



Publications du
CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS
(CNEXO)

Série: Résultats des campagnes à la mer

N° 02 - 1971

RESULTATS DE LA CAMPAGNE
DE FLEXO-ELECTRO-CAROTTAGE
EN MEDITERRANEE NORD-OCCIDENTALE

(3 avril - 27 mai 1970)

**PUBLICATIONS DU
CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS
(C N E X O)**

**RESULTATS DE LA CAMPAGNE
DE FLEXO-ELECTRO-CAROTTAGE
EN MEDITERRANEE NORD-OCCIDENTALE
(3 avril - 27 mai 1970)**

**OUVRAGE MIS AU POINT
PAR Guy PAUTOT**

TABLE DES MATIERES

| | Pages |
|---|-------|
| PREFACE par R. CHAUVIN, Directeur du Centre Océanologique de Bretagne | 7 |
| CARTE DE SITUATION DES FORAGES | 9 |
| LISTE DES PRELEVEMENTS | 11 |
| LISTE DES CHERCHEURS AYANT PARTICIPE A LA CAMPAGNE | 13 |
| LISTE DES CHERCHEURS ET TECHNICIENS AYANT PARTICIPE AU DEPOUILLEMENT | 14 |
| REMERCIEMENTS par G. PAUTOT (CNEXO - C.O.B.) | 17 |
| INTRODUCTION par G. PAUTOT (CNEXO - C.O.B.) | 19 |
| TECHNIQUE DU FLEXOFORAGE par J. DELACOUR et P. MORIN de l'Institut Français du Pétrole | 21 |
| DEROULEMENT DES OPERATIONS par J.M. AUZENDE, J. MASCLE et J.L. OLIVET (CNEXO - C.O.B.) | 33 |
| METHODES D'ETUDE DES ECHANTILLONS | 41 |
| ANALYSE SITE PAR SITE | 55 |
| 1 - <u>Détermination du site</u> | |
| - Sismique - équipe de géologie du C.O.B. | |
| - Sondeur de vase - Mademoiselle G. ALLA (Musée Océanographique de Monaco) | |
| - Bathymétrie - Mademoiselle G. ALLA (Musée Océanographique de Monaco) | |
| 2 - <u>Opérations de forage</u> | |
| - Equipe de géologie du C.O.B. | |
| 3 - <u>Log graphique</u> | |
| L. PASTOURET, (CNEXO - C.O.B.) | |
| <u>Photographie</u> | |
| Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.) | |

4 - Propriétés physiques

- Teneur en eau -(B.R.G.M.)
- Pourcentage de la fraction grossière -(C.O.B.)
- Granulométrie de la fraction fine - LE LANN -(B.R.G.M.)

5 - Minéralogie

- Observation de la fraction grossière - L. PASTOURET -(C.O.B.)
- Examen des frottis - G. PAUTOT -(C.O.B.)
- Minéraux lourds - PARFENOFF et PICOT -(B.R.G.M.)
- Pétrologie - M. GRAVELLE et Madame A. PELHATE -(Faculté des Sciences de Brest)
- Composition de la phase argileuse - J.L. RUMEAU - S.N.P.A. (Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine)
- Relations argiles-climats - H. CHAMLEY -(Faculté des Sciences de Marseille-Luminy)

6 - Micropaléontologie

- Foraminifères - Madame Y. LE CALVEZ -(Muséum d'Histoire Naturelle et L. PASTOURET)-(C.O.B.)
- Pollens - Mademoiselle I. GAUDRY -(Station de Géodynamique sous-marine de Villefranche-sur-Mer)
- Nannoplancton - Madame M. CLOCCHIATTI -(Muséum d'Histoire Naturelle)

7 - Géochimie

- Teneurs en éléments majeurs - J.L. RUMEAU -(S.N.P.A.)
- Teneurs en éléments traces - J.L. RUMEAU (S.N.P.A.), J. GREFFARD, PARENT et MOAL (B.R.G.M.)
- Chimie de l'eau interstitielle - J. GREFFARD, PARENT et TOURNIER (B.R.G.M.)

8 - Matière organique

- Teneur en carbone et en soufre - J.L. RUMEAU (S.N.P.A.), J. GREFFARD, PARENT et TOURNIER (B.R.G.M.)
- Observation à la microsonde électronique -(B.R.G.M.)

9 - Bactériologie

- J. GREFFARD (B.R.G.M.)

Sites T 1, T 2, T 3, T 4, T 5, T 6, T 7, T 8, T 9, T 10, T 11, T 12, T 13, T 14.

ANALYSE DU SITE T 0

291

1 - Micropaléontologie

- Foraminifères - G. BIZON (I.F.P.)
- Minéralogie : G. DUNOYER DE SEGONZAC (Université de Strasbourg)
- Nannoplancton - A. MAC INTYRE (Lamont-Doherty Geological Observatory)

2 - Géochimie et matière organique

Groupe I.F.P.

SYNTHESE

| | |
|--|-----|
| <u>Etude des courbes microgranulométriques</u> par G.A. AUFFRET (Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes) | 303 |
| <u>Conclusions sur les données paléoclimatiques des argiles</u> par H. CHAMLEY (Faculté des Sciences de Marseille-Luminy) | 307 |
| <u>Conclusions sur la détermination de la microfaune</u> par Y. LE CALVEZ (Muséum d'Histoire Naturelle) et L. PASTOURET (Centre Océanologique de Bretagne - BREST) | 313 |
| <u>Résultats de l'étude des pollens des carottes du Térébel</u> par I. GAUDRY (Station de Géodynamique sous-marine de Villefranche-sur-Mer) | 323 |
| <u>Résultats de l'étude des nannofossiles calcaires des carottes du Térébel</u> par M. CLOCCHIATTI (Muséum d'Histoire Naturelle - Paris) | 329 |
| <u>Essai de synthèse paléoclimatique</u> par L. PASTOURET (Centre Océanologi- que de Bretagne - BREST) et H. CHAMLEY (Faculté des Sciences de Marseille-Luminy), I. GAUDRY (Station de Géodynamique sous-marine) | 339 |
| <u>Comparaison géochimique et minéralogique entre la zone des dômes et la marge continentale</u> par G. PAUTOT, R. HEKINIAN et H. BOUGAULT (Centre Océanologique de Bretagne - BREST) | 351 |
| <u>Observations sur les analyses géochimiques du B.R.G.M.</u> par J. GREFFARD (B.R.G.M.) | 357 |
| <u>Commentaires sur les résultats géochimiques de la S.N.P.A.</u> par J.L. RUMEAU (S.N.P.A.) | 359 |
| <u>Examen optique de la matière organique figurée</u> par C. BOULOUARD | 371 |
| <u>Description géologique de la bordure Provençale</u> par J.L. OLIVET, J.M. AUZENDE, J. MASCLE, S. MONTI, L. PASTOURET et G. PAUTOT (Centre Océanologique de Bretagne - BREST) | 375 |

PREFACE

Objet d'un contrat passé entre le CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS (CNEXO) et l'INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE (I.F.P.), l'opération "TEREBEL" a été réalisée sous la direction du CENTRE OCEANOLOGIQUE DE BRETAGNE (C.O.B.) du CNEXO.

Il s'agissait d'une opération spécifique dont le but était de mettre en pratique une technique nouvelle hautement élaborée et très originale conçue et mise au point par l'I.F.P. : le flexoélectro-carottage des grands fonds marins. Cette technique est susceptible d'être mise en oeuvre dans le cadre des grands programmes internationaux de forages profonds, en complément aux méthodes mises au point par Global Marine Inc pour le programme pluriannuel JOIDES.

