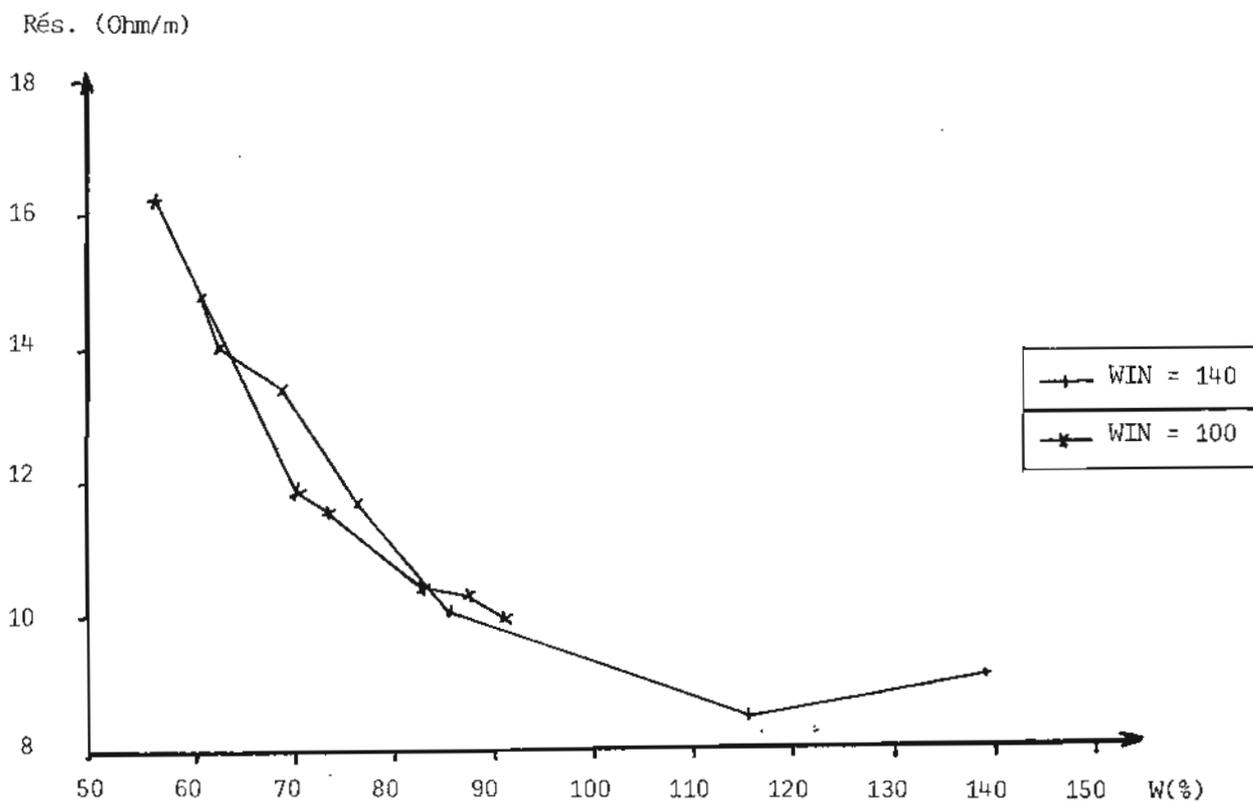


FIG. 3B. — Variation de la résistivité de la kaolinite en fonction de W (%).

L'équation (4) étant indéterminée d'un point de vue des résistivités, l'utilisation de l'équation (5) permet d'écrire :

$$\gamma_h = 2,65 - 1,65 \rho'_e \left[ \frac{\rho'_r - 1}{\rho'_r - \rho'_e} \right] \quad (6)$$

Alors :

$$\gamma_h = 2,65 - 1,65 \frac{\rho'_e}{\rho_s} \text{ or } \rho_s = \frac{\rho'_e}{n}$$

donc

$$\gamma_h = 2,65 - 1,65 \frac{\alpha_e \rho_e}{\rho_s} \quad (7)$$

(6) permet de mettre en évidence les variables qui peuvent influencer la valeur de  $\gamma_h$ , aux fortes teneurs en eau :

- $\rho'_r = \text{Cste}$
- Pour des raisons d'électroneutralité, la charge négative de surface des argiles doit engendrer un échange électrochimique entre la matrice argileuse et l'eau distillée. Cette migration doit faire diminuer  $\rho'_e$  avec le temps jusqu'à une valeur asymptotique. Or,  $\rho'_e$  diminuant, cela signifie que  $\chi_s$  augmente, donc  $\rho_s$  diminue mais sans pour autant que la valeur de  $\gamma_h$  varie...
- $n$  diminue au cours du temps, donc  $\rho_s$  augmente (et  $\chi_s$  diminue) à partir du moment où  $\rho'_e$  approche de sa valeur asymptotique.

D'un point de vue des mesures de résistivité, on peut écrire l'expression du courant  $I$  traversant une section  $S$  ainsi :

$$I = \frac{U}{R_s} = \frac{U}{\rho_s \frac{L}{S}}$$

d'où :

$$\rho_s = \frac{US}{IL}$$

Donc, d'après (7) :

$$\gamma_h = 2,65 - 1,65 \alpha_e \rho_e \left( \frac{IL}{US} \right) \quad (8)$$

Pour un site donné, la valeur de  $\rho_e$  est constante (aux remarques précédentes près) et  $\alpha_e$ , qui tient compte de l'agencement des particules, est d'autant plus proche de l'unité que la teneur en eau est grande (ce qui est notre cas).

On peut donc admettre, dans le cadre de nos hypothèses, que :

$\gamma_h = 2,65 - 1,65 KI$  où  $K$  est une constante fonction des conditions de mesure.

$B/\rho'_e \ll \rho'_e$  : Il s'agit des sols non saturés, essentiellement :

L'équation (4) permet d'écrire :

$$\gamma_h = 1 + 1,65 \rho'_r \left[ \frac{\rho'_e - 1}{\rho'_e - \rho'_r} \right] \quad (9)$$

alors,

$$\gamma_h = 1 + 1,65 \frac{\rho'_r}{\rho_s} \quad (10)$$

(9) permet d'observer quels sont les paramètres qui jouent sur la valeur de  $\gamma_h$ , pour un sol non saturé :

- $\rho'_e = \text{Cste}$
- $\rho'_r = \text{Cste}$ . En effet, à partir du point d'entrée d'air, la structure des argiles varie peu (voir la courbe  $e = f(p,F)$  pour une kaolinite).
- $\rho_s$  augmente lorsque la teneur en eau diminue.

En ce qui concerne l'évolution de  $\gamma_h$  en fonction du courant  $I$  traversant une section  $S$ , on peut écrire, à partir de (10) :

$$\gamma_h = 1 + 1,65 \rho'_r \frac{IL}{US}$$

d'où :

$$\gamma_h = 1 + 1,65 K'I \quad (11)$$

### III. ANALYSE EXPÉRIMENTALE

L'application de cette méthode pour obtenir des informations sur un sol saturé a été faite pour des sables en courant continu, et pour des argiles en courant alternatif et continu. Le principe de mesure consiste, dans les deux cas, à déterminer le courant circulant entre deux électrodes de 25 cm situées à 5 cm, sous une différence de potentiel constante.

#### III.1. Tests sur des sables

La densité humide de ces derniers est comprise entre 1,800 et 2,100 kg m<sup>-3</sup>, et leur porosité varie peu (de 0,25 à 0,30). Ce faible écart de  $n$  n'est guère propice à une évolution de la résistivité en fonction de  $\gamma_h$ ; en effet :

$$\gamma_h = n \gamma_w + (1 - n) \gamma_r$$

où :

$\gamma_w$  est la densité humide de l'eau  
 $\gamma_r$  est la densité humide du sable.

Nous avons préféré faire évoluer la salinité de l'eau pour obtenir une évolution du courant. Cette évolution de la salinité simule un accroissement de la porosité (la conductibilité de l'eau découle de sa quantité et du nombre d'ions présents dans cette dernière).

Nous avons obtenu une loi de la forme  $\gamma_h = 2,65 - K'I$ , conforme aux prévisions pour une simulation de  $n$  comprise entre 0,25 et 0,50.

### III.2. Tests sur des argiles

#### III.2.1. Courant continu

Cette vérification expérimentale a été faite dans le cadre du contrôle de l'évolution de la masse volumique d'une kaolinite contenue dans une fosse de 25 m<sup>3</sup> ainsi que dans deux cas correspondant à trois qualités distinctes de l'eau, soit :

- eau distillée (1)
- eau douce comprenant quelques impuretés (2)
- eau de la mer méditerranée (S = 0,035 %) (3).

L'analyse directe, en considérant une croissance linéaire de  $\rho$  (ou de la densité humide  $\gamma_h$ ) avec  $I$  conduit respectivement à :

$$\gamma_h = 1 + 0,21 I \quad \text{pour (1)}$$

$$\gamma_h = 1,27 + 0,088 I \quad \text{pour (2)}$$

Pour (3), il est impossible de proposer une évolution linéaire de  $\gamma_h$  avec  $I$ .

Les différentes évolutions de  $I$  en fonction de  $\gamma_h$  peuvent être étudiées en considérant la présence d'une force électromotrice provoquée par le comportement électrochimique du sédiment. Dans ces conditions, nous aurions un courant :

$$I = \frac{U - U_0}{R}$$

où  $U_0$  est une f.e.m. fonction de la valeur du courant et de la concentration en ions.

Les auteurs proposent une relation établie par le rapport entre  $I$  et  $\gamma_h$  pour ces trois cas, ce qui donne :

- pour (1) :

$$\gamma_h = 1 + 0,35 I^{0,4}$$

- pour (2) :

$$\gamma_h = 1 + 0,36 I^{0,35}$$

- pour (3) :

$$\gamma_h = 1 + 0,365 I^{0,3}$$

#### III.2.2. Courant alternatif

Des mesures de l'intensité du courant (donc de la résistivité globale du sol) sous une tension constante mais à des fréquences différentes, ont confirmé que la résistivité est indépendante de la fréquence dans la gamme étudiée (< 500 Hz). L'emploi d'un modèle électrique à base de résistances électriques, sans condensateur est donc correct.

Concernant notre essai, il était nécessaire de réaliser en parallèle les mesures de la teneur en eau, pour une résistivité donnée. Par conséquent, ne pouvant prélever des échantillons du sol de la cuve sans perturber le dépôt de l'argile, nous avons réalisé des mesures de résistivité sur un sol identique soumis à un essai oedométrique (Courbe n° 3B).

Ces mesures permettent de mettre en évidence deux zones :

— Une première zone ( $w > 71\%$ ) où la continuité du film d'eau entre les particules est assurée. Par voie de conséquence, les particules solides de kaolinite ne sont pas en contact : on est donc en présence d'un corps s'apparentant à un liquide.

— Une deuxième zone ( $w < 71\%$ ) où la résistivité augmente considérablement. Cela signifie que l'arrangement des cristallites de kaolinite est suffisant pour assurer une continuité de la phase solide, donc une non continuité du film d'eau conducteur.

Il semblerait que la limite entre un comportement de type liquide et un comportement de type solide pour une kaolinite de limite de liquidité :  $w_l = 61\%$ , soit donc aux environs d'une teneur en eau de 71%.

D'autre part, dans la zone où  $w > 71\%$ , on distingue 2 parties :

- 71%  $\leq w \leq$  92% (essai n° 1) et
- 71%  $\leq w \leq$  116% (essai n° 2)

la résistivité électrique croît lorsque la teneur en eau diminue (ce qui est normal car la porosité diminue)

- 100%  $\geq w \geq$  92% (essai n° 1)
- 140%  $\geq w \geq$  116% (essai n° 2)

la résistivité électrique décroît lorsque la teneur en eau diminue : en fait il s'agit d'un phénomène d'ionisation de la solution d'eau distillée au contact de l'argile (électroneutralité).

### IV. DISCUSSION

Une extrapolation des courbes densité  $f(I)$  montre qu'elles se rejoignent en un point :  $I = 0$  et  $\gamma_h = 1,93 \text{ g/cm}^3$ . A partir des équations générales, on obtient alors :

$\gamma_h = 1,93 - K''I$  avec  $K''$  fonction des conditions expérimentales et égal à :

$$\frac{R_0 \cdot n}{U}$$

Or, pour une teneur en eau donnée, le produit  $R_0 \cdot n$  doit être constant, quelles que soient les valeurs de  $U$  utilisées.

De plus,  $R_0 \cdot n = K''U$ , et les valeurs des pentes des droites  $\gamma_h = f(I)$  donnent  $K''$ . Connaissant  $U$ , il est possible de calculer le produit soit,

$$K''U = R_0 \cdot n = 0,317 \text{ Ohm},$$

ce qui confirme la validité de notre modèle et permet de trouver un paramètre qui doit être fonction du type d'argile puisque la valeur de l'indice des vides correspondante à  $I = 0$  est très proche de la valeur de la limite de plasticité ( $W_p$ ) de notre matériau (voir courbe  $e = f(\sigma)$ ).

D'autre part, on peut remarquer que la zone de changement important de résistivité, lorsque l'on augmente la teneur en eau correspondait également à un changement de comportement mécanique (courbe  $e = f(\sigma)$ ). Cela confirme ainsi l'hypothèse de passage d'un liquide à un solide dans cette zone.

## V. CONCLUSION

Les essais réalisés sur de la kaolinite placée dans une fosse de 25 m<sup>3</sup> ou pour des échantillons de faible volume conduisent à des résultats identiques :

- absence d'effets réactifs : le modèle électrique proposé est correct;
- fonctionnement facilité avec l'emploi de courants alternatifs.

La courbe résistivité-tenueur en eau suit plusieurs évolutions caractéristiques de l'état du sédiment, en particulier en ce qui concerne la consolidation de l'argile.

L'exploitation des données, même avec des électrodes de faibles dimensions est rapide.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] BAALY R.J.L., ANTONESCU I.P., 1961. — Application de l'électro-osmose à l'étude des sols et à leur classification. Comptes-rendus du 5<sup>e</sup> Congrès International de Mécanique des Sols et des travaux de fondation — DUNOD, Paris, Vol. 1, pp. 7-11.
- [2] BOISSON J.-Y., 1981. — Etude de l'adhérence de sédiments argileux à des surfaces métalliques. Application à l'étude de la traficabilité sous-marine par vis d'Archimède. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Université de Toulouse.
- [3] BOTTERO A., 1971. — Etude des propriétés mécaniques des matériaux argileux en fonction de leurs propriétés physico-chimiques. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Université de Grenoble.
- [4] CAMBEFORT H., 1980. — Géotechnique de l'Ingénieur — Reconnaissance des sols. éd. Eyrolles, Paris, 345 p.
- [5] CITTANOVA J.-P., 1970. — Application de la physico-chimie aux argiles, contribution à l'étude de leurs propriétés mécaniques. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université de Grenoble.
- [6] PAVATE T.V., KATTI R.K., 1975. Electrochemical hardening of a marine clay. Geotechnical Engineering, Vol. 6, pp. 55-59.
- [7] PLAIRE T., 1982. — Diminution de l'adhérence des sédiments argileux sur les parois métalliques par traitement électrique. Rapport de D.E.A. de Géologie, Université de Toulouse III.

## *DEUXIÈME PARTIE*

# RAPPORT SUR LES TRAVAUX GÉODÉSIQUES EFFECTUÉS PAR LE SERVICE HYDROGRAPHIQUE ET OCÉANOGRAPHIQUE DE LA MARINE DE 1920 À 1984

par

A. DEMERLIAC, Ingénieur Général de l'Armement (hydrographe) E.R.

## RESUME

Les Ingénieurs hydrographes ont exécuté de nombreuses opérations géodésiques dans le monde entier durant les missions dont ils ont été chargés. Ces travaux sont exposés dans de très nombreux documents qui sont en général publiés dans les Annales Hydrographiques citées dans la bibliographie. Seuls ont été retenus les travaux concernant la géodésie primordiale, stations astronomiques et azimuts, mesures de base, triangulations de 1<sup>er</sup> ordre et 1<sup>er</sup> ordre complémentaire en ajoutant cependant les triangulations locales d'étendue réduite quand ces dernières sont les seuls travaux géodésiques existant dans les zones concernées ainsi que les mesures gravimétriques en mer.

## ABSTRACT

French Hydrographers conducted many geodetic works worldwide during the surveys they had to carry out. These works are recorded in numerous documents usually published in the « Annales Hydrographiques » referred to in the bibliographie. Have only been quoted herewith those works dealing with primordial geodesy, astronomical points and azimuths, basic measurements 1st order and 1st order complementary triangulations adding however, local triangulations of limited extent when they were the only geodetic works available for the areas involved and gravimetric measurements at sea.

## AVANT-PROPOS

M. E. Fichot, alors Ingénieur hydrographe en Chef de la Marine, écrivait, dans un rapport analogue à celui-ci, mais publié en 1921 [1], l'avant-propos suivant :

« Les opérations géodésiques exécutées par les ingénieurs hydrographes de la marine sont exposées dans les rapports concernant les différentes missions dont ces ingénieurs ont été chargés, mais n'ont jamais été l'objet d'un exposé d'ensemble. La raison en est que toutes ces opérations ont été conçues et exécutées, non pas en vue d'un résultat intéressant directement la géodésie proprement dite mais avant tout pour servir de base solide aux sondages qui constituent l'essentiel de toute Mission Hydrographique. Par suite, il n'a pas été possible de leur consacrer un temps disproportionné au but principal à atteindre et leur exécution a nécessairement dépendu d'un compromis perpétuel entre le souci d'obtenir le maximum de

précision possible et le temps restreint ainsi que les moyens limités dont disposaient les ingénieurs. On ne saurait donc s'étonner qu'aucun résultat d'ordre purement théorique n'ait été, à de rares exceptions près, poursuivi ni obtenu. Mais tels qu'ils sont, ces travaux, répartis en diverses régions du globe, ont apporté un complément appréciable aux réseaux de triangulation antérieurement constitués et même, dans bien des cas, ont fourni les chaînes primordiales sur lesquelles on a appuyé toutes les autres ».

Soixante ans plus tard, il n'y a pas un mot à changer à cet avant-propos de M. Fichot, et, de même que celui-ci avait dressé un bilan sommaire de ces différentes opérations exécutées de la fondation du corps des Ingénieurs hydrographes en 1814 à 1920, je me propose de faire un travail analogue pour la période postérieure, de 1920 à 1984 environ et en joignant aux travaux des Ingénieurs hydrographes ceux des Officiers de Marine quand ces travaux ont été pilotés ou publiés par le Service Hydrographique.

## 1. COTES DE FRANCE

Entre les deux guerres mondiales, les missions hydrographiques qui ont travaillé sur les côtes de France ont utilisé les systèmes géodésiques qui ont servi à lever les cartes un siècle auparavant et qui ont été décrits dans la note de M. Fichot. Quelques travaux de triangulation complémentaire ont alors été exécutés pour la mise à jour des listes des points géodésiques et amers servant de canevas à la carte marine.

Pour effectuer le levé de l'étang d'Hourtin, dans les Landes où il n'existait aucune triangulation, M. Gougenheim fit en 1929 une triangulation locale avec mesure de base et azimut astronomique [2]. Cette triangulation locale est rattachée au système hydrographique d'origine Marennes par un seul point, le clocher de Carcans, qui avait été triangulé par M. Cot en 1918-19 lors de la détermination de la position d'un certain nombre d'observatoires dans les Landes pour les essais de l'artillerie lourde sur voie ferrée [3].

Après la deuxième guerre mondiale, les missions hydrographiques ont été reconstituées en 1947 et M. Anthoine, qui travaillait sur la côte Ouest du Cotentin en 1949, dû reprendre complètement la triangulation du système hydrographique d'origine Clocher de Cancale dont l'homogénéité laissait beaucoup à désirer et dont la plupart des repères avait disparu par suite de la guerre. Mais, dès l'année suivante, les travaux sur les côtes de France ont été arrêtés au profit du levé des côtes du Maroc qui fut achevé en 1959. L'Institut Géographique National (IGN) avait alors pratiquement achevé le 1<sup>er</sup> ordre de la Nouvelle Triangulation de la France, et lorsque les hydrographes reprirent leurs travaux sur la côte ils n'eurent à exécuter que des travaux de géodésie complémentaire, soit pour l'exécution de levés côtiers, soit pour la mise en place et l'étalonnage de chaînes de radionavigation, soit enfin pour placer les amers de façon précise. Ce travail concerne la quasi totalité des côtes de la France métropolitaine et de la Corse même si la totalité des côtes n'a pas été levée à nouveau du point de vue hydrographique. Notons en particulier l'établissement dans les années 60 d'un réseau de points de 2<sup>e</sup> ordre dans le Finistère pour la mise en place de chaînes de radiolocalisation Rana et Ragep, l'IGN n'ayant fait à l'époque que le 1<sup>er</sup> ordre dans cette région. Enfin, l'implantation d'une chaîne Toran 3G à longue portée avec des émetteurs en France, en Grande-Bretagne et en Irlande en vue du levé du plateau continental au large de la Bretagne conduira à réaliser le rattachement géodésique des réseaux français, britanniques et irlandais avec utilisation d'un système de projection unique pour les trois pays permettant de calculer directement les réseaux hyperboliques de radionavigation.

En ce qui concerne le nivellement, le rattachement des réseaux locaux des îles d'Aix, d'Oléron et de Ré au réseau du Nivellement Général de France (N.G.F.) continental a été réalisé en 1960-61 par MM. Plouviez et Vicariot [4] suivant la méthode des nivellements à longue portée exposée par M. Cahierre dans la publication IGN « Méthode Moderne de Nivellement géodésique ». L'erreur probable de ces nivellements est :

1,2 mm pour la portée Fort d'Enet-Ile d'Aix,  
0,6 mm pour la portée La Pallice-Ile de Ré,  
0,9 mm pour la portée Le Chapus-Ors  
1,2 mm pour la portée Ile d'Aix-Fort Boyard,  
1,3 mm pour la portée Fort Boyard-Fort des Saumonards.

La fermeture entre les deux nivellements Continent-Ile d'Oléron (Fort d'Enet-Fort des Saumonards et le Chapus-Ors) est de 6 mm ce qui est très satisfaisant, le repère IGN utilisé au Fort des Saumonards étant du 4<sup>e</sup> ordre seulement. De plus, cette erreur cumule non seulement les erreurs entre le Fort d'Enet et le Fort des Saumonards (3 portées), celle entre le Chapus et Ors (1 portée), mais celle du nivellement IGN entre Ors et le Fort des Saumonards sur l'Ile d'Oléron et celle des mêmes nivellements entre le fort d'Enet et le Chapus sur le continent.

Enfin, en ce qui concerne les déviations de la verticale, le Capitaine de Vaisseau Pirot [5], commandant le cuirassé « Bretagne » fit, de sa propre initiative, toute une série d'observations à l'Astrolabe à prisme à Marseille, Toulon (Castigneau, Observatoire de la Marine, Grosse Tour, Place Colbert, Cap Brun), Saint Raphaël, Golfe Juan, Juan-les-Pins, Villefranche-sur-Mer, Ajaccio ainsi qu'à Sousse, Bizerte et Mers-el-Kébir en Afrique du Nord. Il entreprit une étude de la déviation de la verticale complétant celle de l'Ingénieur hydrographe Germain publiée dans les Annales hydrographiques de 1886. Il fait une critique de ses résultats en fonction de la topographie locale, en distinguant, grâce à ses nombreuses observations dans la région de Toulon, l'influence des Alpes sur les déterminations de la côte Sud de France et celle des collines voisines. Il montre également l'intérêt de l'Astrolabe à prisme pour les déterminations du mouvement du pôle, idée qui ne sera reprise que bien plus tard par les astronomes professionnels avec la mise en service de l'Astrolabe Danjon. Il fit également une étude très pertinente des erreurs de l'Astrolabe dues au prisme et à la réfraction et de l'utilisation de l'Astrolabe pour améliorer les constantes des formules de réduction de positions stellaires et les coordonnées des catalogues d'étoiles, étude qui sera reprise et complétée ultérieurement par M. Gougenheim [76] et [79].

## 2. AFRIQUE DU NORD

Entre les deux guerres mondiales, la Mission Hydrographique d'Algérie et de Tunisie acheva le levé de la côte Nord de Tunisie et réalisa celui de la quasi totalité de la côte algérienne et de quelques mouillages de la côte Atlantique du Maroc. Le canevas géodésique utilisé est la triangulation du 1<sup>er</sup> ordre du parallèle de l'Algérie observée avant la première guerre mondiale et recalculée après en coordonnées Lambert Nord Algérie par le Service Géographique de l'Armée (S.G.A.) à la demande du Service Hydrographique. Les points de 1<sup>er</sup> ordre sont en quasi totalité des sommets situés à une distance certaine de la côte et la Mission Hydrographique exécuta la totalité de la géodésie complémentaire entre cette chaîne de 1<sup>er</sup> ordre et la côte. Il s'agit de la première utilisation de la projection Lambert par une mission hydrographique, mais cette projection était déjà bien connue des Ingénieurs hydrographes (6) qui, durant la première guerre mondiale, l'avaient préconisée pour les canevas de tir de toutes les armées alliées.

Au Sud Maroc, M. Ricard exécuta une triangulation locale en 1920 à Agadir, avec mesure de base au fil invar et point astronomique à l'Astrolabe à prisme, et refit un point astronomique à Mogador, la longitude du point observé en 1905 étant douteuse.

Après la deuxième guerre mondiale, la Mission Hydrographique des côtes de France et d'Afrique du Nord entreprit de 1950 à 1959 la réfection complète de l'hydrographie des côtes du Maroc. Le canevas géodésique local réalisé par l'IGN et le Service Topographique Chérifien étant récent et très complet, le travail géodésique des hydrographes s'est limité à la détermination de la position des amers et des antennes des émetteurs Rana, système de radio-navigation utilisé pour le levé du large. Un point astronomique très précis à l'Astrolabe à prisme et un azimut au Théodolite WILD T3 réalisés en 1959 à Agadir par MM. Poulet et Vicariot (7) confirment les observations de 1920 de M. Ricard, la forte déviation relative de la verticale et la légère désorientation du réseau géodésique de l'Afrique du Nord d'origine « Colonne Voirol ».

Enfin, au sud du territoire d'Ifni, dans une région où il n'existe aucune triangulation, le levé hydrographique des embouchures des oueds Takoumba et Issafène en 1954 a nécessité une petite triangulation locale couvrant 25 km de côte avec mesure de base à la mire invar WILD, mesure de latitude au théodolite, mais sans mesure de longitude qui a été déduite de la position du trait de côte de la carte IGN au 100 000<sup>e</sup>. Ce travail exécuté par M. Bourgoïn (8) a été étendu d'une quinzaine de kilomètres l'année suivante par M. Terrasson de Fougères (9). Une base de vérification à la mire invar a été mesurée à l'extrémité N.E. de la chaîne

et la valeur trouvée, 1070,80 m mesurés pour 1070,63 calculés, donne un écart suffisamment faible, vu les dimensions du levé, pour éviter une compensation de l'ensemble des triangles.

## 3. MAURITANIE ET SÉNÉGAL (au Nord de Dakar)

En 1934, lors de la reprise des travaux hydrographiques dans cette région, les travaux géodésiques étaient :

— Une triangulation locale, avec point astronomique à l'Astrolabe à prisme et une mesure de base au fil invar couvrant la Baie du Lévrier, du Cap Blanc au Cap Sainte Anne, exécutée en 1910 par le Capitaine de Corvette Le Bail;

— Un point astronomique observé en 1885 à Saint Louis par M. Bouquet de la Grye;

— Une triangulation locale des environs de Dakar effectuée en 1931 par le SGA de l'AOF avec trois points astronomiques observés en 1885 par M. Bouquet de la Grye, en 1910 par M. Le Bail et en 1923 par le SGA.

Le Capitaine de Corvette Bonnin (10) et l'Enseigne de Vaisseau Yayer étendirent vers le Nord la triangulation de Dakar jusqu'à Cayar, firent une triangulation avec mesure de base au double décimètre et orientation astronomique dans la région de Saint Louis couvrant l'embouchure du Sénégal, une autre dans la région de Nouakchott couvrant 73 kilomètres de côte, mais manquant de temps et pressés par les travaux à la mer, ils ne firent qu'une géodésie expéditive entre les quatre systèmes locaux de triangulation de la façon suivante :

— Entre Cayar, point extrême de la triangulation de Dakar, et Saint Louis, par un cheminement sur la plage à marée basse, les distances étant mesurées plusieurs fois à l'aide du compteur hectométrique d'une voiture automobile; l'erreur de fermeture entre les points astronomiques de Dakar et de Saint Louis atteint 2000 mètres (1'14" en latitude, 5" en longitude) et a été répartie sur le cheminement automobile;

— Les triangulations de Saint Louis et de Nouakchott, distantes de 66 kilomètres, ont été reliées par stations à la mer, et la triangulation de Nouakchott, prolongée vers le Cap Timiris sur 153 kilomètres par le même procédé. Cinq stations à l'Astrolabe à prisme ont été observées par M. Yayer entre Saint Louis et le Cap Timiris et l'on a admis que les 7 positions astronomiques (celles de Dakar, de Saint Louis et les 5 de M. Yayer) étaient exactes;

— La liaison entre le Cap Timiris et le Cap Sainte Anne de la triangulation de la Baie du Lévrier a été assurée par un cheminement expéditif entre ces points, 4 stations astronomiques à

l'Astrolabe à prisme et un assemblage de photos aériennes prises par l'Aéronavale. La station astronomique du Cap Sainte Anne est à 1°1 en latitude et 0°2 en longitude des coordonnées géographiques déduites de la triangulation Le Bail de 1910.

En 1953, M. Doniol (11) exécuta dans la région de Tanit une triangulation locale avec mesure de base à la mise invar WILD couvrant 45 kilomètres de côte et la rattacha à l'extrémité Nord de la triangulation de Nouakchott (Bonnin 1935). Plus au Sud, M. Mannevy (12) fit en 1955-1956 une autre triangulation locale de 30 kilomètres de côte qu'il rattache au seul point de la triangulation Bonnin qu'il retrouva.

En 1961, MM. Demerliac (13) et Poulet ont repris la géodésie de Port Etienne au Cap Timiris pour permettre l'implantation d'une chaîne de radionavigation Toran en vue du levé du banc d'Arguin et de ses abords. Elle fut réalisée à l'aide du telluromètre et tous les points astronomiques de la région (3 points récents de l'IGN, 5 anciens du SGA et 3 du S.H.) ont été rattachés. De nombreuses mesures d'azimut sur étoiles ont été faites, les fermetures ne dépassant pas 2 à 4". Une compensation a été effectuée quand les mesures étaient surabondantes, mais de nombreux angles n'ont pu être mesurés à cause de la visibilité et certains points n'ont été fixés que par trilatération, tous les côtés des triangles étant mesurés. Ce cheminement a été prolongé en 1962 par M. Poulet sur 60 kilomètres jusqu'aux points nord de la triangulation Doniol de 1953, et pour assurer une précision de l'ordre de 200 000<sup>ème</sup> à tout ce travail, une base a été mesurée au fil invar dans la région de Thies (au Sénégal) uniquement pour étalonner le telluromètre utilisé.

En 1964, 1965, M. Georgeot (14) refit au telluromètre une triangulation locale dans la région de Nouakchott à partir du point astronomique observé en 1957 par l'IGN. Il retrouva trois points de triangulation Mannevy de 1955 dont il vérifia l'échelle et l'orientation. Il trouva 3" d'écart en latitude et 8" en longitude entre les points déduits du point astronomique Yayer de 1934 et du point IGN de 1957.

En résumé, les travaux du Service Hydrographique ont fourni la géodésie de plus de la moitié de la façade maritime de la Mauritanie; la précision des 260 kilomètres de la partie Nord est meilleure que le 100 000<sup>ème</sup>, mais celle de la partie Sud est beaucoup plus faible et est comprise entre le 1000<sup>ème</sup> et le 10 000<sup>ème</sup> seulement, sauf pour la partie refaite en 1964-65, mais reste suffisante pour les besoins de la cartographie.

#### 4. SÉNÉGAL, DE DAKAR A LA GUINÉE PORTUGAISE

Au Sud de Dakar, M. Bonnin [10] étendit la triangulation locale jusqu'au Cap de Naze par une chaîne de petits triangles en 1935-1936. La chaîne de grands triangles jusqu'au même cap, que le manque de visibilité n'avait jusqu'ici pas permis de faire, a été réalisée en 1936 et 1937 par le Lieutenant de Vaisseau Geffrier et l'Enseigne de Vaisseau Milhau [15] et ses résultats diffèrent d'une dizaine de mètres de ceux de M. Bonnin ce qui montre le danger de faire la triangulation complémentaire avant la triangulation principale. Pour les besoins de la sonde, cette triangulation a été prolongée vers le S.E. sur 20 kilomètres par une combinaison de stations à terre et à la mer, la forêt ne permettant pas les visées vers l'intérieur des terres.

Plus au Sud, le seul travail géodésique sérieux réalisé entre les deux guerres mondiales a été la triangulation du fleuve Saloum effectuée en 1930-1931 par le Lieutenant de Vaisseau Tromeur [16] entre Sangomar, à l'embouchure, et Foundiougne à une cinquantaine de kilomètres à l'intérieur. Le point astronomique utilisé est celui observé par M. Le Bail en 1911 à Sangomar où fut mesurée au fil invar une base de 2 kilomètres environ. Dans cette zone boisée et sans relief, les seules visées possibles sont au-dessus du fleuve, d'où de très nombreux petits triangles. Pour éviter l'accumulation des erreurs, 3 autres bases ont été mesurées et de nombreux azimuts astronomiques observés. Deux autres triangulations locales, à Kaolack, sur le Saloum en amont de Foundiougne, et à M'Bour, sur la côte au Nord de l'embouchure, ont été également réalisées par M. Tromeur, mais sans liaison géodésique avec celle de Sangomar à Foundiougne. En 1937, le SGA de l'AOF reprend complètement la triangulation de la presqu'île du Cap Verd avec utilisation de nouvelles bases et M. Gougenheim [17] qui dirige la Mission Hydrographique en 1938-1939 montre que les travaux de MM. Le Bail de 1910, Bonnin de 1935-1936 et Geffrier de 1936-1937 basés sur les systèmes géodésiques antérieurs doivent être corrigés, surtout ceux de 1910 qui présentent une erreur d'échelle appréciable. Cette nouvelle triangulation atteint le Cap de Naze en 1940.

Après la seconde guerre mondiale, et avant la reprise des travaux hydrographiques, une mission géodésique dirigée par M. Bonnin [18] prolonge cette triangulation jusqu'à la Gambie britannique. Cette chaîne de triangles de 1<sup>er</sup> ordre fut réalisée à l'aide de tours Bilby prêtées par le Service Géographique de l'AOF et calculée en projection de Gauss. Pour permettre une compensation ultérieure, deux tours Bilby ont été laissées en place à Jackonsa et à Djinnack, cette dernière à proximité immédiate de la frontière de la Gambie.

Bien qu'il y ait quelques points communs avec la triangulation du Saloum de M. Tromeur, cette dernière n'a pas été recalculée malgré les écarts importants observés entre Foundiougne et les Iles du Diable en 1953-1954 par M. Sauzay [19].

En 1962, à l'occasion du levé hydrographique au large des embouchures du Djomboss et du Bandiala, M. Demerliac [13] mesura au telluromètre la distance entre les 2 tours Bilby laissées en place en 1947 et trouva une distance de 25 315,09 mètres au lieu de 25 311,92 mètres déduite des coordonnées, toutes corrections faites, soit une erreur d'échelle de  $1,2 \cdot 10^{-4}$ , mais la distance Tiao-Niangol, base de départ de la triangulation Bonnin en 1946, n'a pas été vérifiée au telluromètre, et l'erreur observée pouvant aussi bien venir d'une déformation continue de la chaîne de triangles que d'une erreur sur les 2 points de départ, aucun calcul de compensation n'a alors été entrepris.

Au Sud de la Gambie, l'embouchure de la Casamance fit l'objet d'une nouvelle triangulation à partir de 1951, les repères de l'ancienne triangulation faite par M. le Bail en 1911, ayant disparu. Point astronomique à l'Astrolabe à prisme et mesure de base au fil invar avec début de triangulation en 1951-1952 par M. le Fur [20]; extension de la triangulation le long de la Casamance jusqu'à Ziguinchor en 1953-1954 par M. Doniol [11] sur 50 kilomètres environ par de très nombreux petits triangles en travers de la rivière tortueuse avec mesure d'une base de vérification et un azimut; légère extension de part et d'autre de l'embouchure en 1955 par M. Mannevy [12]. En 1958, M. Bourgoïn [21] fit un cheminement de 38 kilomètres en utilisant le géodimètre, cheminement qui fut prolongé de 35 kilomètres jusqu'à la frontière sud de la Gambie en 1960 par M. Comolet-Tirman [22].

Enfin, en 1964-1965, M. Georgeot [14] fit un cheminement continu au telluromètre de Dakar à la Guinée portugaise, traversant la Gambie britannique, en partant d'un nouveau point astronomique de l'IGN à Dakar et arrivant au Cap Roxo au Sud de la Casamance, en passant par divers points des triangulations précédentes dont les tours Bilby de Jackonsa et de Djinnack (qui, devenues inutiles, furent démontées), rendant parfaitement homogène le réseau des différents systèmes géodésiques utilisés jusque là.

## 5. GUINÉE

Avant la deuxième guerre mondiale, MM. GEFRIER et MILHAU [15] triangulèrent les abords de Taboria, avec mesure de base et azimut, mais sans point astronomique, cette triangulation locale ayant été rattachée à un point de 2<sup>ème</sup> ordre du SG de l'AOF par station à la mer au cours de l'extension de cette triangulation vers le Nord-Ouest.

En 1938, l'Enseigne de Vaisseau GUERITAUD [23] fit également une triangulation locale des abords de Conakry et de l'estuaire de la Mellacorée.

En 1956, M. PELUCHON [24], pour ses sondages à l'embouchure du Rio Nunez, a utilisé un système local établi par un géomètre civil pour le compte de la SOGEI ayant pour origine le point astronomique de Binari (IGN 1951). Avec l'aide du Capitaine de Frégate (E.R.) GUYOT, il a rattaché ce système au Cap Verga, point le plus Nord de la chaîne de triangles du SG, par un triangle de 1<sup>er</sup> ordre. La distance entre la position du Cap Verga déduite du système local d'origine Binari et celle déduite de la chaîne de Guinée d'origine Conakry (point astronomique de 1913) est de 60 mètres.