Cette campagne a été effectuée à partir du navire expérimental Térébel, ancien navire de débarquement L.C.T., cependant équipé de moyens modernes, développés par l'I.F.P., tels que positionnement dynamique, compensateur de pilonnement et appareils de manoeuvre pour câbles et flexibles. La reconnaissance topographique détaillée des sites fut confiée à un navire accompagnateur qui fut successivement la "WINNARETTA SINGER", "L'ESPADON", la "CATHERINE LAURENCE". Pour des travaux en plaine abyssale, les équipements de sondage de ces navires étaient à la limite de leurs possibilités.

Malgré l'utilisation pour cette première campagne d'un matériel prototype et d'un soutien logistique limité, la compétence et le dynamisme de tous ceux qui prirent dans les opérations en mer une part de responsabilité ont cependant permis de réaliser en moins de deux mois quatorze forages, dont dix d'entre eux rapportèrent des prélèvements à plus de quarante mètres sous le fond.

La moisson fut donc bonne en dépit de conditions météorologiques souvent défavorables et nous pensons que les résultats exposés dans cet ouvrage seront d'un intérêt essentiel pour une meilleure compréhension de la structure profonde de la bordure continentale des côtes provençales.

C'est pourquoi je rends hommage à la jeune équipe de Géologie de notre Centre, dynamique et compétente qui, malgré ses effectifs limités, a mené cette affaire magnifiquement contre vents et marées, donnant après la campagne NORATLANTE une nouvelle preuve de son énergie et de ses capacités.

Je remercie également les chercheurs et ingénieurs qui ont bien voulu, à notre demande, participer dans leurs laboratoires au travail de dépouillement et à l'exploitation des résultats qui sont présentés dans cet ouvrage.

Une première partie regroupe, site par site, une importante quantité de

données brutes qui pourront être reprises ultérieurement. Dans une seconde partie, le dépouillement et l'analyse des résultats conduisent à des synthèses originales, telle celle qui concerne la confrontation des résultats de trois méthodes différentes d'approche de la paléoclimatologie (palynologie, Foraminifères, minéralogie des argiles).

Je me plais à souligner enfin un aspect qui s'est révélé particulièrement fructueux : la collaboration étroite que nous avons pu instaurer entre divers spécialistes des mondes universitaire et industriel, collaboration qui aboutit, moins d'un an après la fin de la mission, à une interprétation cohérente de l'ensemble des résultats recueillis et, matériellement, à la sortie de ce volumineux manuscrit.

R. CHAUVIN Directeur du Centre Océanologique
de Bretagne

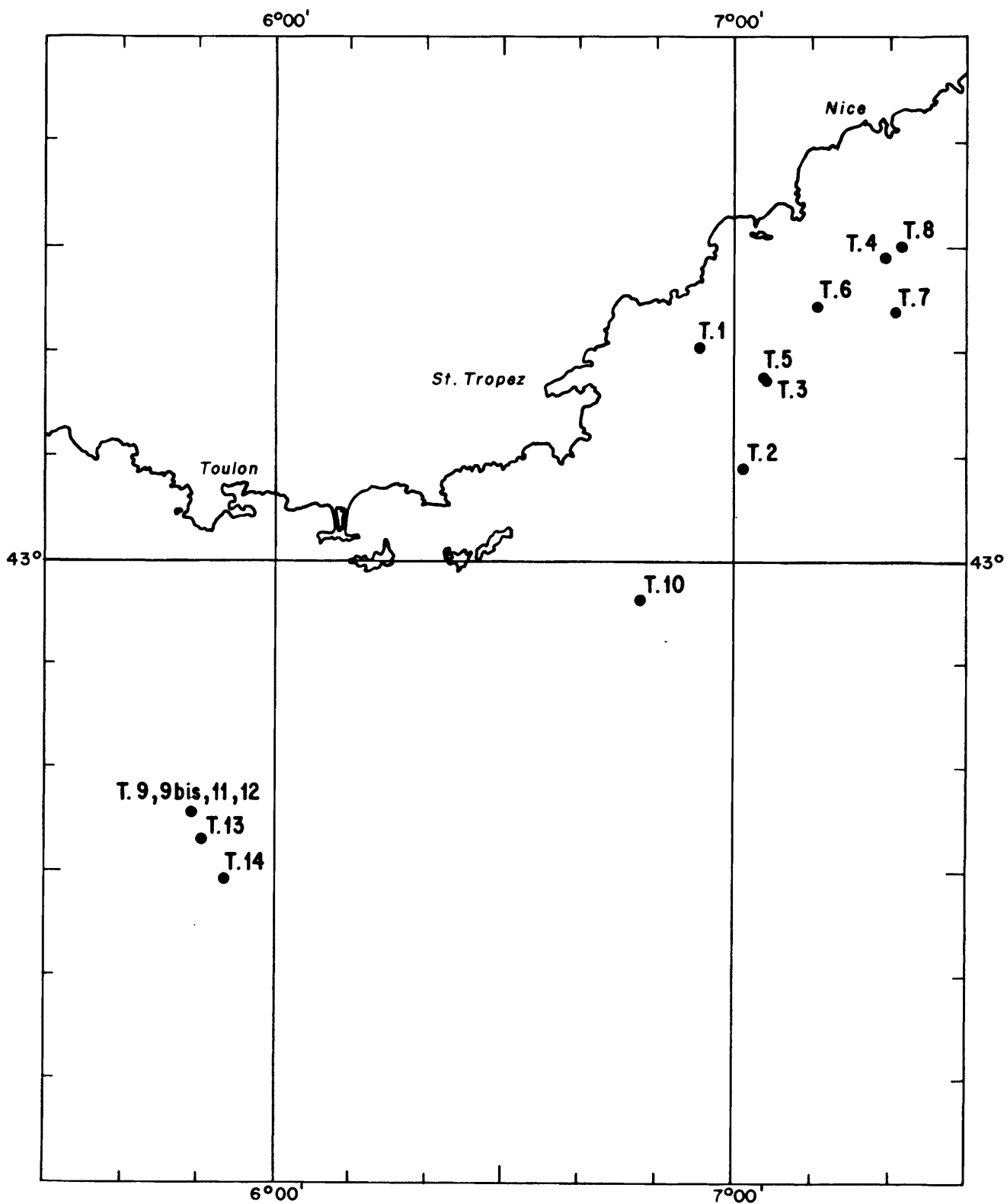


Figure 1

Emplacements des prélèvements
Mission Térébel 1970

LISTE DES PRELEVEMENTS

| Site | Zone | Longitude | Latitude | profondeur d'eau (sondeur) | niveau de pré- lèvement (m) | Réussite | Nature |
|------|---------------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|--------------------------------------|----------|--------|
| 1 | Canyon de Saint-Tropez | 06°55,8 E | 43°20,4 N | 1 395 | 38 | + | vase |
| 2 | Glacis est de Camarat | 07°01,6 E | 43°09,1 N | 2 030 | 12,5 | + | roche |
| 3 | Haut-fond du Méjean | 07°04,6 E | 43°17,2 N | 1 600 | 26 | 0 | roche |
| 4 | Ride sédimentaire du cap d'Antibes | 07°19 E | 43°29,2 N | 1 200 | 40 | + | vase |
| 5 | Haut-fond du Méjean | 07°04,25E | 43°17,5 N | 1 700 | 40 | 0 | roche |
| 6 | Canyon de Cannes | 07°10,5 E | 43°24,7 N | 1 900 | 7 | 0 | roche |
| 7 | Ride sédimentaire du cap d'Antibes | 07°24,8 E | 43°24,2 N | 1 650 | 38 | + | vase |
| 8 | Canyon du Var | 07°21,4 E | 43°30,4 N | 1 775 | 1,5 | 0 | roche |
| 9 | Dôme SH | 05°49 E | 42°36 N | 2 300 | 41 | + | vase |
| 10 | Sud du banc du Magaud | 06°47,8 E | 42°56,8 N | 2 560 | 43 | + | vase |
| 11 | Dôme SH | 05°49 E | 42°36 N | 2 300 | 44 | + | vase |
| 12 | Dôme SH | 05°49 E | 42°36 N | 2 350 | 45 | + | vase |
| 13 | Dôme CL | 05°50 E | 42°33,5 N | 2 390 | 45 | + | vase |
| 14 | Dôme T | 05°53 E | 42°29 N | 2 500 | 45 | + | vase |
| 0 | Dôme T | 05°53 E | 42°29 N | 2 500 | 35 | + | vase |