En 1957, MM. PELUCHON et DEMERLIAC ont rattaché les récifs du Conflict, banc découvrant situé à 45 kilomètres dans l'Ouest de l'embouchure du Rio Nunez au système d'origine Binari par visées simultanées du mât du *Beautemps Beaupré* bâtiment base de la Mission Hydrographique, à partir de 3 points de la triangulation locale et d'une tour en tubes métalliques construites sur les récifs; cinq mouillages successifs furent visés et un azimut sur étoiles effectué pour vérifier le transport d'azimut; la précision obtenue est de quelques mètres, l'erreur venant essentiellement du manque de stabilité de la tour, battue par les vagues, le récif ne découvrant qu'à marée basse et les mesures ayant duré neuf heures.

## 6. COTE D'IVOIRE

Si aucun travail géodésique notable n'a été fait en Côte d'Ivoire entre les deux guerres, il n'en est pas de même après, avec l'ouverture du canal de Vridi et du port d'Abidjan.

De 1951 à 1956, MM. LE FUR [20], DONIOL [11], MANNEVY [12] et PELUCHON [24] exécutèrent des triangulations locales dans la région d'Abidjan ou à Sassandra, avec mesure de base à l'appareil Carrier ou à la mire invar Wild et azimut sur le soleil, les points astronomiques utilisés étant ceux du SGA.

En 1961 il est décidé de refaire complètement l'hydrographie de la Côte d'Ivoire en dix ans environ, et comme il n'existe aucune triangulation terrestre en dehors de celles déjà citées, l'IGN n'ayant fait pour les besoins de la carte terrestre que des points astronomiques espacés de 60 kilomètres environ, un cheminement côtier au telluromètre est entrepris par MM. DEMERLIAC [13] et POULET en 1961-1962 et poursuivi en 1963-1964 par MM. BOURGOÏN [25] et MILARD.

L'absence de tout relief et la présence de végétation jusqu'à la mer nécessite de travailler directement sur la plage, au voisinage de la laisse

de pleine mer. La conservation des bornes géodésiques si proches de la mer étant douteuse, chacune est doublée d'une autre, à quelques centaines de mètres à l'intérieur, en général au milieu d'une plantation de cocotiers.

En partant de Port Bouët, ce cheminement a été poussé à l'ouest jusqu'à Grand Lahou et à l'Est jusqu'à la frontière du Ghana, soit sur 200 kilomètres, couvrant 45 % du littoral ivoirien. Ce cheminement comprend six azimuts astronomiques et a rattaché les points astronomiques IGN d'Assinie, Grand Bassam, Grand Lahou en plus de Port Bouët, origine du cheminement, et d'Abidjan; la triangulation d'Abidjan utilisée par le Service Topographique a été recalculée en U.T.M. dans le même système géodésique que le cheminement côtier. M. Bourgoïn exécuta également dans l'Ouest du pays une triangulation locale à San Pedro, avec mesure de base à la mire invar Wild et en utilisant un point astronomique de l'IGN datant de 1958.

La Mission Hydrographique ayant été supprimée en 1965, le cheminement vers l'Ouest n'a pas dépassé Grand Lahou et les triangulations locales de San Pedro et de Sassandra n'ont pu être rattachées à un système géodésique unique.

## 7. GABON ET CONGO

Les levés effectués en 1920 par M. Lafargue [26] ne sont que la poursuite des levés de MM. Bain de la Coquerie et Audoin de 1911 et Lafargue de 1914. En ce qui concerne la géodésie, ces travaux comprennent 18 points astronomiques à l'Astrolabe à prisme répartis sur la côte entre la Baie de Corisco au Nord et Pointe Noire au Sud, ainsi que 7 points sur l'Ogooué et 4 triangulations locales couvrant l'embouchure du Gabon (Libreville et Owendo), l'embouchure de l'Ogooué (Baie du Cap Lopez et Port Gentil), la Pointe Panda et la Baie de la Kondé, avec mesure de base au fil invar.

Les travaux géodésiques n'ont été repris dans cette zone qu'après la deuxième guerre mondiale. Une triangulation expédiée de 12 kilomètres de côte est réalisée dans la région de Mayumba en 1950-1952 par M. Le Fur [20]; la triangulation cadastrale de Pointe Noire, datant de 1950, est étendue vers Loango sur 30 kilomètres environ en 1952-1953 par M. Doniol [11], et M. Sauzay [19] refit en 1953-1954 à Pointe Panda une nouvelle triangulation, les repères Lafargue ayant disparu.

En 1955-1956, MM. Mannevy [12] et Dars réalisèrent une triangulation de 1<sup>er</sup> ordre de la Baie de Corisco rattachée à deux points astronomiques, l'un au Sud, au Cap Estérias, observé en 1951 par l'IGN et une mission américaine à l'occasion d'une éclipse totale du soleil, l'autre au nord, à Gobé, sur

l'île de Corisco, observé en 1950 par le Service Géographique espagnol. Cette triangulation ne comporte donc ni mesure de base ni d'azimut. La triangulation de la rivière Mondah, réalisée en 1954, fut recalculée après avoir été rattachée à la précédente. Une nouvelle triangulation de l'estuaire du Gabon est entreprise, avec mesure de base au fil invar sur le terrain d'aviation de Libreville et construction de tour Bilby au Nord de Libreville pour essayer, mais sans succès, de rattacher cette nouvelle triangulation à celle de Corisco. Cette triangulation du Gabon a été reprise en 1956 et 1957 par MM. Péluchon [24] et Demberliac qui l'étendirent au S.O. Jusqu'au phare de N'Gombé par triangulation classique et au N.O. Jusqu'au Cap Estérias, point astronomique origine, par visées simultanées sur le *Beautemps-Beaupré*.

Une mesure d'azimut à Libreville et une autre au Cap Estérias permet de vérifier la qualité du transport d'azimut par les visées simultanées et d'orienter la triangulation de Corisco dont l'échelle est donnée par une visée d'un point de triangulation de Libreville sur un point de celle de la rivière Mondah, mais sans vérification. La triangulation de Lafargue de 1912 dont la quasi totalité des bornes a été retrouvée est recalculée dans le nouveau système.

En 1957-1958-1959, MM. Bourgoïn [21] et Plouviez étendirent la triangulation précédente vers l'Est jusqu'à la rivière Remboe, firent un cheminement géodésique de 79 kilomètres de côte entre Mayumba et l'embouchure de la Nyanga avec un point astronomique et mesures d'azimuts, les repères des points astronomiques Lafargue à Mayumba et à Nyanga ayant disparu, et un autre cheminement côtier de 175 kilomètres du Cap Lopez à Tassi en utilisant pour la première fois le géodimètre. Ce dernier cheminement a plusieurs points communs avec la triangulation de la SPAEF (Société Pétrolière de l'AEF) qui couvre la région de Port Gentil et l'embouchure de l'Ogooué. La valeur de cette triangulation est vérifiée par la mesure de 5 de ses côtés au géodimètre, montrant que la base de la SPAEF de 12 kilomètres de longueur a été mesurée avec un ruban Lafosse non étalonné un peu trop long.

En 1959-1960, M. Comolet-Tirman [22] vérifia l'échelle de la triangulation de Corisco par mesure d'un côté au telluromètre, compléta le rattachement des triangulations de Libreville et de Corisco, effectué de façon expéditive en 1956, par 2 mesures de distance entre 2 points de la triangulation de Libreville et 2 points de celle de Corisco, vérifia, toujours au telluromètre, l'agrandissement de la base de Libreville qui était peu orthodoxe (utilisation d'un triangle avec un angle de 7° 30'), et fit, au géodimètre, un cheminement entre N'Gombé, de la triangulation de Libreville, et Ekoueta, de celle de la SPAEF. Plus au Sud, un cheminement au telluromètre était réalisé par son adjoint, M. Georgeot, entre Tassi et la Nyanga

tandis qu'un autre, au géodimètre, était exécuté entre la Nyanga et la frontière du Cabinda par M. Plouviez [27], achevant la couverture géodésique des 900 kilomètres de côte du Gabon et du Congo. Les lagunes de Fernan Vaz et d'Iguéla ont également été cheminées au géodimètre et rattachées au cheminement côtier.

Ces cheminements successifs ont d'abord été calculés en 4 tronçons indépendants à partir de 4 points astronomiques distincts. Les calculs définitifs d'homogénéisation des triangulations de Corisco, du Gabon et des cheminements successifs en un système unique d'origine Cap Estérias ont été faits en 1961 par M. Demerliac [28]. Ces calculs montrèrent des erreurs fortuites de l'ordre du mètre dans le rattachement provisoire des triangulations de Libreville et de Corisco effectué en 1956. Le point faible de cette géodésie côtière est le cheminement à la mire invar Wild de Mayumba à la Nyanga d'une longueur de 80 kilomètres; sa réfection au telluromètre était prévue en 1963 mais n'a pas pu être exécutée.

## 8. ANTILLES FRANÇAISES

En 1938-1939, M. Legrand [29] fit une station à l'Astrolabe à prisme et étendit la triangulation locale du cadastre de Fort-de-France à toute la moitié Sud de l'île de la Martinique. Il mesura également une base de 2 kilomètres environ au fil invar et trouva une légère erreur d'échelle à la triangulation locale qui utilisait une base de 7 kilomètres mesurée en 1926 mais qu'il ne corrigea pas. La poursuite de la triangulation vers le Nord entreprise par l'Enseigne de Vaisseau Canuel fut stoppée par la déclaration de guerre et fut réalisée en 1952 par M. Dubor de l'IGN.

Lors de la reprise des travaux hydrographiques en 1976-1977, ce système a paru insuffisant pour la mise en place des moyens de radiolocalisation utilisés pour les sondages et la détermination d'un nouveau système géodésique est entreprise en 1978 et achevée en 1983 [30]. La triangulation s'étend jusqu'aux îles voisines de Sainte Lucie et de la Dominique. Le réseau retenu pour la compensation d'ensemble, étendu aux deux îles de Sainte Lucie et de la Dominique, comprend 31 points avec 65 mesures de distance au telluromètre MR 5 ou au telluromètre AGA 14 (pour les courtes distances) et 47 mesures angulaires, en général au théodolite Wild T 3 avec 16 répétitions et forme le système SHOM 1984. Comparé au système IGN 1953 qui résultait des observations de M. Legrand de 1938-1939 et de l'IGN de 1952, on observe une erreur d'échelle de  $7 \cdot 10^{-6}$  dans le sens déjà constaté par M. Legrand lorsqu'il mesura la base de contrôle de 2 km. Les écarts observés sur les positions sont de l'ordre de 0,3 m

pour les points de 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> ordre, du mètre pour ceux d'ordre 3 sauf pour certains qui sont à l'origine des difficultés rencontrées en 1976-1977 et qui ont provoqué la reprise de la géodésie locale.

En Guadeloupe, une mission géodésique fut exécutée de 1946 à 1948 par M. Grousseau [31] assisté de l'ingénieur géographe Maillard. Elle observa un point astronomique très précis à l'Astrolabe à prisme, une mesure d'azimut, une triangulation de 1<sup>er</sup> ordre couvrant les îles de la Guadeloupe, Grande Terre, Désirade, Marie Galante et l'archipel des Saintes. Une triangulation complémentaire avec un point par 30 km<sup>2</sup>, la détermination des altitudes par nivellement géodésique et la détermination d'un zéro origine par observation du niveau de la mer furent également faites. Par contre, la mesure de base au fil invar, base dont l'emplacement a été reconnu, n'a pas été faite, M. Grousseau ayant dû être rapatrié en 1948 pour raison médicale sans avoir achevé son travail. Celui-ci sera repris ultérieurement par l'IGN.

Le rattachement de la Guadeloupe au système géodésique Sainte Lucie — La Martinique — la Dominique a été réalisé dans les années 1980 et a fait l'objet du rapport d'étude SHOM 5-86 en juin 1986 et n'a encore fait l'objet d'aucune publication aux Annales Hydrographiques.

## 9. GUYANE

M. Legrand [32] fit en 1929 dans la région de Cayenne une triangulation locale avec point astronomique à l'Astrolabe à prisme à partir d'une base mesurée en 1913 par les Ponts et Chaussées. Le Lieutenant de Vaisseau Yayer [33] étendit cette triangulation vers le Nord Ouest jusqu'au Kourou et aux îles de Salut en 1936-1937. Il exécuta également une triangulation locale de l'embouchure du Maroni, avec 2 mesures de bases et 2 stations à l'Astrolabe à Saint Laurent et aux Hattes. La liaison par triangulation classique entre le Kourou et le Maroni lui semble difficile à réaliser et il ne fait qu'un point à l'Astrolabe à Iracoubo, sensiblement à mi-distance entre les deux triangulations.

M. Lemièrre [34] compléta en 1947-1948 la triangulation de Cayenne et la prolongea au Sud-Est jusqu'à l'embouchure de l'Oyapock, fleuve frontière avec le Brésil. Cette triangulation couvre alors la moitié Sud-Est de la façade maritime de la Guyane.

## 10. COTE DES SOMALIS-DJIBOUTI

M. Gougenheim [35] établit une triangulation à Djibouti avec mesure de base au fil invar et position astronomique à l'Astrolabe à prisme en 1927-1928. Cette triangulation a été étendue vers le Nord par le Lieutenant de Vaisseau Guyot [36] qui rattache en particulier le phare de Perim, déjà triangulé par les Britanniques en 1901-1904 à partir d'Aden et qui assure la liaison entre la triangulation de Djibouti et celle d'Assab réalisée en 1933-1934 par l'Institut Hydrographique de Gênes. Les divergences d'échelle et d'orientation constatées sont inférieures aux erreurs de calcul de ces éléments et l'on peut considérer que les triangulations françaises de 1927-28 et 1934-35 et celle italienne de 1933-34 comme une seule triangulation entre le Mont Direction (au Sud de Djibouti) et le phare de Fatma (au Nord Assab) sur une distance de 165 kilomètres, la déviation relative de la verticale entre les éléments astronomiques à Assab et à Djibouti, en utilisant l'ellipsoïde d'Hayford, étant de 2''6 en latitude et 3''7 en longitude, soit de l'ordre de grandeur des erreurs d'observation. M. Guyot retrouva et rattacha deux points de la triangulation d'Obock de 1890-91 permettant de recalculer les anciens levés.

En 1970, M. Revel [37] fit, pour les besoins Hydrographiques, une triangulation complémentaire au système géodésique que l'IGN a établi en 1947-1951 et qui a remplacé le système de M. Gougenheim.

## 11. MADAGASCAR

La Mission Hydrographique de Madagascar qui avait fait aux environs de 1900 un travail géodésique considérable (cf. Fichot) avait été transférée en Indochine en 1905 à la suite du naufrage du croiseur-cuirassé Sully et aucun travail important n'a été fait par le Service Hydrographique dans l'île entre cette date et 1937 où il a été décidé de reprendre les travaux.

Le Service Géographique de Madagascar avait alors réalisé une chaîne de triangles de 1<sup>er</sup> ordre dans l'axe de l'île et quelques chaînes, de 1<sup>er</sup> ordre également, perpendiculaires à la première. Avant d'entreprendre les levés hydrographiques, il est nécessaire de réaliser une triangulation côtière, principale et complémentaire, à partir de cette ossature de 1<sup>er</sup> ordre. Il s'agit d'un travail analogue à celui qu'exécutèrent, plus d'un siècle auparavant, Beautemps Beaupré et Daussy sur les côtes de France à partir de la triangulation des ingénieurs géographes.

Une mission géodésique fut donc confiée au Capitaine de Corvette Guyot qui opéra, en liaison

avec le Service Géographique de Madagascar (SGM), de 1937 à la déclaration de guerre, puis en 1942 et de 1946 à 1948 [38]. Le but de cette mission était de réaliser une triangulation côtière de 1<sup>er</sup> ordre au Sud de l'île, de Fort Dauphin à Tuléar, en passant par le Cap Sainte Marie, appuyée sur les extrémités des chaînes de 1<sup>er</sup> ordre du SGM avoisinant la côte, et la triangulation complémentaire correspondante nécessaire aux travaux hydrographiques. En fait, le travail réalisé comprend trois tronçons :

1. Dans la région de Fort Dauphin, triangulation de 80 kilomètres de côte avec 12 points de 1<sup>er</sup> ordre et 38 d'ordre supérieur, appuyée sur l'extrémité Sud de l'antenne de 1<sup>er</sup> ordre de Fort Dauphin du SGM;

2. Au Sud Ouest de l'île, au Sud de Tuléar, triangulation de 200 kilomètres de côte entre les extrémités de 2 chaînes du SGM;

3. A l'extrémité Sud de l'île, les environs du Cap Sainte-Marie sont couverts par 140 kilomètres de triangles situés surtout à l'Est du cap.

Les calculs définitifs et la compensation de ces trois chaînes de triangles ont été effectués par le SGM, mais ces trois tronçons sont réunis aux chaînes de l'intérieur de l'île, ils ne sont pas réunis entre eux par une chaîne côtière, ne permettant donc pas une compensation complète.

De 1949 à 1965, la Mission Hydrographique de Madagascar embarquée sur l'avis hydrographe *Lapérouse* effectua ses travaux dans un ordre assez dispersé, la chronologie étant fixée par l'urgence des levés hydrographiques.

Sur la côte Est, une triangulation de 1<sup>er</sup> ordre est effectuée entre l'île Sainte-Marie, le Masoala et le Cap Est, couvrant la baie d'Antongil par MM. Ortais [39], George [40], Poujol [41], Comolet-Tirman, Roubertou [42], Dars [43] et Pasquay, ces trois derniers utilisant le telluromètre et travaillant avec la collaboration du SGM qui avait d'ailleurs demandé le cheminement du Cap Masoala au Cap Est. De même un cheminement de 90 kilomètres est effectué au Sud de Tamatave, de Tampina à Vatomandry.

Sur la côte Ouest, la triangulation entre Morombé et Morondava a été effectuée, d'abord sous forme de travaux locaux par MM. Ortais [39], George [40], Eyries, Lunel [44], travaux divers que MM. Puycouyol [45] et Pasquay uniformisèrent en 1959-1960 dans un système unique après la reprise du 1<sup>er</sup> ordre de l'intérieur par le SGM en 1958 et prolongèrent vers le Nord par un cheminement au telluromètre jusqu'à Bélo sur Tsiribihina où arrive une chaîne de 1<sup>er</sup> ordre, et, au Sud, établirent par un cheminement de 200 kilomètres au telluromètre la liaison entre les triangulations côtières aboutissant à Morombé d'une part et Tuléar d'autre part, cheminement effectué avec la collaboration du SGM qui assura les mesures angulaires et la totalité des calculs.

Enfin, au Nord Ouest de l'île, des travaux divers ont été effectués par MM. Bremond [46] en 1949 au N.E. de Majunga, Roubertou [42] en 1959-1960 à Hellville, Schrupf [47] en 1962-1964 aux îles Nosy Anambo, retrouvant en particulier d'anciens repères des travaux Favé, de Vanssay et Roussilhe, permettant de recalculer sur la triangulation du SGM les anciennes triangulations côtières effectuées de 1887 à 1980 par les ingénieurs hydrographes qui couvraient tout le Nord de l'île.

En résumé, les triangulations effectuées par le Service Hydrographique de la Marine entre 1936 et 1965, en étroite collaboration avec le Service Géographique de Madagascar, couvrent près de la moitié des côtes de l'île. La suppression de la Mission Hydrographique de Madagascar, en même temps que celle de la côte Ouest d'Afrique, empêcha la poursuite des travaux.

## 12. INDOCHINE

Les hydrographes ont travaillé en Indochine durant toute l'entre deux guerres. Ils ont continué à utiliser les systèmes azimutaux d'origines diverses, mais ces origines sont toujours un point de 1<sup>er</sup> ordre du Service Géographique (SG) quand celui-ci existe, et l'ellipsoïde utilisé est celui du SG (Clarke 1880) pour pouvoir vérifier les coordonnées géographiques des points communs. Seul, M. d'Erceville [48] utilisa en 1936-1937 la projection Lambert pour lever une zone de la côte d'Annam au Sud de Vinh où le Service Hydrographique n'avait pas encore de système géodésique. Les travaux se sont généralement limités à de la triangulation complémentaire sauf pour ceux signalés ci-après :

— M. Damiani [49] a prolongé au Tonkin la triangulation principale du SG jusqu'à la frontière de Chine et à l'île de Cône.

— M. Pelissier [50] triangula les îles Poulo Condore et les îlots Frères et les rattacha à deux points de 1<sup>er</sup> ordre du SG de l'embouchure du Bassac.

La Mission Hydrographique de l'Indochine effectua également la géodésie du territoire chinois de Kouan-Tchéou-Wan cédé à bail à la France en 1898 pour 99 ans mais rendu à la Chine après la deuxième guerre mondiale. Travail commencé en 1927, par l'Enseigne de Vaisseau Marchand [51] il fut poursuivi en 1928 par MM. Legrand [52] puis Marti [53]; il comprend une base mesurée au fil invar de 1600 mètres, un point à l'Astrolabe à prisme, une mesure d'azimut et la triangulation de tout le territoire, assez restreint il est vrai.

## 13. NOUVELLE CALÉDONIE

Entre la reconnaissance des côtes de Nouvelle-Calédonie assez complète effectuée de 1854 à 1858 par M. Bouquet de la Grye au lendemain de la prise de possession de l'île et la constitution d'une mission hydrographique permanente en 1960, plus d'un siècle plus tard, il n'y a aucun travail important en géodésie effectué par la Marine en dehors d'une triangulation locale de la région de Nouméa avec position géographique à l'Astrolabe à prisme, mesure de base au fil invar (assez courte, de 600 mètres environ) et azimut astronomique effectuée en 1935 par le Lieutenant de Vaisseau Duval [54]. Cette triangulation qui s'étendait sur 25 kilomètres environ est prolongée vers le Sud par l'Enseigne de Vaisseau Canuel [55] en 1936-1937 jusqu'à l'île Ven à une cinquantaine de kilomètres de l'origine. Une triangulation locale de la région de Tangadiou-Paagoumène-Néhoué avec une chaîne de 33 petits triangles est également réalisée.

Au moment de la reprise des travaux hydrographiques, l'IGN avait réalisé, entre 1951 et 1954, une triangulation de l'ensemble de l'île, avec deux points astronomiques et deux bases à Gomen et à Tontouta. La triangulation complémentaire nécessaire aux travaux hydrographiques est faite suivant les normes de l'IGN, les bornes repères étant en général fournies par le Service Topographique de Nouvelle-Calédonie. En 1970-1972, M. Blavin [56] constatant des irrégularités entre ses mesures au telluromètre vérifia avec son appareil la base de Tontouta de 6 kilomètres environ et trouva la valeur de 1954 trop courte de 50 centimètres environ. L'IGN vérifia alors des calculs et trouva une erreur de 0,485 m dans le calcul de cette base d'où un nouveau système géodésique 1972.

Cette erreur déplace l'île des Pins de  $x = + 17,33$  m et  $y = 13,36$  m. Outre cette vérification, les seuls travaux de 1<sup>er</sup> ordre réalisés par la Mission Hydrographique sont ceux de M. Milard [57] exécutés en 1972-1974 qui étendirent la triangulation de l'IGN jusqu'aux îlots du Grand Récif Sud et à l'île des Pins. Les calculs ont été effectués par l'IGN. Cette triangulation a été reprise au telluromètre et étendue en 1976-1978 par M. Bonnot [58].

Enfin, depuis 1979, des repèlements de terres émergées au Nord de la Nouvelle-Calédonie sont effectuées à l'aide d'images du satellite américain Landsat et à partir de photographies aériennes prises d'avions localisés par le système Trident, mais les rapports de ces opérations ne sont pas encore publiés.

## 14. POLYNÉSIE FRANÇAISE

La Mission Géodésique des Tuamotu est créée en 1947 et confiée au Lieutenant de Vaisseau Nay pour déterminer la position et la topographie des 80 atolls de l'archipel qui s'étend sur plus de 1 000 milles marins au Sud Est de Tahiti.

Cette région est fort mal connue et n'avait pratiquement fait l'objet d'aucun travail hydrographique ou géodésique depuis le second empire. La superficie des îles varie de 1 à 800 km<sup>2</sup> mais elles sont toutes très basses, le point le plus élevé de la végétation ne dépassant pas 15 mètres, et elles sont donc rarement visibles l'une de l'autre, d'où la nécessité d'une position géographique et d'un levé indépendant pour chacune d'entre elles. Les plus petites se contentent d'un levé rapide à la planchette, mais les plus grandes exigent une véritable triangulation avec mesure de base et plusieurs points astronomiques pour déterminer les déviations de la verticale, qui sont loin d'être négligeables. De 1947 à 1950, M. Nay [59] visita 48 îles, fit 54 déterminations astronomiques à l'Astrolabe à prisme (précision estimée en latitude comme en longitude : 3 secondes sexagésimales), 46 levés dont 5 reprises d'anciens et 41 levés originaux dont 8 à la planchette. Une étude de la déviation de la verticale sans calcul compliqué, à partir de plusieurs stations astronomiques reliées par triangulation a montré qu'elle était, en cas de station sur le bord de l'atoll ce qui est le cas général, perpendiculaire au trait de côte et proportionnelle à la surface de l'île. Ce résultat a été utilisé pour corriger toutes les stations astronomiques et les azimuts observés.

Le domaine géographique de la Mission s'étendit avec le Lieutenant de Vaisseau Vallaux [60] qui poursuivit de 1950 à 1953 le travail de M. Nay et fit 67 stations à l'Astrolabe à prisme dans l'archipel des Tuamotu, les îles Gambier, l'archipel de la Société, les îles Australes et les îles Marquises. Les îles Gambier firent l'objet d'une triangulation complète avec mesure de base précise. M. Vallaux compléta l'étude sur les déviations de la verticale à Tahiti où se trouvent 5 stations astronomiques, aux îles Sous le Vent, aux îles Australes, au total 23 stations astronomiques portant sur 9 îles ou ensembles d'îles reliées par triangulation [61]. La conclusion de l'étude de M. Nay est confirmée à condition de distinguer les atolls sans relief des îles avec relief, le coefficient de proportionnalité de la déviation avec la superficie de l'île n'étant pas la même.

A partir de 1964, les atolls sont triangulés au telluromètre par MM. Schrupf [47], Revel [62], Pieretti [63] et Boulard [64]. Les travaux à Mururoa et Fangataufa ont été particulièrement développés pour les besoins du Centre d'Essais du Pacifique. M. Revel en particulier fit le rattachement de ces deux atolls distants d'une quarantaine de kilomè-

tres par la méthode des visées simultanées sur un bâtiment de nuit, et ce rattachement a montré que le coefficient de proportionnalité pour la déviation de la verticale utilisé par MM. Nay et Vallaux était un peu trop faible, ce rattachement déplaçant Fangataufa de 415 m en x et - 200 m en y par rapport à Mururoa. De même, M. Pieretti refit la triangulation principale des Gambier en conservant les points astronomiques de M. Vallaux et montra que les travaux de ce dernier étaient bons mais pas ceux de ses successeurs. Enfin, en 1973-1974, M. Desnoes fit à Tahiti un cheminement côtier au telluromètre de la côte de la presqu'île de Tiarapu dans une région où les points de la triangulation IGN sont dans la montagne et sont invisibles et inaccessibles de la côte [65].

## 15. AUTRES TRAVAUX LOCAUX — UTILISATION DES SATELLITES

Des triangulations locales, avec détermination astronomique précise, en général à l'Astrolabe à prisme, et mesure de base plus ou moins expéditive, ont été faites aux îles Kerguelen [46] [66], en Terre Adélie [67], à l'île Juan de Nova [40], à l'île Mayotte [40], aux îles Glorieuses [68], à l'île Europa [41], aux îles Wallis [58] et Futuna, aux îles Loyauté [56] [57], etc., travaux en général de peu d'étendue destinés à fournir le canevas d'un levé de mouillage ou à fixer la position et la topographie d'une île mal connue. L'utilisation des satellites Transit s'impose aujourd'hui pour ce travail.

Le SHOM a commencé à expérimenter ce satellite pour la localisation en mer et les rattachements géodésiques en 1969. Il a établi un fichier d'observations Transit à quai ou à terre, et la comparaison systématique des coordonnées fournies par ce système et celles obtenues par les moyens classiques sur les cartes en service permet le rattachement des systèmes géodésiques locaux utilisés pour l'établissement de ces cartes à l'ellipsoïde utilisé pour la trajectographie Transit. Le SHOM n'a pas encore fait de publication à ce sujet mais les données sont disponibles à l'EPSHOM. Depuis 1979, la Mission Océanographique du Pacifique réalise des positionnements absolus ou relatifs à l'aide des récepteurs type JMR 4 dans les territoires français du Pacifique, rendant désuètes les déterminations astronomiques sauf celles destinées à déterminer les déviations de la verticale, mais les rapports concernant ces mesures n'ont pas encore été publiés aux Annales Hydrographiques.

En 1981, le SHOM s'est associé avec l'Institut National d'Astronomie et de Géophysique pour une étude autour de la Guadeloupe dans le cadre de la campagne Antivolc, et les satellites Transit ont été utilisés pour le rattachement de la triangu-

lation de la Guadeloupe au système SHOM 1984 couvrant les îles Sainte Lucie — La Martinique — La Dominique [69].

## 16. MESURE DE LA PESANTEUR EN MER

Des mesures de l'intensité de la pesanteur en mer ont été faites en 1933-1934 par M. Marti à bord du sous-marin *Fresnel* et en 1936 à bord du sous-marin *Espoir*. Ces mesures ont été faites à l'aide de l'appareil conçu par le professeur Vening-Meinesz et prêté par la Commission Géodésique Néerlandaise.

L'inventeur est venu lui-même installer l'appareil à bord du sous-marin en octobre 1933 et former les opérateurs. M. Anthoine a assisté M. Marti en 1936 et assuré les calculs des observations et la publication des résultats [70]. Après calage du gravimètre à Toulon, 69 stations à la mer ont été faites, espacées de 80 kilomètres environ et régulièrement réparties sur toute la partie du bassin occidental de la Méditerranée située à l'Ouest de la Corse et de la Sardaigne. Quinze stations dans les ports du littoral ont également été faites en vue du rattachement du réseau maritime au réseau terrestre.

En 1964, le Service Hydrographique dispose d'un nouveau gravimètre marin, type Askania GSS 2. Cet appareil fut d'abord installé pour essais sur l'avis hydrographe *Amiral Mouchez* [71], puis sur le *Paul Goffeny* où il fut par la suite remplacé par un couple d'appareils plus modernes du même constructeur. MM. Comolet-Tirman, Dars et Schrupf [72] dirigèrent successivement les travaux de 1964 à 1969. Le premier levé fait en 1964 est dans le golfe de Gascogne, entre les parallèles d'Arcachon et de Bayonne et a été réalisé en même temps que le levé bathymétrique, la position étant donnée par une chaîne Rana hydrographique. En 1965-1968, après un levé expérimental devant l'île du Levant en Méditerranée, le levé gravimétrique de la mer de Norvège est entrepris suivant des profils espacés de 10 à 20 milles marins. Ce levé couvre toute la zone comprise entre la côte de Norvège (de Bergen au Cap Nord), les Feroë, l'île de l'Ours et la mer de Barentz. La précision réelle du levé est, après compensation, de 2,5 mgal, le positionnement étant assuré au Loran C.

Les appareils ont été ensuite installés, en 1970 sur l'*Espérance* qui travaille au large de Brest, et en 1972 sur le *d'Entrecasteaux* qui fit plusieurs traversées de l'Atlantique de Brest aux Antilles. De nouveaux levés dans l'Atlantique Nord ont été effectués durant les étés 1980-1981 et 1982.

Rappelons que les appareils utilisés sont des appareils d'interpolation et non de mesures abso-

lues, et que la précision de 2,5 mgal n'est atteinte que si les points de calage dans les ports dépassent cette précision.

## 17. TRAVAUX THÉORIQUES

Il n'est pas dans la vocation du Service Hydrographique de faire ces travaux mais certains ingénieurs, soit par suite de leurs fonctions soit par goût personnel en ont publié. Le plus important est le « *Traité des projections à l'usage des cartographes* » publié par l'Ingénieur Hydrographe en Chef L. Driencourt en collaboration avec le Lieutenant-Colonel J. Laborde du SGA en 1930. Vers la même époque, M. Gougenheim participa à la première opération de révision des longitudes mondiales en 1926 à Alger et à la deuxième opération en 1933 à San Diego (Californie) comme observateur à l'Astrolabe à prisme et contribua à mettre en évidence que les instruments de hauteurs égales, dans la mesure où l'on peut les affranchir de l'équation personnelle, sont les meilleurs instruments pour la détermination des positions géographiques, non seulement pour les mesures en campagne, mais aussi pour les mesures d'observatoire, ouvrant la voie à l'Astrolabe Danjon.

Parmi les publications aux *Annales Hydrographiques*, je citerai :

— les études de M. Fichot sur « les systèmes géodésiques équilatères à la surface sphéroïde terrestre » [73] et sur la « zone géodésique antipode » [74], cette dernière en collaboration avec M. Gerson;

— les études de M. Gougenheim sur « les formules relatives à l'emploi de la projection Lambert dans les travaux hydrographiques » [75], « les observations de passage en astronomie géodésique » [76], « la déviation de la verticale à Tahiti » [77], « le problème de Cicconetti » [78], « sur l'emploi des instruments de hauteurs égales pour la détermination précise des latitudes » [79], sur « la trigonométrie sphérique et la projection conforme » [80], sur « une nouvelle méthode d'astronomie géodésique, la méthode des droites d'azimut » [81] et « sur une généralisation des Mappemondes » [82], étude d'une projection de minimum de déformation pour la totalité de la terre dérivée des deux morceaux identiques de tissus en forme d'U qui recouvrent une balle de tennis;

— la « note sur la compensation d'une chaîne de triangle » par M. Vanssay de Blavous [83];

— les études de M. Allard sur les « Ellipses et Hyperboles Géodésiques » [84] et « la projection conforme de déformation stationnaire le long d'une courbe » [85]. Cette dernière étude qui est une thèse présentée le 17 juin 1948 à la Faculté des

Sciences de l'Université de Paris pour le grade de Docteur en Mathématiques est particulièrement intéressante pour les hydrographes car elle est la seule étude à donner une définition mathématique de la projection par rabattement des triangles et elle montre que ce système est le mieux adapté pour les levés des zones côtières allongées, cas fréquent dans les travaux hydrographiques, la courbe de déformation stationnaire étant alors celle qui joint les centres de gravité des triangles de la chaîne.

— l'étude de M. Vantroys sur « le changement empirique du système de coordonnées rectangulaires planes » [86];

— l'étude de M. Eyries sur la triangulation côtière par visées simultanées sur un bâtiment avec discussion de la précision [87] et celle de M. George sur le même sujet au rapport déjà cité [40];

— la note technique de M. Pieretti sur l'emploi du telluromètre et de l'hydrodist dans les opérations de triangulation et de topographie des grands atolls annexés au rapport déjà cité [63];

— le rapport sur l'étude du gravimètre marin Askania GSS 2 n° 15 en mai 1965 par M. A. Comolet-Tirman [88] au moment où le Service Hydrographique a repris les mesures gravimétriques en mer.

*Nota* : Les Annales Hydrographiques les plus récentes consultées pour cette étude sont celles de 1985 et il en résulte que les travaux ou études cités ne sauraient être postérieurs à 1984.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Rapport sur les travaux effectués par le Service Hydrographique de la Marine par M.E. FICHOT, Ingénieur hydrographe en chef de la Marine. Annales Hydrographiques (A.H.) de 1921, p. 63 à 75.
- [2] Histoire du Service Central Hydrographique de 1914 à 1970 par M. COVILLAULT, Ingénieur hydrographe général de la Marine. Edition provisoire SHOM, 1979, page 164.
- [3] Cf. réf. [1] page 74 et réf. [2] page 160 et suivantes.
- [4] Rapport sur le rattachement des îles d'Aix, d'Oléron et de Ré au réseau NGF et sur le rattachement des anciens repères hydrographiques, juillet-octobre 1960 par P. PLOUVIEZ et août-septembre 1961 par J. VICARIOT, A.H. 1971, page 468.
- [5] Deux ans d'observation à l'Astrolabe à prisme par le Capitaine de Vaisseau PIROT, commandant la *Bretagne* (1921-1923), A.H. 1923-1924 page 112 et suivantes.
- [6] Exposé de la projection Lambert par l'Ingénieur hydrographe COURTIER, A.H. 1940-1945, pages 101 à 114. Réimpression d'une note publiée par le Groupe des Canevas de Tir de la 2<sup>e</sup> Armée en 1916. L'auteur y donne diverses formules inédites, notamment celles relatives aux déformations du triangle de position.
- [7] Annexe I du rapport de mission de l'Ingénieur hydrographe en chef MANNEVY, chef de la Mission Hydrographique des côtes de France et d'Afrique du Nord en 1959-1960. A.H. 1971, pages 449 à 462.
- [8] Mission Hydrographique des côtes de France et d'Afrique du Nord (1953-1954) par l'Ingénieur hydrographe en chef LACOMBE, A.H. 1957, pages 1 à 166.
- [9] Mission Hydrographique des côtes de France et d'Afrique du Nord (1955-1956) par l'Ingénieur hydrographe en chef GROUSSON, A.H. 1958, pages 113 à 176.
- [10] Mission Hydrographique du Sénégal et de la Mauritanie (1<sup>er</sup> mars 1934 au 21 mars 1936) par le Capitaine de Corvette P. BONNIN, A.H. 1937, pages 137 à 213.
- [11] Mission Hydrographique de la côte Ouest d'Afrique (1952-1953) par l'Ingénieur hydrographe principal DONIOL, A.H. 1956, pages 114 à 217.
- [12] Mission Hydrographique de la côte Ouest d'Afrique (1955-1956) par l'Ingénieur hydrographe en chef P. MANNEVY, A.H. 1958.
- [13] Mission Hydrographique de l'Atlantique Sud (1961-1963) par l'Ingénieur hydrographe principal A. DEMERLIAC, A.H. 1967-1968.
- [14] Mission Hydrographique de l'Atlantique Sud (1964-1965) par l'Ingénieur hydrographe principal GEORGEOT, A.H. 1964-1965, p. 245.
- [15] Mission Hydrographique de Guinée Française, Mauritanie et Sénégal par le Lieutenant de Vaisseau GEFFRIER (du 21 mars 1936 au 3 mars 1937) et l'Enseigne de Vaisseau MILHAU (du 3 mars 1937 au 20 septembre 1937), A.H. 1938-1939, pages 119 à 183.
- [16] Mission Hydrographique du Saloum (1930-1931) par le Lieutenant de Vaisseau TROMEUR, A.H. 1938-1939, pages 5 à 34.
- [17] Mission Hydrographique de l'Afrique Occidentale Française (1938-1939) par l'Ingénieur hydrographe A. GOU-GENHEIM, A.H. 1940-1945, pages 235 à 238.
- [18] Mission de triangulation de l'Afrique Occidentale Française (octobre 1946 — août 1948) par le Capitaine de Corvette BONNIN, A.H. 1949, pages 49 à 68.
- [19] Mission Hydrographique de la côte Ouest d'Afrique (1953-1954) par l'Ingénieur hydrographe principal SAUZAY, A.H. 1955, page 233.
- [20] Mission Hydrographique de la côte Ouest d'Afrique (1950-1952) par l'Ingénieur hydrographe LE FUR, A.H. 1953, pages 118 à 192.
- [21] Mission Hydrographique de la côte Ouest d'Afrique (1957-1959) par l'Ingénieur hydrographe principal BOURGOIN, A.H. 1959-1960, p. 130.
- [22] Mission Hydrographique de l'Atlantique Sud (1959-1961) par l'Ingénieur hydrographe principal A. COMOLET-TIRMAN, A.H. 1963-1964, pages 155 à 300.
- [23] Mission Hydrographique de l'Afrique Occidentale Française (1938) par l'Enseigne de Vaisseau GUERITAUD, A.H. 1940-1945, pages 219 à 228.
- [24] Mission Hydrographique de la côte ouest d'Afrique (1956-1964) par l'Ingénieur hydrographe principal PELUCHON, A.H. 1959-1960, pages 49 à 126.
- [25] Mission Hydrographique de l'Atlantique Sud (1963-1964) par l'Ingénieur hydrographe en chef BOURGOIN, A.H. 1967-1968, p. 101 à 188.
- [26] Mission Hydrographique de l'Afrique Equatoriale Française (1920) par le Lieutenant de Vaisseau LAFARGUE, A.H. 1922, pages 19 à 56.
- [27] Mission géodésique au Moyen Congo (1959) par l'Ingénieur hydrographe PLOUVIEZ (Annexe du rapport de réf. 22), A.H. 1963-1964, pages 301 à 323.
- [28] Géodésie côtière en Afrique Centrale par l'Ingénieur hydrographe principal DEMERLIAC. Rapport interne datant de 1961 non publié.
- [29] Mission Hydrographique de la Martinique (26 août 1938-1<sup>er</sup> mai 1939) par l'Ingénieur hydrographe LE GRAND, A.H. 1946, page 33 et suivantes.
- [30] Géodésie à la Martinique par l'Ingénieur principal de l'armement BESSERO, A.H. 1985 page 27 et suivantes.

- [31] Mission Géodésique de la Guadeloupe (20 octobre 1946-1<sup>er</sup> juillet 1948) par l'Ingénieur hydrographe principal GROUSSON. A.H. 1950, pages 1 à 24.
- [32] Mission Hydrographique de la Guyane (1929) par l'Ingénieur hydrographe LEGRAND. A.H. 1930, page 195 et suivantes.
- [33] Mission Hydrographique de la Guyane Française (1936-1937) par le Lieutenant de Vaisseau J. YAYER. A.H. 1947, pages 31 à 120.
- [34] Mission Hydrographique de la Guyane (1947-1948) par l'Ingénieur hydrographe principal LEMIERE. A.H. 1949, page 69 et suivantes.
- [35] Mission Hydrographique de Djibouti (5 décembre 1927-3 avril 1928) par l'Ingénieur hydrographe GOUGENHEIM. A.H. 1929.
- [36] Reconnaissance hydrographique de la côte française des Somalis (7 décembre 1934-20 janvier 1935) par le Lieutenant de Vaisseau GUYOT. A.H. 1935-1936, pages 187 à 201.
- [37] Mission Hydrographique Temporaire de Djibouti (1970) par l'Ingénieur de l'Armement REVEL. A.H. 1974, page 105 et suivantes.
- [38] Mission géodésique de Madagascar (1937 à 1939 et 1946 à 1948) par le Capitaine de Frégate A. GUYOT. A.H. 1950, pages 67 à 112.
- [39] Mission Hydrographique de Madagascar (1950-1951) par l'Ingénieur hydrographe ORTAIS. A.H. 1953, page 193 et suivantes.
- [40] Mission Hydrographique de Madagascar (1952-1954) par l'Ingénieur hydrographe V. GEORGE. A.H. 1956, pages 219 à 303.
- [41] Mission Hydrographique de Madagascar (1954-1955) par l'Ingénieur hydrographe principal C. POUJOL. A.H. 1957, pages 251 à 293.
- [42] Mission Hydrographique de Madagascar (1957-1959) par l'Ingénieur hydrographe principal ROUBERTOU. A.H. 1959-1960, pages 195 à 280.
- [43] Mission Hydrographique de l'Océan Indien (1960-1962) par l'Ingénieur hydrographe principal M. DARS. A.H. 1965-1966, pages 1 à 88.
- [44] Triangulation du 1<sup>er</sup> ordre complémentaire entre Androno Pasy et Morondavia par l'Ingénieur hydrographe LUNEL. A.H. 1956, page 280 et suivantes.
- [45] Mission Hydrographique de Madagascar (1959-1960) par l'Ingénieur hydrographe principal PUYCOUYOUL. A.H. 1961-1962, pages 41 à 128.
- [46] Mission Hydrographique de Madagascar (juillet 1949 à juillet 1950) par l'Ingénieur hydrographe principal BREMOND. A.H. 1951, page 95 et suivantes.
- [47] Mission Hydrographique de l'Océan Indien (1962-1964) par l'Ingénieur hydrographe principal B. SCHRUMPF. A.H. 1965-1966, pages 89 à 183.
- [48] Mission Hydrographique de l'Indochine (août 1936-octobre 1937) par l'Ingénieur hydrographe d'ERCEVILLE. A.H. 1938-1939, pages 79 à 118.
- [49] Mission Hydrographique de l'Indochine par l'Ingénieur hydrographe DAMIANI. A.H. 1927-1928, page 65 et suivantes.
- [50] Mission Hydrographique de l'Indochine (1922-1923) de l'Ingénieur hydrographe PELISSIER. Rapport rédigé ultérieurement par M. TROMEUR. A.H. 1953.
- [51] Levé du mouillage de Fort Bayard (Quang-Tchéou-Van) par l'Enseigne de Vaisseau MARCHAND. A.H. 1927-1928, page 205 et suivantes.
- [52] Mission Hydrographique de l'Indochine (1927-28) par l'Ingénieur Hydrographe. CATHENOD — rapport rédigé ultérieurement par M. TROMEUR — A.H. 1955, page 86 et suivantes.
- [53] Mission Hydrographique de l'Indochine (juin 1928-mai 1929) par l'Ingénieur Hydrographe MARTI. A.H. 1930, page 153 et suivantes.
- [54] Mission Hydrographique de l'Amiral Charner en Nouvelle-Calédonie par le Lieutenant de Vaisseau DUVAL. A.H. 1937, pages 215 à 223.
- [55] Mission Hydrographique de Nouvelle-Calédonie (1936-1937) par l'Enseigne de Vaisseau A. CANUEL. A.H. 1938-1939, pages 35 à 59.
- [56] Mission Hydrographique de Nouvelle-Calédonie (juin 1970-janvier 1972) par l'Ingénieur en chef de l'armement BLAVIN. A.H. 1975, page 69 et suivantes.
- [57] Mission Hydrographique de Nouvelle-Calédonie (1972-1974) par l'Ingénieur en chef de l'armement MILARD. A.H. 1978, page 87 et suivantes.
- [58] Mission Océanographique du Pacifique (1976-1978) par l'Ingénieur en chef de l'armement BONNOT. A.H. 1980-2-, page 69 et suivantes.
- [59] Mission Géodésique des Tuamotu (juin 1947-juin 1950) par le Lieutenant de Vaisseau NAY. A.H. 1951, pages 1 à 31.
- [60] Mission Géodésique des Tuamotu (1950-1953) par le Lieutenant de Vaisseau VALLAUX. A.H. 1954, pages 89 à 116.
- [61] Les déviations de la verticale en Océanie Française par le Lieutenant de Vaisseau VALLAUX. A.H. 1954, page 117 et suivantes.
- [62] Mission Hydrographique de la Polynésie Française (1965-1966) par l'Ingénieur Hydrographe F. REVEL. A.H. 1970, pages 1 à 56.
- [63] Mission Hydrographique de la Polynésie Française (1966-1968) par l'Ingénieur Hydrographe L. PIERETTI. A.H. 1970, page 57 et suivantes.
- [64] Mission Hydrographique de Polynésie Française (1969-1970) par l'Ingénieur Hydrographe BOULARD. A.H. 1972, page 41 et suivantes.
- [65] Mission Hydrographique de Polynésie Française (1973-1974) par l'Ingénieur de l'armement DESNOES. A.H. 1976.
- [66] Croisière du *Bougainville* dans l'Océan Indien Austral (11.1 au 3.3.1939) par le Capitaine de Frégate FABRE de la RIPELLE. A.H. 1947, pages 121 à 177.  
— Mission Hydrographique de Madagascar (1955-1957) par l'Ingénieur hydrographe principal BRIE. A.H. 1958, pages 177 à 210.
- [67] Travaux Hydrographiques dans l'Antarctique par le Lieutenant de Vaisseau du MOULIN de LABARTHÈTE. A.H. 1952, pages 117 et suivantes.  
— Mission Hydrographique de Terre Adélie (1959-1960) par l'Ingénieur hydrographe de réserve LEFAS. A.H. 1961-1962, pages 129 et suivantes.  
— Mission Hydrographique de Terre Adélie (1961-1962) par l'Ingénieur de réserve PIEJUS. A.H. 1963-1964, pages 325 à 342.
- [68] Mission Hydrographique temporaire des Glorieuses 1977 par l'Ingénieur principal de l'Armement THOUIN. A.H. 1980 -1- page 61 et suivantes.
- [69] Rapport d'étude SHOM 5-86 (juin 1986).
- [70] Détermination de l'intensité de la pesanteur en mer par l'Ingénieur hydrographe en chef ANTHOINE. A.H. 1947, pages 179 à 187.
- [71] Mission Hydrographique des côtes de France (1964-1966) par l'Ingénieur hydrographe en chef ORTAIS. A.H. 1971.
- [72] Mission Océanographique de l'Atlantique Nord (1967-1969) par l'Ingénieur hydrographe en chef SCHRUMPF. A.H. 1974.
- [73] A.H. 1921, page 99 et suivantes.
- [74] A.H. 1937, page 23 et suivantes.
- [75] A.H. 1930, page 95 et suivantes.
- [76] A.H. 1938-39, page 193 et suivantes.

- [77] A.H. 1940-45, page 205 et suivantes.
- [78] A.H. 1940-45, page 238 et suivantes.
- [79] A.H. 1949, page 327 et suivantes.
- [80] A.H. 1951, page 189 et suivantes.
- [81] A.H. 1951, page 209 et suivantes.
- [82] A.H. 1951, page 177 et suivantes.

- [83] A.H. 1925-26, page 171 et suivantes.
- [84] A.H. 1947, page 189 et suivantes.
- [85] A.H. 1948, page 101 et suivantes.
- [86] A.H. 1954.
- [87] A.H. 1954, page 83 et suivantes.
- [88] A.H. 1967-68, page 297 à 388.

# L'HYDROGRAPHIE FRANÇAISE EN AFRIQUE NOIRE ET À MADAGASCAR PENDANT LA PÉRIODE 1947-1965 \*

par

Jean BOURGOIN

Bien que le Service Hydrographique de la Marine ait eu l'occasion à de nombreuses reprises de faire des sondages dans les grands fleuves d'Afrique Noire d'expression française, les travaux décrits ici sont ceux qui ressortissent aux attributions du Service, c'est-à-dire concernant le domaine maritime. Rappelons que l'objectif premier de l'hydrographie est de mettre à la disposition du navigateur, sous une forme appropriée à leur urgence, un système d'informations (cartes marines, Instructions nautiques, annuaires de marée, atlas de courants, livres des feux et radiosignaux, etc.) lui garantissant une sécurité maximale lors de sa navigation.

Il s'agit donc d'une technique essentielle pour le développement du transport maritime. Les levés hydrographiques servant de base à la cartographie marine sont en outre une source d'informations très importante pour les autres formes d'exploitation de l'océan.

## UN COUP D'ŒIL SUR LE PASSÉ

Malgré l'ancienneté de la présence française sur les rivages de la côte d'Afrique, aucun travail de précision ou de grande envergure des hydrographes n'est à signaler jusqu'au lendemain de la Seconde Guerre mondiale. Il serait injuste toutefois de passer sous silence les grandes missions d'exploration et de reconnaissance où les marins s'illustrèrent dans le dernier quart du siècle dernier (Savorgnan de Brazza, Congo-Gabon, 1875-1885) et la première moitié de celui-ci (Mauritanie, Sénégal, Gabon, Congo principalement). Lorsque les travaux reprennent en 1947, ils s'appuient essentiellement sur un canevas astronomique, car les triangulations du Service Géographique sont rares.

(\*) Extrait d'un ouvrage en cours de publication intitulé : « 40 ans de travaux publics en Afrique Sub-Saharienne et à Madagascar : l'expérience française ».

A Madagascar, au contraire, les travaux hydrographiques et géodésiques débutent en 1887, moins de deux ans après le traité de protectorat, et se développent systématiquement jusqu'en 1912 en couvrant un périmètre allant de Vohemar à la Tsiribihina en passant par le nord, et comprenant aussi les régions de Tuléar sur la côte Ouest et Tamatave sur la côte Est.

A l'exception de quelques travaux en Guinée (1942-1943), en Côte d'Ivoire (1942) et à Madagascar (1942-1946), l'activité des Missions hydrographiques est interrompue en 1939. Elle reprend activement la fin de la guerre avec la création de quatre missions lourdes : deux missions métropolitaines et deux missions jumelles (1) affectées à la Côte Ouest d'Afrique et à Madagascar, et basées respectivement à Dakar et à Diego-Suarez.

## LES TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES DE 1947 À 1965

Les deux Missions d'Afrique et de Madagascar ont un certain nombre de points communs : (1) Elles sont créées ensemble (1947) et dissoutes ensemble (1965). (2) Elles disposent de moyens analogues, le « *Beautemps-Beaupré* » pour la Côte Ouest d'Afrique et son sister-ship le « *Lapérouse* » pour Madagascar, qui sont des ravitailleurs d'hydravions, assez bien adaptés à l'hydrographie outre-mer (2000 tonnes, longueur 95 m, tirant d'eau 4,1 m, 12 officiers, 160 hommes).

(1) La « Mission Hydrographique de la Côte Ouest d'Afrique » est créée en novembre 1947, se transforme en « Mission Hydrographique de l'Atlantique Sud » en décembre 1960, et elle est dissoute en juillet 1965. La « Mission Hydrographique de Madagascar » est créée en mai 1947, se transforme en « Mission Hydrographique de l'Océan Indien » en 1951, et elle est dissoute en février 1965.

Le patrouilleur « *P699* », en Afrique, les Annexes « *Alidade* », « *Marjolaine* », « *Malouine* » à Madagascar, complètent occasionnellement ces moyens navals. Chaque Mission dispose de deux ingénieurs hydrographes et 6 officiers mariners hydrographes. Leur coût annuel (par mission) serait de l'ordre de 25 MF (en francs 1988). (3) Elles ont les mêmes objectifs généraux : couvrir les façades maritimes concernées par des levés réguliers systématiques, seuls capables de rentabiliser des moyens lourds, mais en donnant la priorité aux critères économiques dans les choix et en ne négligeant pas les demandes ponctuelles et souvent répétitives dans les zones les plus fréquentées par le trafic maritime (estuaires, mouillages). Les travaux qui accompagnèrent le percement du canal de Vridi, ceux qui précédèrent la création du port de San Pedro, les dragages hydrographiques au Rio Nunez (Guinée) en liaison avec l'évacuation des bauxites de Boké, les sondages des mouillages forains de chargement des bois au Gabon, les levés concertés avec les pétroliers et géologues au Congo, Gabon, sont des exemples de ces priorités. (4) Les deux Missions ont disposé des mêmes moyens techniques et bénéficié des mêmes progrès pendant la période considérée : le sondeur à ultra-son a été utilisé pendant toute la période sans aucun recours aux sondeurs latéraux; la mise en œuvre à la même époque de distancemètres électroniques (\*) (géodimètre en juillet 1957 puis telluromètre à partir de mai 1960 en Afrique, telluromètre à partir de 1958 à Madagascar); la radiolocalisation précise à moyenne portée par des chaînes *Toran* (à partir de 1959 en Afrique, et de 1963 à Madagascar. (5) Les normes techniques de levé sont les mêmes dans les deux Missions, à savoir : levés au 1/25 000 (c.a.d. selon des profils espacés de 250 m) dans les fonds inférieurs à 20 m, au 1/50 000 (profils espacés de 500 m) dans les fonds compris entre 20 et 100 m, au 1/100 000 (profils espacés de 1000 m) dans les fonds supérieurs à 100 m; recherche systématique des hauts fonds et levés à des échelles supérieures au 1/25 000 dans les chenaux d'accès et zones portuaires. (6) En Afrique comme à Madagascar la constitution de missions hydrographiques avait été précédée par des missions géodésiques au Sénégal (1946-1948) et au sud de Madagascar entre Fort Dauphin et Tuléar (1937-1939, 1942, 1946-1948).

L'hydrographie n'est pas une fin en soi. Elle se situe en amont de toutes les formes d'exploitation des océans et si elle privilégie sous forme de produits finalisés l'océan considéré comme voie de communication, elle est indispensable aux autres formes d'exploitation, par exemple celles où l'océan est considéré comme source de matiè-

res minérales et fossiles ou de matière vivante. Dans ces derniers cas l'information intéressante est contenue plutôt dans les minutes des levés (sondes, hauts fonds, topographie) et le recueil des données sur la marée et les courants que dans les cartes marines qui sont des documents thématiques uniquement orientés vers la sécurité de la navigation. Nous passerons donc en revue successivement : (1) la géodésie, (2) les zones couvertes par les levés, (3) la cartographie issue des travaux pendant la période considérée.

## 1. La géodésie

Tout levé hydrographique s'appuie sur un canevas géodésique qui constitue un capital, même si le temps a tendance à la dégrader (technologies ultérieures plus précises, perte des bornes).

### a) Afrique Noire de l'Ouest

En Mauritanie, les travaux géodésiques du Service Hydrographique s'étendirent sur près de 400 km de côte à partir de Port Etienne, soit sur plus de la moitié de la façade maritime du pays. Au Sénégal un cheminement géodésique de précision relia Dakar à la Guinée Bissau en traversant la Gambie. En Côte d'Ivoire, en dehors de triangulations locales (Abidjan, Tabou, Sassandra, San Pedro) un cheminement géodésique de précision de 200 km relia Grand Lahou à la frontière du Ghana. Au Gabon et au Congo l'ensemble des triangulations (de l'estuaire du Gabon à la frontière de la Guinée Equatoriale) et cheminements couvrirent les 900 km de côte de ces deux territoires (avec un maillon faible de 80 km de Mayumba à Nyanga, mesuré à la mire invar).

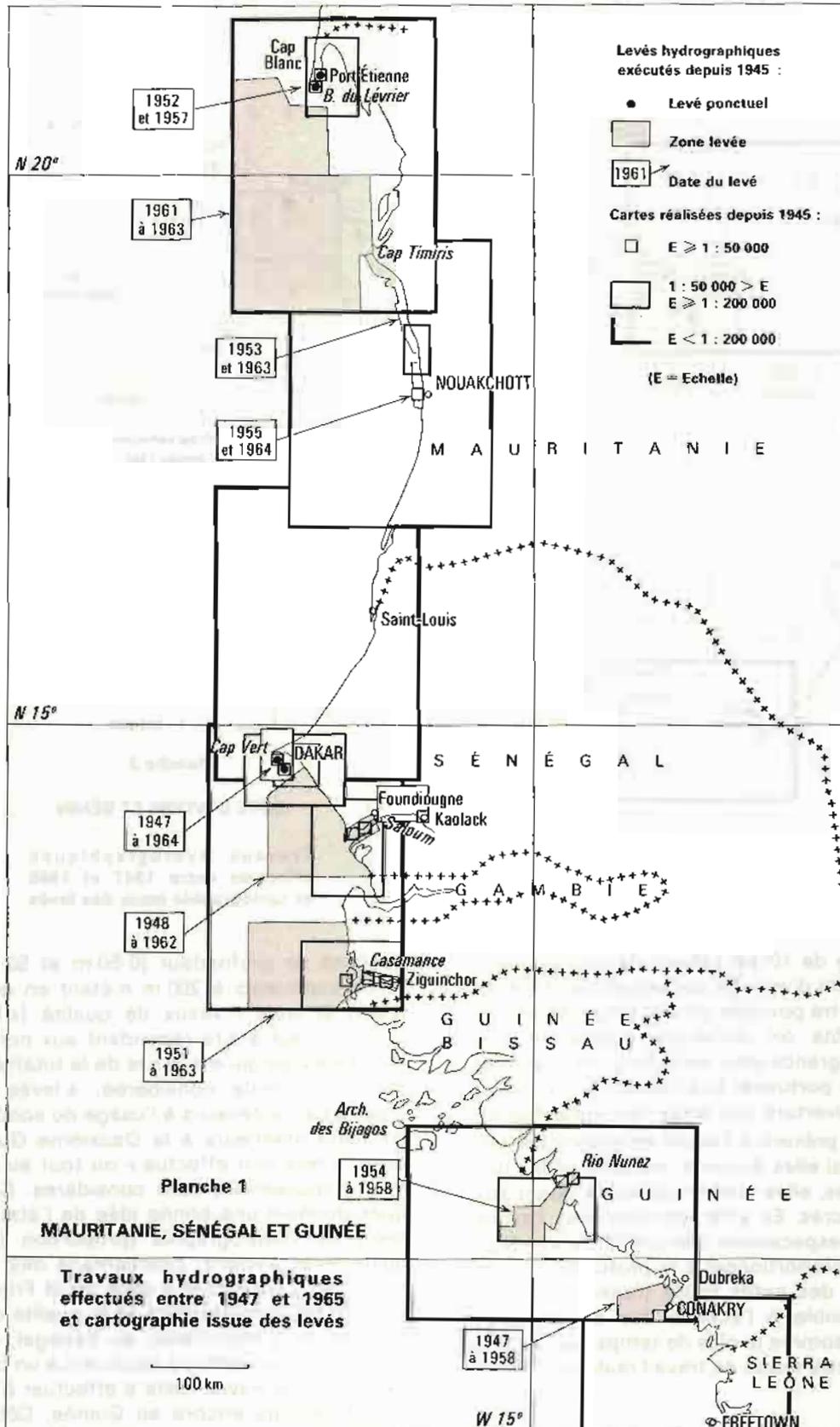
### b) A Madagascar

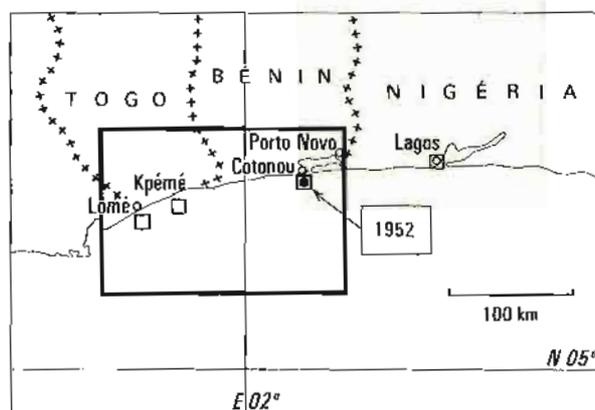
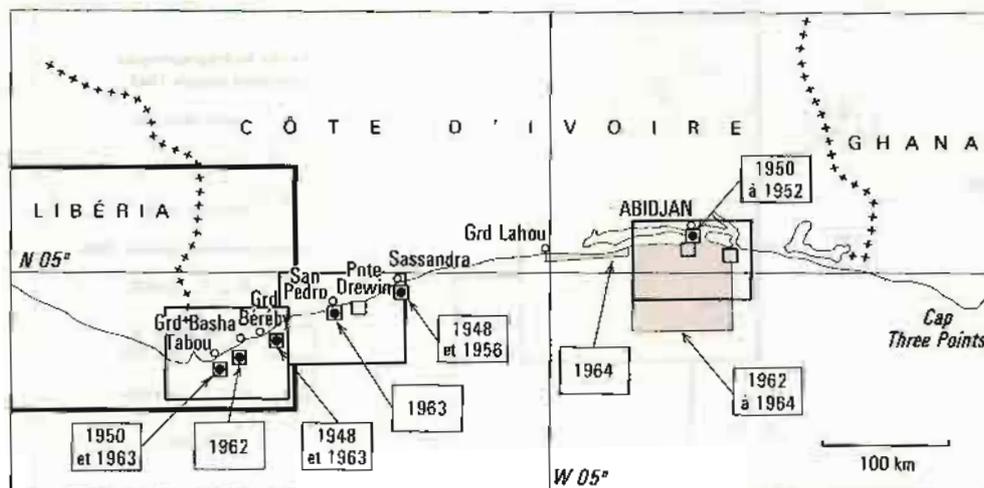
Les triangulations et cheminements de précision effectués par le Service Hydrographique entre 1937 et 1965, en général en étroite collaboration avec le Service Géographique de Madagascar, couvrirent près de la moitié des côtes de la Grande Ile : sur la Côte Est les portions de côte Ile Ste Marie-Cap Masoala-Cap Est, Tampina-Vatomandry; sur la côte sud, la portion de côte Fort Dauphin-Tuléar; sur la côte ouest, la portion de côte Belo sur Tsiribihina-Tuléar; sur la côte nord-ouest, recalage des anciennes triangulations de 1887-1908 sur la triangulation récente du Service Géographique de Madagascar.

## 2. Les levés hydrographiques

L'hydrographie d'après guerre dut répondre à des exigences nouvelles avec une génération de navires plus grands dont le prototype était le

(\*) Le cheminement géodésique de précision est une technique particulièrement efficace en hydrographie lorsque l'arrière pays est d'accès difficile.





Levés hydrographiques  
exécutés depuis 1945 :

● Levé ponctuel

■ Zone levée

1961 Date du levé

Cartes réalisées depuis 1945 :

□  $E \geq 1 : 50\ 000$

□  $1 : 50\ 000 > E$   
 $E \geq 1 : 200\ 000$

□  $E < 1 : 200\ 000$

Planche 2

CÔTE D'IVOIRE ET BÉNIN

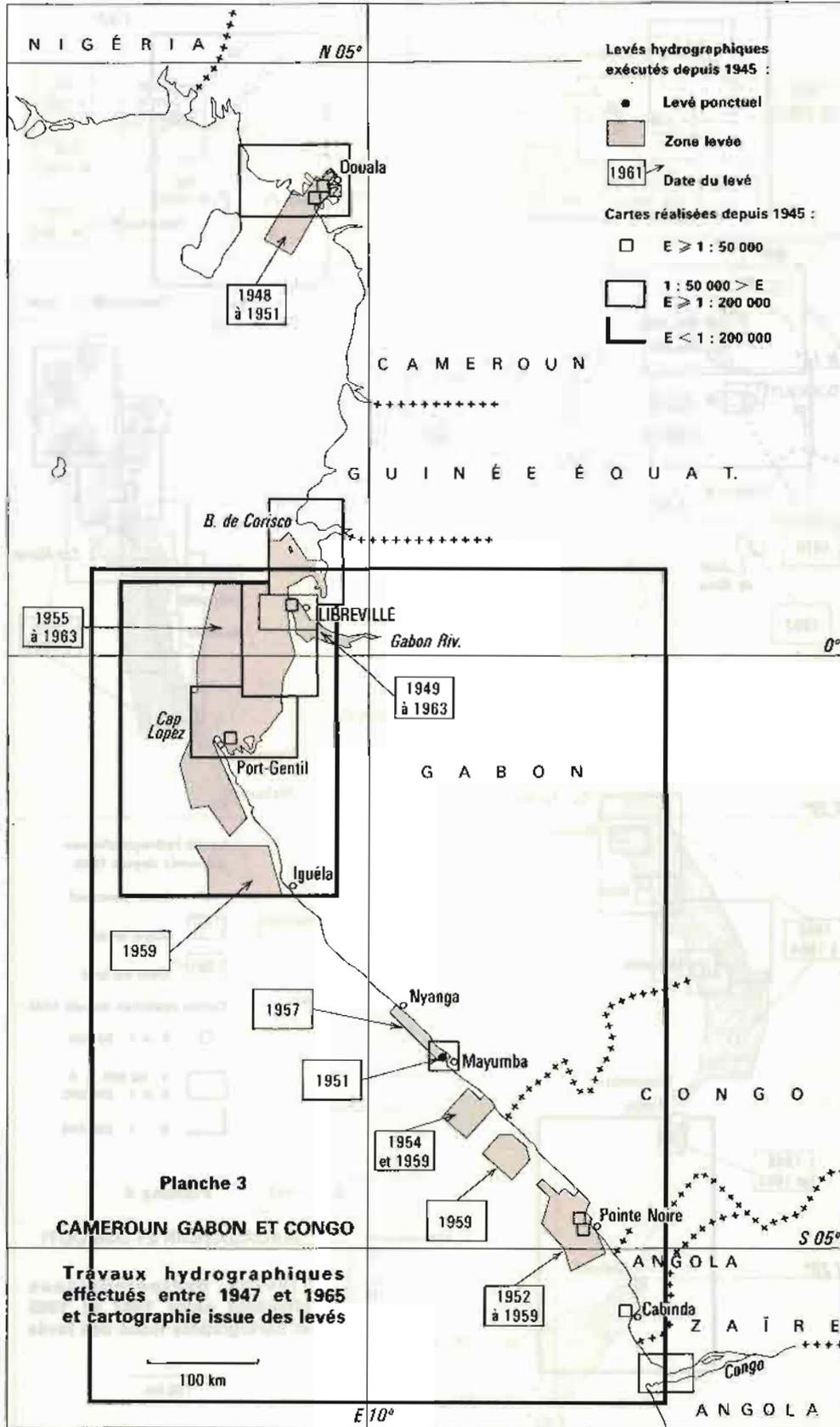
Travaux hydrographiques  
effectués entre 1947 et 1965  
et cartographie issue des levés

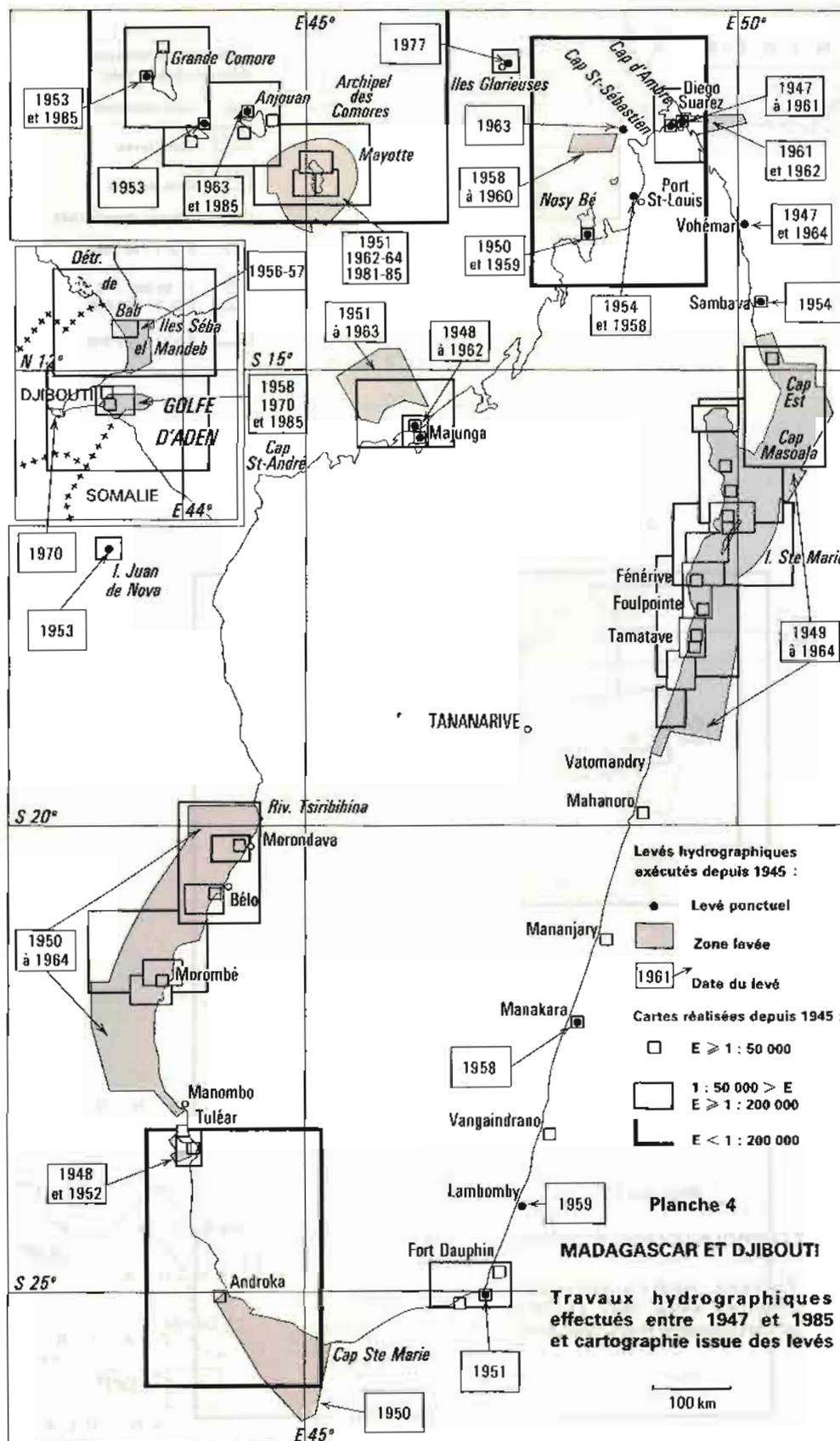
« Liberty ship » de 10 000 tonnes de port en lourd et 8,5 m de tirant d'eau. En conséquence, les levés précis durent être poussés plus au large tandis que près de la côte on rechercha également une précision plus grande pour bénéficier au mieux de l'infrastructure portuaire. Les Planches 1, 2, 3 et 4 donnent la couverture des levés hydrographiques.

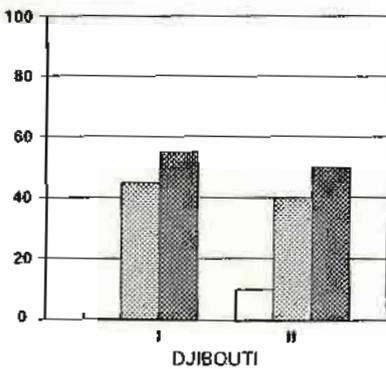
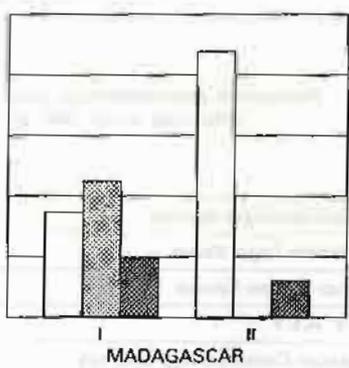
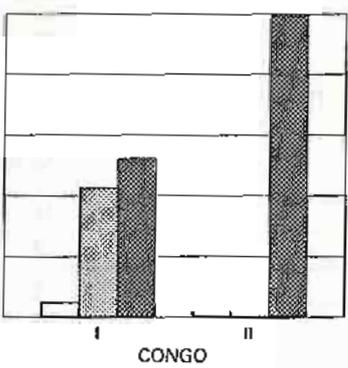
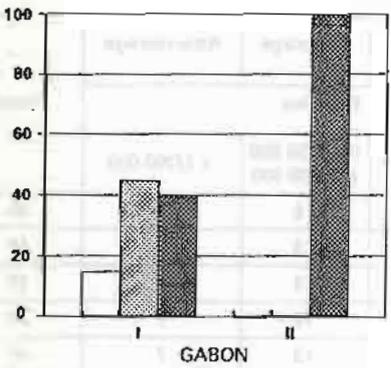
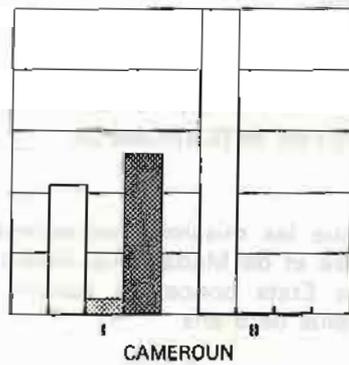
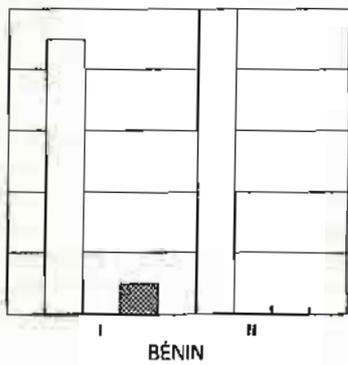
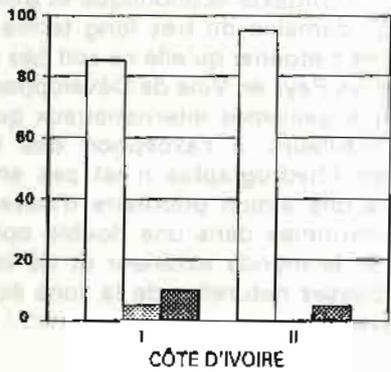
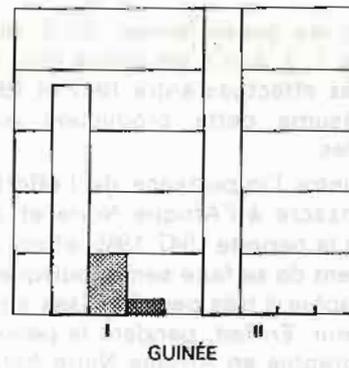
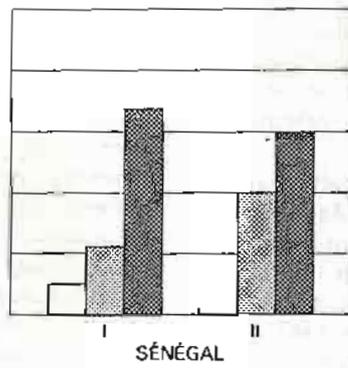
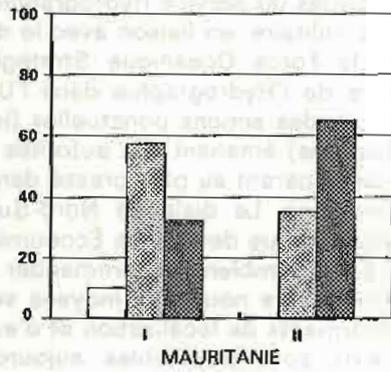
Il faut avoir présent à l'esprit en examinant ces planches que, si elles donnent une bonne idée des zones couvertes, elles sont trompeuses quant aux moyens consacrés. En effet, comme nous l'avons vu plus haut, l'espacement des profils de sondage étant en gros proportionnel à la profondeur, c'est l'hydrographie des petits fonds (faite à partir de vedettes), invisible à l'échelle des figures évoquées, qui consomme le plus de temps. La Planche 5 donne une autre vision du travail réalisé (\*). Deux

tranches de profondeur (0-50 m et 50-200 m, les fonds supérieurs à 200 m n'étant en général pas levés) et trois niveaux de qualité (« levés adéquats », c'est-à-dire répondant aux normes internationales, ce qui est le cas de la totalité des levés dans la période considérée; « levés anciens », c'est-à-dire antérieurs à l'usage du sondeur à ultra son, soit antérieurs à la Deuxième Guerre mondiale; « levé non effectué » ou tout au moins pas systématiquement) sont considérés. Ces graphiques donnent une bonne idée de l'état d'avancement de l'hydrographie (proportion levés adéquats/levés anciens; pourcentage des zones non couvertes). Comparés à celle de la France et des DOM-TOM, l'avancement et la qualité de l'hydrographie de la Mauritanie, du Sénégal, du Gabon, du Congo et de Djibouti se situent à un bon niveau. Beaucoup de travail reste à effectuer à Madagascar, davantage encore en Guinée, Côte d'Ivoire, Bénin et Cameroun. Ce raisonnement doit être tempéré par la considération de l'intérêt de l'hydrographie exhaustive d'une façade maritime en fonction de critères économiques.