LISTE DES CHERCHEURS
AYANT PARTICIPE A LA CAMPAGNE

Equipe de Géologie du Centre Océanologique de Bretagne :

Jean-Marie AUZENDE
Jean MASCLE
Jean-Louis OLIVET
Guy PAUTOT

Equipe du Musée Océanographique de Monaco :

Geneviève ALLA
Daniel DESSOLIN
André REBUFFATTI
Joël SOHIER

Equipe des Ingénieurs de l'Institut Français du Pétrole :

Philippe JOUBERT
Emile LEVALLOIS
Pierre MORIN

LISTE DES CHERCHEURS ET TECHNICIENS
AYANT PARTICIPE AU DEPOUILLEMENT

BUREAU D'ETUDES GEOLOGIQUES ET MINIERES (B.R.G.M.)

Messieurs GREFFARD
LE LANN
MOAL
PARENT
PARFENOFF
PICOT
TOURNIER

CENTRE OCEANOLOGIQUE DE BRETAGNE (C.O.B.)

Messieurs AUZENDE
BOUGAULT
HEKINIAN
MASCLE
MONTI
OLIVET
PASTOURET
PAUTOT

CENTRE UNIVERSITAIRE DE MARSEILLE-LUMINY

Monsieur CHAMLEY

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRONOMIE DE RENNES

Monsieur AUFFRET

INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE (I.F.P.)

Madame BIZON
Messieurs DELACOUR
MORIN

LAMONT DOHERTY GEOLOGICAL OBSERVATORY - PALISADES

Monsieur MAC INTYRE

LABORATOIRE DE GEOLOGIE - FACULTE DES SCIENCES DE BREST

Monsieur GRAVELLE

Madame PELHATE

LABORATOIRE DE GEOLOGIE - UNIVERSITE DE STRASBOURG

Monsieur DUNOYER de SEGONZAC

MUSEE OCEANOGRAPHIQUE DE MONACO

Mademoiselle ALLA

Messieurs PIERROT

REBUFATTI

MUSEUM D'HISTOIRE NATURELLE DE PARIS

Mesdames CLOCCHIATTI

LE CALVEZ

SOCIETE NATIONALE DES PETROLES D'AQUITAINE (S.N.P.A.)

Messieurs AYALA

BALOUS

BARADAT

BOULOUARD

PUYO

RICARRERE

RUMEAU

STATION DE GEODYNAMIQUE DE VILLEFRANCHE SUR MER

Mademoiselle GAUDRY.

REMERCIEMENTS

Le CNEXO a passé en avril 1970 un contrat avec l'Institut Français du Pétrole pour l'exécution d'un programme de reconnaissance de structures géologiques par flexoélectro-carottage en Méditerranée profonde à partir de son navire Térébel. Après un premier essai du système effectué par l'I.F.P., la Division des Programmes du CNEXO a confié la direction de la campagne d'essais au Groupe Scientifique du Centre Océanologique de Bretagne.

Un programme scientifique fut établi et le personnel nécessaire à l'accomplissement de cette mission fut désigné dans l'équipe de géologie du C.O.B.

Monsieur R. CHAUVIN, Directeur du C.O.B., nous aida aussitôt à prendre les contacts, et durant toute la mission, il nous permit d'obtenir les autorisations de la Marine Nationale et le prêt d'un bateau accompagnateur. Il suivit personnellement le déroulement de la mission et provoqua les réunions du Comité Scientifique.

Monsieur X. LE PICHON participa à la mise en route du programme.

Le Commandant J. ALINAT du Musée Océanographique de Monaco suivit personnellement le déroulement de la campagne et mit à notre disposition les bateaux "Winnaretta Singer" et "Espadon", avec le personnel scientifique et technique nécessaire.

Les Commandants HUGON et LEROUX de la Préfecture Maritime de Toulon ont eu chaque semaine de nouveaux problèmes à résoudre pour programmer les opérations militaires et nos travaux. Ils ont réussi à nous donner satisfaction dans la plupart des cas.

Monsieur RICOUR, Directeur au Bureau de Recherches Géologiques et Minières, a accepté d'entreposer nos échantillons à Orléans et de nous permettre d'ouvrir et d'échantillonner ces carottes dans les laboratoires du B.R.G.M.

Monsieur LEVALLOIS chef de mission I.F.P. à bord du Térébel responsable des opérations de carottage, et Monsieur BOSSER, commandant le navire, ainsi que les techniciens de l'I.F.P. et les membres de l'équipage ont été très coopératifs et nous leur devons les excellents résultats de cette campagne.

Les officiers et les équipages des bâtiments accompagnateurs "Winnaretta-Singer", "Espadon" et "Catherine-Laurence" sont à féliciter pour la qualité du travail qui fut réalisé le plus souvent dans des conditions météorologiques défavorables.

Le travail de préparation du livre a été réalisé avec l'aide de S. MONTI et N. UCHARD du Centre Océanologique de Bretagne.

G. PAUTOT

INTRODUCTION

Par G. PAUTOT (CNEXO - C.O.B.)

Cette campagne avait comme objectif de base l'essai d'un nouveau système. Pour mener à bien ces essais technologiques, nous avons choisi des sites qui présentaient des problèmes sédimentologiques ou tectoniques susceptible d'être résolus par un forage d'une cinquantaine de mètres.

Le choix de ces sites a été fait en fonction des contraintes logistiques suivantes :

- . Le "N.F. TEREHEL" était basé en Méditerranée à Port-de-Bouc. Sa vitesse maximale est de 4 noeuds, et il pouvait utiliser les systèmes de radiolocalisation disponibles dans cette région (les récepteurs TORAN et RANA ont été mis à bord pour les besoins de la campagne) ;
- . Le système de forage était utilisable à cette époque jusqu'à 2 600 mètres d'eau et 45 mètres de pénétration ;
- . Enfin, des zones d'exercice de la Marine Nationale nous étaient interdites.

En tenant compte de ces obligations, nous nous sommes fixés deux objectifs scientifiques principaux :

- . La détermination de la nature d'accidents topographiques en forme de dômes qui parsèment la plaine abyssale ;
- . L'étude du phénomène de subsidence au large de la Provence par des forages implantés au bas de la marge.

Ces objectifs choisis pour la campagne ont gardé leur intérêt et ont même pris du relief après la campagne du bâtiment américain "GLOMAR CHALLENGER". En effet, quelques mois après notre mission, ce dernier bâtiment (avec d'autres caractéristiques : 1 000 mètres de pénétration par toute profondeur) a réalisé une série de forages en Méditerranée en quinze sites.