(\*) Données extraites de l'article de l'I.C.A. Pasquay « La sécurité du trafic maritime moderne et les besoins en levés hydrographiques et en cartographie marine » publié dans la revue Navigation n° 132, octobre 1985.







**État des levés**

- non levé ou non systématiquement levé
- levés anciens
- levés adéquats

**Zone de profondeur P**

- I 0 < P < 50 m
- II 50 < P < 200 m

**Planche 5**  
**ÉTAT DES LEVÉS**  
**HYDROGRAPHIQUES**

### 3. La cartographie

Outre les zones levées, on a reporté sur les Planches 1, 2, 3 et 4 les cartes directement issues des levés effectués entre 1947 et 1965; le tableau joint résume cette production par catégories d'échelles.

Il montre l'importance de l'effort cartographique consacré à l'Afrique Noire et à Madagascar pendant la période 1947-1965, effort dont les effets continuent de se faire sentir, puisque en 1988 cette cartographie à très peu de mises à jour près reste en vigueur. En fait, pendant la période 1947-1965, l'hydrographie en Afrique Noire francophone et à Madagascar avait fait un bond en avant sans précédent.

#### UNE ŒUVRE INTERROMPUE

Lorsque les missions hydrographiques d'Afrique Noire et de Madagascar furent dissoutes en 1965 les Etats concernés étaient indépendants depuis plus de 5 ans.

Le Ministre de la Défense venait de réorienter en partie les activités du Service Hydrographique : l'océanographie militaire, en liaison avec le développement de la Force Océanique Stratégique, prenait la relève de l'Hydrographie dans l'Union Française. Depuis, des actions ponctuelles (levés, information nautique) émanant des autorités portuaires intéressées parent au plus pressé dans de médiocres conditions. Le dialogue Nord-Sud et l'inventaire systématique des Zones Économiques Exclusives (Z.E.E.) semblent recommander une reprise des travaux. De nouveaux moyens sophistiqués et performants de localisation et d'exploitation des fonds sont disponibles aujourd'hui. Mais l'hydrographie régulière coûte cher. Elle s'inscrit dans un contexte économique et militaire appartenant au domaine du très long terme et il ne faut donc pas s'étonner qu'elle ne soit pas prise en compte par les Pays en Voie de Développement (P.V.D.) ou les organismes internationaux qui les soutiennent. D'ailleurs, à l'exception des vieux pays maritimes, l'hydrographie n'est pas encore perçue comme une action prioritaire d'ouverture des façades maritimes dans une double optique d'échange avec le monde extérieur et de valorisation des richesses naturelles de la zone économique exclusive.

Production cartographique issue des travaux effectués entre 1947 et 1965	Pilotage côtier et hauturier	Cabotage	Atterrissage	Total
	Echelles			
	≥ 1/50 000	de 1/50 000 à 1/200 000	< 1/200 000	
Mauritanie-Sénégal-Guinée	14	5	5	24
Côte d'Ivoire-Togo-Bénin	9	3	1	13
Cameroun-Gabon-Congo	9	4	1	14
A.O.F. + A.E.F.	32	12	7	51
Madagascar-Comores-Iles éparses	37	13	7	57
Djibouti	4	2	0	6

# MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DE L'ATLANTIQUE

(juin 1982-juillet 1984)

par

M. M. LE GUEN Ingénieur en Chef de l'Armement (Hydrographe)

## SOMMAIRE

### Chapitre 1. — GÉNÉRALITÉS

- 1.1. Personnel
- 1.2. Moyens
- 1.3. Activité

### Chapitre 2. — TRAVAUX DANS LE GOLFE DE GASCOGNE

- 2.1. Généralités
- 2.2. Radiolocalisation
  - 2.2.1. Fonctionnement
  - 2.2.2. Corrections d'étalonnage adoptées
  - 2.2.3. Configuration des différents réseaux
- 2.3. Bathymétrie
- 2.4. Méthodes de traitement
  - 2.4.1. Traitement temps réel
  - 2.4.2. Traitement en temps différé
- 2.5. Documents rédigés

### Chapitre 3. — 1982-1983 TRAVAUX AUX ANTILLES

- 3.1. Travaux en Martinique
  - 3.1.1. Préambule
  - 3.1.2. Géodésie
  - 3.1.3. Bathymétrie côte Est
  - 3.1.4. Bathymétrie côte Ouest
  - 3.1.5. Travaux divers
  - 3.1.6. Localisation
  - 3.1.7. Saisie et dépouillement des données
  - 3.1.8. Topographie
  - 3.1.9. Courants

- 3.1.10. Marée
- 3.1.11. Documents rédigés
- 3.2. Travaux en Guadeloupe
  - 3.2.1. Généralités
  - 3.2.2. Géodésie
  - 3.2.3. Bathymétrie
  - 3.3. Amers
  - 3.4. Marée
  - 3.5. Observations de courant
  - 3.6. Documents rédigés

### Chapitre 4. — 1984 TRAVAUX EN GUADELOUPE

- 4.1. Généralités
- 4.2. Géodésie
  - 4.2.1. Travaux géodésiques
  - 4.2.2. Station d'observation Doppler
- 4.3. Localisation
- 4.4. Bathymétrie
  - 4.4.1. Déroulement des travaux
  - 4.4.2. Levé régulier et recherches
  - 4.4.3. Résultats
- 4.5. Topographie
- 4.6. Observations de courant
- 4.7. Marée
  - 4.7.1. Observatoire de la pointe Fouillole
  - 4.7.2. Observatoire de Saint-François-Grande Terre
  - 4.7.3. Observatoire de la Maison bateau — Terre de Haut — Saintes
  - 4.7.4. Observatoire de Basse Terre
  - 4.7.5. Observatoire de Marie-Galante

## CHAPITRE I

### GÉNÉRALITÉS

Du 06 juin 1982 au 6 juillet 1984, la Mission Océanographique de l'Atlantique (M.O.A.) a été dirigée par l'Ingénieur en Chef de l'Armement Le Guen, qui, succédant à l'Ingénieur en Chef de l'Armement Boulard, a lui-même été remplacé par l'Ingénieur en Chef de l'Armement Bonnot.

#### I.1. PERSONNEL

Le Directeur de Mission a été assisté par :

- l'Ingénieur de l'Armement Gaillard jusqu'au 1<sup>er</sup> novembre 1982.
- l'Ingénieur de l'Armement Frachon.
- les Ingénieurs des Etudes et Techniques d'Armement Porée et Dolou qui ont été remplacés le 1<sup>er</sup> juin 1983 par MM. Lebreton et Mouscardes respectivement Ingénieur Principal et Ingénieur des Etudes et Techniques d'Armement.

Outre les ingénieurs, le plan d'armement de la M.O.A. comporte :

- 10 officiers mariniers hydrographes
- 1 maître détecteur A.S.M.
- 1 premier-maître mécanicien
- 3 second-maîtres manœuvriers
- 7 matelots recrutés des spécialités de manœuvrier, mécanicien, dessinateur, radec et secrétaire.

Le plan d'armement a toujours été honoré, l'effectif réel en officiers mariniers hydrographes a même été excédentaire. Cet effectif a permis, aux Antilles, d'entretenir une activité soutenue et d'armer simultanément toutes les annexes.

La Marine Nationale s'est efforcée de satisfaire le plan d'armement en personnel non hydrographe. On n'eut en général qu'à se féliciter du comportement de ce personnel qui participa activement à la vie de la Mission.

#### I.2. MOYENS

Le personnel de la M.O.A. est embarqué en permanence sur le B.O. « *d'Entrecasteaux* » sauf pendant les périodes de carénage.

Le bâtiment a été commandé :

- jusqu'au mois d'août 1982 par le Capitaine de Frégate Besnard
- d'août 1982 à août 1983 par le Capitaine de Frégate Serve
- à partir d'août 1983 par le Capitaine de Frégate Dégé.

Le *d'Entrecasteaux*, qui a été admis au service actif le 8 octobre 1971, est particulièrement bien adapté pour réaliser des missions de longue durée. Ses approvisionnements en vivres et combustible, sa climatisation très fiable, ses capacités d'hébergement, lui confèrent une large autonomie et lui permettent d'accomplir de longs séjours outre-mer dans des conditions confortables pour le personnel.

Il convient cependant de noter que les moyens de levage des embarcations sont mal adaptés. Dès que la mer atteint la force 3, la vedette suspendue à la grue amorçe un mouvement de pendule; dès lors, sa mise à l'eau ou sa récupération devient une manœuvre plutôt délicate.

Les caractéristiques du B.O. *d'Entrecasteaux* sont largement détaillées dans le rapport de mission de l'ICA Comolet-Tirman (*Annales Hydrographiques* 5<sup>e</sup> série, vol. 4, 1976).

Du 16 mai au 16 décembre 1983, le bâtiment a été immobilisé par une très longue période d'entretien. Au cours de cette indisponibilité, le PC scientifique a été entièrement refondu. Les sondeurs petits fonds et grands fonds Atlas Deso 10 et Edo ont été remplacés par des sondeurs Atlas Deso 20 et Raytheon.

Les systèmes informatiques embarqués ont été particulièrement développés. En 1984, la M.O.A. a été équipée de trois calculateurs Hewlett-Packard 9816, deux tables à numériser Altek et deux tables traçantes Benson. La fiabilité de ce matériel s'est révélée excellente.

#### I.3. ACTIVITÉ

09 juin — 21 juin 1982 : Essais de matériels et de systèmes embarqués.

23 juin — 27 juin 1982 : Levé Seabeam dans le Golfe de Gascogne. Détachement de la M.O.A. embarqué à bord du N.O. *Charcot* de Genavir.

04 novembre 1982 — 27 avril 1983 : Travaux au nord de la Martinique. Achèvement du levé de l'île.

20 juin — 13 juillet 1983 : Revue d'amers de La Rochelle au Cap Ferret.

05 septembre — 18 octobre 1983 : Revue d'amers de La Rochelle au Cap Ferret.

10 janvier 1984 — 26 juin 1984 : Travaux au sud de La Guadeloupe.

Durant la période de 25 mois correspondant à ce rapport, le *d'Entrecasteaux* a cumulé 395 jours d'absence hors du port de base de Brest.

## CHAPITRE II

### TRAVAUX DANS LE GOLFE DE GASCOGNE

#### II.1. GÉNÉRALITÉS

En 1978, la Mission Hydrographique de l'Atlantique (M.H.A.) a entrepris le levé du talus continental métropolitain dans le Golfe de Gascogne. La zone était limitée par :

- à l'ouest, la courbe enveloppe des cercles de 5 milles de rayon centrés sur la sonde 4000 m le plus au large obtenue sur chaque profil,
- au sud, le parallèle 44°30'N,
- à l'est, l'isobathe 150 mètres.

Le 23 juin 1982, un détachement de la Mission Océanographique de l'Atlantique (M.O.A.) a embarqué à l'escale de la Corogne sur le bâtiment *Jean Charcot* de Genavir et procédé, du 23 au 27 juin, à l'aide du sondeur multifaisceaux Seabeam, au levé de la partie sud de la zone, complétant ainsi les travaux de la M.H.A. ainsi que ceux de la campagne « SEA-FER » du C.N.E.X.O.

La M.O.A. a assuré, pour l'ensemble de la campagne, l'exploitation complète de la radiolocalisation. Une bouée de calage pour le Toran a été mouillée au début des travaux au nord-est de la zone. Cette bouée avait malheureusement disparu le 27 juin, ce qui devient une habitude dans ce secteur très fréquenté par les chalutiers ibériques.

Les conditions météorologiques ont dans l'ensemble été assez favorables.

#### II.2. RADIOLOCALISATION

##### II.2.1. Fonctionnement

Les systèmes de radiolocalisation utilisés pendant la campagne furent le Toran P 100 et le Rana P 17. La balise Rana n° 18 de la station du Verdon, en avarie dès le 23 juin, fut indisponible pendant la durée du levé. La M.O.A. s'est servie du Rana comme levé d'ambiguïté du Toran en s'appuyant sur les réseaux :

- 8 — 15 Penmarc'h — Carnac
- 12 — 15 Olonnes — Carnac

Cette méthode très souple, s'est avérée fort commode pour lever le doute sur les chenaux Toran en cours de profil sans avoir à quitter la zone du levé bathymétrique.

Les réseaux Toran exploités furent :

- la chaîne Gascogne entretenue par le Service des Phares et Balises et fonctionnant en mode X;

— une chaîne SHOM fonctionnant en mode Z. Les émetteurs de ce réseau étaient abrités dans des caravanes entretenues par le personnel de l'E.P.S.H.O.M.

Le réseau Toran Gascogne est parfois soumis à des décrochements et à d'amples fluctuations, surtout la nuit, dans la partie ouest de la zone du levé. On s'est efforcé de travailler le plus à l'est possible aux heures du lever et du coucher du soleil.

Les conditions de réception du réseau SHOM-Landes 82 ont été excellentes. La configuration des réseaux Rana est peu favorable à une bonne précision de localisation; les fréquents décrochages des réseaux ne permettant pas d'utiliser le Rana P 17 comme seul moyen de radiolocalisation pour des sondages bathymétriques.

##### II.2.2. Corrections d'étalonnage adoptées

Par continuité avec les sondages effectués précédemment dans la zone, les corrections d'étalonnage utilisées sont celles qui ont été adoptées par la M.H.A. en 1978 et 1979 avec pour référence le système Trident :

- Gascogne réseau nord : + 36 centièmes
- Gascogne réseau sud : - 08 centièmes
- Rana 8-15 : - 0.082
- Rana 12-15 : + 0.028

La correction adoptée pour le réseau « SHOM-Landes 82 » a été de - 10 centièmes.

La taille des chapeaux observés n'a que très rarement excédé 3 centièmes de phase sur chaque réseau.

En fin de travaux, la disparition de la bouée de calage n'a pas permis la vérification des phases Toran. Le bouclage définitif a été obtenu en calant le réseau « Sud-Bretagne » par le réseau « Gascogne » et en contrôlant la localisation par passage sur une épave connue. Lors du recalage des deux lieux Toran « Sud-Bretagne », le chapeau observé avec les deux lieux Toran « Gascogne » était de 8 centièmes de phase.

*Nota* : Il est bon de rappeler que le point adopté à partir de n lieux est calculé par la méthode des moindres carrés de façon itérative en tenant compte des poids de précision pour chaque lieu. La taille du chapeau retenue est déterminée par la valeur absolue maximum des écarts entre les phases lues corrigées et les phases calculées au point adopté.

## II.2.3 Configuration des différents réseaux

### Toran Gascogne — Mode X

Réseau Gascogne A	Emetteur A	Emetteur B	Référence
Nom	Chassiron	Socoa	Cap Ferret
Coordonnées géographiques NTF	46°02'48",330 N 1°24'33",951 W	43°23'27",560 N 1°41'53",730 W	44°40'34",570 N 1°15'16",410 W
Fréquence KHz	1 631,00	1 631,08	1 782,00

Réseau Gascogne B	Emetteur A	Emetteur B	Référence
Nom	Ile d'Yeu	Cap Ferret	Chassiron
Coordonnées géographiques NTF	46°41'30",280 N 2°17'10",320 W	44°40'34",570 N 1°15'16",410 W	46°02'48",330 N 1°24'33",951 W
Fréquence KHz	1 782,00	1 782,20	1 631,00

### Toran SHOM Landes 82 — Mode Z

Toran SHOM Landes	Emetteur A	Emetteur B	Référence
Nom	Biscarosse poste optique 1	Sémaphore de Socoa	Cap de L'Homy poste optique 5
Coordonnées géographiques NTF	44°32'12",310 N 1°15'10",410 W	43°23'40",480 N 1°41'09",710 W	44°02'28",850 N 1°20'18",181 W
Fréquence KHz	1 851,00	1 851,08	1 608,00

La planche 1 précise la géométrie des réseaux.

### Stations Rana P 17

Nom émetteur	Numéro	L (NTF)	G (NTF)
Penmarc'h	8	47°49'51",430 N	4°20'41",510 W
Carnac	15	47°36'29",030 N	3°05'33",000 W
Olonnes	12	46°31'48",320 N	1°48'17",040 W
Verdon	18	45°31'51",300 N	1°06'32",970 W

## II.3. BATHYMÉTRIE

La planche 2 représente la zone levée.

L'ensemble des travaux a été réalisé en utilisant le système de suivi de profils, la localisation étant assurée par 3 lieux Toran (2 Gascogne et 1 SHOM).

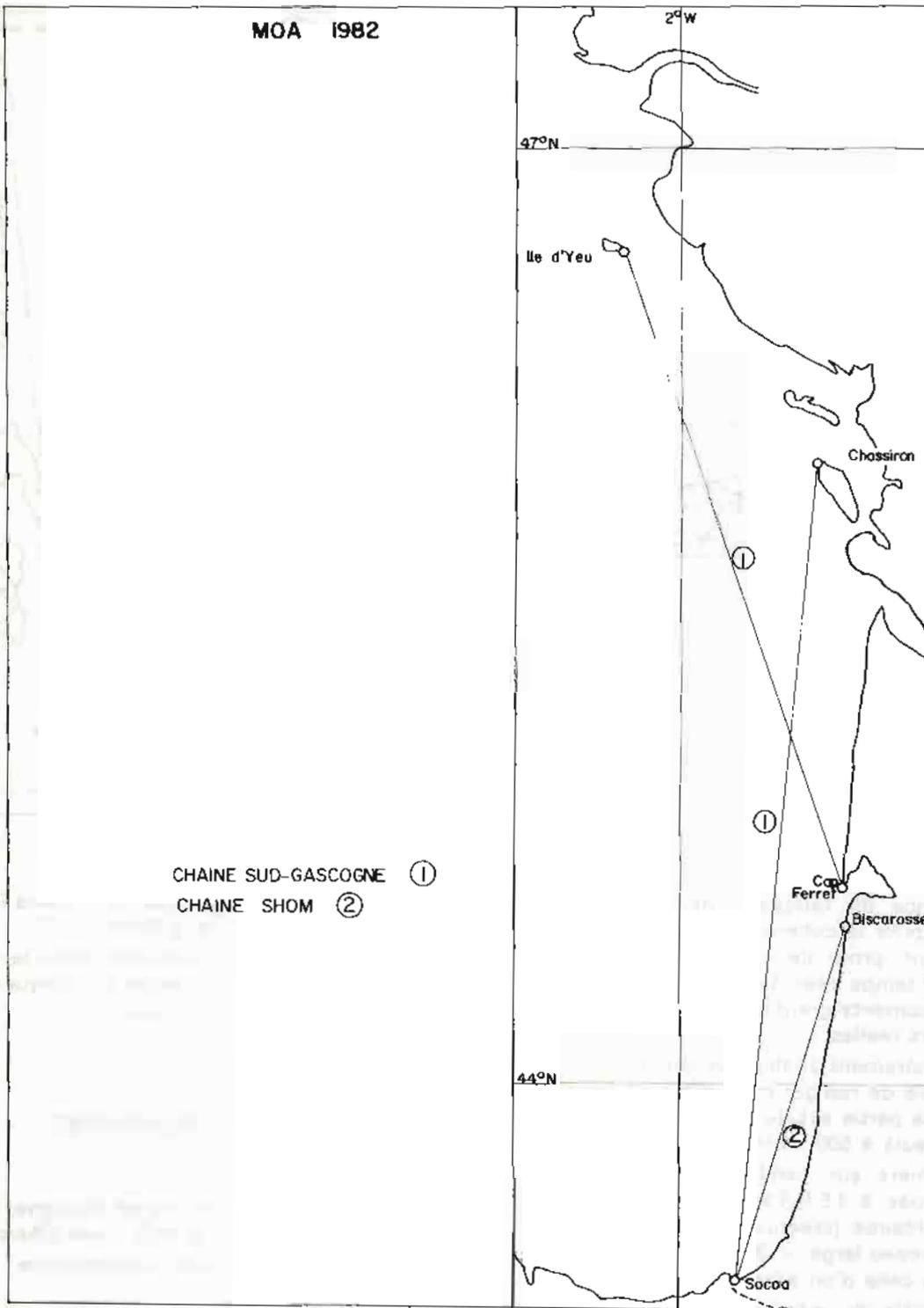
Il n'a pas été possible d'assurer un recouvrement total des profils Sea Beam. Il faut rappeler que le S.H.O.M. disposait d'un crédit de trois jours « Charcot » sur zone et que la vitesse maximum de

sondage de ce bâtiment est limitée à 10 nœuds. L'espacement entre les faisceaux extrêmes de deux profils adjacents n'excède jamais 500 mètres, soit 1 cm à l'échelle 1/50 000.

Des profils traversiers ont été sondés de façon à étudier la répétitivité du sondeur Sea Beam dans les cas suivants :

- petits fonds
- chute du plateau continental
- grands fonds

La portée latérale du Sea Beam, contrôlée en

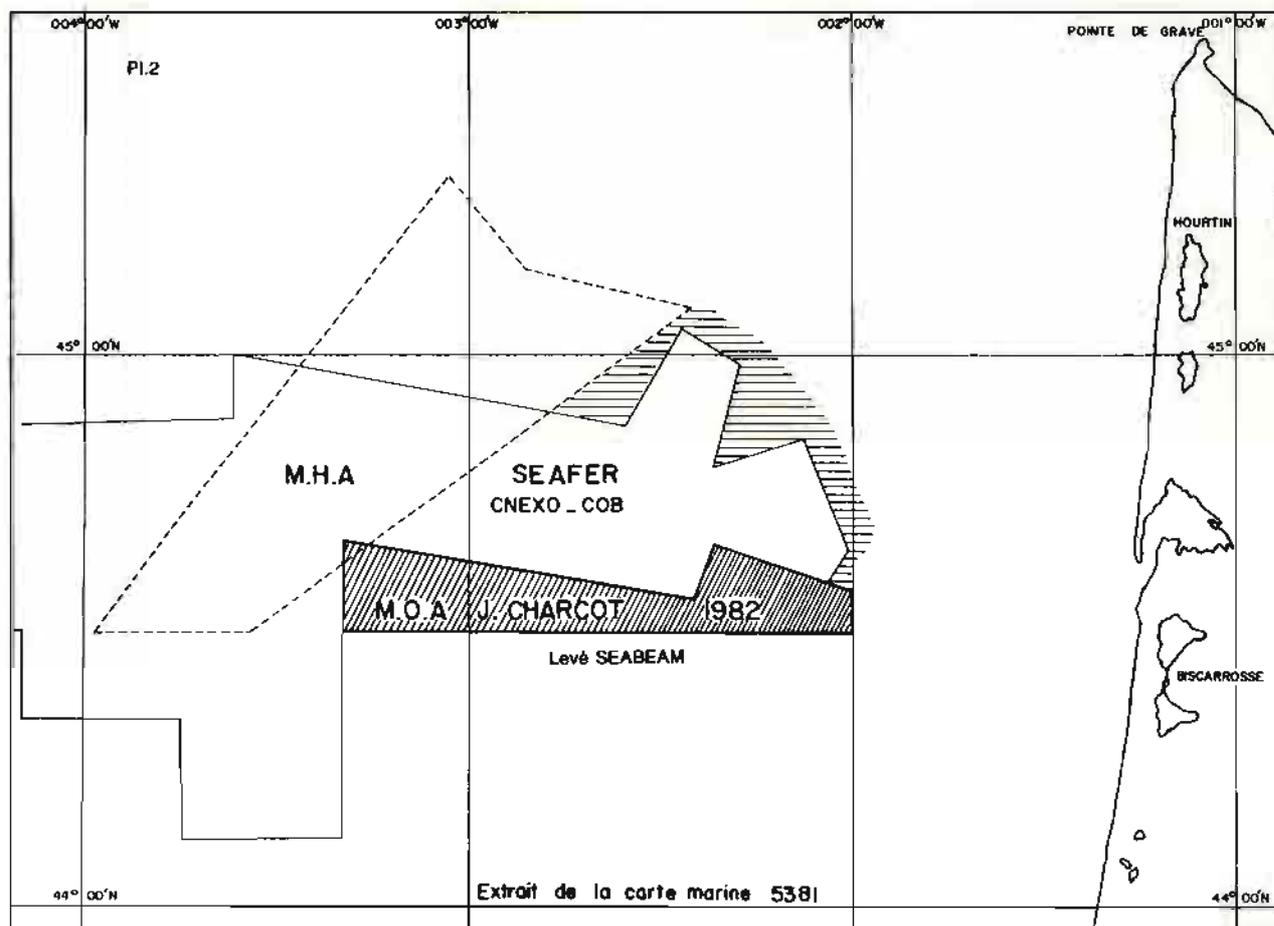


Pl. 1 - Levé SEABEAM - Implantation TORAN.

permanence au PC scientifique et reportée sur les documents de préparation, a toujours été égale à environ les 3/4 de la profondeur.

La rédaction des sondes n'a pas été effectuée selon les normes habituelles adoptées au S.H.O.M. Pour l'ensemble du levé, le profil ci-dessous de célérité du son a été adopté :

Z (m)	V (m/s)
0	1 510
100	1 498
400	1 501
800	1 506
1 500	1 499
1 800	1 497
3 000	1 512
4 500	1 536



L'existence de faisceaux de sites différents nécessite, pour la cohérence du sondage, l'introduction d'un profil de célérité du son dans le traitement temps réel. Les profondeurs figurant sur les documents graphiques sont de ce fait des profondeurs réelles.

L'enregistrement analogique du faisceau vertical a permis de rédiger manuellement les sondages dans la partie est du levé, zone où les fonds sont inférieurs à 500 mètres.

Les fichiers sur bande magnétique ont été communiqués à l'E.P.S.H.O.M pour des études complémentaires (création de l'image d'un sondeur à faisceau large — 30 degrés d'ouverture — à partir de celle d'un sondeur multifaisceaux).

Le contrôle du recouvrement avec les documents de la campagne SEA-FER 79 du C.N.E.X.O. donne des résultats satisfaisants. La cohésion avec les mappes de ce levé est excellente au nord de la zone où les systèmes de localisation étaient comparables. Des décalages ont été observés à l'ouest vers  $G = 03^{\circ}20'W$ , décalages vraisemblablement dus à l'utilisation par le C.N.E.X.O. du système Pulse 8 en limite de portée.

La comparaison du levé Sea Beam avec le levé effectué par la M.H.A. qui a utilisé un sondeur grand fond à faisceau large, met en évidence :

- une excellente compatibilité dans les zones où le relief a un faible gradient;

- des différences sensibles dans les zones à pente élevée; ces écarts étant dus uniquement aux technologies des transducteurs.

## II.4. MÉTHODES DE TRAITEMENT

A l'escale de la Corogne en Espagne, la M.O.A. avait installé à bord du N.O. *Jean Charcot* :

a) Une configuration informatique HP 9845 comprenant :

- un microprocesseur « Hydroboucle » assurant l'acquisition et le transfert de l'heure et des phases Toran,
- le matériel nécessaire au suivi de profil rectiligne avec un indicateur « droite-gauche » à la passerelle,
- les périphériques standard : cassette, bande magnétique, traceur.

b) Une configuration HP 9835 permettant d'effectuer les calculs nécessaires aux opérations de calage du Toran et au rejeu de la radiolocalisation.

Le N.O. *Jean Charcot* offrait les moyens suivants :

- une centrale d'acquisition archivant les données d'estime et de magnétométrie,
- une configuration informatique permettant la fusion des données de localisation et de bathymétrie et assurant le tracé des projections de construction et des minutes de bathymétrie.

#### II.4.1. Traitement temps réel

##### II.4.1.1. *Calculateur HP 9845*

Le microprocesseur « Hydroboucle » transférait toutes les 10 secondes au calculateur l'heure et les données Toran pour le calcul du point, la taille du chapeau et l'écart en mètres par rapport au profil. L'opérateur pouvait intervenir à tout moment pour :

- valider ou invalider les lieux
- modifier les corrections et les normes quant à la précision
- introduire les caractéristiques du profil.

La valeur de l'écart au profil et la tendance de cet écart étaient visualisées à la passerelle pour aider le barreur.

Au P.C. scientifique, le contrôle de la navigation était assuré par visualisation des informations graphiques sur l'écran du calculateur ainsi que sur la table traçante.

##### II.4.1.2. *Calculateur « Sea Beam » temps réel*

Le cycle du traitement sondeur variait de une à cinq secondes selon la profondeur. Un enregistrement au P.C. scientifique permettait de contrôler la cohérence de la bathymétrie ainsi que la portée latérale du sondeur Sea Beam.

##### II.4.1.3. *Centrale d'acquisition*

Toutes les 20 secondes, les données d'estime et de magnétométrie étaient archivées sur bande magnétique.

La synchronisation des horloges de tous les calculateurs a été réalisée à mieux qu'une seconde, évitant ainsi d'éventuels ennuis lors de la fusion des différents fichiers.

Le programme de navigation hybride à 8 lieux implanté sur un calculateur HP 9835 permettait de vérifier la cohérence des différents réseaux de radiolocalisation.

#### II.4.2. Traitement en temps différé

La méthode de rédaction adoptée a été la suivante :

- fusion des données de localisation et de sonde
- tracé à l'échelle 1/50 000 des isobathes brutes selon la procédure décrite par M.Y. Desnoes dans un article publié dans la revue du B.H.I. (janvier 1979)
- choix des sondes caractéristiques à l'E.P.S.H.O.M. et report de ces sondes sur un document graphique (les documents définitifs Sea Beam sont des planches d'isobathes sans sondes ponctuelles).

#### II.5. DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 3 minutes de construction au 1/50 000
- 3 minutes de bathymétrie au 1/50 000

La rédaction des minutes de bathymétrie ne respecte pas toujours les Instructions Permanentes du S.H.O.M.

Les trois minutes de bathymétrie présentent un réseau dense d'isobathes (pas égal à 25 mètres) complété par un choix très lâche de sondes réelles.

Pour les besoins des cartes marines conventionnelles à petite échelle, un choix de sondes au 1/200 000 a été porté pour information sur calque, étant entendu que le document de base reste le fichier magnétique.

## CHAPITRE III

### 1982-1983 TRAVAUX AUX ANTILLES

En 1976, le *D'Entrecasteaux* a entrepris une série de campagnes destinées à reprendre de façon systématique le levé bathymétrique des Antilles françaises. En effet, les cartes en service sont anciennes, élaborées pour la plupart à partir de levés effectués au siècle dernier. Ces cartes, sans être fausses, ne sont plus adaptées aux besoins de la Marine Marchande et encore moins de la plaisance qui a connu la dernière décennie un développement spectaculaire aux Petites Antilles.

Le programme d'activité du *D'Entrecasteaux* prévoyait une campagne de six mois dans les Caraïbes tous les deux ans. C'est ainsi que trois missions ont eu lieu en 1976-1978-1980 en Martinique.

En 1982 a débuté la quatrième campagne qui devait aboutir à la clôture du chantier hydrographique de la Martinique.

La campagne de 1984 s'est déroulée en Guadeloupe et a vu l'achèvement du levé de la zone correspondant à la carte M du plan de cartographie général des Antilles françaises. Cette coupure M est devenue en 1987 la carte 6948.

Au cours des travaux, la Mission a reçu un excellent accueil de la part des services maritimes de l'équipement, des ports autonomes, de la gendarmerie nationale.

#### III.1. TRAVAUX EN MARTINIQUE

##### III.1.1. Préambule

Le *d'Entrecasteaux* a appareillé de Brest le 4 novembre 1982. Après deux escales à Santa Cruz de la Palma (Canaries) et Montserrat (Petites Antilles), le bâtiment est arrivé à Fort-de-France le 25 novembre.

Un détachement comprenant un ingénieur et trois officiers-mariniers hydrographes s'est rendu par avion en mission avancée une semaine avant l'arrivée du bâtiment en Martinique. Accueilli par le commandement de la Marine aux Antilles qui mettait à sa disposition un véhicule, ce détachement avait pour mission de prendre les contacts préliminaires avec les autorités civiles et militaires, préparer l'installation d'un camp de base sur la côte Est de l'île et commencer l'installation d'un réseau de radiolocalisation devant couvrir la côte

Nord-Est de la Martinique de la presqu'île de la Caravelle au Sud, au bourg de Grand Rivière au nord.

En raison de l'état de la mer en cette période de l'année sur la côte Est, le *D'Entrecasteaux* ne pouvait ni mettre à l'eau, ni hisser les vedettes en manipulant les grues. Elles ont donc rallié l'anse de La Trinité et opéré à partir du camp de base où elles passaient la nuit au mouillage. Le campement a été installé dans le parc de l'école d'apprentissage maritime (E.A.M.). Le directeur de l'école a d'autre part mis à la disposition des hydrographes un local assez vaste permettant le stockage du matériel scientifique et faisant office de bureau de calcul (exploitation d'un système Hytrai). Le personnel était logé à l'abri de tentes prêtées par le Service des Approvisionnements de la Flotte de Brest.

##### III.1.2. Géodésie

Lors des travaux effectués en 1976-77, il est apparu que le système géodésique en service baptisé IGN 1953 était incomplet et présentait quelques anomalies. En 1978, la Mission Océanographique de l'Atlantique a donc repris la triangulation primordiale d'une grande partie de l'île en respectant les normes de l'Institut Géographique National pour les points de premier ordre. Il a été établi un nouveau système géodésique appelé « MOA 1978 » ayant pour point de base la borne Vauclin 1. Les coordonnées M.T.U. adoptées pour ce point sont celles du système IGN 1953.

Les travaux géodésiques de la M.O.A. en 1982-1983 s'appuient sur le système établi en 1978 et développé en 1980.

L'ossature ainsi réalisée en progressant du Sud vers le Nord, se partage de part et d'autre de la Montagne Pelée en deux branches, l'une aboutissant à Macouba sur la côte Nord-Est, la deuxième allant jusqu'à l'îlet La Perle, sur la côte Nord-Ouest.

S'il a été possible de prolonger la branche orientale jusqu'à Grand Rivière, l'absence totale de routes, la configuration de la côte au Nord de la Montagne Pelée et l'état de la mer durant la période du levé, n'ont pas permis la fermeture du réseau par le Nord. Toutefois, les points Trident obtenus à partir de balises implantées dans cette zone laissent à penser que la cohérence des deux branches est satisfaisante (voir § III.1.6. côte ouest).

### III.1.2.1. Travaux de géodésie sur la côte Est

Les travaux de la mission précédente ont permis de rattacher rapidement les antennes Trident de Caravelle, Vert Pré, Bellevue, Hauteur Bourdon et Macouba à des points déjà triangulés. Les coordonnées des stations sont récapitulées au § III.1.6.

Pour exécuter les sondages au Nord de l'île, il était impératif de positionner un point à Grand Rivière. Un cheminement géodésique a été réalisé en faisant station au sommet des pylônes d'« Habitation Bellevue » à Macouba et d'« Habitation Beauséjour » près de Grand Rivière, seule possibilité de franchir les lignes de crête en étoile autour de la Montagne Pelée et d'obtenir rapidement le point (cf. Pl. 3).

Ultérieurement, un second cheminement issu du presbytère de Macouba et longeant les falaises dominant la mer, a permis d'améliorer la précision du point de Grand Rivière.

Les autres travaux de géodésie sur la côte Est ont consisté en l'établissement de stations secondaires à partir du réseau existant, stations devant servir à l'étalonnage optique du Trident ou aux travaux de topographie côtière.

### III.1.2.2. Travaux de géodésie sur la côte Ouest

Les travaux de la mission précédente avaient établi l'essentiel de l'ossature du réseau géodésique.

En dehors de quelques stations optiques complémentaires, il a été nécessaire de positionner une antenne Trident et une station de visée optique sur la pointe Belleville située au Nord du Prêcheur.