Si la nature des dômes a été partiellement résolue par la découverte d'une couche de sel, le bâtiment américain n'a pas forcé sur les structures en dômes d'une part, et d'autre part, il n'a pas implanté de forages dans cette partie du bassin. Nos données sont donc tout à fait complémentaires.

Le deuxième chapitre de notre étude concernant la subsidence a un impact encore plus important. Les évaporites (anhydrite, gypse, sel gemme) prélevées par le "GLOMAR CHALLENGER" présentent un faciès lagunaire. Deux modes de formation peuvent être retenus. La Méditerranée sous sa forme actuelle s'est brutalement asséchée au cours du Messinien (9 à 6 MA) avant d'être envahie de nouveau par la

transgression pliocène. L'autre possibilité est l'existence de lagunes à un niveau voisin du niveau de la mer actuelle et d'un épisode de subsidence postérieur.

Ce mouvement de subsidence, s'il existe, doit pouvoir être mis en évidence sur les marges.

En complément à cet aspect tectonique passionnant, d'autres domaines de recherche s'ouvrent avec l'étude de ces échantillons. Les prélèvements les plus longs en Méditerranée étaient de l'ordre de la dizaine de mètres ; ils correspondaient donc à des sédiments d'âge approximatif 100 000 ans. Avec nos prélèvements entre 40 et 50 mètres sous l'interface, nous pouvions espérer obtenir des sédiments de 0,5 MA. La microfaune de ces sédiments anciens, la composition minéralogique et géochimique pourront être comparées aux échantillons superficiels et le processus de diagenèse précoce pourra être abordé à une nouvelle échelle.

La majorité des sites choisis au pied de la marge continentale ont été choisis en des points où la sismique permettait de supposer que le substratum était proche. L'échantillonnage de ce substratum permettra d'en connaître la nature, l'âge, le processus de mise en place, et la détermination de réflecteurs que l'on peut suivre sur de grandes distances.

Enfin, l'effort considérable de synthèse des résultats tirés des nombreuses méthodes d'analyse utilisées dans l'étude des carottes est original. Il montre le grand intérêt qu'il y a à regrouper au niveau national les divers spécialistes pour aboutir à une interprétation cohérente des résultats provenant des forages et carottages profonds.

TECHNIQUE DU FLEXOFORAGE *)

par J. DELACOUR et P. MORIN, Institut Français du Pétrole

INTRODUCTION

Les résultats obtenus par les spécialistes américains - sous l'égide de la "National Science Foundation" et dans le cadre du "Deep Sea Drilling Project" - au cours des campagnes de forage et de carottage des grands fonds océaniques poursuivies depuis juillet 1968 au moyen du navire de forage "Glomar Challenger" spécialement conçu, construit et équipé dans ce but, ont montré l'énorme intérêt qui pouvait être retiré de telles opérations, d'une part sur le plan scientifique pour la connaissance des origines et de l'évolution de bassins océaniques et des continents, d'autre part sur le plan technique pour la résolution des nombreuses difficultés liées au forage en eaux très profondes à partir d'un navire.

En outre, en ce qui concerne plus particulièrement l'industrie pétrolière, l'identification formelle, dès la première campagne du "Glomar Challenger" dans le Golfe du Mexique en août 1968, de dômes de sel repérés par la géophysique et la découverte d'hydrocarbures liquides et gazeux dans les carottes prélevées au toit de ces dômes, constituaient des motifs d'intérêt particulièrement puissants.

Conscient de l'importance du "Deep Sea Drilling Project", l'INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE suivait dès l'origine son déroulement et aboutissait rapidement à la conclusion qu'une adaptation des moyens et des techniques développés depuis 1964 par l'I.F.P., à partir du procédé de flexoforage, pour la reconnaissance des fonds marins constituant le plateau continental, pourrait apporter une solution originale et avantageuse pour l'exploration des plus grands fonds océaniques.

Ainsi, en novembre 1968, l'I.F.P. prenait la décision d'étudier et de construire le matériel nécessaire pour le forage et le carottage par des fonds de 2 500 mètres, première étape compatible, d'une part avec l'exploration des fonds de la Méditerranée, dont la géophysique avait d'ores et déjà révélé l'intérêt, d'autre part avec la capacité du "Térébel", navire expérimental de l'I.F.P. équipé dès 1964 pour la mise en oeuvre du procédé de Flexoforage (figure 2).

*) Ce texte a été présenté au Colloque International sur l'Exploitation des Océans à Bordeaux le 11 mars 1971.