### III.1.3. Bathymétrie côte Est

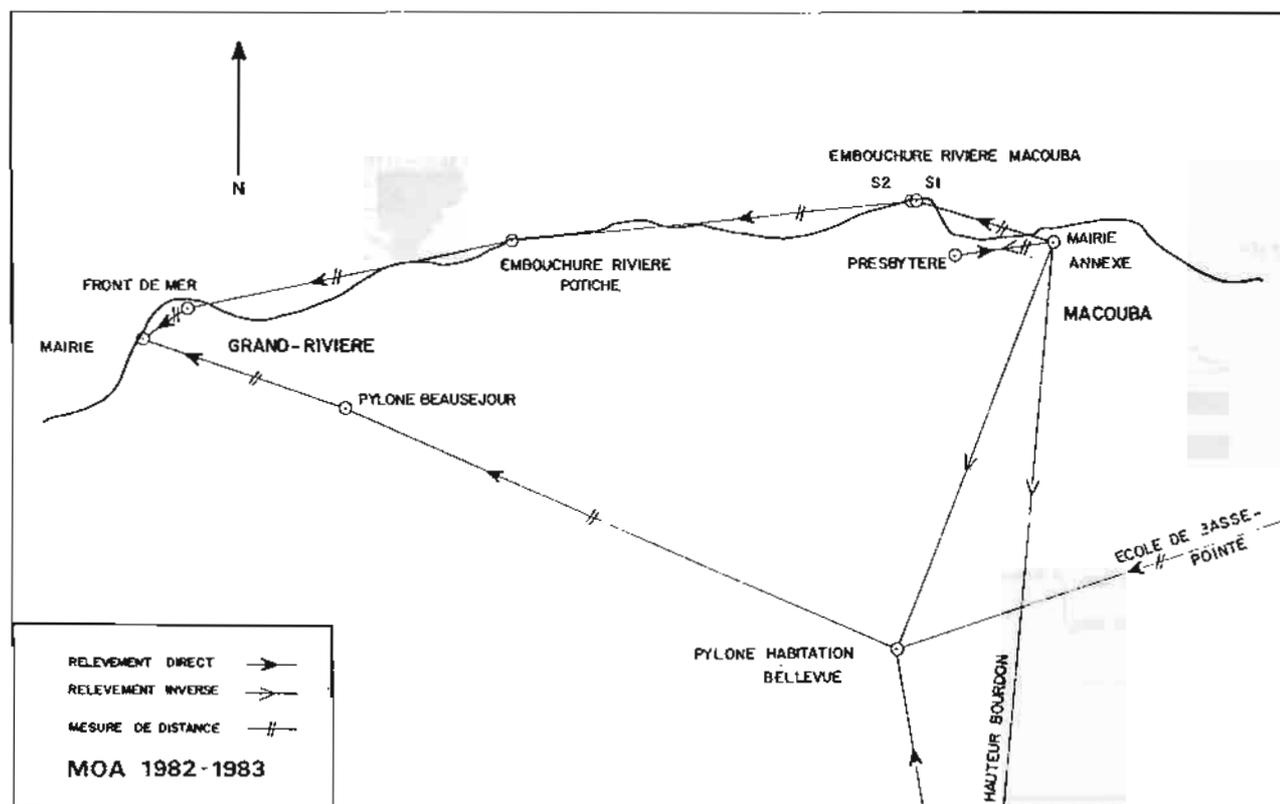
#### III.1.3.1. Déroulement des travaux

Les levés côtiers au 1/5 000 et 1/10 000 ont été réalisés par deux vedettes basées à l'E.A.M. de La Trinité.

Le campement de base de La Trinité a été activé du 6 décembre 1982 au 26 janvier 1983. Les vedettes sont rentrées à Fort-de-France le 27 janvier en passant par le Nord de l'île, escortées par le patrouilleur *Canopus* de Marine Fort-de-France.

Le *D'Entrecasteaux* a exécuté la partie « large » du levé au 1/10 000. Chaque fois que les conditions de sécurité l'ont permis, le bâtiment a sondé de jour et de nuit en se retournant en fin de profil à 1,5 mille de la côte. Les profils ont été suivis à l'indicateur de profil, les routes étant orientées suivant la direction privilégiée des alizés.

L'état de la mer a été généralement médiocre. Si le nombre de journées de sondes perdu à cause de la météo a été faible, il a été souvent impos-



Pl.3 - Nord Martinique - Géodésie complémentaire.

sible aux vedettes de s'approcher à moins de 200 mètres de la côte, les vagues déferlant au voisinage du rivage et des récifs.

Le *D'Entrecasteaux* a été souvent gêné par la présence d'engins de pêche dans la zone du levé.

### III.1.3.2. Levé régulier

Sur la planche 4 figurent les limites des zones levées au 1/5 000 et au 1/10 000. Les zones « *D'Entrecasteaux* » et « vedettes » sont sensiblement délimitées par l'isobathe des 50 mètres. Le levé au 1/5 000 « vedettes » recouvre le fond de la baie de La Trinité. A la demande des autorités locales, le port de Cosmy où accostent des langoustiers a été levé au 1/1000.

Il n'a pas été jugé utile de lever au 1/5 000 les anses de Sainte-Marie, du Marigot, de Grand Anse (bourg du Lorrain) ainsi que le petit port de Basse-Pointe. Ces baies sont en effet exposées à l'alizé et accessibles seulement aux pratiques locaux navigant sur de frêles embarcations du type « gommier ».

Les vedettes ne pouvaient s'aventurer à proximité du rivage pour des raisons de sécurité.

### III.1.3.3. Recherches

Dans les zones levées par les vedettes au 1/5 000 et au 1/10 000, des sondages complémentaires ont été effectués :

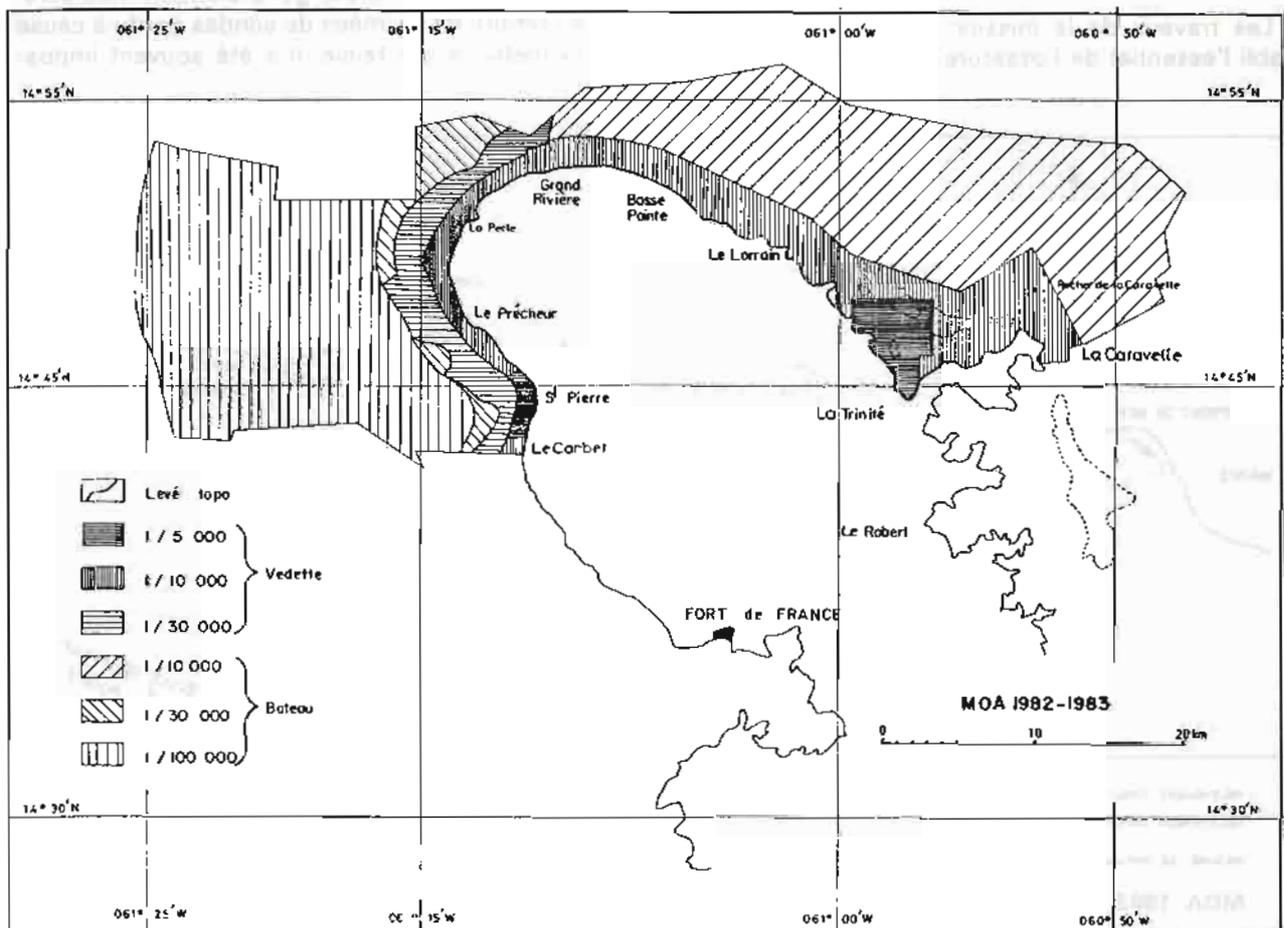
- soit sous la forme de profils intercalaires, notamment sur les cayes madréporiques barrant l'entrée du Havre de La Trinité lorsque l'état de la mer le permettait,

- soit sous la forme de recherches (deux cents au total).

### III.1.3.4. Résultats

- Sur le « Loup Ministre », les vagues déferlent pratiquement en permanence. Ce haut fond est signalé découvrant sur la carte 389. Profitant d'une courte période d'accalmie, une vedette a pu effectuer une recherche en cette zone. Le banc est toujours couvert et culmine à 3,3 m avec deux autres têtes cotées 3,4 et 3,5 m.

- A partir du rocher de La Caravelle situé au large de la presqu'île du même nom, se développe une arête rocheuse orientée Est-Ouest de 6 500 mètres de long. Séparant des fonds de 50 à



Pl.4 - Levé Nord de la Martinique.

55 mètres au Nord et de 45 à 50 mètres au Sud, cette barrière culmine à 8,8 m au point de coordonnées U.T.M. :  $x = 724\ 300$ ;  $y = 1\ 637\ 000$  avec des fonds moyens compris entre 10 et 15 mètres.

### III.1.4. Bathymétrie côte Ouest

#### III.1.4.1. Déroulement des travaux

Les travaux se sont échelonnés du 7 janvier au 11 mars 1983.

— Du 7 au 15 janvier, la troisième vedette, soutenue par le *D'Entrecasteaux*, a débuté les levés au 1/10 000 et 1/30 000 de la baie de Saint-Pierre. La vedette était équipée d'un sondeur Atlas Deso 10 « gamme B » et d'une base hord-bord, la base de coque 30 kHz étant hors service. Les conditions météorologiques étant excellentes sur la côte Ouest, le fond a pu être détecté jusqu'à la profondeur de 1 000 mètres.

— Pendant les travaux de la M.O.A. en Guadeloupe, un détachement de six personnes a été installé dans un camp de l'Armée de Terre situé à Saint-Pierre, le camp Billote. Ce détachement autonome a pu lever la zone comprise entre le Carbet au Sud (limite Nord des sondages M.O.A. 1981), le Prêcheur au Nord et l'isobathe 1 000 mètres à l'Ouest. Le port de Saint-Pierre a été levé au 1/5 000.

— A son retour de Guadeloupe, le *D'Entrecasteaux* a rallié directement Saint-Pierre. Du 28 février au 15 mars, tout le potentiel de la mission a été concentré au Nord de l'île pour achever le levé.

Le *D'Entrecasteaux* a sondé la zone large au 1/100 000 et des trous dans le levé « vedettes » au 1/30 000. Les vedettes ont réalisé les levés au 1/10 000 et au 1/30 000 de la zone comprise entre le Prêcheur et Grand Rivière.

#### III.1.4.2. Levé régulier

Les levés au 1/5 000 et au 1/10 000 ont été réalisés par les vedettes. La chute rapide des fonds à partir du rivage interdisant au *D'Entrecasteaux* de mener seul le levé au 1/30 000, une vedette a été équipée d'un sondeur Atlas « Kit B ». Si au large de Saint-Pierre, l'isobathe de 1 000 mètres a pu être atteinte, il n'en a pas été de même au Nord de l'île, plus particulièrement entre La Perle et Grand Rivière au pied de la Montagne Pelée.

Le gradient important du fond et les formes tourmentées du relief n'ont pas toujours permis de dépasser l'isobathe des 500 mètres. Le *D'Entrecasteaux* a achevé le levé au 1/30 000 au sondeur Edo à faisceau étroit, sur base stabilisée.

#### III.1.4.3. Recherches

Au large de Saint-Pierre, quatorze épaves des bateaux coulés en 1902 lors de l'éruption de la Montagne Pelée ont été recherchées et retrouvées. Certaines ont été investiguées par plongeurs. Des fiches d'épaves ont été rédigées.

#### III.1.4.4. Résultats

Entre La Perle et Grand Rivière, la côte est très découpée. Le relief sous-marin est caractérisé par l'existence de nombreux canyons aux parois abruptes, prolongement des vallées rayonnant en étoile à partir du sommet du volcan (cf. planche 5).

### III.1.5. Travaux divers

#### III.1.5.1. Fort-de-France

Le levé prescrit a été réalisé durant la première semaine du séjour de la Mission en Martinique. La localisation était assurée par une station Trident et trois stations optiques :

Station	Coordonnées MTU		Altitude antenne (m)	Observations
	X	Y		
Fort Saint-Louis	707 938,17	1 614 505,23	18,0	Alimentation par batteries
Gros Ilet	712 913,0	1 609,263,2		Accès par mer
Morne Rouge S1	712 557,9	1 613 163,8		Accès par mer
S2	712 456,6	1 613 187,6		
Ilet Ramiers	706 613,5	1 608 628,3		Accès par mer

#### III.1.5.2. Le Robert

Les instructions techniques prévoyaient l'exécution d'un levé sonal dans la passe d'accès au

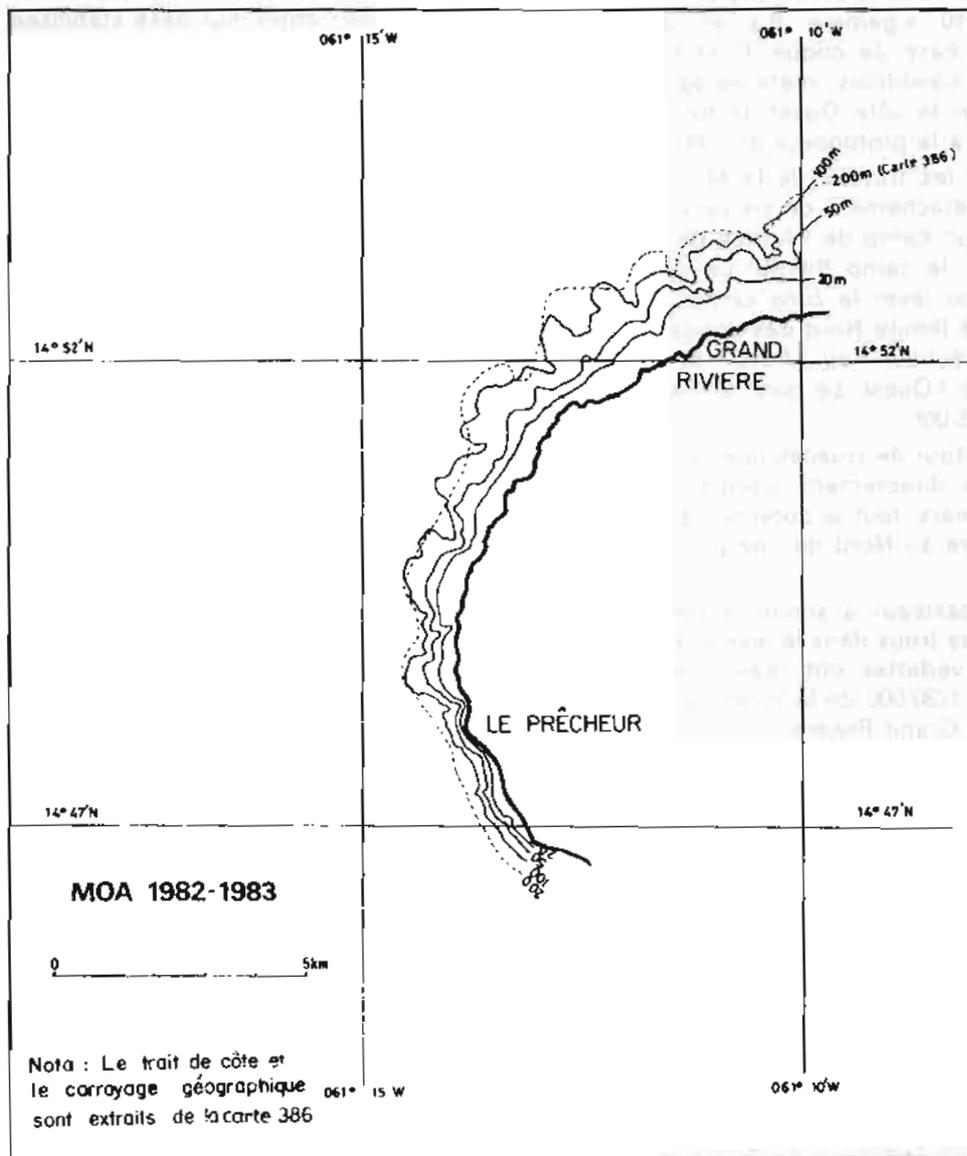
Havre du Robert; ces travaux ont été réalisés à l'occasion du chantier de la Trinité. Le levé a été effectué en utilisant un guide optique installé sur l'îlet Chardons.

Station	Coordonnées MTU		Observations
	X	Y	
Chardons	727 864,90	1 623 217,65	Accessible par mer — Treuillage possible

Les lieux traversiers étant fournis par les stations Trident de la Caravelle, dont l'antenne avait été réorientée, et de Vert Pré; en outre, une

station Trident avait été installée sur l'îlet Char-dons pour la durée des travaux.

Station	Coordonnées MTU		Altitude antenne (m)	Observations
	X	Y		
Îlet Chardons	727 874,18	1 623 191,34	18,40	Accessible par mer — Treuilage possible



P1.5 - Nord-Ouest Martinique - Canyons sous la Montagne Pelée.

### III.1.6. Localisation

#### III.1.6.1. Côte Est

L'essentiel de la localisation du *D'Entrecasteaux*

et des vedettes a été assuré par le système Trident.

Pour le chantier de la côte Est, sept stations ont été utilisées :

Station	Coordonnées MTU		Altitude antenne (m)	Observations
	X	Y		
Caravelle	727 581,94	1 634 088,37	166,9	Alimentation sur batteries et groupe électrogène. Accès par véhicule possible
Vert Pré	717 185,53	1 625 676,91	370	Pylône des télécommunications. Alimentation sur batteries et secteur. Accessible par route
Bellevue (Marigot)	711 776,41	1 638 338,28	175	Propriété de M. Demeillac. Alimentation sur batteries et secteur. Accès par véhicule tout terrain ou par treuillage hélicoptère
Hauteur Bourdon	699 111,98	1 641 291,37	442	Propriété de M. Depaz. Alimentation sur batteries et groupe électrogène. Accès par véhicule tout terrain ou poser hélicoptère
Pointe Caracoli	728 416,32	1 632 692,42	96	Accessible par hélicoptère. Accès par la terre long et difficile
Macouba	699 018,12	1 645 311,66	72	Presbytère de Macouba. Alimentation sur batteries et secteur. Accès par la route
Grand Rivière	695 283,31	1 644 950,64	23	Mairie de Grand Rivière. Alimentation sur batteries et secteur. Treuillage hélicoptère possible

(Cf. planche 6)

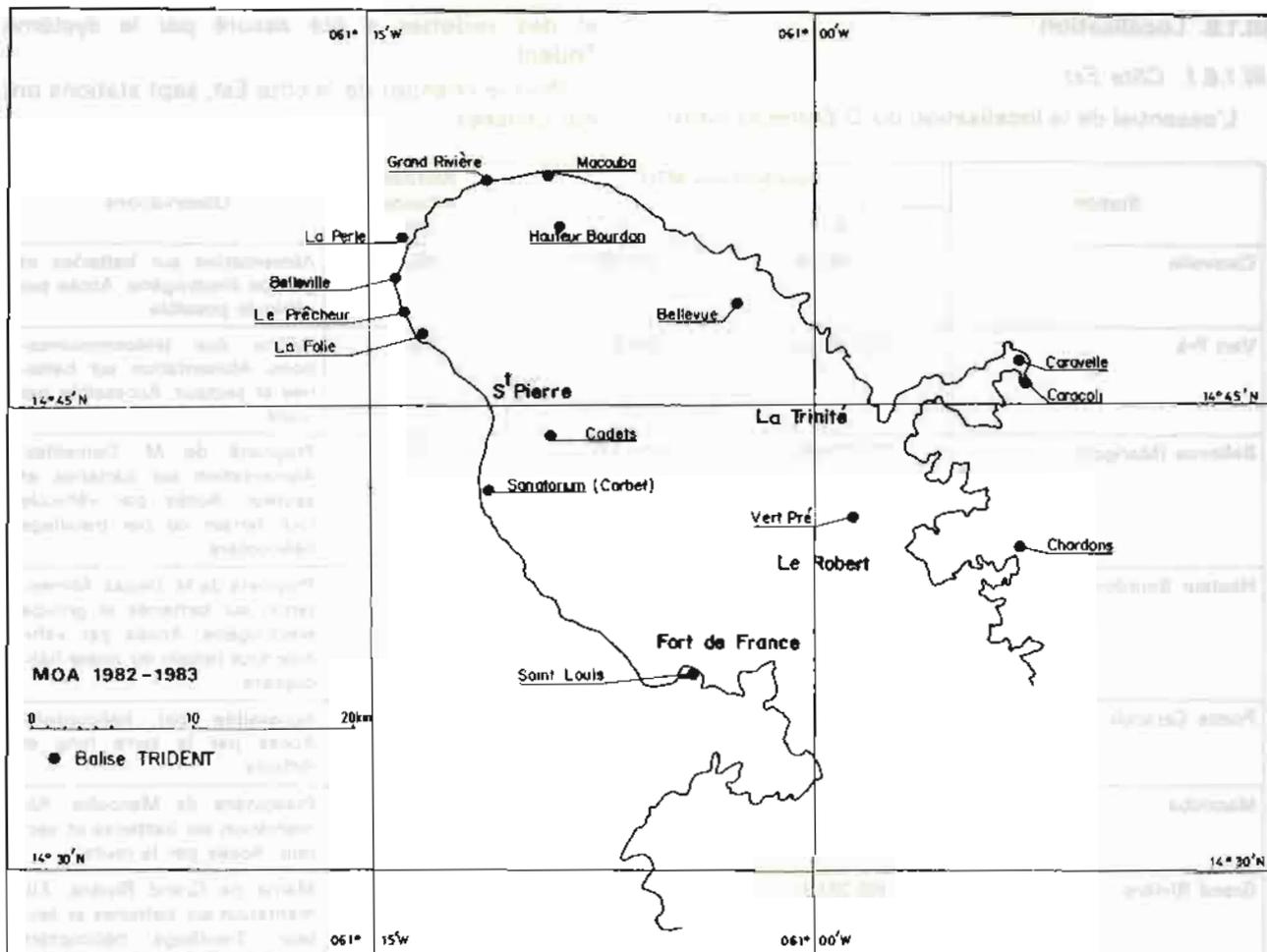
Les stations de La Caravelle, Vert Pré, Bellevue (Marigot) et Hauteur Bourdon ont été activées pendant presque toute la durée des travaux. La station de la Pointe Caracoli a été mise en service une journée pour permettre la localisation des vedettes à l'Est de la presqu'île de La Caravelle.

La réception des stations Trident était en général correcte; toutefois, la station de Hauteur Bourdon ne couvrait pas la zone du levé au 1/5 000 et les émissions de Vert Pré étaient parfois mal reçues au voisinage de la côte. La station Caravelle a servi de guide jusqu'au cercle 28 000, entre Basse Pointe et Macouba. Plus au Nord, il a été nécessaire d'utiliser les stations de Macouba et Grand Rivière.

La maintenance de ces stations, séparées par des routes en mauvais état (lorsqu'elles existent), a été grandement facilitée par l'emploi de l'Alouette III détachée à bord du *D'Entrecasteaux* pour la durée de la mission. La grande disponibilité du matériel Trident est sans aucun doute à porter au crédit de la rapidité d'intervention que permet l'hélicoptère.

Les balises utilisées avaient été réglées et étalonnées en métropole sur la base de Toulbroc'h-Créachmeur. Des corrections de propagation pour la zone de travail des vedettes ont été établies par visées optiques au théodolite Wild T2, à partir des stations répertoriées ci-dessous :

Station	Coordonnées MTU		Observations
	X	Y	
S2 Caravelle	725 587,87	1 634 081,73	Treuillage possible. Accessible en véhicule
Pointe Anse L'Etang (MOA 82)	724 657,27	1 653 520,30	Accès par la route, puis 400 m à pied
Pointe Sainte Catherine (MOA 82)	719 638,91	1 631 305,53	Accès par la route
La Houssaye (MOA 82)	<b>716 536,55</b>	1 634 490,48	Accès par la route
Pointe Canon (MOA 82)	710 304,04	1 640 826,45	Accès par la route



PI.6 - Martinique - Implantation des balises TRIDENT.

Les corrections ainsi déterminées ont toujours été inférieures à 10 m. Pour le *D'Entrecasteaux*, des corrections prenant en compte la longueur du coaxial d'antenne ont été apportées; un étalonnage optique a mis en évidence une correction supplémentaire de propagation de - 7 m pour la station de La Caravelle.

Des stations optiques complémentaires ont été en outre nécessaires :

a) Pour le levé effectué à l'Est de la presqu'île de La Caravelle, on a utilisé à cet effet la station de la Pointe Caracoli dont les caractéristiques sont données ci-dessous :

Station	Coordonnées MTU		Observations
	X	Y	
Pointe Caracoli	728 421,84	1 632 687,86	Très difficile d'accès par terre. DZ hélicoptère très praticable

b) Pour le levé au 1/1 000 du port de Cosmy, réalisé à l'aide des stations optiques de la Pointe

Sainte-Catherine (voir ci-dessus) et la Pointe Jacob (voir ci-dessous) :

Station	Coordonnées MTU		Observations
	X	Y	
Pointe Jacob (MOA 82)	720 028,21	1 631 216,50	Accès par la route

c) Pour le levé de l'extrémité Nord de l'île. En effet, la convexité de la côte limite le nombre de balises Trident reçues près des falaises. Il a été

nécessaire d'utiliser à Grand Rivière plusieurs stations optiques dont les caractéristiques sont récapitulées ci-dessous :

Station	Coordonnées MTU		Observations
	X	Y	
Front de mer Grand Rivière (MOA 83)	695 478,39	1 645 110,02	Accessible par la route
S1 Grand Rivière (MOA 82)	695 283,73	1 644 959,24	Sur le toit de la mairie
S2 Grand Rivière (MOA 83)	695 283,31	1 644 952,31	Point le plus haut de la mairie

### III.1.6.2. Côte Ouest

Comme pour le levé de la côte Nord-Est, le système Trident a fourni la plus grande partie des

lieux de position, que ce soit pour les levés au 5 000<sup>e</sup>, 10 000<sup>e</sup>, 30 000<sup>e</sup> et 100 000<sup>e</sup>. Les stations Trident installées sur la côte Ouest sont récapitulées ci-dessous :

Station	Coordonnées MTU		Altitude antenne (m)	Observations
	X	Y		
Sanatorium du Carbet	695 814,60	1 626 195,10	118,80	Alimentation par batteries et secteur. Accessible par route et hélicoptère
Morne des Cadets	699 144,22	1 629 642,02	536	Observatoire de l'I.P.G. Alimentation par batteries et secteur. Accès par la route uniquement
Morne la Folie	691 840,18	1 635 580,90	104	Pylône T.D.F. Alimentation par batteries et secteur. Accès par la route
Le Prêcheur	690 552,94	1 636 993,37	22,7	Phare. Alimentation par batteries et secteur. Accessible par la route et par hélicoptère
Pointe Belleville	690 182,54	1 639 263,10	7,8	Alimentation par batteries. Accessible uniquement par la mer (délicat)
Îlet La Perle	690 295,89	1 641 422,67	31	Alimentation par batteries et par groupe électrogène. Accès uniquement par hélicoptère

(Voir Planche 6)

Une partie de la zone au 1/30 000 a été levée par le *D'Entrecasteaux* dont la localisation était assurée par des stations Trident rattachées à la branche Ouest du système géodésique (Sanatorium du Carbet, îlet La Perle) et la station Trident de Grand Rivière, extrémité de la branche Est. La taille des « chapeaux » obtenus, définie comme la racine carrée de la somme des carrés des distances du point adopté par moindres carrés aux lieux de

position a une valeur moyenne de 5,2 m; la distance moyenne du point adopté aux lieux est de 1,6 m. On peut en conclure que l'homogénéité du réseau est correcte, du moins suffisante pour les besoins d'un levé de précision.

Cinq stations optiques ont servi de guides ou de traversiers pour les zones proches de la côte où la couverture Trident était insuffisante :

Station	Coordonnées MTU		Observations
	X	Y	
S1 Prêcheur	690 551,08	1 636 994,80	Phare. Accessible par la route et par hélicoptère
S2 Prêcheur	690 552,16	1 636 993,75	Phare. Accessible par la route et par hélicoptère
Wharf Saint-Pierre	695 834,80	1 630 384,07	Accès par la route
Pointe Belleville	690 182,06	1 639 265,22	Accessible seulement par la mer (délicat)
S1 La Perle	690 296,28	1 641 417,84	Accès uniquement par hélicoptère
S2 La Perle	690 295,57	1 641 419,00	Accès uniquement par hélicoptère

### III.1.7. Saisie et dépouillement des données

L'utilisation des techniques informatiques de saisie et de dépouillement des données, parallèlement aux travaux de terrain, offre un moyen de contrôle précieux.

Si un certain nombre d'avaries de matériel est survenu au cours de la mission, ces pannes n'ont jamais été de nature à interrompre l'exploitation des systèmes, ce en grande partie grâce au soutien actif de l'E.P.S.H.O.M.

#### III.1.7.1. Localisation

Les données de localisation du *D'Entrecasteaux* ont été archivées en « temps réel » sur support magnétique, à l'exception d'une partie de la journée du 16 décembre 1982 (avarie HP 9845).

Un système Hytrai avait été installé à l'École d'Apprentissage Maritime de La Trinité. Les données de localisation des vedettes pouvaient être ainsi saisies au clavier au jour le jour. Les fichiers magnétiques ainsi créés étaient transmis au *D'Entrecasteaux* qui assurait la construction et l'archivage de sécurité.

#### III.1.7.2. Sondes

L'ensemble des bandes de sondes a été numérisé; on a cependant préféré une rédaction manuelle des recherches, des profils intercalaires et des profils traversiers.

Les levés réguliers ont été rédigés automatiquement, à l'exception d'une minute au 1/10 000<sup>e</sup>, sur laquelle les recouvrements sont nombreux, de la minute au 1/30 000 et de la minute au 1/100 000.

### III.1.8. Topographie

#### III.1.8.1. Généralités

La configuration de la côte martiniquaise entre la presqu'île de La Caravelle et le bourg du Prêcheur a rendu les travaux topographiques délicats.

Le Nord de La Caravelle présente une côte rocheuse, abrupte, difficile d'accès par terre; l'état général de la mer interdit toute approche en embarcation pneumatique. On doit noter que la définition du trait de côte sur la carte I.G.N. représentant la presqu'île de La Caravelle est fautive.

De Trinité au Lorrain, des pointes auxquelles il est souvent impossible d'accéder, alternent avec des anses offrant peu de points remarquables.

A partir de l'embouchure de la rivière Poquet, au Sud de Basse-Pointe, la côte est bordée de falaises empêchant toute vue sur l'intérieur du pays; par ailleurs, les faibles marnages et les alizés

rendent délicat le cheminement au pied de ces falaises.

A l'Ouest de Grand Rivière, l'absence de chemin carrossable contraint de progresser en suivant la côte rocheuse; l'ancienne départementale de Grand Rivière au Prêcheur n'est plus maintenant qu'un chemin pédestre infesté de trigonocéphales, s'enfonçant dans la forêt et qui ne s'approche de la côte que pour la surplomber; d'autre part, l'état de la mer n'a permis l'accès par embarcation pneumatique qu'au Sud du cap Saint-Martin. Cependant, les points de calage déterminés sur le terrain permettent de restituer l'ensemble du trait de côte dans cette région.

#### III.1.8.2. Topographie du trait de côte

La topographie a été réalisée par piquage des photographies aériennes de l'I.G.N. La couverture photographique était complète pour l'ensemble de la zone du levé, à l'exception du rocher de La Caravelle et de l'îlet La Perle.

De La Caravelle au Marigot, les photographies sont à l'échelle 1/20 000; du Marigot au Carbet, à l'échelle 1/8 000.

La plupart des points de calage ont été positionnés par relèvement et distance à partir de stations placées sur la côte. Les distances, toujours inférieures à 2 000 m, ont été mesurées au géodimètre Aga 14.

Aux endroits où le trait de côte était masqué par des arbres en surplomb, ou impossible à discerner sur les photographies, l'estran a été délimité par des cheminements géodésiques.

Le rocher de La Caravelle a été topographié par relèvements bord droit-sommet-bord gauche à partir d'une dizaine de stations.

La restitution des photographies fait apparaître un décalage assez important du trait de côte figurant sur les cartes 384 et 389.

#### III.1.8.3. Topographie des récifs

La limite Nord des cayes est constituée par le récif Saint-Aubin, entre la côte et l'îlet du même nom. Les récifs le long de la côte Nord de La Caravelle ont été topographiés en zodiac, lorsque l'état de la mer le permettait. Les fonds ont été relevés ponctuellement à la perche topographique.

### III.1.9. Courants

Les observations de courant ont été réalisées au courantographe Mecabolier (cadence d'enregistrement : 6 mn).

Les observations de vent de l'aéroport du Lamentin éloigné de la zone n'ont pas été retenues; celles de l'observatoire automatique de la Pointe de La Caravelle, non calées en heures, se sont révélées inexploitable.

Les seules observations fiables sont celles réalisées par le *D'Entrecasteaux*.

La pression sur zone est constante : 1011 mb en moyenne avec des variations journalières d'amplitude 4 mb (marée barométrique semi-diurne).

Les alizés de direction moyenne Est-Nord-Est

soufflent en permanence sur la zone avec en moyenne 18 à 20 nœuds de jour (maximum à 14 h locales) et 10 nœuds de nuit.

Trois dossiers de courantométrie ont été rédigés; les caractéristiques de chacune des stations sont récapitulées ci-dessous :

Situation géographique	Période d'observation	Immersion
Havre de La Trinité 14°45'27" N 60°57'45" W	Du 13/12/82 au 20/12/82 Station n° 1	5 m
Havre de La Trinité 14°47'02" N 60°57'52" W	Du 21/12/82 au 29/12/82 Station n° 2 Du 02/01/83 au 19/01/83 Station n° 3	5 m 5 m

La marée observée pendant les mesures de courants était celle de La Trinité.

### III.1.10. Marée

#### III.1.10.1. Généralités

Au cours de la mission 1982-1983, trois observatoires de marée, équipés de marégraphes OTT R 16 ont été installés en Martinique :

- La Trinité (90 jours)
- Saint-Pierre (63 jours)
- Le François (79 jours)

Ce dernier observatoire (voir planche 9), situé en dehors de la zone des levés, a été mis en place

à la demande de la section « Océanographie » de l'E.P.S.H.O.M., afin de vérifier le calage des observations antérieures et les cotes N.G.M. des repères principaux.

Après avoir été réparé en décembre 1982 par la M.O.A., le marégraphe de Fort-de-France (OTT R 16 entretenu par la Capitainerie du port de Fort-de-France) a été remis en fonction.

Le marégraphe du Robert (OTT R 16) a correctement fonctionné pendant la durée de la mission. Gardienné par l'I.S.T.P.M., il doit être maintenu en fonction pour une nouvelle période de deux ans à compter de 1983.

Les périodes d'observations sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Nom de l'observatoire	Période d'observation	Remarques
La Trinité	du 07/12/82 au 11/03/83	Interruption du 27/01/83 au 31/01/83 Réduction de la marée des sondages de la côte Nord-Est
Saint-Pierre	du 07/01/83 au 11/03/83	Réduction de la marée des sondages de la côte Nord-Ouest
François	du 23/12/82 au 12/03/83	
Le Robert	Permanent	Entretenu par l'I.S.T.P.M.
Fort de France	Permanent	Entretenu par la Capitainerie du port de Fort de France

#### III.1.10.2. La marée de La Trinité

##### Nivellement

Les repères de l'observatoire ont été rattachés par nivellement géométrique (dans La Trinité au

niveau automatique) et par nivellement géodésique (entre La Trinité et l'Ecole d'Apprentissage Maritime au théodolite T3) au repère de nivellement NGM 4 (section BE) du bourg de La Trinité. Les cotes des différents repères de l'observatoire sont indiqués dans le tableau suivant :

##### Repères d'altitude

Désignation	Description	Cote rapportée au nivellement local NGM	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
Repère A	Repère SHOM scellé verticalement dans la dalle du porche d'entrée du bâtiment principal de l'école	4,059 m	4,452 m
Repère B	Repère SHOM scellé verticalement dans la dalle de l'allée bétonnée longeant l'atelier moteur	1,798 m	2,281 m
Repère C	Repère SHOM scellé verticalement dans la dalle sous les arcades en béton en bord de mer, près du wharf	1,219 m	1,702 m
Repère NGM n° 4 (section BE)	Repère scellé horizontalement dans un pont, centre ville, au début de la RN 4 allant à Gros Morne	4,966 m	5,449 m

## Description de la marée

Il a été observé de manière générale deux pleines mers et deux basses mers par jour (à l'exception d'une journée où l'on ne relève qu'une basse mer et qu'une pleine mer), l'un des cycles étant toujours plus important que l'autre.