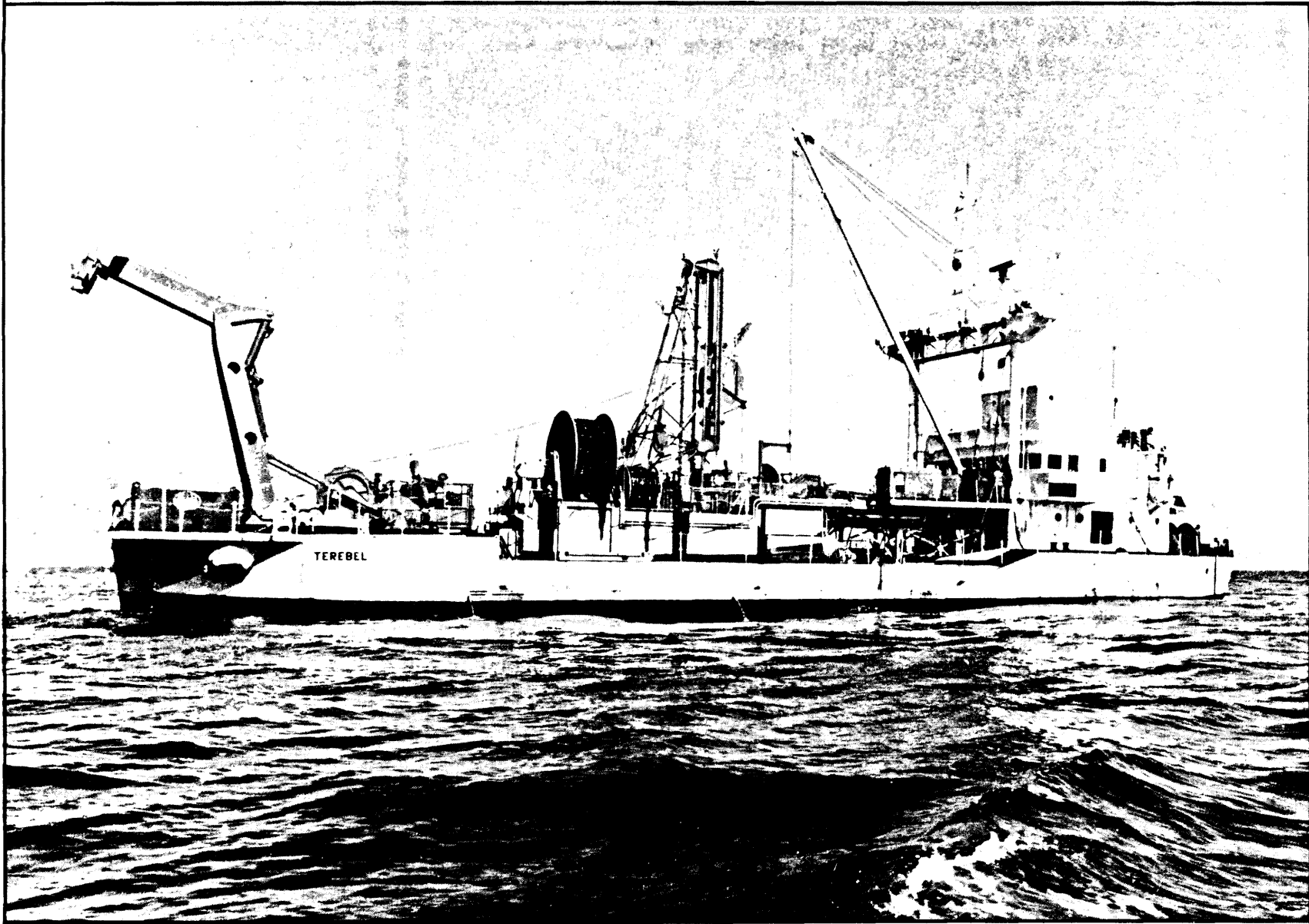


Figure 2 - TEREBEL

La technique choisie, dérivée directement du procédé de flexoforage de l'I.F.P. et présentée sous la dénomination de "Méthode du fil à plomb", peut se caractériser schématiquement de la façon suivante (figure 3) :

Le support de surface est constitué par un navire de faible déplacement - 850 tonnes dans le cas particulier du "Térébel" - muni du dispositif d'ancrage dynamique assurant une mise en station quasi-immédiate sur le point choisi, quelle que soit la profondeur d'eau.

Les instruments, moteurs et outils de fond nécessaires au forage et carottage, sont simplement suspendus à l'extrémité d'une ligne flexible et continue, conductrice d'énergie, que des appareils de surface spécialement conçus, embarqués sur le navire, permettent de soustraire à l'effet du pilonnement et de manoeuvrer avec rapidité et précision entre la surface et le fond.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU MATERIEL

Dans le cas d'application considéré, la garniture de forage et de carottage est constituée comme suit à partir de l'extrémité inférieure :

a) - Appareils de fond

- Une couronne de carottage, obturée pendant la phase forage par un outil central, effaçable par télécommande hydraulique depuis la surface.

- Diamètre extérieur : 8" $\frac{1}{2}$

- Diamètre intérieur : 3" $\frac{1}{2}$

- Un carottier double (figure 4) qui permet, après forage en plein diamètre jusqu'à une profondeur déterminée, de prélever une carotte de 1 mètre de longueur.

En phase forage, un bouchon trépan (1) obture le tube porte-carotte (2). Le verrouillage est obtenu par un ressort (3) qui bloque à travers le tube (2) les billes (4) et qui, de l'autre côté, prend appui sur le système de déclenchement. En tête de ce système, des billes (5) permettent ou non le passage du fluide de forage suivant qu'il y a ou non rotation de la garniture. En rotation, le fluide est distribué à l'outil central et à la couronne carottière (9).

La rotation et la circulation étant arrêtées, si l'on rétablit la seule circulation, les billes (5) obturent le passage, la pression s'établit en haut du carottier permettant au piston (6) de déverrouiller les cliquets de retenue (7) du ressort (8). En abaissant la pression, le ressort (8) entraîne la butée du ressort (3) et libère le bouchon trépan qui peut alors coulisser dans le tube porte-carotte (2). Ainsi, pour carotter, on lance la rotation, puis la circulation. Tout le fluide passe à l'extérieur du tube (2) et crée une succion à l'intérieur favorisant la montée du bouchon et de la carotte. Un anneau double assure la saisie de la carotte.

- Un moteur électrique de fond (électroforeuse) entraînant le carottier et la couronne en rotation :

- Puissance : 35 ch

- Tension : 880 volts

- Intensité : 45 ampères

- Vitesse : 675 tr/mn

- Diamètre : 7" $\frac{5}{8}$

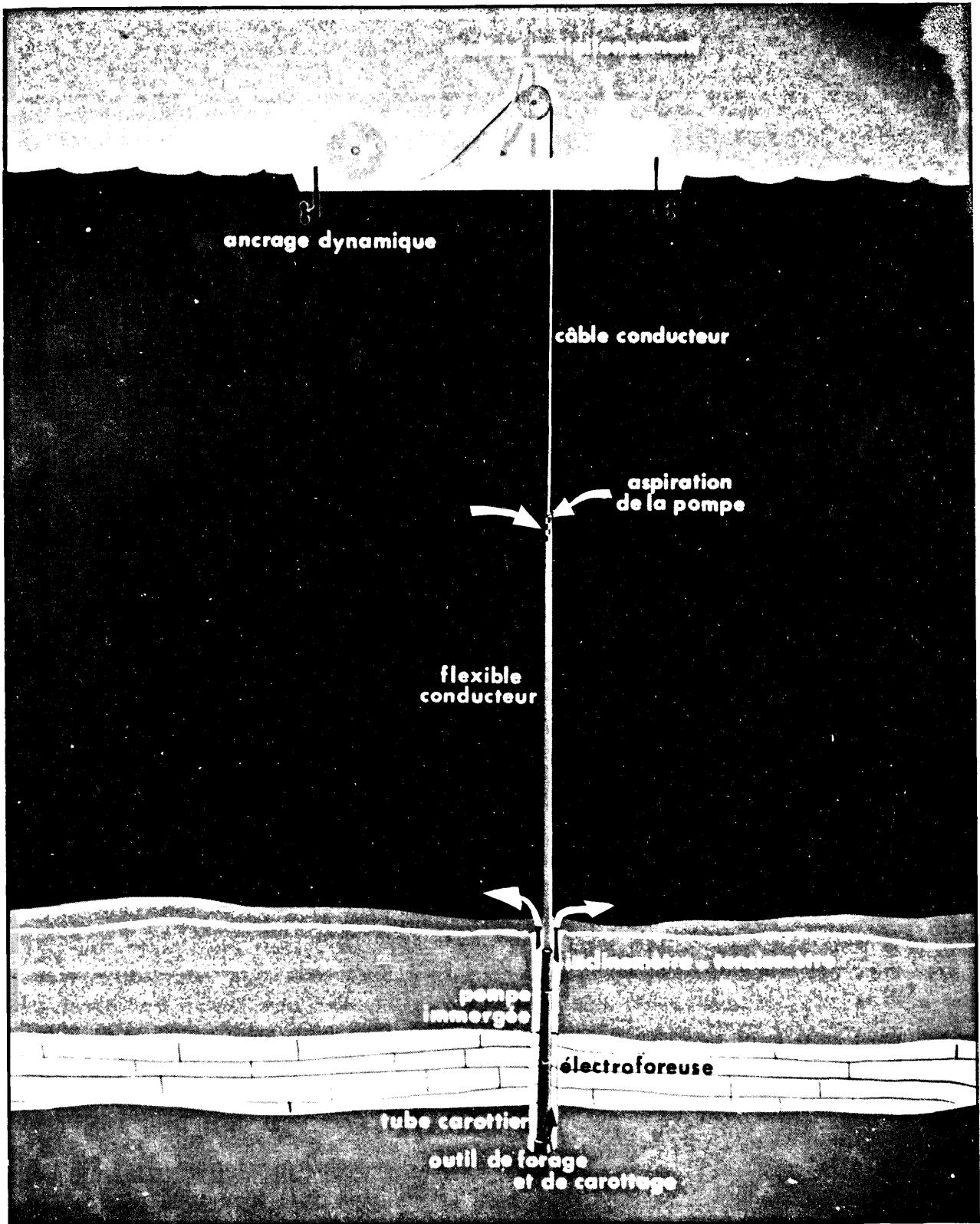


Figure 3

Reconnaissance des fonds marins par flexoélectrocarottage

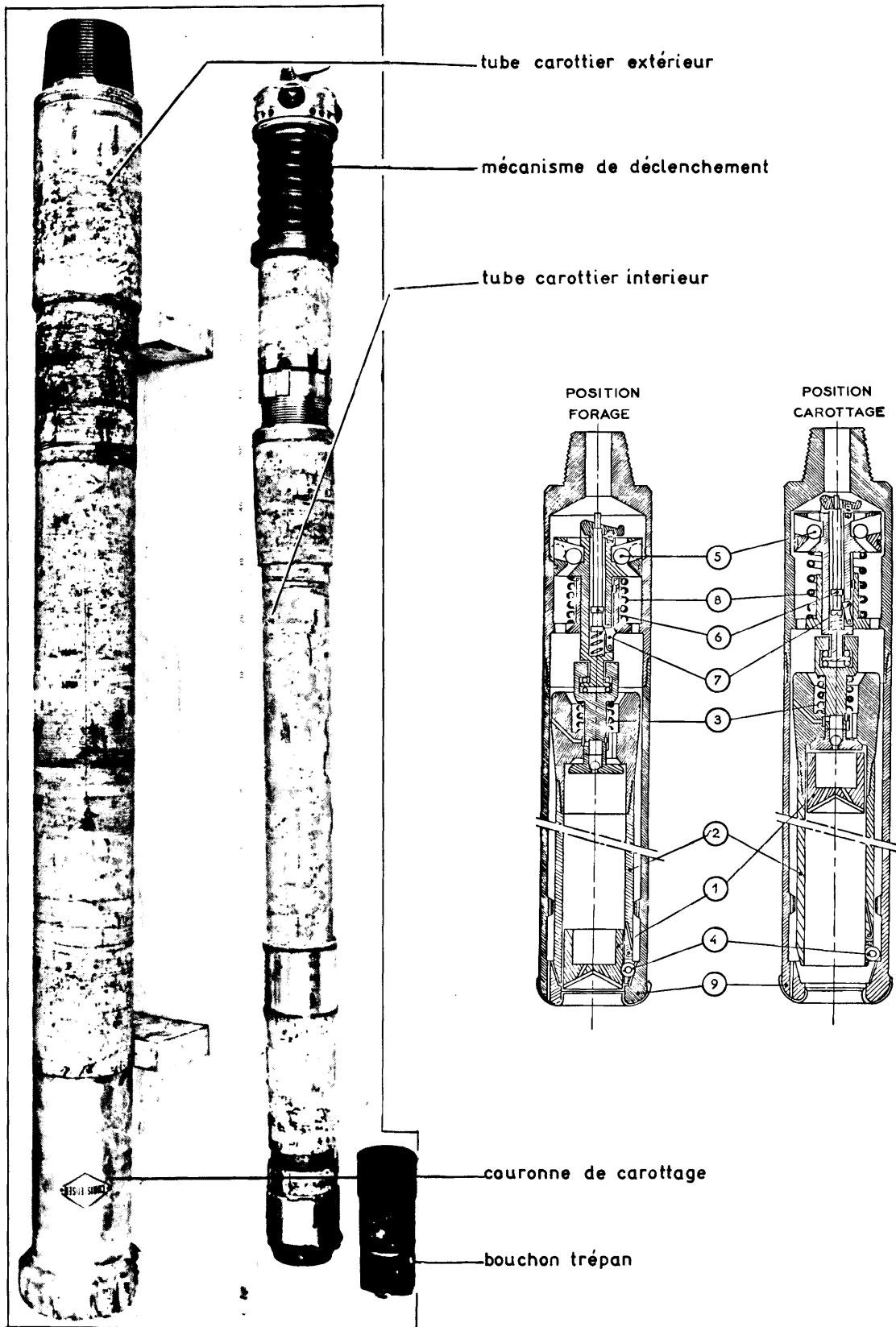


Figure 4 - Carottier à déclenchement

- Une électropompe immergée assurant le nettoyage du front de taille et le déclenchement de l'outil central de la couronne carottière pour passer de la phase forage à la phase carottage.

- Puissance : 30 ch
- Tension : 880 volts
- Intensité : 27,5 ampères
- Diamètre : 7"5/8
- Nombre d'étages de la pompe : 22
- Débit : 700 l/mn
- Pression maximale à débit nul : 30 bars

- Un ensemble de capteurs (télévigile) dont les signaux de fond amplifiés retransmettent en surface les paramètres suivants :

- Traction ou poids pendu
- Couple
- Inclinaison
- Pression d'huile à l'intérieur de l'électroforeuse
- Pression d'huile à l'intérieur du moteur du groupe de pompage
- Pression du fluide de circulation.

L'assemblage mécanique formant la garniture rigide est assuré par des filetages coniques à faible conicité. La continuité des liaisons électriques à ces niveaux est assurée par des connecteurs électriques coaxiaux, étanches, comportant 6 contacts de puissance (3 pour l'électroforeuse, 3 pour le moteur électrique de la pompe) et 9 contacts de mesure.

Un raccord électromécanique assure la liaison entre la garniture rigide et la garniture flexible.

En exploitation, la garniture est formée des éléments principaux suivants :

- Le carottier et son moteur d'entraînement : 1 180 kg
- L'électropompe : 1 080 kg
- L'ensemble des capteurs et du raccord supérieur : 440 kg
- Poids total dans l'air : 2 700 kg

La longueur totale des éléments assemblés, outil compris, est de 19,10 m.

b) - Ligne flexible

Elle se compose, à partir de l'extrémité inférieure de :

- Un tronçon de 35 mètres de flexible creux assurant uniquement l'alimentation de l'électropompe en eau claire, aspirée au-dessus du fond de la mer.

Le niveau d'aspiration se situe, dans ce cas, à $19 + 35 = 54$ mètres au-dessus du front de taille.

- Un câble électrique permettant l'alimentation en énergie des récepteurs de fond et la transmission des efforts mécaniques, couple et traction ainsi que la connaissance en surface des indications des capteurs de fond.

- Diamètre : 43 mm
- Longueur d'exploitation : 2 800 m

- Charge de rupture : 30 t
- Composition :
 - . 6 conducteurs de puissance en cuivre, section 22 mm^2
 - . 3 conducteurs de mesure en cuivre, section $2,5 \text{ mm}^2$ sous blindage
 - . 6 torons d'acier isolés et blindés, section $0,88 \text{ mm}^2$
- Armure extérieure en acier inoxydable
 - . Couche interne : 49 fils, épaisseur 1,5 mm
 - . Couche externe : 53 fils, épaisseur 1,5 mm
- Poids dans l'air : 5,650 kg/m
- Poids dans l'eau : 4,200 kg/m.

c) - Appareaux de manoeuvre

Les moyens de surface (figure 5) comportent principalement, d'une part un touret et une chenille de traction, pour le stockage et la manoeuvre continue de la ligne flexible, d'autre part une coulisse hydraulique dont le rôle est d'éliminer l'effet de pilonnement du navire sur la ligne flexible assurant ainsi un appui permanent et pré-réglé de l'outil de forage et de carottage sur le fond.

- Touret : Capacité maximale : 3 000 m
Force de traction maximale : 3 t
- Chenille : Force de traction maximale : 14 t
Vitesse de manoeuvre maximale : 0,4 m/s
- Coulisse : Plage d'utilisation : 3 à 16 t
Course : 3 m.