On note la présence d'un important phénomène de seiche; les oscillations ont été lissées manuellement pour la réduction des sondes.

Deux concordances en hauteur ont été réalisées avec les marées du Robert et de Fort-de-France. Celle du Robert, tout en présentant un non recouvrement des droites de régression correspondant aux basses mers et pleines mers, a été

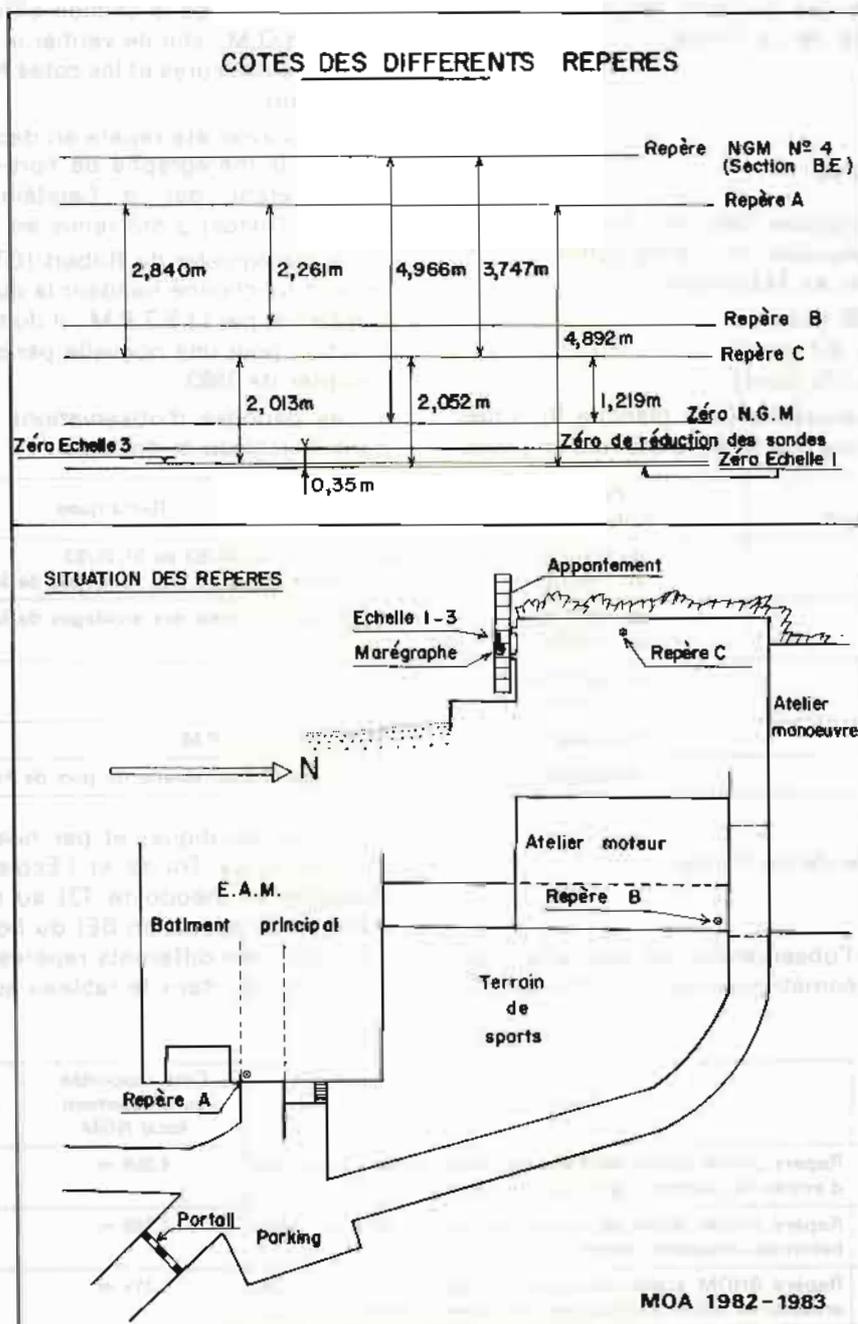
retenue de préférence à celle de Fort-de-France pour des raisons d'homogénéité de réduction de la marée sur la côte Est de la Martinique.

Le zéro hydrographique de Trinité se situe à 0,483 m en dessous du zéro NGM.

Le zéro hydrographique de Saint-Pierre se situe à 0,419 m en dessous du zéro NGM.

Le zéro de réduction des sondes a donc été adopté en prenant le Robert comme port de référence; il est situé à 0,483 m en dessous du zéro de Nivellement Général de la Martinique.

La planche n° 7 fournit le plan de situation de l'observatoire et le schéma d'implantation des différents repères.



Pl.7 - Martinique - Observatoire de marée de la Trinité.

### III.1.10.3. La marée de Saint-Pierre

#### Nivellement

Les repères « SHOM » de l'observatoire ont été rattachés par un nivellement géométrique au re-

père NGM RMRU n° 60 (section CO) du bâtiment des Ponts et Chaussées de Saint-Pierre.

Les cotes des différents repères de l'observatoire sont indiqués dans le tableau suivant :

*Repères d'altitude*

Désignation	Description	Cote rapportée au nivellement local NGM	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
Repère NGM n° 60	Repère scellé horizontalement sur la face Est du bâtiment des Ponts et Chaussées, situé sur le côté terre du vieux wharf de Saint-Pierre	2,036 m	2,455 m
Repère A	Repère SHOM scellé horizontalement dans le vieux mur en face du bâtiment des Ponts et Chaussées, et de l'autre côté de la route	2,993 m	3,412 m
Repère B	Repère SHOM scellé horizontalement dans la partie inclinée du quai au Sud du bâtiment des Ponts et Chaussées et près d'une bouche d'égout	0,924 m	1,343 m

#### Description de la marée

La marée de Saint-Pierre présente habituellement deux pleines mers et deux basses mers par jour. On note parfois (10 jours sur 63) une tenue du plein de la première pleine mer et la disparition de la première basse mer.

Deux concordances en hauteur ont été réalisées avec les marées de La Trinité et de Fort-de-France. Celle de La Trinité a été retenue comme port de référence pour la détermination du zéro hydrographique; il est situé à 0,419 m au dessous du zéro NGM.

La continuité pour la réduction de la marée est

ainsi assurée entre les sondages de la côte Nord-Est et ceux de la côte Nord-Ouest.

La planche n° 8 fournit le plan de situation de l'observatoire et le schéma d'implantation des différents repères.

### III.1.10.4. La marée du François

L'échelle de marée a été rattachée par nivellement géométrique au niveau Wild NAK 2 à deux repères MOA 78.

Les cotes de ces deux repères sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

*Repères d'altitude*

Désignation	Description	Cote rapportée au nivellement local NGM	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
Repère D	Boulon scellé horizontalement dans le muret prolongeant le quai de la salle de restaurant de l'auberge du Club Nautique	0,686 m	1,093
Repère A	Repère SHOM scellé horizontalement dans le mur à l'entrée de l'auberge du Club Nautique	4,304 m	4,711

#### Réduction de la marée

Les sondages ont été réduits de la marée jusqu'à la profondeur de 50 m.

Pendant toute la durée des sondages, la différence de hauteur d'eau entre les marées de Saint-Pierre et de La Trinité a été inférieure à 10 cm.

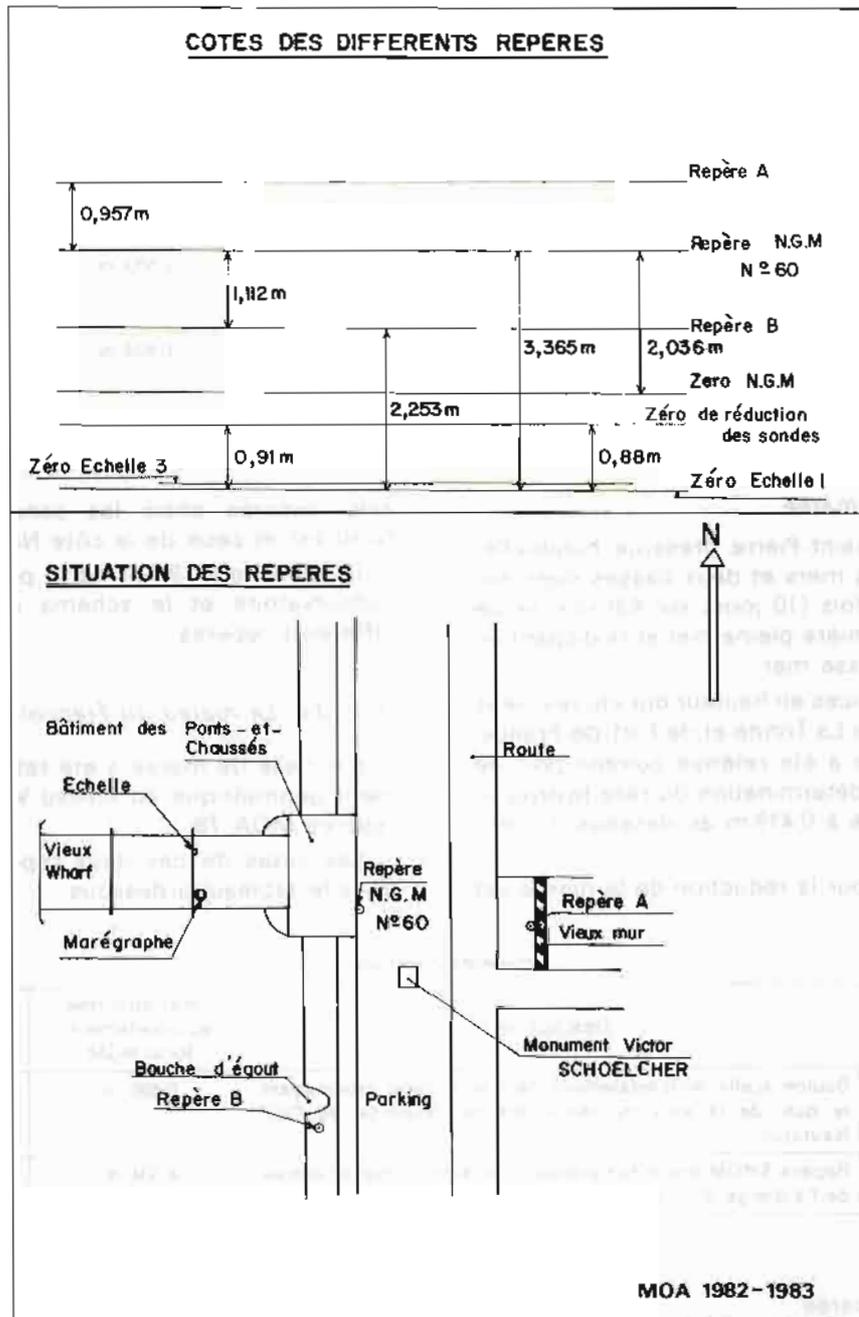
Deux zones de marée ont été adoptées. La première (marée de La Trinité) concerne les sondages qui vont de la presqu'île de La Caravelle à Saut Baisse (situé entre Macouba et Grand Rivière). La deuxième (marée de Saint-Pierre) va de cette limite au Carbet (côte Ouest).

Les zéros hydrographiques adoptés pour La Trinité et pour Saint-Pierre sont déduits du zéro hydrographique du Robert déterminé par analyse harmonique.

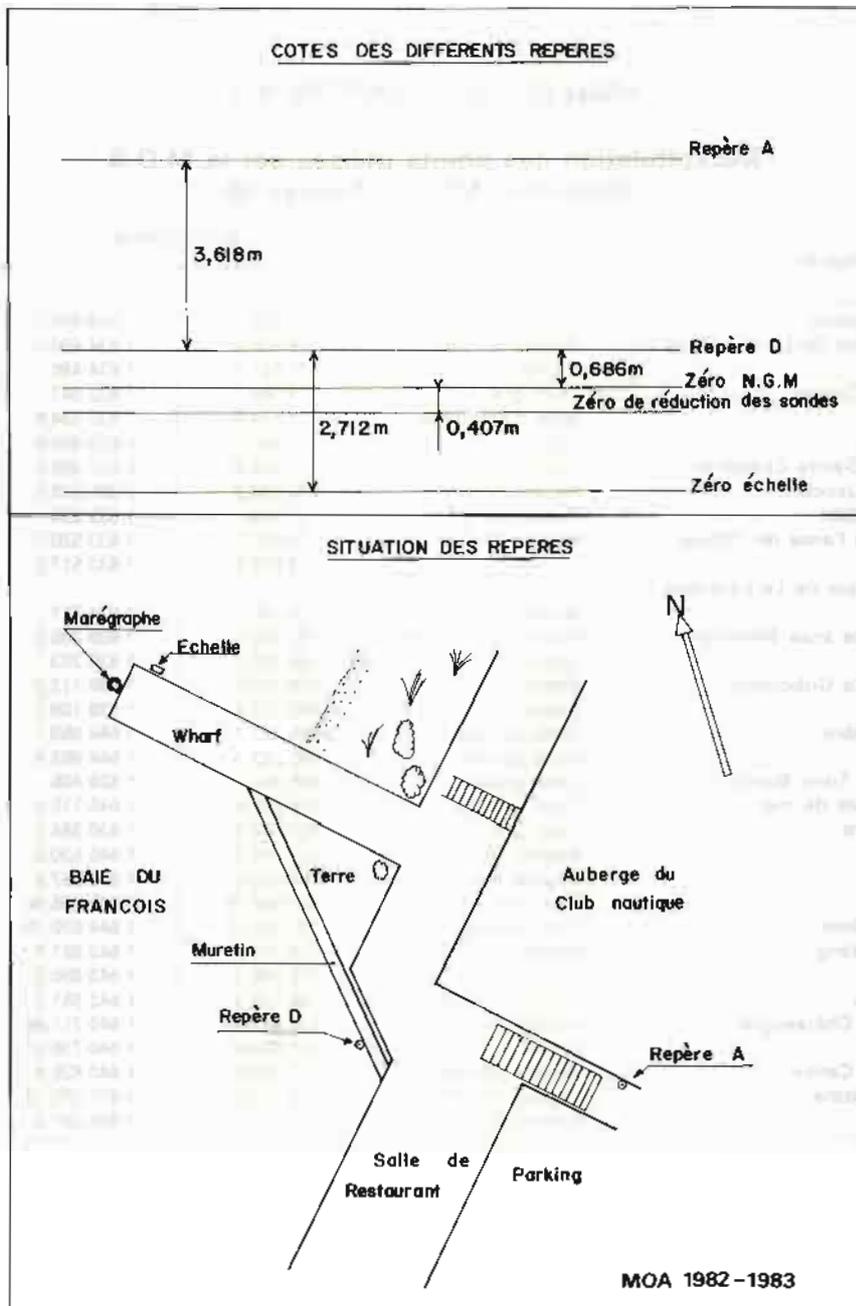
Ce dernier se situe à la cote 16,816 m sous le repère NGM 2 situé sur le mur de la mairie du Robert.

Le zéro hydrographique de Trinité se situe à 0,483 m en dessous du zéro NGM.

Le zéro hydrographique de Saint-Pierre se situe à 0,419 m en dessous du zéro NGM.



PI.8 - Martinique - Observatoire de marée de Saint - Pierre.



Pl.9 -Martinique - Observatoire de marée du François.

### III.1.11. Documents rédigés

#### Minutes bathymétriques

1/1 000 : 1 figurant en cartouche sur une minute  
 au 1/5 000  
 1/5 000 : 2 Trinité + 1 Saint-Pierre  
 1/10 000 : 15  
 1/30 000 : 1  
 1/100 000 : 1

#### Minutes de recherches

1/5 000 : 3  
 1/10 000 : 6

#### Minutes de topographie

1/5 000 : 1  
 1/10 000 : 7

Dossiers de courantométrie : 3

Fiches géodésiques : 27

Fiches d'amers : 28

Cartes renseignées : 4

Fiches d'épaves : 19

**ANNEXE I AU CHAPITRE III.1.**

**Récapitulation des points utilisés par la M.O.A.  
Projection MTU — Fuseau 20**

Désignation	Repère	Coordonnées		Altitude Z
		X	Y	
Sainte-Marie — Réservoir	Croix gravée	715 788,0	1 634 601,2	60,2
Sainte-Marie — Pointe de La Houssaye	Repère SHOM	716 536,5	1 634 490,5	60,6
	Signal	716 528,2	1 634 490,7	64,6
La Trinité — Pointe Cosmy	Croix gravée	718 588,7	1 632 047,1	2,4
	Bitte d'amarrage	718 574,0	1 632 034,9	2,7
	Signal	718 585,7	1 632 052,9	7,4
La Trinité — Pointe Sainte-Catherine	Repère SHOM	719 038,9	1 631 305,5	13,6
La Trinité — Pointe Jacob	Repère SHOM	720 028,2	1 631 216,5	4,1
Tartane — Pointe à Bibi	Repère SHOM	722 995	1 632 934	2,1
Tartane — Pointe de l'anse de l'Etang	Repère SHOM	724 657,3	1 633 520,3	27,0
		724 657,4	1 633 517,5	31,0
Station météorologique de La Caravelle	Croix gravée sur le toit		1 634 311	42,6
Le Prêcheur — Pointe anse Belleville	Piquet en fer scellé	690 182,1	1 639 265,2	3,6
	Signal	690 182,5	1 639 263,1	5,8
Le Prêcheur — Pointe Gribouldin	Repère SHOM	690 233,2	1 638 112,3	12,1
	Signal	690 232,3	1 638 109,7	15,1
Mairie de Grand Rivière	Croix gravée	695 283,7	1 644 959,1	19,6
	Croix gravée	695 283,3	1 644 952,3	20,5
Saint-Pierre — Anse Turin Borne	Croix gravée	695 362	1 628 405	1,8
Grand Rivière — Front de mer	Croix gravée	695 478,4	1 645 110,0	2,5
Wharf de Saint-Pierre	Croix gravée	695 834,8	1 630 384,1	1,5
Pointe Macouba	Repère SHOM 1	698 899,5	1 645 530,0	4,7
	Repère SHOM 2	698 822,8	1 645 557,2	5,5
Mairie de Macouba	Croix gravée	699 496,75	1 645 365,04	60,7
Maison de Basse-Pointe	Croix gravée	702 503,55	1 644 670,23	10,3
Pointe Moulin de l'Etang	Repère SHOM	704 251,8	1 643 861,7	1,1
	Clou scellé	704 188,3	1 643 890,5	3,5
	Repère SHOM	706 124,5	1 642 551,5	2,5
Le Lorrain — Pointe Châteaugné	Repère SHOM	709 881,67	1 640 711,88	48,3
Le Lorrain — Pointe Canon	Signal	709 894,43	1 640 738,67	50,3
	Repère SHOM	710 304,0	1 640 826,4	33,9
Marigot — Morne Patate	Repère SHOM	710 842,07	1 637 079,19	250,9
Pointe de Marigot	Repère SHOM	711 660,0	1 640 267,9	31,6

## ANNEXE II AU CHAPITRE III.1.

### Récapitulation des amers pour lesquels une fiche a été établie

Désignation	Repère	Coordonnées		Classification amers
		X	Y	
Cathédrale de Sainte-Marie				
Clocher nord-ouest	Axe et sommet	715 634	1 635 132	2
Clocher sud-est	Axe et sommet	715 644	1 635 121	2
Croix de l'Îlet Sainte-Marie	Centre de la Croix	716 146	1 635 594	2
Grand pylône Vert-Pré	Sommet	717 157	1 625 696	2
La Trinité — Espar Pointe Cosmy	Axe et sommet	718 638	1 631 986	1
Clocher église de la Trinité	Axe et sommet de la croix	718 792	1 630 372	2
La Trinité — Pylône	Axe et sommet du triangle	719 648	1 629 949	1
La Trinité — Cheminée blanche				
Pointe Jacob	Axe et sommet	720 040	1 631 223	1
La Trinité — ancien moulin de Beauséjour	Axe et sommet	720 576	1 631 214	1
Eglise de Tartane	Centre de la croix	724 165	1 632 772	1
Croix de la Pointe Tartane	Centre	724 300	1 633 324	1
Cheminée de la rumerie Hardy à Tartane	Axe et sommet	724 323	1 632 857	1
Oratoire desmarins de Grand Rivière	Axe et sommet	695 331	1 644 865	1
Clocher de l'église de Grand Rivière	Centre de la croix	695 345	1 644 972	1
Vierge des marins à Saint-Pierre	Axe de l'oratoire	695 861	1 629 644	1
Pylône TV de Saint-Pierre	Axe de l'antenne supérieure	695 887	1 631 050	2
Cathédrale de Saint-Pierre				
Clocher nord-est	Axe	696 014	1 630 258	2
Clocher sud-ouest	Axe	696 009	1 630 239	
Pylône TV de Beauséjour	Axe de l'antenne supérieure	696 184,9	1 644 636,3	2
Pylône TV habitations Bellevue	Axe et sommet du mât rouge	698 754	1 643 458	2
Clocher de l'église de Macouba	Centre de la croix	699 011	1 645 286	2
Clocher de l'église de Morne-Rouge	Centre de la croix	700 284	1 634 166	2
Cheminée de la sucrerie de Basse-Pointe	Axe et sommet	702 231	1 644 235	2
Clocher de l'église de Basse-Pointe	Axe de la croix	702 325	1 644 557	2
Clocher de l'église du Lorrain	Axe de la croix	708 786	1 640 595	2

## III.2. TRAVAUX EN GUADELOUPE

### III.2.1. Généralités

Ces travaux s'inscrivent dans le cadre de la campagne Antilles MOA 1982-1983 et constituent un prolongement des levés effectués par la Mission en 1971 et 1979. Les Instructions Techniques prévoyaient l'étude et la vérification au sondeur latéral d'un chenal d'accès à Pointe-à-Pitre, praticable pour des bâtiments ayant un tirant d'eau voisin de 13 mètres.

Le programme initial a été légèrement modifié à la demande du port autonome de Pointe-à-Pitre en y incluant :

- l'extension de l'exploration au sonal du chenal jusqu'à l'isobathe des 25 mètres;

- la réalisation d'un levé de détail à l'échelle 1/2 000 de la partie nord du port, ceci dans le but de déterminer le volume des travaux de dragage à entreprendre.

Une mission avancée, composée d'un ingénieur et de deux techniciens, s'est rendue par avion de

Martinique en Guadeloupe 3 jours avant l'arrivée du bâtiment pour préparer les travaux et prendre les contacts nécessaires.

Le levé dans le Petit Cul de Sac Marin a été exécuté du 1<sup>er</sup> au 23 février avec deux escales aux îles de Saint-Martin et Saint-Barthélemy.

Durant cette période, ont été réalisés en plus des sondages :

- une revue d'amers aux abords de Pointe-à-Pitre et au sud de l'île de la Désirade;

- des observations de courant;

- la vérification des positions du balisage flottant du chenal d'accès au port;

- le nivellement du marégraphe de la Pointe Fouillole;

- un contrôle des bornes géodésiques et repères de l'Institut Géographique National existant dans l'île de Grande-Terre.

### III.2.2. Géodésie

Pour exécuter les sondages, on disposait des

coordonnées d'un certain nombre de points déterminés par le Laboratoire Central d'Hydraulique de France (L.C.H.F.) en 1964 et par la M.O.A. en 1979, points rattachés au système IGN de 1951-52.

Des travaux de géodésie complémentaire ont été réalisés (voir planche 10).

Le tableau ci-après récapitule les positions des points utilisés pour les sondages.

*Stations optiques :*

Désignation	Coordonnées UTM		Z <sub>(m)</sub>	Repère
	X	Y		
Sommet immeuble	657 439,50	1 795 836,00	64,6	Station repérée par le centre du pied du mât situé au sommet de l'immeuble
Pointe à Bacchus	651 528,49	1 792 167,69	41,5	Borne IGN
Maison Bas du Fort	658 443,30	1 793 618,91	36,5	Croix peinte
Appontement Ilets à Cochons	656 826,44	1 793 654,10	1,4	Croix gravée Accès par mer
Quai Pointe Jarry	656 018,54	1 795 582,92	1,7	Croix gravée
Pointe Morne à Savon	655 539,48	1 796 607,88	0,9	Repère SHOM scellé
Presbytère Goyave	653 024,77	1 784 835,42	14,8	Croix gravée

*Stations Trident :*

Désignation	Coordonnées UTM		Z <sub>(m)</sub>	Observations
	X	Y		
Immeuble Massabielle	657 442,06	1 795 833,61	68,7	Alimentation par secteur
Phare Ilet du Gosier	661 750,62	1 791 778,20	22,3	Accès par mer. Alimentation par l'éolienne du phare
Pointe à Bacchus	651 525,80	1 792 167,80	47,0	Alimentation par batteries

Des fiches géodésiques ont été rédigées pour tous ces points. Un inventaire des bornes signalées dans le répertoire de coordonnées IGN de La Guadeloupe a été réalisé en ce qui concerne l'île de Guadeloupe. La plupart des points ont disparu à la suite de travaux immobiliers ou d'actes de vandalisme. En particulier ont été détruits : le point fondamental, les deux termes de la base et les deux points de premier ordre de l'île.

La bathymétrie au sondeur vertical a été réalisée simultanément avec le levé au sondeur latéral Edgerton.

### III.2.3. Bathymétrie

#### III.2.3.2. Exécution et rédaction

#### III.2.3.1. Nature des travaux (voir planche 11)

Les instructions techniques prescrivait :

- de poursuivre vers le nord le levé régulier du chenal effectué par la M.O.A. en 1979 selon des profils espacés de 50 mètres;
- de compléter les recherches non effectuées provenant du levé régulier de 1979;
- d'explorer au sondeur latéral l'ensemble du chenal d'accès à Pointe-à-Pitre selon des profils espacés de 100 mètres.

Les sondages ont été exécutés avec deux vedettes, la troisième vedette du *D'Entrecasteaux* étant restée en Martinique pour exécuter le levé de la baie de Saint-Pierre.

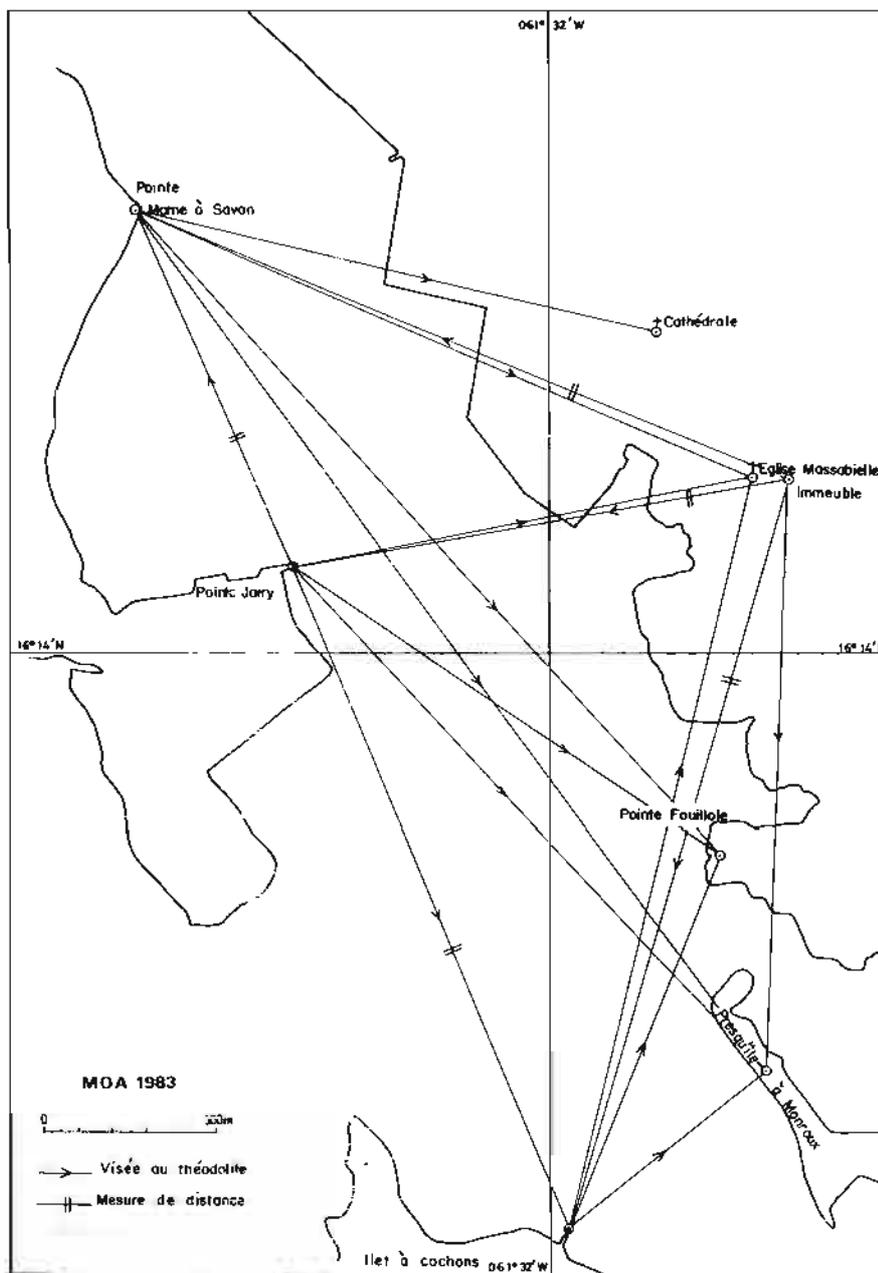
Les conditions météorologiques rencontrées ont été bonnes dans l'ensemble. La vérification au sondeur latéral a été conduite par les vedettes radioguidées à partir des stations de Massabielle, Maison Bas du Fort et Pointe à Bacchus. Trois balises Trident installées à Massabielle, au phare de l'îlet Gosier et à la Pointe à Bacchus génaient les trois lieux traversiers.

Au total, cinquante recherches ont été effectuées : 33 représentant le reliquat du levé régulier MOA 1979 + 11 décidées à l'issue du levé sonal + 6 sondes anciennes (CM 6555).

Les recherches des hauts fonds et le levé au 1/5 000 de la partie nord du chenal ont été exécutés entièrement à l'aide du système Trident.

Pour le levé au 1/2 000 demandé par le port autonome, la balise Trident de Massabielle a servi de guide; deux stations de visée optique complétaient la localisation. La troisième station optique située sur l'îlet à Cochons n'a servi qu'à assurer l'étalonnage du système Trident.

Les sondes ont été réduites de la marée observée à la Pointe Fouillole.



Pl.10 - Guadeloupe - Canal de Pointe à Pitre géodésie complémentaire.

### III.2.3.3. Résultats

Les Instructions prescrivaient de vérifier que le chenal d'accès à Pointe-à-Pitre était praticable pour des bâtiments ayant un tirant d'eau voisin de 13 mètres.

Les sondes relevées montrent que cet objectif ne peut être atteint. Au sud du chenal, on trouve une profondeur minimale de 10,2 m. Au nord, il existe un seuil côté 11.4, 11.6, 11.7 et culminant à 11.3 au point de coordonnées UTM :

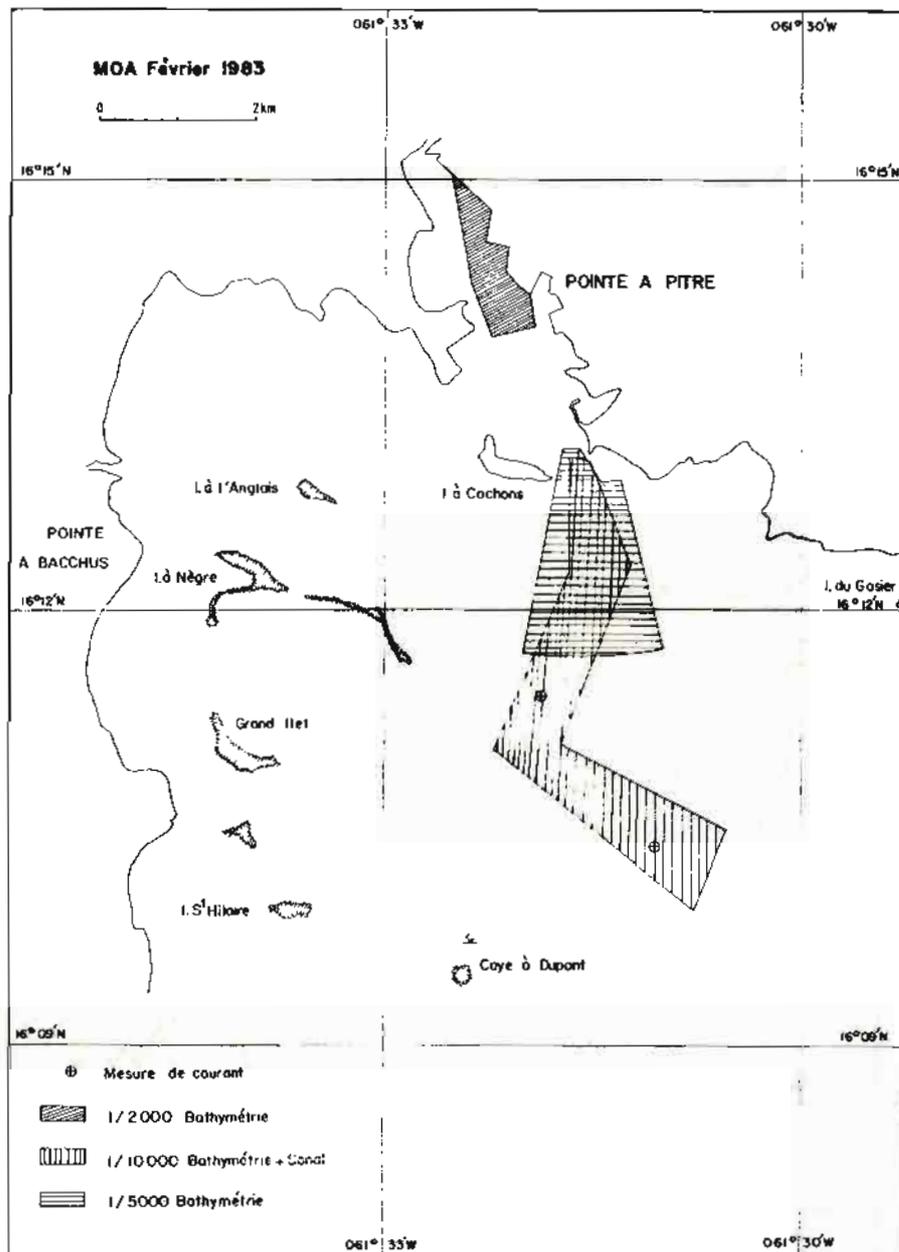
X = 657 470      Y = 1 793 490

L'annexe I ci-jointe présente les résultats des recherches effectuées avec les nouvelles cotes obtenues.

L'annexe II récapitule les recherches issues de 6 sondes « carte marine » ainsi que celles retenues à l'achèvement du levé sonal.

Les sondes suivantes portées sur la carte 6555 n'existent pas :

- 10 P.A. située en  $x = 658\ 880$        $y = 1\ 788\ 450$
- 29,0 située en  $x = 661\ 030$        $y = 1\ 789\ 240$
- 10,8 située en  $x = 658\ 110$        $y = 1\ 790\ 640$
- 13,0 située en  $x = 656\ 320$        $y = 1\ 789\ 539$



Pl.11 - Guadeloupe - Canal de Pointe à Pitre.

### III.3. AMERS

Une revue d'amers a été réalisée dans le Petit Cul de Sac Marin, avec détermination des altitudes des sommets. Le positionnement d'un certain nombre d'entre eux avait été demandé par les pilotes du port autonome. Les coordonnées des points triangulés sont répertoriées en annexe III.

### III.4. MARÉE

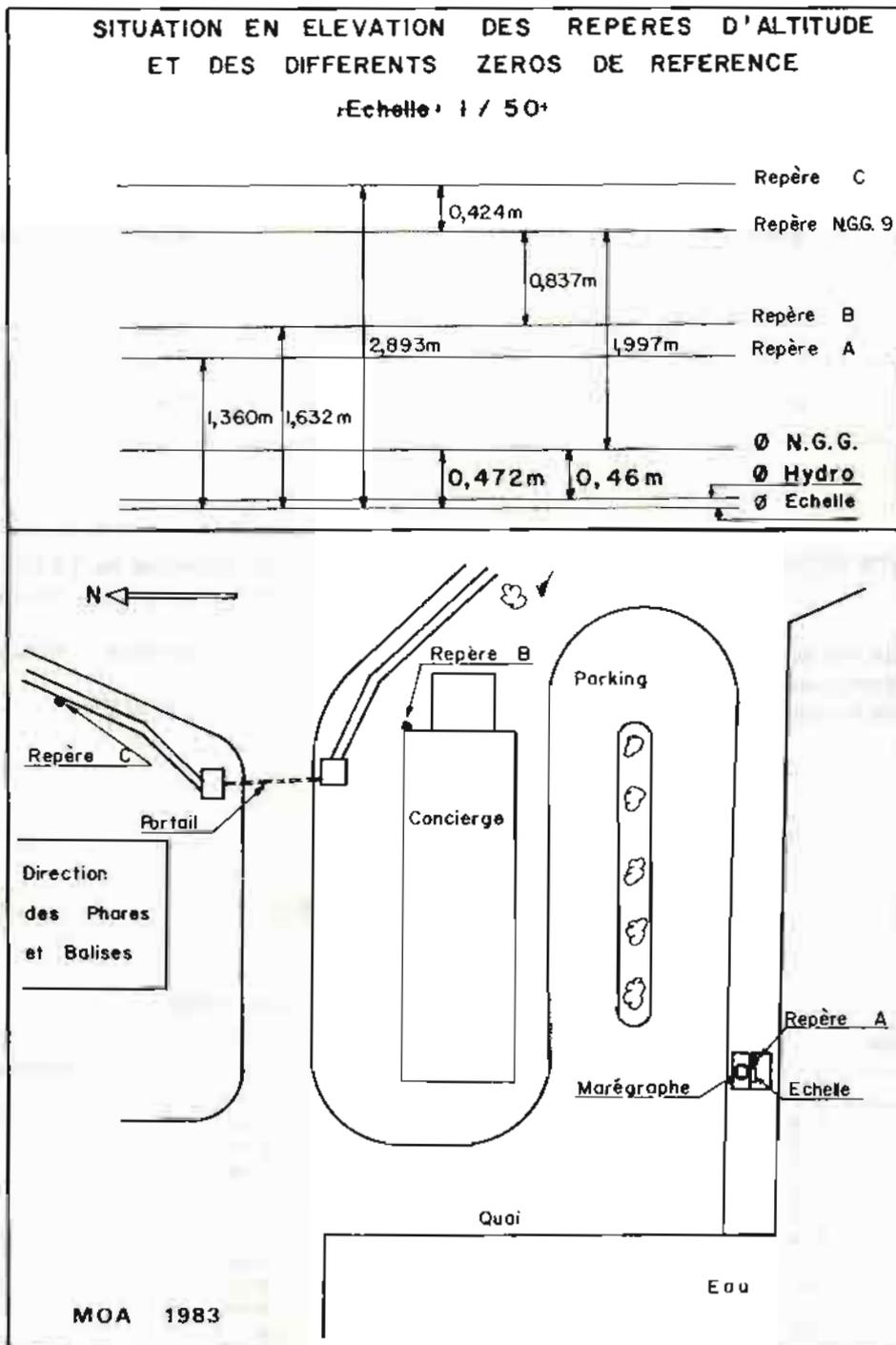
La marée a été observée à la Pointe Fouillole où il existe un marégraphe permanent entretenu par le Service des Phares et Balises (description de

l'observatoire : voir planche 12). Pendant les travaux, le marégraphe a été équipé pour effectuer une rotation par 24 h (l'échelle des temps étant trop resserrée en temps normal, le tambour effectuant une rotation par semaine).