PROCESSUS DE MISE EN OEUVRE

Le navire est maintenu en station à la verticale du point choisi par l'ancre dynamique. Le détecteur d'écart, dans ce cas particulier, est constitué par un inclinomètre directement solidaire de la ligne flexible elle-même. On constate, au moyen des enregistrements simultanés obtenus à partir du réseau de radiolocalisation qui sert de contrôle dès que l'éloignement par rapport à la côte atteint quelques dizaines de milles, que les écarts du navire en ancrage dynamique sont généralement inférieurs au seuil détectable par ce réseau.

Pendant l'opération, les paramètres suivants sont enregistrés :

- L'inclinaison de la garniture rigide.
- La pression de refoulement de l'eau de circulation.
- Le poids pendu.
- Le couple.
- L'intensité du moteur électrique de forage - carottage.

Ils sont représentés sur un diagramme type (figure 6) qui se décompose dans le temps en quatre phases principales :

- Traversée de la tranche d'eau et approche du fond.
- Forage.
- Déclenchement du carottier (effacement de l'outil central).
- Carottage et remontée en surface.

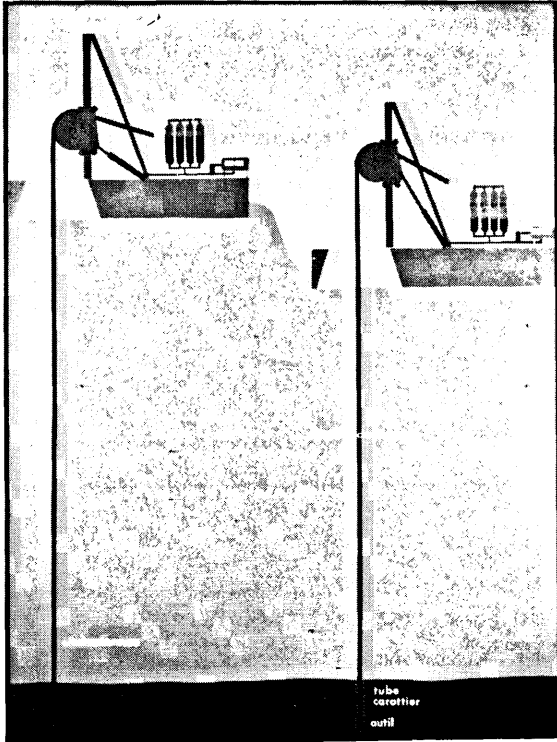
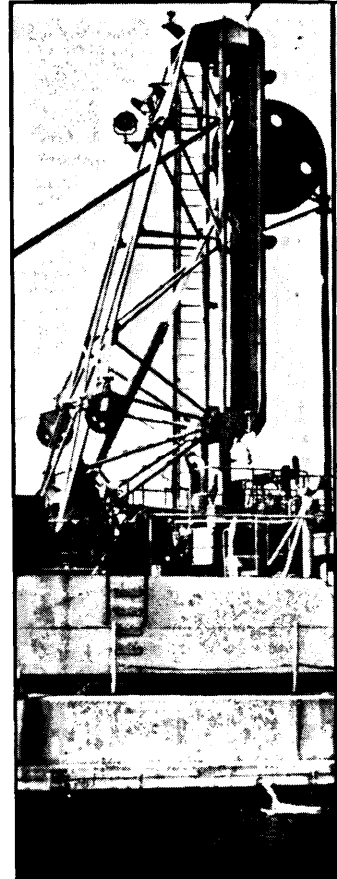
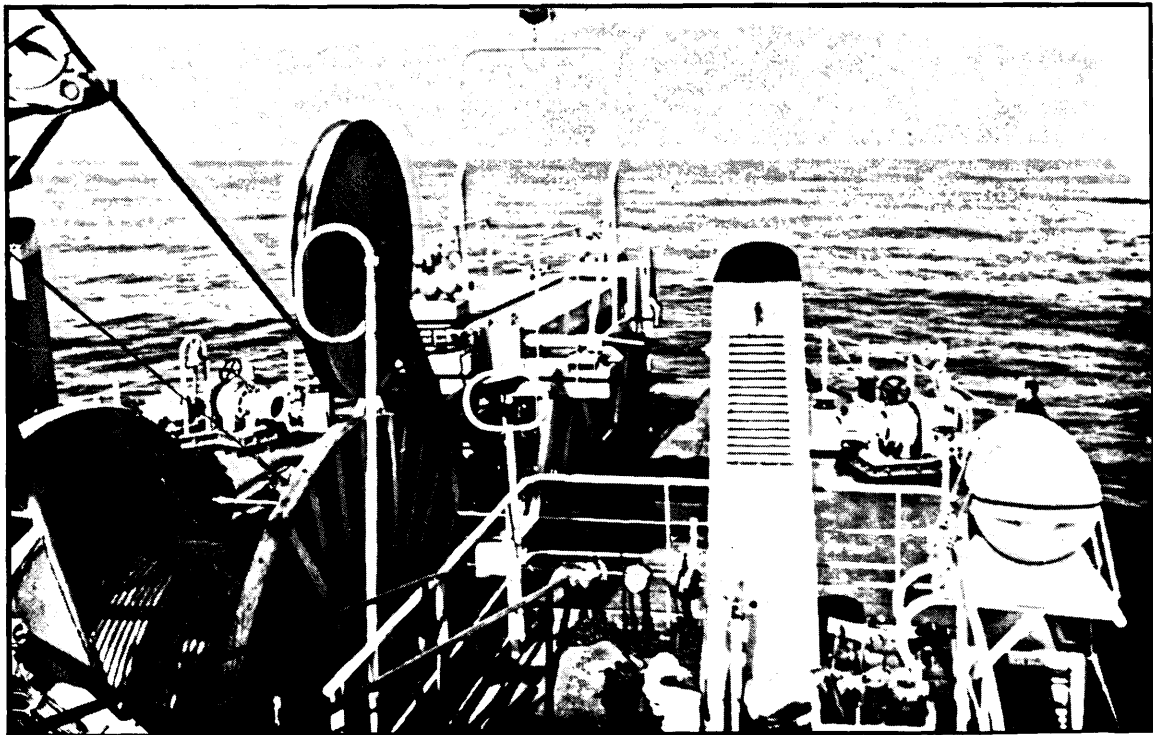