Les oscillations à courte période (seiches) que l'on peut observer à la Pointe Fouillole ont été lissées pour la réduction des sondages au large.

Une vérification du nivellement de l'échelle de marée en place a mis en évidence un affaissement du quai support du marégraphe de 1,2 cm. Le nivellement des repères A, B et C de la fiche d'observatoire de marée rédigée en 1979, a été repris à partir du repère NGG n°9.

Le zéro de réduction des sondes à la Pointe Fouillole se situe à 2,457 mètres au-dessous du



Pl.12 - Guadeloupe - Observatoire de marée de la Pointe Fouillole.

repère NGG n°-9 scellé au bas du transformateur électrique au lieu dit « Le Carénage » (réseau de premier ordre, section A0').

### III.5. OBSERVATIONS DE COURANT

Deux stations de courantométrie d'une durée de 50 heures ont été effectuées au voisinage

immédiat du chenal. Les points initialement prévus ont dû être décalés pour ne pas encombrer l'alignement d'entrée emprunté chaque jour par les paquebots.

Le courant observé est très faible.

Pendant les mesures, la météo a été observée à l'aéroport du Raizet et la marée à la Pointe Fouillole.

### Stations de courantométrie

Période	Durée	Position		Immersion	Observations
		L	G		
03.02.83 au 05.02.83	53 h 5	16°10,38 N	061°31,05 W	5 m	Mesures  exploitables
07.02.83 au 09.02.83	51 h			10 m	
10.02.83 au 12.02.83	50 h 4	16°11,42 N	061°31,86 W	5 m	
13.02.83 au 15.02.83	50 h 6			10 m	

### III.6. DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 1 minute de bathymétrie au 1/5 000
- 1 minute de bathymétrie au 1/2 000
- 1 minute de recherche au 1/10 000
- 1 minute de recherche au 1/5 000
- 1 minute de topographie — nature de fond — au 1/10 000
- 1 minute de topographie — nature de fond — au 1/2 000
- 1 minute sonal au 1/10 000.

### ANNEXE I AU CHAPITRE III.2

#### Hauts fonds recherchés (REF. : Rapport n° 76 MOA/NP du 25 juin 1979)

Origine		Cote nouvelle	X	Y	Observations
CM 6555	MOA 79				
13.2	11.6	11.3	657 741	1 791 002	
12.3	13.5	12.5	657 152	1 790 867	
5.2	5.0	5.1	656 519	1 790 048	
2.9	3.1	2.9	657 450	1 790 191	
5.0	4.9	4.8	657 976	1 790 119	
25.0	17.5	16.4	655 082	1 789 050	
4.0	3.3	2.6	656 031	1 788 889	
19.0	6.0	5.8	656 623	1 788 749	
7.8	7.7	7.4	657 578	1 789 145	
10.0	8.4	8.2	657 753	1 788 771	
8.4	9.1	8.8	658 700	1 789 150	
5.0	4.9	4.9	656 947	1 788 441	
30.0	21.8	21.9	654 850	1 788 325	
10.0	9.5	9.2	658 528	1 788 031	
10.0	8.1	7.7	657 089	1 787 550	
6.5	5.1	5.0	656 636	1 787 848	
14.0	6.5	6.2	656 038	1 786 492	
10.0	5.6	4.9	655 910	1 786 072	
CM 3375	MOA 79				
10.0	4.8	4.1	655 568	1 785 921	
14.0	5.3	5.3	655 775	1 785 882	
10.0	3.8	4.3	656 009	1 785 655	
13.0	9.8	9.1	655 971	1 785 148	
13.0	9.8	9.1	656 679	1 785 260	
79.0	12.7	12.0	657 063	1 785 041	
79.0	11.7	10.5	657 268	1 784 710	

### ANNEXE I AU CHAPITRE III.2 (SUITE)

Origine	Cote nouvelle	X	Y	Observations
CM 6555				
9.6	9.2	658 519	1 787 696	
10.0	9.8	658 598	1 788 280	
10.0	9.7	658 460	1 788 384	
10.0 (PA)		658 880	1 788 450	N'existe pas
20.0	19.8	660 336	1 789 949	
8.0	8.2	658 792	1 789 721	
9.6	9.0	658 978	1 789 270	
9.6	8.8	659 358	1 789 757	

### ANNEXE II AU CHAPITRE III.2

#### Recherches complémentaires effectuées

Origine	Cote nouvelle	X	Y	Observations
CM 6555				
29.0		661 030	1 789 240	N'existe pas
8.3	7.8	658 120	1 791 017	
10.8		658 110	1 790 640	N'existe pas
13.0		656 320	1 789 530	N'existe pas
8.8	8.6	658 758	1 789 539	
12.6	12.5	659 060	1 789 067	
10 (PA)		658 880	1 788 450	N'existe pas

Origine : levé Sonaf 1983	X	Y	Observations
20.0	657 882	1 789 228	
11.0	658 340	1 788 574	
10.3	658 328	1 788 261	
10.2	658 613	1 788 474	
11.5	658 095	1 788 146	
20.1	659 190	1 788 003	
25.9	659 441	1 788 380	
12.5	659 311	1 788 803	
11.7	659 139	1 788 612	
12.7	659 138	1 788 504	
17.8	658 319	1 789 303	

## ANNEXE III AU CHAPITRE III.2

### Récapitulation des amers Coordonnées en projection U.T.M. — fuseau 20

Désignation des points	X	Y	Z <sub>(m)</sub>	Classification
Nouvel hôpital — Coin NW	657 971,8	1 796 016,1	66,5	4
Coin SW	657 972,7	1 795 990,9	66,5	
Coin SE	658 063,3	1 795 995,4	66,5	
Pylône Arnouville	650 751	1 794 661	151,8	3
Cheminée EDF du Port	654 931	1 795 855	59,0	3
Vigie du pont	655 489	1 797 831	21,8	1
Gros pylône — Pointe-à-Pitre	656 766,9	1 797 377,8	80,1	3
Petit pylône — Pointe-à-Pitre	656 826,8	1 797 335,7	67,9	3
Grand immeuble — Ouest Gosier	658 646	1 793 848	54,1	2
Château d'eau sur le quai à Pointe-à-Pitre	656 717	1 795 845	21	2
Clocher Gosier	661 442	1 792 673	35,7	3

### Amers nouveaux à porter sur les cartes n° 3419 et 3125

Désignation des points	X	Y	Z <sub>(m)</sub>	Classification
Croix Pointe des Châteaux	695 580,7	1 797 204,4	47,4	2
Ile de la Désirade				
Pylône métallique	703 899,6	1 803 241,5	21,7	1
Croix blanche Pointe des Colibris	703 845,7	1 802 350,6	7,2	1

## ANNEXE IV AU CHAPITRE III.2

### Amers à supprimer sur la carte n° 6555

Désignation des points	Latitude Nord	Longitude Ouest
Mât Gosier	16° 12,45 N	061° 29,39 W
Chapelle Montauban	16° 12,67 N	061° 29,76 W
Chapelle Ouest Poulet	16° 13,27 N	061° 30,03 W
Château d'eau Hôpital Pointe-à-Pitre	16° 14,35 N	061° 31,45 W
Clocher Dugazon	16° 15,14 N	061° 30,81 W
RC Aéro Nord Pointe-à-Pitre	16° 15,39 N	061° 32,20 W
Signal extrémité Est Ilet à Cochons	16° 12,96 N	061° 31,85 W

#### *Détails de topographie*

1. — Le pont Sud de la Gabarre n'existe plus.
2. — L'îlet Frégate de Haut (0,8 m) est submergé depuis plusieurs années.

## CHAPITRE IV

### 1984 — TRAVAUX EN GUADELOUPE

#### IV.1. GÉNÉRALITÉS

A l'exception de la carte marine 6555 qui couvre la baie de Pointe-à-Pitre et qui a été réalisée à partir de levés récents, les cartes de la Guadeloupe et de ses Dépendances résultent des travaux effectués par les Ingénieurs Hydrographes Ploix et Caspari, qui de 1867 à 1869 ont levé la frange côtière des îles. Il s'agissait donc de répondre à la demande pressante de ce département d'outre-mer en rénovant la cartographie marine du Sud de la Guadeloupe. Le développement croissant du tourisme et de la navigation de plaisance dans les îles appelle un rajeunissement rapide des documents nautiques.

Les Instructions Techniques prévoient de dresser la carte M du plan de cartographie général des Antilles. Cette coupure M est devenue en 1987 la carte 6948. Le programme prescrivait outre la bathymétrie :

- l'exploration au sonal de l'alignement d'entrée à Pointe-à-Pitre entre les parallèles 16°11' et 16°12'N.
- des travaux de géodésie primordiale et secondaire.
- des stations d'observation Doppler.
- des mesures de courant.
- des travaux de topographie du trait de côte et des récifs coralliens.
- des natures de fond.
- des prises de vues obliques de la côte.

Un détachement composé d'un ingénieur et de deux techniciens s'est rendu en mission avancée dans l'île 15 jours avant l'arrivée du *D'Entrecasteaux*. Résidant au camp Dugommier de l'Armée de Terre ce détachement devait :

- débiter les travaux de géodésie complémentaire au Sud de l'île,
- résoudre divers problèmes logistiques liés à l'installation d'un chantier autonome pour deux vedettes et un youyou dans l'enceinte de la subdivision des Phares et Balises à la Pointe Fouillole.
- enfin prendre contact avec les autorités civiles et militaires.

Un arrêté préfectoral (arrêté 83-996 AD 1/2 du 8 septembre 1983) a été pris par le Commissaire de la République de la Région Guadeloupe pour faciliter la circulation du personnel de la Mission,

la liberté d'accès au domaine public et privé, et l'exécution des travaux à la mer.

Le *D'Entrecasteaux* a quitté Brest le 10 janvier 1984 et rallié Pointe-à-Pitre le 6 février. Les travaux hydrographiques à la mer ont débuté le 12 février. Le bâtiment a quitté les Antilles le 12 juin dès l'achèvement du levé de la carte M et rallié Brest sans escale.

#### IV.2. GÉODÉSIE

##### IV.2.1. Travaux géodésiques

Le système géodésique utilisé en Guadeloupe est le système IGN 1951-1952. Ce système constitue la synthèse des travaux effectués par :

- la Mission géodésique de la Guadeloupe dirigée par l'IHP Grousson de 1946 à 1948 (triangulation primordiale);
- deux missions de l'Institut Géographique National : mission de triangulation dirigée par l'IG Maillard en 1948 et 1949 (triangulation primordiale et complémentaire) et mission de triangulation dirigée par l'IG Bouchilloux en 1951 et 1952 (géodésie complémentaire).

Aux mois d'avril et mai 1984, la M.O.A. a contrôlé la géodésie de la partie sud de la Guadeloupe. La vérification a porté sur les quatre points :

- Capesterre Marie Galante I (premier ordre IGN).
- Sainte-Anne II (deuxième ordre IGN). Point le plus proche de Sainte-Anne I (premier ordre IGN et point astronomique) qui a été détruit. Les points de Sainte-Anne II et Capesterre I ont été adoptés comme point de base pour les calculs.
- Le Chameau, Terre de Haut aux Saintes (ordre 3 IGN) qui a été préféré au Fort Napoléon (premier ordre IGN) car de Sainte-Anne, on ne voit pas le Fort Napoléon. Le Chameau a été rattaché au Fort Napoléon.
- Phare de la Petite terre (deuxième ordre IGN).

Les résultats des calculs sont très cohérents avec les coordonnées des points IGN figurant dans le répertoire II des coordonnées des points géodésiques « Ile de la Guadeloupe et Dépendances » à

l'exception du point du Chameau dont les coordonnées IGN sont erronées.

D'importants travaux de géodésie complémentaire ont été réalisés notamment à Marie-Galante et aux Saintes où le relief est très accidenté et la côte très découpée. La végétation est souvent très dense le long du littoral et composée d'épineux et de mancenillers interdisant tout déplacement par voie terrestre.

La triangulation des Saintes s'appuie essentiellement sur les points du Chameau et du Fort Napoléon. Les coordonnées adoptées pour le Chameau sont celles déterminées par la M.O.A.

A Marie-Galante une erreur d'environ cinq mètres a été décelée sur les points IGN « Calvaire de Courbaril » et « Clocheton de la mairie de Saint-Louis ».

Sur les planches 13 et 14, et dans les annexes II et III, sont précisés les schémas de triangulation et les listes de coordonnées des points utilisés pour les levés.

## IV.2. Stations d'observation Doppler

Des observations ont été effectuées sur les sites de Sainte-Anne II (Grande-Terre), Capesterre (Marie-Galante) et Fort Napoléon (les Saintes);

### IV.2.2.1. Site de Sainte-Anne II

Ce point avait auparavant été observé par l'I.G.N. en 1951-1952, puis par l'Inter American Geodetic Survey (IAGS). La borne IGN a disparu. Les bornes IAGS RM1 et IAGS RM3 ont été retrouvées en excellent état de conservation. Une borne supplémentaire (douille SHOM) a été implantée par la M.O.A.

Les coordonnées de la borne IGN ont servi de base aux calculs. Les coordonnées des bornes IAGS/RM1 et RM3 ont été déduites de celles de l'IGN Sainte-Anne II en utilisant les observations de l'IAGS. Le point MOA 84 a été déterminé par la résolution du triangle RM1-RM3-borne MOA 84.

### Coordonnées des bornes — Projection MTU — Fuseau 20

	X	Y	L Ellipsoïde Hayford	G Ellipsoïde Hayford
Borne RM1	671 298,583	1 798 896,321		
Borne RM3	671 286,751	1 798 873,767	16°15'51",804 N	061°23'49",850 W
Borne MOA 83	671 272,701	1 798 880,179		

L'antenne du récepteur Transit était fixée sur la borne RM3 rattachée par l'I.A.G.S. à la borne IGN.

Après élimination des points aberrants, 61 points observés ont été traités et 47 retenus. Seuls les points SM01 de RMS inférieurs à 2 et d'élévation maximale comprise entre 10° et 70° ont été calculés. N'ont été acceptés que les points dont les écarts en latitude et en longitude avec la moyenne étaient inférieurs à deux fois les écarts-types sur la distribution.

Coordonnées doppler de la borne RM3, système de coordonnées NWL 10 D, ellipsoïde WGS 72 :

L = 16°15'42",730 N  
G = 061°24'04",700 W  
N = 86,96 m

### IV.2.2.2. Site de Capesterre, Marie-Galante I

Le point d'observation est situé à 75,55 m du moulin dit « Le Saint-Joseph » à Borée. Le schéma de l'implantation des repères fait l'objet de la planche n° 15. Une borne auxiliaire a été implantée par la M.O.A. en 1984. L'antenne JMR était fixée sur la borne IGN Capesterre I. Le repère auxiliaire a été rattaché au point d'ordre 1 (MOA 84) du moulin de Borée et à la borne IGN 1951. Au total 63 points ont été observés et 40 retenus.

Coordonnées doppler de la borne IGN Capesterre, système de coordonnées NWL 10 D, ellipsoïde WGS 72 :

L = 15°57'09",421 N  
G = 061°13'36",855 W  
N = 161,40 m

Coordonnées rectangulaires et géographiques de la borne IGN. Projection MTU, fuseau 20 :

X = 690 223,408      L = 15°57'18",642 N  
Y = 1 764 809,697      G = 061°13'22",016 W  
Altitude : 190,23 m

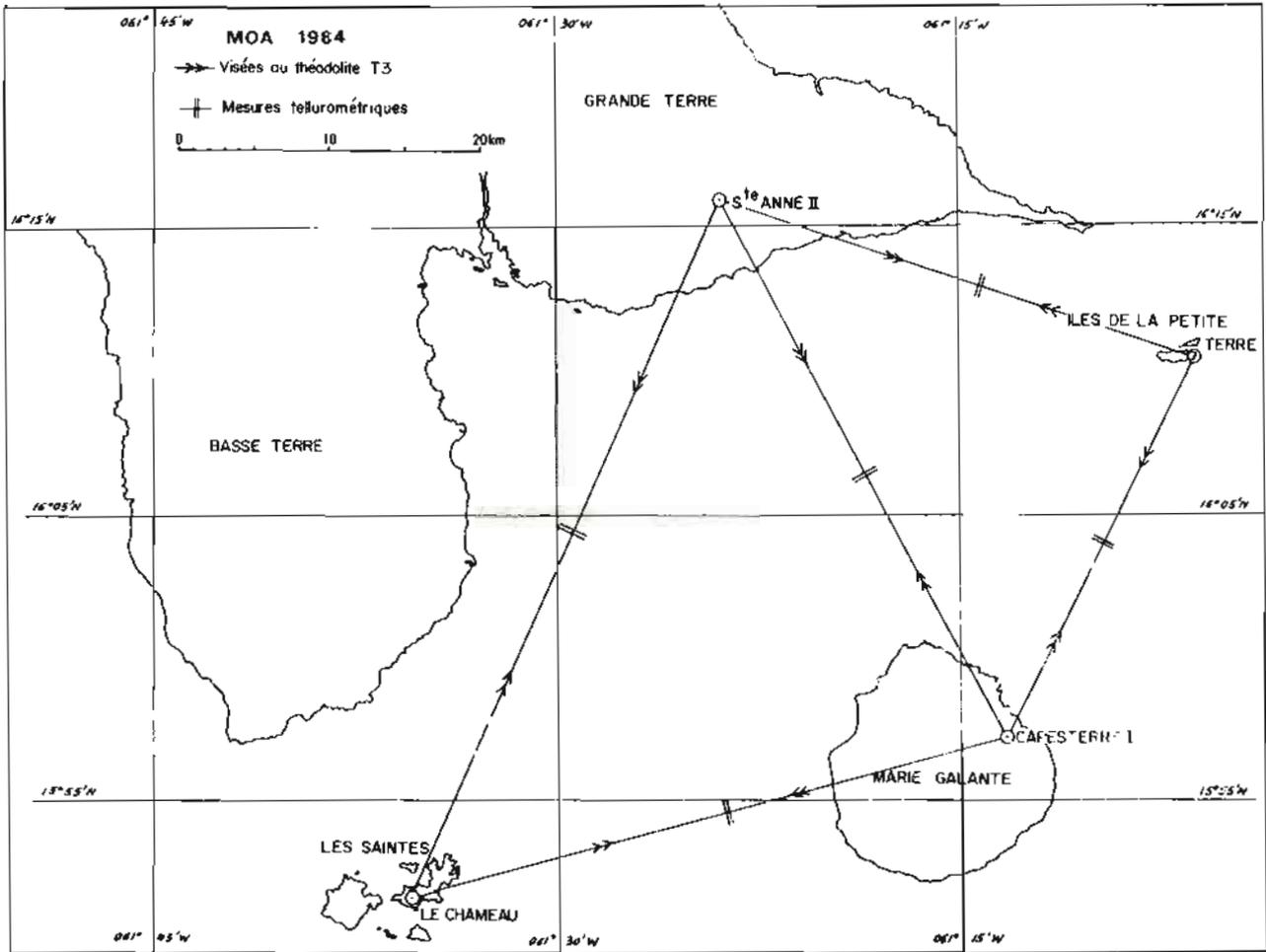
### IV.2.2.3. Site du Fort Napoléon, Terre de Haut, Archipel des Saintes

L'antenne du récepteur satellite a été fixée sur le toit de la cage d'escalier menant au sommet du Fort Napoléon sur l'île de Terre de Haut, à 23 mètres de la borne IGN repère b du Fort Napoléon. Les observations ont duré 11 jours. Au total 99 passages ont été traités et 51 retenus.

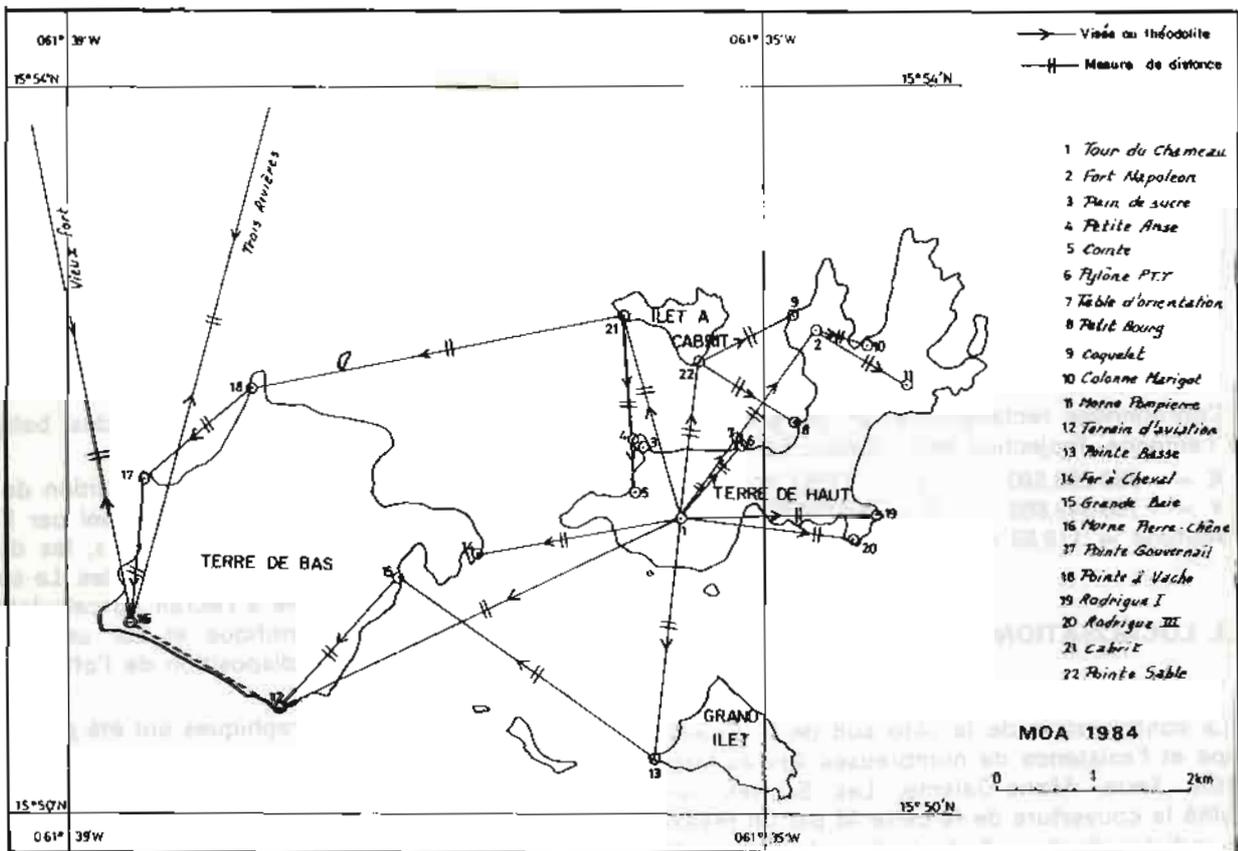
Coordonnées doppler de l'antenne. Système de coordonnées NWL 10 D, ellipsoïde WGS 72 :

L = 15°52'30",944 N  
G = 061°34'56",237 W

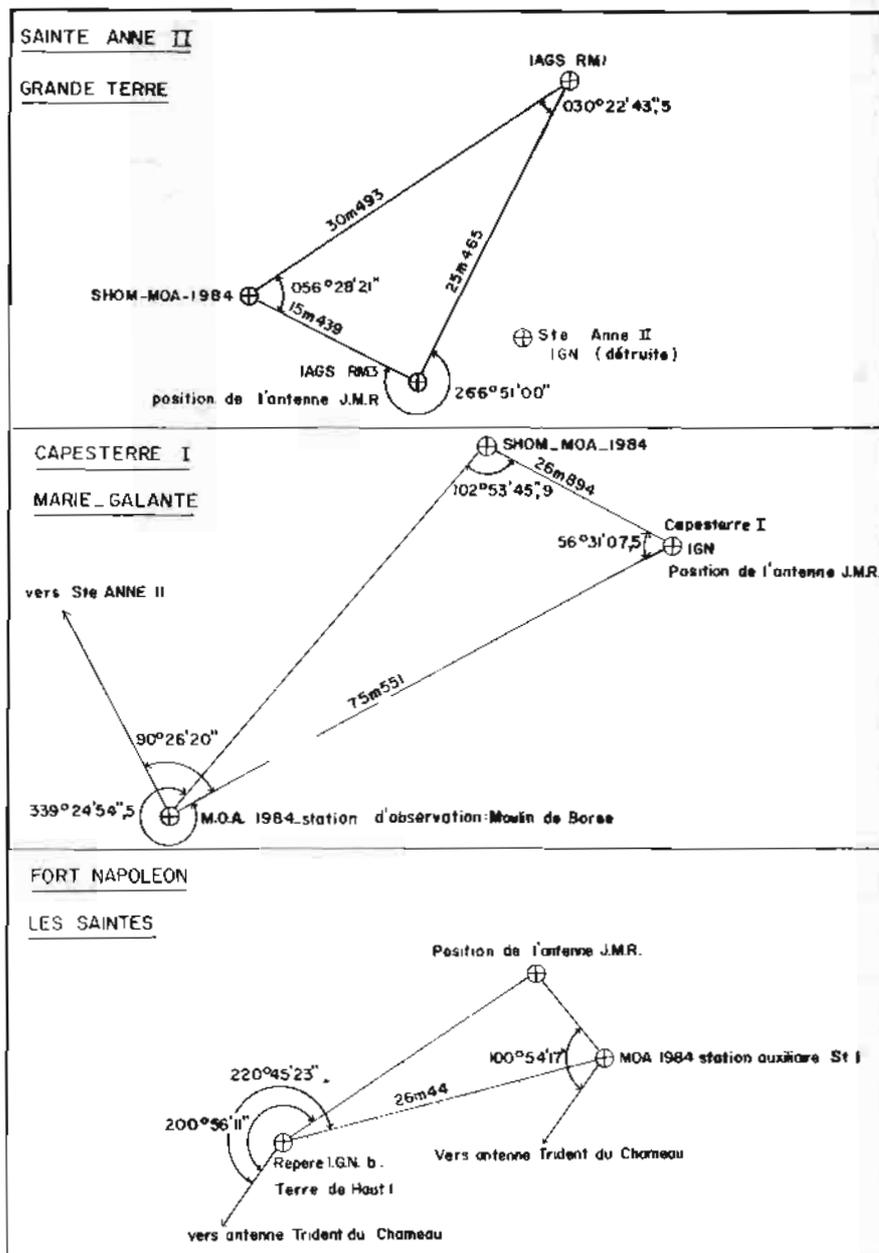
L'antenne a été rattachée au point d'ordre 1 MOA 84 du Chameau.



PI.13 - Guadeloupe - Géodésie primordiale.



PI.14 - Les Saintes - Géodésie complémentaire.



Pl. 15 - MOA 1984 - Guadeloupe et dépendances.  
Stations Doppler - Schémas d'implantation des repères.

Coordonnées rectangulaires et géographiques de l'antenne. Projection MTU, fuseau 20 :

X = 652 208,580      L = 15°52'39",848 N  
Y = 1 755 948,889      G = 061°34'42",317 W  
Altitude = 119,88 m

### IV.3. LOCALISATION

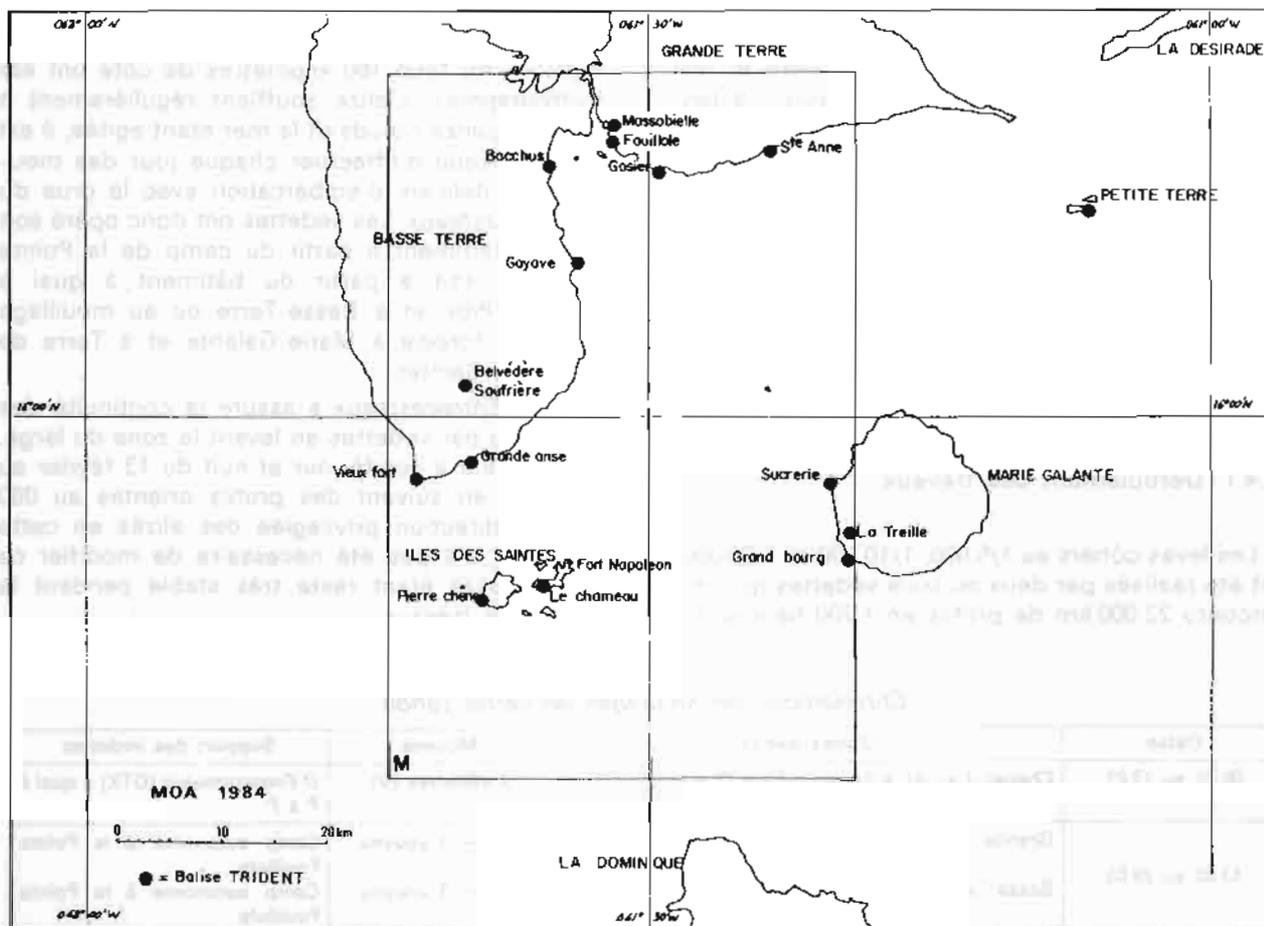
La configuration de la côte sud de la Guadeloupe et l'existence de nombreuses îles au large (Petite Terre, Marie-Galante, Les Saintes) ont facilité la couverture de la carte M par un réseau de radiolocalisation Trident. La planche n° 16

donne les schémas d'implantation des balises Trident.

A bord du *D'Entrecasteaux*, l'acquisition de la localisation était réalisée en temps réel par l'intermédiaire du réseau « Hydroboucle », les données étant archivées sur microdisquettes. Le suivi des profils était contrôlé à l'écran du calculateur HP 9816 au P.C. scientifique et sur une table traçante HP 9872 à la disposition de l'officier de quart passerelle.

Les vedettes hydrographiques ont été positionnées :

- au large uniquement au Trident
- au voisinage de la côte et à l'intérieur des baies par un système hybride Trident, optique.



Pl.16 - Guadeloupe - Implantation TRIDENT

L'acquisition manuelle au clavier des données de position Trident, optique a été exécutée en temps différé, le programme utilisé permettant le calcul du point en projection, le tracé du « chapeau » à l'écran, l'archivage optionnel et l'édition d'un listage.

Les zones de plageage du Petit Havre sur la Grande-Terre et de l'Anse de Cointe aux Saintes, ont été levées en radioguidage optique.

Les balises Trident ont été implantées aux points suivants :

Balises	Coordonnées MTU		
	X	Y	Z <sub>(m)</sub>
Vieux Fort	638 748.32	1 763 953.09	28.00
Goyave	653 022.90	1 784 833.50	24.90
Bacchus	651 524.62	1 792 170.18	51.50
Grande Anse	643 923.50	1 765 451.16	15.68
Belvédère Soufrière	643 190.70	1 773 690.68	1 109.30
Massabielle	657 440.13	1 795 836.54	70.60
Fouillole	657 217.20	1 794 654.50	7.33
Gosier (Ilet)	661 752.98	1 791 777.84	24.0
Sainte-Anne Club Méd.	671 908.00	1 794 194.00	24.17
Petite Terre	702 577.93	1 789 042.00	34
Marie-Galante La Treille	681 460.24	1 758 662.68	123
Marie-Galante Sucrerie	678 244.76	1 763 535.08	30.20
Marie-Galante Grand Bourg	680 617.63	1 756 726.14	8.50
Les Saintes Fort Napoléon	652 207.58	1 755 948.42	126
Les Saintes Le Chameau	650 834.61	1 754 059.28	317.30
Les Saintes Pierre Chene Terre de Bas	645 257.67	1 752 914.15	137

Sur toute la zone du levé, le bâtiment et les vedettes recevaient au minimum trois balises Trident. L'étalonnage des réseaux a été effectué à partir de visées optiques avant le début des travaux. Devant Basse-Terre les vedettes disposaient des distances Trident de Vieux Port et de la Soufrière et de relèvements optiques.

#### IV.4. BATHYMÉTRIE

##### IV.4.1. Déroulement des travaux

Les levés côtiers au 1/5 000, 1/10 000 et 1/20 000 ont été réalisés par deux ou trois vedettes qui ont parcouru 22 000 km de profils en 1 700 heures de

marche. Au total 160 kilomètres de côte ont été hydrographiés. L'alizé soufflant régulièrement à plus de quinze nœuds et la mer étant agitée, il est apparu risqué d'effectuer chaque jour des mouvements délicats d'embarcation avec la grue du *D'Entrecasteaux*. Les vedettes ont donc opéré soit indépendamment à partir du camp de la Pointe Fouillole, soit à partir du bâtiment à quai à Pointe-à-Pitre et à Basse-Terre ou au mouillage sur rade foraine à Marie-Galante et à Terre de Haut aux Saintes.

Le *D'Entrecasteaux* a assuré la continuité des sondages par vedettes en levant la zone du large. Le bâtiment a sondé jour et nuit du 13 février au 19 mars en suivant des profils orientés au 080 degrés, direction privilégiée des alizés en cette saison. Il n'a pas été nécessaire de modifier ce choix, l'alizé étant resté très stable pendant la durée des travaux.

*Chronologie des sondages de petite sonde*

Dates	Zones levées	Moyens	Support des vedettes
06.02 au 12.02	Chenal d'accès à Pointe-à-Pitre (P à P)	2 vedettes (V)	<i>D'Entrecasteaux</i> (DTX) à quai à P à P
13.02 au 29.03	Grande-Terre de l'îlet Gosier à St-François	2 V + 1 youyou	Camp autonome à la Pointe Fouillole
	Basse-Terre de Petit Bourg à Ste-Marie	2 V + 1 youyou	Camp autonome à la Pointe Fouillole
30.03 au 15.04	Achèvement Petit Cul de Sac Marin	1 V + 1 youyou	Camp autonome à la Pointe Fouillole
16.04 au 24.04	Basse-Terre de Ste-Marie au parallèle 16°00' N	2 V	DTX à quai à P à P
24.04 au 30.04	Côte ouest de Marie-Galante	3 V	DTX au mouillage à Foïle Anse
01.05 au 28.05	Basse-Terre du parallèle 16°00' N à la Pointe du Vieux Fort	3 V + 1 youyou + 2 zodiacs	DTX au mouillage à Terre de Haut
	Archipel des Saintes	3 V + 1 youyou + 2 zodiacs	DTX au mouillage à Terre de Haut
29.05 au 03.06	Basse-Terre de la Pointe du Vieux Fort à la rivière des Pères (limite NW de la carte M)	3 V	DTX à quai à Basse Terre

##### IV.4.2. Levé régulier et recherches

Selon les prescriptions des Instructions Techni-

ques, l'espacement adopté pour les profils a été le suivant :

Fonds en mètres	Z < 100	100 < Z < 250	250 < Z < 1000	Z < 1000
Pas en mètres	100	200	400	800

Les accès aux différents ports de pêche et de plaisance et les zones de mouillage ont été levés à l'échelle 1/5 000. Les profils de sonde ont été fréquemment resserrés à 20 mètres ou même moins, à chaque fois que des hauts-fonds étaient détectés ou « pressentis ».

Deux zones de plageage pour bâtiment de

débarquement ont été sondées, l'une à l'échelle de 1/1 000, l'autre à l'échelle de 1/2 000 :

- au Petit Havre sur la côte sud de Grande-Terre
- à l'anse de Cointe à Terre de Haut aux Saintes.

Les limites de la carte M ont été repoussées de

1 500 mètres vers le sud pour permettre de définir complètement l'isobathe des 1 000 mètres dans le canal de la Dominique.

Le mouillage de Saint-François correspondant à la zone centrale du cartouche de la carte 4519 a été levé au 1/5 000.

L'eau étant très claire, les hauts fonds isolés étaient souvent visibles à l'œil nu depuis la surface ou depuis l'hélicoptère Alouette.

Lors du levé régulier de petite sonde, cinq épaves ont été détectées au sondeur vertical puis explorées et cotées par plongeurs.

#### Caractéristiques des épaves

Nature	Situation	Coordonnées MTU		Hauteur au-dessus du fond	Brassage
		X	Y		
Drague portuaire Long. 15 m	Grande-Terre Petit Havre	668 145	1 791 413	8,5 m	6,1 m
Yacht Long. 45 m Epave envasée	Port de Pointe-à-Pitre Carénage	657 299	1 794 955	4,0 m	1,3 m découvrante
Caboteur Long. 80 m Epave ensablée	Grande-Terre Gosier	665 310	1 791 840	2,0 m	0,1 m
Caboteur Long. 15 m	Marie-Galante Folle Anse	678 280	1-763 400	1,2 m	5,0 m
Barge sucrière Long. 30 m Envasée	Port de Pointe-à-Pitre	655 811	1 796 062	1,0 m	0,8 m

#### IV.4.3. Résultats

Au sud de Terre de Bas et du Grand Ilet aux Saintes, au sud-ouest de la ville de Basse-Terre et à l'ouest de Marie-Galante, le relief est très accidenté. De nombreuses failles d'origine volcanique ont été détectées. Les résultats ont été communiqués à l'Institut de Physique du Globe implanté à Saint-Claude près de Basse-Terre. Ces zones de fractures dont le gradient est très fort, ont été levées par le D'Entrecasteaux au sondeur Edo à base stabilisée, les vedettes ayant perdu rapidement le fond.

Au nord de Terre de Bas, le haut-fond dit « Sec Paté », situé au milieu du chenal des Saintes, a été exploré au sondeur latéral et coté par plongeurs. Ce haut-fond est formé de quatre aiguilles coralliennes très fines prenant appui sur un socle rocheux. La cheminée la plus haute culmine à - 12,50 mètres (cote de 10,0 m sur la CM 3375) par fond moyen de 200 mètres.

La faune peuplant les fonds de l'archipel des Saintes est très riche. Les bancs de poissons donnent des signatures sur les enregistrements des sondeurs Atlas sous la forme de pointillés. Le doute sur ces échos flous a été levé par plongeurs.

L'étendue du banc « Colombie », situé entre les Saintes et Marie-Galante, a été précisée. Le banc culmine à - 43 mètres et l'isobathe des 100 mètres est décalée vers le sud par rapport à son tracé sur la carte. A 3 000 m dans l'est du banc, les fonds remontent. Il existe un plateau de profondeur inférieure à 100 m.

La zone de plageage de Bois Joli (anse Cointe) à Terre de Haut, a été levée au 1/2 000 et la côte a été topographiée. Le gradient et la nature du fond permettent à un bâtiment de s'approcher sans risque du rivage. Le site est de plus très abrité. Toutefois, la mise à terre de véhicules s'avère impossible, la plage étant ceinturée par un mur en béton.

Le site du Petit Havre à Grande-Terre a été levé au 1/1 000. Cette anse ne correspond pas du tout aux normes d'une zone de plageage. La houle rentre dans la baie et surtout les fonds sont encombrés de nombreuses têtes de structure corallienne de type acropore qui affleurent parfois la surface. Le levé régulier et la topographie de l'anse ont été achevés mais devant les dangers encourus par les vedettes, il n'a pas été effectué de recherches.

#### IV.5. TOPOGRAPHIE

La topographie du trait de côte et des îlets a été réalisée par restitution de photographies aériennes :

- levé IGN 1972 au 1/20 000 pour la côte;
- photographies prises par l'hélicoptère Alouette III à l'échelle 1/5 000 pour les récifs situés au large de Saint-François, Sainte-Anne, Gosier, Goyave et Sainte-Marie. La mer déferlant très

souvent sur les récifs et rendant tout débarquement impossible, les points remarquables repérés sur les photos ont été positionnés par l'hélicoptère en vol stationnaire à la verticale des points.

La frange côtière située entre les récifs et la côte a été levée en zodiac. Les fonds ont été cotés ponctuellement à la perche topographique. Des natures de fond ont été prises à l'aide d'une benne

preneuse à griffes. Les prélèvements ont été faits aux nœuds d'un maillage de 1 500 m de côté.

#### IV.6. OBSERVATIONS DE COURANT

Du 6 au 22 mars 1984, le courant a été mesuré dans le Petit Cul de Sac Marin aux points suivants :

Position station de courantométrie	Profondeur en mètres	Immersion capteur
256/Phare Gosier/2,6 milles	27	5
228/Phare Gosier/2,39 milles	26	5
270/Phare Gosier/2,2 milles	22	5
180/Phare Gosier/0,93 milles	25	5

Le schéma d'une ligne de mouillage est détaillé sur la planche n° 17. Les courantomètres étaient, par mesure de sécurité, suspendus sous des bouées sub-surface. Malgré ces précautions, trois lignes de mouillage ont été sectionnées ou draguées. La sécurité des appareils n'étant pas assurée, il a été décidé de ne pas renouveler les mesures pendant une période de quinze jours comme le préconisaient les Instructions Techniques.

Pendant les sondages, le *D'Entrecasteaux* a été positionné à l'aide du système Trident, les données étant acquises toutes les cinq secondes. Les

informations d'estime ont été comparées aux données de radiolocalisation pour l'étude des courants de dérive. La méthode de traitement, tout à fait classique, est détaillée en annexe I au présent chapitre.

#### IV.7. MARÉE

La marée a été observée aux emplacements et aux périodes suivantes :

Nom de l'observatoire	Position		Période d'observation	Description
	L	G		
Pointe Fouillole Pointe-à-Pitre	16°13',61 N	061°31',67 W	05.02.84 au 09.06.84	
Maison Bateau Les Saintes	15°52',38 N	061°34',73 W	12.02.84 au 28.05.84	cf. planche 19
Marina de Saint-François Grande-Terre	16°15',28 N	061°15',84 W	12.02.84 au 14.04.84	
Quai du Port de Basse-Terre	15°59',87 N	061°43',72 W	18.04.84 au 02.06.84	cf. planche 20

Trois zones de marée ont été retenues pour la réduction des sondages réalisés à l'intérieur de la carte M (cf. planche 18). La marée observée à Saint-François a servi uniquement pour la minute de bathymétrie au 1/5 000 correspondant à ce mouillage.

##### IV.7.1. Observatoire de la Pointe Fouillole (voir Pl. 12)

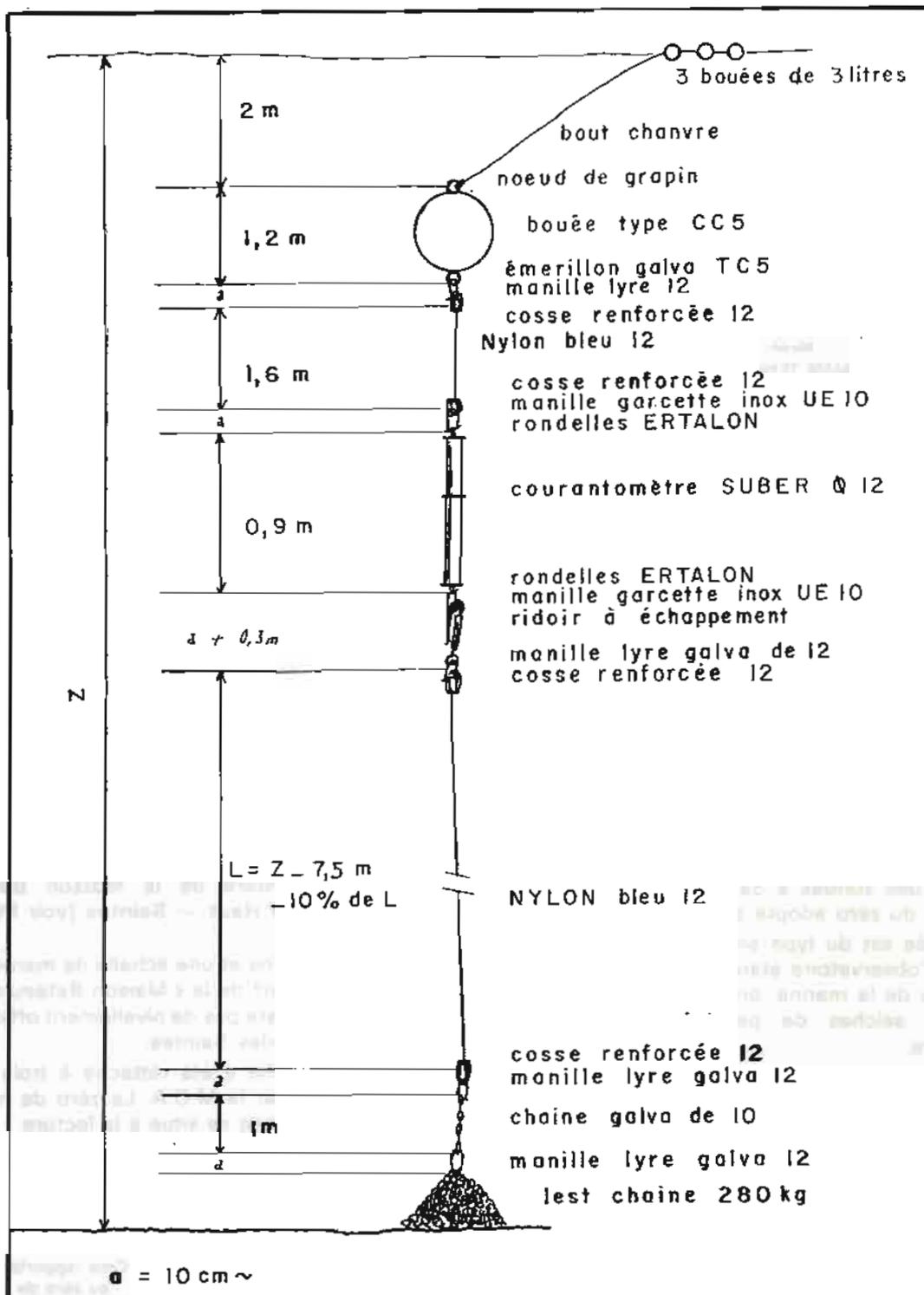
Le marégraphe et l'échelle de marée étaient situés aux mêmes emplacements qu'en 1983. Un nivellement de contrôle du marégraphe a été effectué à partir du repère C mis en place par la M.O.A. en 1983. Il a été observé un affaissement du quai supportant l'observatoire et le repère A de

4 mm depuis 1983. Le repère A a une cote de 0,884 m au-dessus du zéro NGG contre 0,888 m observée lors du précédent nivellement de 1983. Le zéro de l'échelle se situe à 0,016 m au-dessous du zéro hydrographique contre 0,012 en 1983.

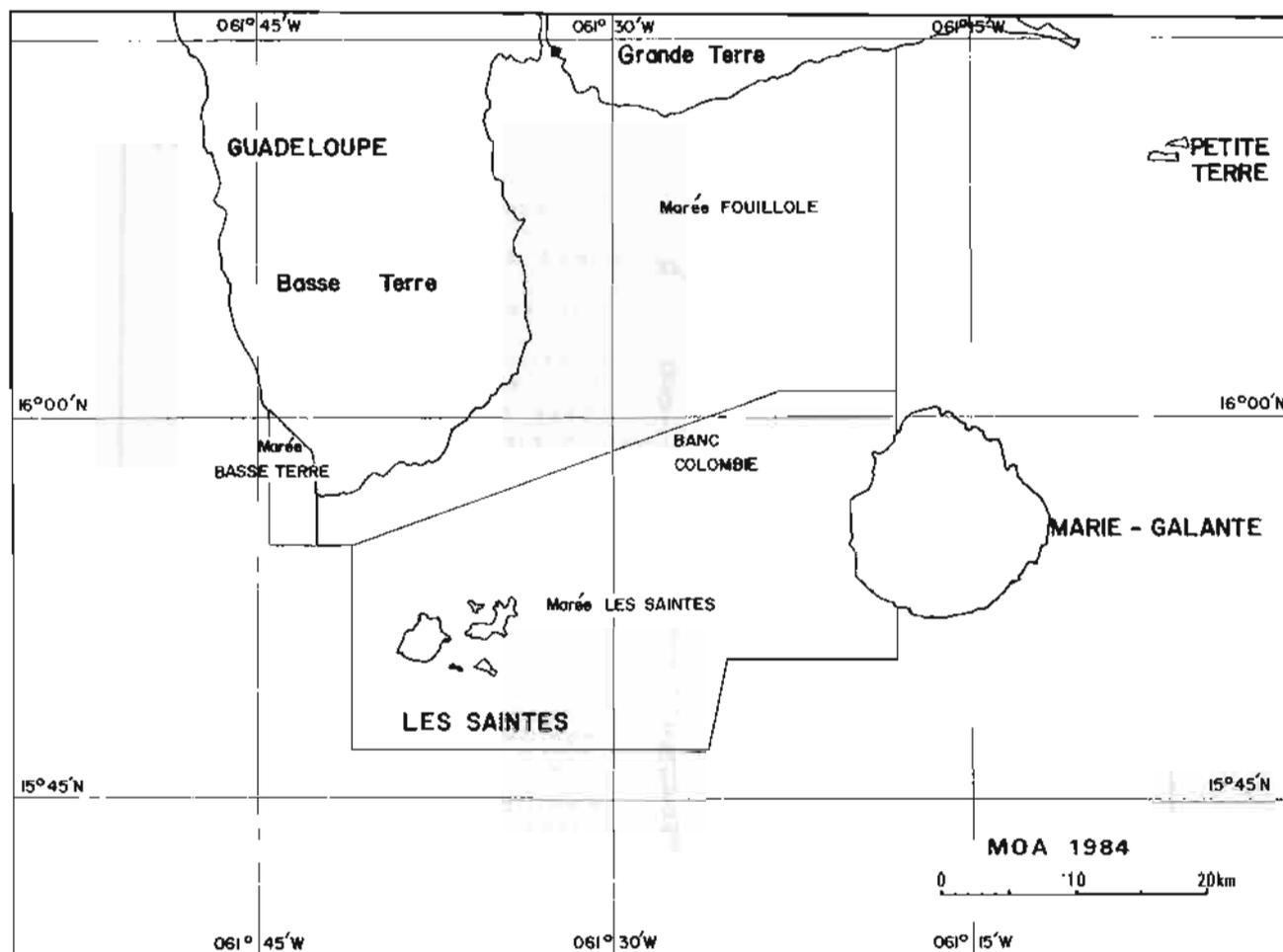
La marée observée à la Pointe Fouillole a servi à la réduction des sondages dans la zone s'étendant de la pointe du Vieux Fort à Basse-Terre à la limite est de la carte M.

##### IV.7.2. Observatoire de Saint-François — Grande-Terre

Une concordance en hauteurs avec la marée observée à la Pointe Fouillole a situé le zéro de



PI.17 - Guadeloupe - Schéma de mouillage de courantomètre SUBER au petit Cul de sac Marin.



Pl.18 - Guadeloupe - Zones de marée.

réduction des sondes à Saint-François à 0,016 m au-dessus du zéro adopté à la Pointe Fouillole.

La marée est du type semi-diurne à inégalités diurnes. L'observatoire étant situé à l'intérieur du plan d'eau de la marina, on a observé un phénomène de seiches de période voisine de la demi-heure.

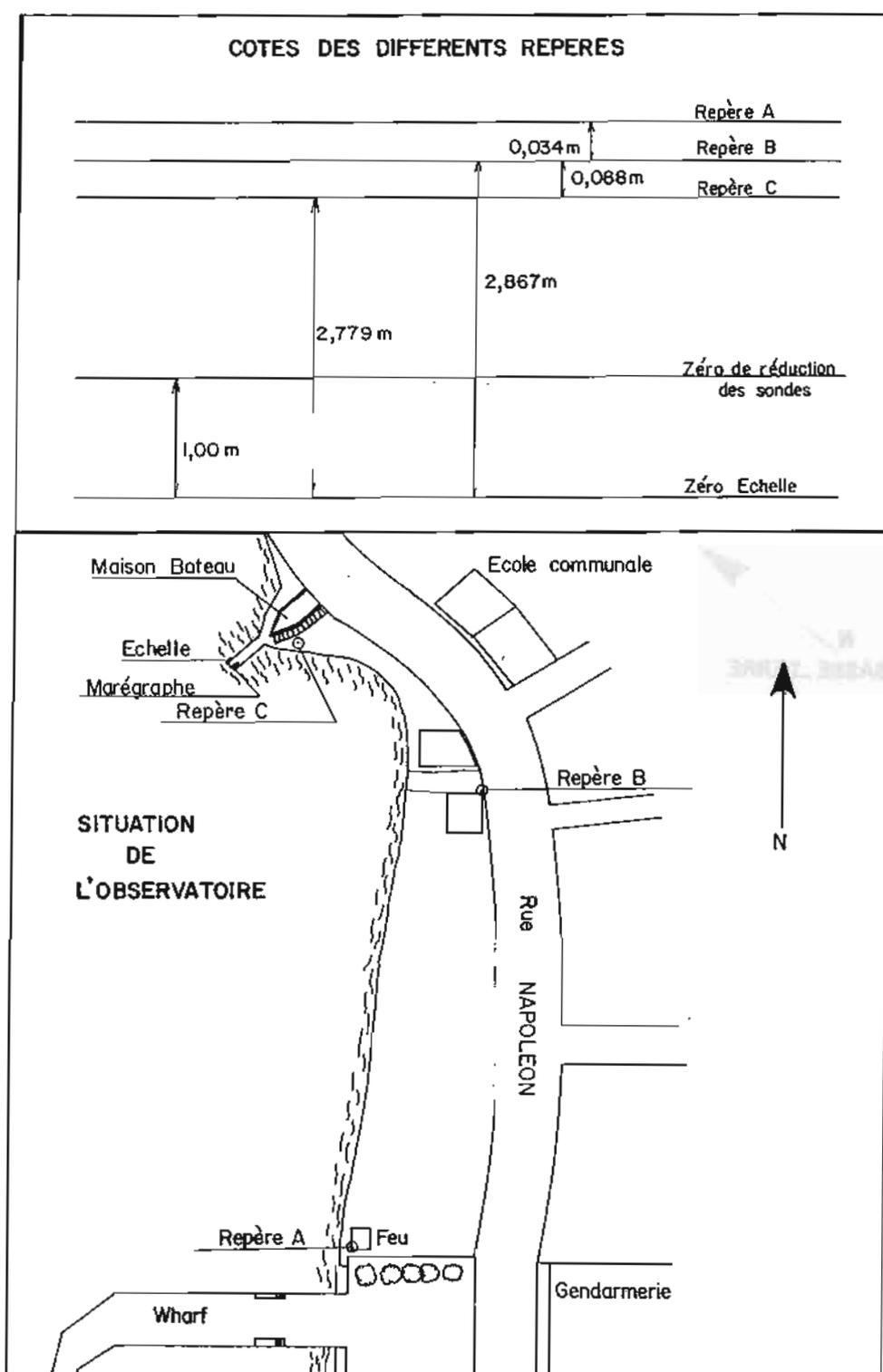
#### IV.7.3. Observatoire de la Maison Bateau — Terre de Haut — Saintes (voir Pl. 19)

Un marégraphe et une échelle de marée ont été installés au wharf de la « Maison Bateau » à Terre de Haut. Il n'existe pas de nivellement officiel NGG dans l'archipel des Saintes.

Le marégraphe a été rattaché à trois repères mis en place par la M.O.A. Le zéro de réduction des sondes adopté se situe à la lecture 1,00 m de l'échelle.

#### *Observatoire de la maison bateau. Repères d'altitude mis en place par la mission*

Désignation	Description	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
Repère A	Repère de nivellement SHOM scellé horizontalement à la base du feu situé sur la place à l'enracinement du wharf du bourg	1,901 m
Repère B	Repère de nivellement SHOM scellé horizontalement dans le trottoir bordant la route joignant le wharf du bourg à la maison bateau	1,867 m
Repère C	Repère de nivellement SHOM scellé horizontalement sur la falaise bordant l'escalier descendant le long de la maison bateau	1,779 m



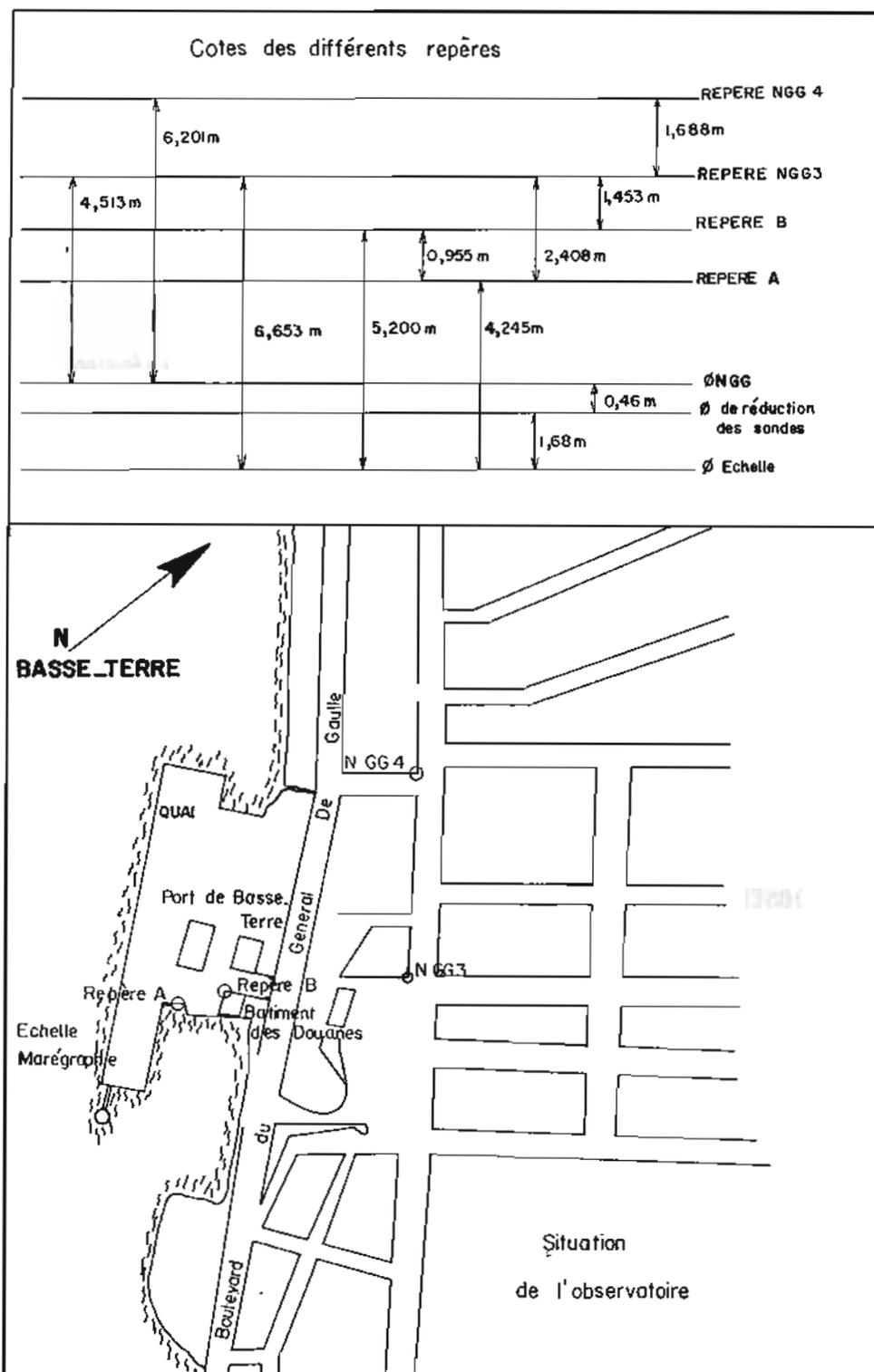
Pl.19 - Les Saintes - Observatoire de marée

La marée aux Saintes est du type semi-diurne à inégalités diurnes. L'amplitude de la marée est faible et atteint rarement 0,40 m.

Les observations ont servi à la réduction des sondages correspondants des Saintes et du banc de Colombie.

#### IV.7.4. Observatoire de Basse-Terre (voir Pl. 20)

La marée observée est diurne. La pleine mer et la basse mer sont espacées de dix heures, le niveau de la mer étant pratiquement constant durant les quatorze heures suivantes. La pleine



Pl.20 - Basse-Terre - Observatoire de marée.

mer et la basse mer se produisent simultanément avec la plus grande pleine mer et la plus grande basse mer de la marée semi-diurne observée à la Pointe Fouillole.

Le zéro de réduction des sondes se situe à 0,460 m au-dessous de zéro NGG. Il est identique à celui adopté à la Pointe Fouillole.

Un marégraphe OTT/R 16 et des accessoires ont été versés le 10 juin 1984 à l'Institut de Physique du Globe (I.P.G.) de Sainte-Claude.

Un observatoire permanent a été installé à la Marina de Rivières Sens située entre la pointe du Vieux Fort au sud et le port de Basse-Terre.

#### IV.7.5. Observatoire de Marie-Galante

La marée a été observée du 24 au 29.04.84 à une échelle fixée sur le wharf de la sucrerie située au

sud de Folle Anse. La marée étant identique à celle des Saintes, la marée observée à Terre de Haut a servi à la réduction des sondages de la côte ouest de Marie-Galante.

*Observatoire de Basse-Terre.  
Repères d'altitude mis en place par la mission*

Désignation	Description	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
Repère A	Repère SHOM scellé horizontalement dans le quai Sud-Est du port de Basse-Terre	2,565 m
Repère B	Repère SHOM scellé horizontalement dans le soubassement du bâtiment de la douane situé à l'entrée du port de Basse-Terre	3,520 m

**MÉTHODE**

**RÉSULTATS**

## ANNEXE 1 AU CHAPITRE IV

### Détermination des courants de dérive Campagne Guadeloupe 1984 du « D'Entrecasteaux »

#### GÉNÉRALITÉS

Du 13 février au 19 mars, le bâtiment a sondé le sud de la Guadeloupe en suivant des profils rectilignes orientés au 080 degrés, direction privilégiée des alizés en cette saison. Le calcul des courants superficiels rencontrés s'est fait par comparaison de l'estime et de la radiolocalisation. La circulation superficielle dans la zone de sondage est induite par le vent et le courant permanent (prolongeant le courant de Guyane) longeant la côte atlantique des Petites Antilles.

Les résultats sont présentés sur la planche 21 (échelle 1/250 000) ci-jointe, représentant le courant moyenné par pavé de 1 300 × 1 300 mètres.

#### MÉTHODE

Le courant est obtenu par différence entre la dérive globale et la dérive transversale due au vent. Cette dernière est en général faible par suite de l'orientation choisie pour les profils. Elle a néanmoins été calculée.

Les données disponibles (localisation et météo) ont été enregistrées sur des fichiers puis traitées sur un micro-calculateur HP 9816 embarqué.

La vitesse fond est déduite des positions obtenues par traitement des distances Trident. La vitesse surface est obtenue en temps réel à partir des indications du loch Ben et du gyrocompas. L'étalonnage de ces capteurs a été réalisé en amont du calcul du courant.

#### RÉSULTATS

Comme l'on pouvait s'y attendre, la circulation superficielle entre la côte sud-est de la Guadeloupe, la côte ouest de Marie-Galante et la côte nord de la Dominique est soumise à l'influence de

trois facteurs extérieurs : le courant des Antilles à l'est de la Guadeloupe, le vent, la disposition des côtes et des isobathes.

Dans la zone sud des sondages, le courant obtenu est très cohérent, portant à l'ouest. Il faut noter cependant qu'il a bien la direction des axes des canaux naturels Marie-Galante-Dominique et Saintes-Dominique. D'autre part, il y a une dissymétrie nette pour la force de ce courant entre l'est et l'ouest : plus fort à l'est (de 1 à 2 nœuds) qu'à l'ouest (de 0,5 à 1 nœud).

A la latitude des Saintes, le courant offre plusieurs particularités remarquables. A l'est, dans un triangle défini par les Saintes, le sud du banc Colombie, la côte sud-est de Marie-Galante, il y a une zone où le courant est très faible.

Dans le canal des Saintes, on a un courant portant au sud-ouest, dans l'axe du canal et pouvant atteindre un peu plus de 2 nœuds. Il s'agit ici d'un courant moyenné et il est possible d'y rencontrer des courants de 3 à 4 nœuds. A l'ouest, on note un courant portant au sud, d'un demi-nœud. Enfin au sud, comme nous l'avons vu, le courant porte à l'ouest.

Au nord d'une ligne définie par les parties supérieures de Marie-Galante et du banc de Colombie, on trouve une veine de courant assez intense (1 nœud) et d'une largeur de quelques milles, orientée dans le sens du vent le plus fréquemment rencontré. Elle se prolonge à l'ouest dans le canal des Saintes; au centre, elle prend une direction sud et tend à contourner le banc de Colombie. Enfin à l'est, le courant est encore très faible.

La dernière zone à examiner se trouve au-dessus de cette veine de courant et au-dessous de la côte sud de Grande-Terre. La cohérence du courant obtenu y est moins bonne, avec cependant une composante principale vers le sud-est. Notons au passage que le courant est faible et peut prendre plusieurs directions.

Par ailleurs, les courantomètres mouillés aux environs du port de Pointe-à-Pitre ont révélé également l'existence d'un courant faible (en moyenne 0,3 nœud) portant à l'ouest et remontant donc vers la Rivière Salée.

## ANNEXE II AU CHAPITRE IV

### Levé de Marie-Galante – Coordonnées des points utilisés

Désignation	Coordonnées MTU		Observations
	X	Y	
Wharf sucrerie			
Station principale	678 258,33	1 763 572,11	Douille SHOM scellée
Station Duc d'Albe	678 234,12	1 763 509,42	Croix gravée
Calvaire Courbaril			
Point IGN	681 654,61	1 764 791,51	Erreur sur les coordonnées du point IGN
	681 654,7	1 764 796,4	Coordonnées MOA 84
Pointe cimetière	680 335,85	1 767 325,63	Croix gravée
Clocheton Mairie Saint-Louis			
Point IGN	680 353,70	1 764 878,87	Erreur sur les coordonnées du point IGN
	680 350,70	1 764 883,45	Coordonnées MOA 84
Ilet Vieux Fort			
Station principale	681 761,24	1 769 613,26	Croix gravée sur rocher
Station radioguidage	681 758,00	1 769 616,63	Croix gravée sur rocher
Congré			
Station 1	679 025,78	1 758 934,11	
Station 2	679 129,05	1 758 657,17	
Station 3	679 778,89	1 757 687,77	
Wharf Grand Bourg	680 612,07	1 756 720,18	Douille SHOM scellée
Station Murat	682 086,12	1 756 169,25	

## ANNEXE III AU CHAPITRE IV

**Levé des saintes**  
**Tableau récapitulatif des stations de visées optiques**

Désignation	Coordonnées MTU		Matérialisation — Piquet — Douille SHOM — Croix peinte	Observations — St de radio-guidage : R — St traversière T
	X	Y		
<b>Terre de haut</b>				
St Cabrit	620 216,39	1 756 051,33	Douille SHOM	R + T
St Pointe Sable	651 021,34	1 756 599,44	Piquet en fer	R + T
St Petite Anse	650 344,80	1 754 779,65	Douille	R + T
St Coquelet	651 943,41	1 756 057,68	Douille	T
St Wharf Cointe	650 209,44	1 754 232,76	Clou	R + T
St Cointe	650 322,46	1 754 266,80	Piquet en bois	T
St Rodrigue I	652 821,82	1 754 060,04	Douille SHOM	T
St Rodrigue III	652 599,88	1 753 815,17	Douille SHOM	T
St Est Marigot	653 038,71	1 756 513,34	Croix peinte	R + T
St Ouest Marigot	652 530,56	1 756 364,08	Croix peinte	R + T
St Colonne Marigot	652 743,80	1 755 782,80	Croix peinte	T
St Morne Pont Pierre	653 303,02	1 755 514,90	Croix peinte	R
St Roches Percées	653 769,43	1 755 770,24	Croix peinte	T
St Baie Pont Pierre	653 695,86	1 755 576,55	Croix peinte	T
St Pain de Sucre	650 423,8	1 754 761,6	Piquet en fer	T
St Pylône	651 425,52	1 754 812,90	Croix peinte	R + T
St Fort Napoléon	652 208,58	1 755 948,89	Repère IGN Petit modèle	T
St le Chameau	650 834,41	1 754 054,65	Douille SHOM (axe tour)	T
<b>Grand Ilet</b>				
St Basse Grand Ilet	650 519,31	1 751 625,04	Borne OGE	R + T
St Morne Plate	651 274,00	1 752 239,82	Croix Peinte	T
<b>Terre de Bas</b>				
St terrain d'aviation (venant du Chameau)	646 702,47	1 752 069,78	Piquet en fer	T
St Pointe à Vache	646 426,58	1 755 311,49	Croix gravée	T
St Gros Cap Nord	645 031,81	1 752 940,80	Piquet en fer	T + R
St Gros Cap Sud	644 992,93	1 752 909,82	Piquet en fer	T + R
St Grande Baie	647 935,04	1 753 423,12	Croix peinte	T

Photocomposition et impression  
IMPRIMERIE LOUIS-JEAN  
BP 87 - 05003 GAP Cedex  
Tél. : 92.51.35.23  
Dépôt légal : 42 - Janvier 1990  
Imprimé en France

# AVIS AUX AUTEURS

Les auteurs sont priés de se conformer aux indications suivantes :

## Texte

- 1) Les manuscrits doivent être remis dactylographiés de préférence avec double interligne et sur le recto seulement de feuilles format 21 × 29,7 cm.
- 2) Les noms propres doivent être écrits en capitales ou souignés d'un double trait; les noms des espèces animales et végétales ainsi que les noms de navires doivent être soulignés d'un trait.
- 3) Le titre de l'article ou de la communication doit être suivi du prénom usuel et du nom du ou des auteurs; il doit comporter ensuite l'indication du laboratoire ou de l'institution d'origine.
- 4) Les articles doivent être accompagnés d'un résumé en français, et si possible d'un résumé en anglais.
- 5) Les références bibliographiques seront groupées à la fin du manuscrit; elles seront classées dans l'ordre d'apparition dans le texte. Ces références comporteront : nom de l'auteur, initiales des prénoms, date, titre complet de l'article, titre du périodique abrégé selon les règles internationales, volume, pagination complète.
- 6) Les manuscrits dactylographiés et les planches ne doivent pas excéder 25 pages.

## Illustration

- 1) Les dessins doivent être exécutés à l'encre de Chine sur papier calque de préférence, sinon sur bristol ou carte grattage (les tirages Ozalid, photocopies ou tout autre moyen de reproduction ne peuvent être acceptés).
- 2) Ils doivent être envoyés roulés ou à plat, mais jamais pliés.
- 3) Ils peuvent être présentés à grande échelle; des réductions, exécutées par l'atelier de photographie, les ramèneront au format exigé de la publication : 16,5 × 25 cm; ils ne devront en aucun cas être présentés à une échelle nécessitant un agrandissement. Lettres et chiffres seront écrits soigneusement et suffisamment grands pour qu'ils demeurent facilement lisibles une fois la réduction effectuée. Il est demandé de tenir compte dans la préparation des planches de la présentation du texte sur deux colonnes.
- 4) Pour les cartes et plans, il convient de faire figurer une échelle linéaire dont l'unité de mesure sera évidemment indiquée, et de ne pas mentionner d'échelle numérique susceptible d'être modifiée par réduction du cliché.

## Tirés à la suite

Les auteurs d'une même communication reçoivent collectivement vingt-cinq exemplaires de leur article. Les tirés à la suite supplémentaires doivent être commandés à l'envoi du manuscrit en précisant le nombre d'exemplaires ainsi que l'adresse à laquelle doivent être envoyées les factures.

# SOMMAIRE

## Première partie

	Pages
Rectificatif au mémoire intitulé « Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques » par MM. Y. BIOLLAY, Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne (Suisse) et J. KRAVTCHENKO Université Scientifique et Médicale, Grenoble .....	5
Synthèse sur les caractères physiques du courant circumpolaire antarctique, par M. YOUNG-HYANG PARK, Laboratoire d'Océanographie Physique Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.....	7
Etude des possibilités de tassement d'un sol sous-marin par moyens acoustiques, par MM. J.M. DAUPLEIX et J. PATOT, L.M.A.I., Université de Perpignan, B. DUPONT et J.P. LONGUEMARD, L.E.P.A.P., Ecole centrale A. et M., Chatenay Malabry.....	33
Corrélations entre la masse volumique et la résistivité d'un sédiment marin, par MM. T. CAPELLE et T. PLAIRE, L.M.A.I. Université de Perpignan, M. CHIBANE et E. SARRET, L.M.S.S., Ecole Centrale A. et M., Chatenay-Malabry et J.P. LONGUEMARD, L.E.P.A.P., Ecole centrale A. et M., Chatenay-Malabry.....	43

## Deuxième partie

Rapport sur les travaux géodésiques effectués par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine de 1920 à 1984, par M. A. DEMERLIAC Ingénieur Général de l'Armement (hydrographe) E.R.....	55
L'hydrographie française en Afrique Noire et à Madagascar pendant la période 1947-1965 par M. J. BOURGOIN, Ingénieur Général de l'Armement (hydrographe) E.R.....	69
Mission Océanographique de l'Atlantique (juin 1982 — juillet 1984), par M. M. LE GUEN, Ingénieur en Chef de l'Armement (hydrographe).....	77