schéma de principe



coulisse anti-pilonnement



touret de stockage et chenille de traction

Figure 5 - Appareils de manoeuvre

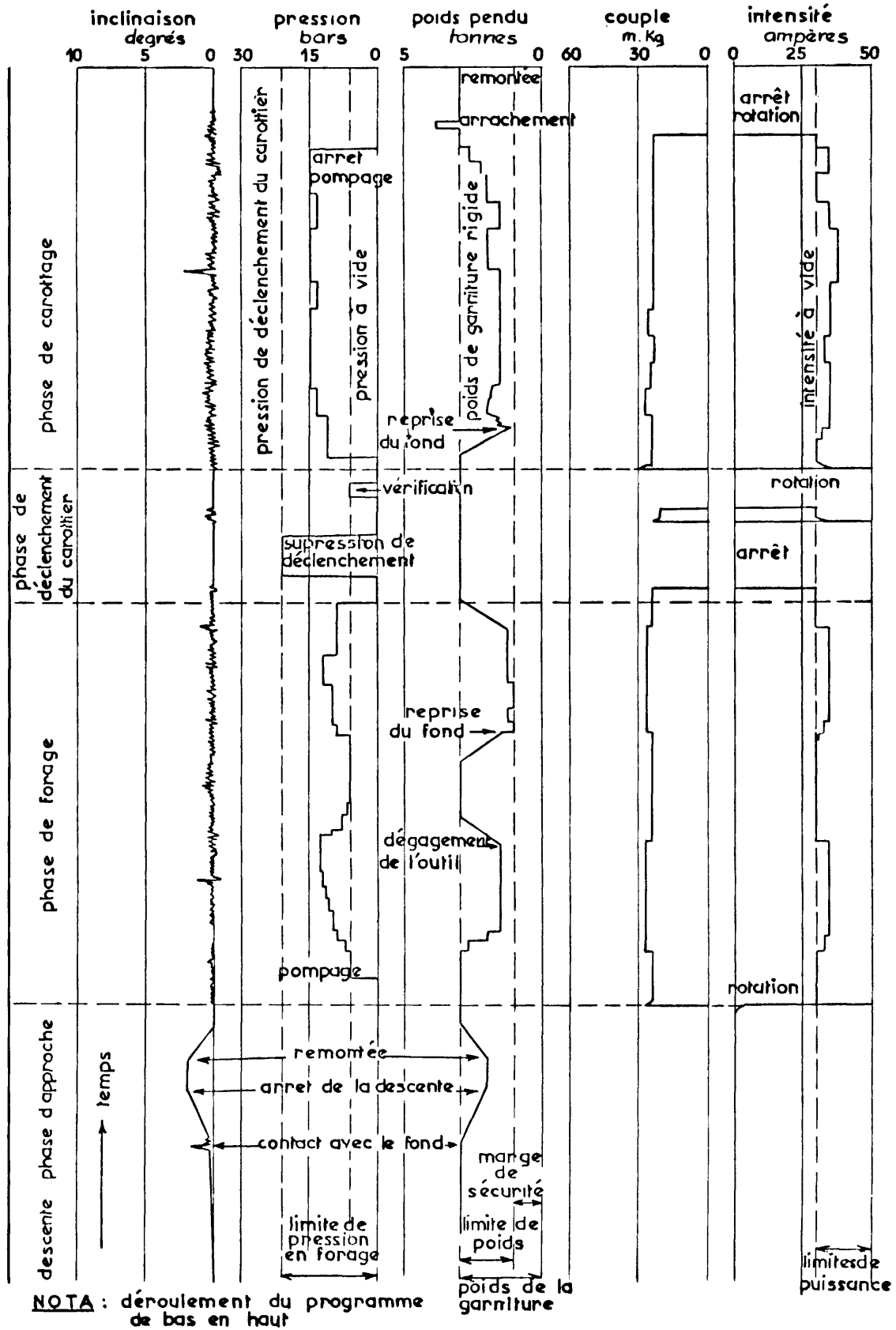


Figure 6

Diagramme type en flexoélectrocarottage profond

Traversée de la tranche d'eau et approche du fond

Pendant cette période préliminaire, seuls l'inclinomètre et le capteur de poids pendu fonctionnent ; l'arrivée sur le fond de la mer se traduit par une déviation brutale de l'inclinomètre qui quitte le 0 et du poids pendu qui accuse une diminution. La reprise de la charge ramène l'inclinomètre et le poids pendu à la valeur initiale. Le fond de la mer est alors exactement repéré, les opérations de forage peuvent débuter.

Forage

- Lancement de l'électroforeuse
- Lancement de la pompe
- Descente ralentie.

En cours de forage, ces paramètres évoluent corrélativement entre des limites fixées et leur observation assure la conduite éclairée de l'opération jusqu'à la côte choisie.

Déclenchement du carottier

Par son principe, le déclenchement du carottier impose, après dégagement de l'outil, les opérations suivantes :

- arrêt du pompage
- arrêt de la rotation
- reprise du pompage avec à-coup de pression
- arrêt du pompage.

On doit s'assurer du déclenchement effectif de l'outil central en relançant la rotation et le pompage, ce qui se traduit par une valeur de pression voisine ou légèrement supérieure à la pression normale de circulation en position forage.

Carottage et remontée en surface

Après cette vérification, les opérations de carottage peuvent débuter ; l'évolution des paramètres est identique à la phase forage.

A la fin du carottage, la circulation et la rotation sont arrêtées. Le début de la remontée qui entraîne l'arrachement de la carotte peut, selon les terrains, se traduire par une augmentation plus ou moins importante du poids pendu.

Dès la sortie du trou, l'inclinomètre et le poids pendu retrouvent leur valeur initiale.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES D'AVENIR

Les avantages du procédé ainsi décrit, que l'on comparera à la mise en oeuvre du procédé rotary classique à partir du "Glomar Challenger", résident essentiellement dans les points suivants :

- Simplicité et rapidité de manoeuvre
- Souplesse de la ligne flexible qui permet, d'une part de l'utiliser directement comme câble de référence d'inclinomètre pour le positionnement dynamique du navire, d'autre part de réduire considérablement, sinon d'éliminer, les risques de rupture et d'avarie en cas d'apparition de mauvais temps en cours d'opération.

- Possibilité de télécontrôle et télécommande totale du forage et du carottage, facteur particulièrement important pour la reconnaissance des terrains traversés.

- Coût relativement réduit de l'investissement en matériel et de son exploitation.

De plus il convient de noter que les limitations actuelles des performances sont uniquement imposées par les possibilités du "Térébel" et une amélioration portant sur tout ou partie des points suivants :

- Vitesse de manoeuvre
- Hauteur de la tranche d'eau
- Hauteur de forage
- Hauteur de carottage,

ne pose pas de problème de principe.

Plus précisément l'extension des possibilités actuelles aux limites suivantes :

- Vitesse de manoeuvre : 1 à 1,5 m/s
- Hauteur de la tranche d'eau : 5 000 à 6 000 mètres
- Hauteur de forage : 200 à 300 mètres
- Hauteur de carottage : 2 à 4 mètres,

permettrait de créer par cette méthode le moyen rapide de reconnaissance géologique des très grands fonds marins qui apporterait le critère de décision pour la localisation précise et limitée d'une campagne de forage de reconnaissance.

Toutefois, au cours de cette première campagne, par suite de l'absence d'un dispositif permettant la rentrée de l'outil dans le trou déjà foré, il n'était possible que de prélever une seule carotte par puits.

Depuis cette époque, l'I.F.P. a étudié et expérimenté par faible profondeur d'eau un dispositif de rentrée dont le principe (figure 7) consiste à utiliser un étroit pinceau d'ultra-sons émis par un sonar panoramique posé sur le fond pour repérer, par rapport au puits, l'extrémité de l'outil préalablement descendu à proximité du fond, puis à agir sur le support de surface en le déplaçant au moyen de l'ancrage dynamique pour amener l'outil exactement à la verticale du point visé.

L'adaptation des composants essentiels de ce dispositif au cas du flexo-carottage profond est en cours.

En outre, à ce premier complément d'équipement viendra s'ajouter une sonde de diagraphies qui, intercalée dans la garniture rigide, permettra, après forage et carottage, d'enregistrer la résistivité du terrain et le rayonnement γ naturel.

Ces deux adjonctions, dont l'expérimentation est prévue lors d'une prochaine campagne du "Térébel", devraient accroître considérablement la rentabilité déjà intéressante du procédé de flexoélectrocarottage appliqué à la reconnaissance des grands fonds marins.

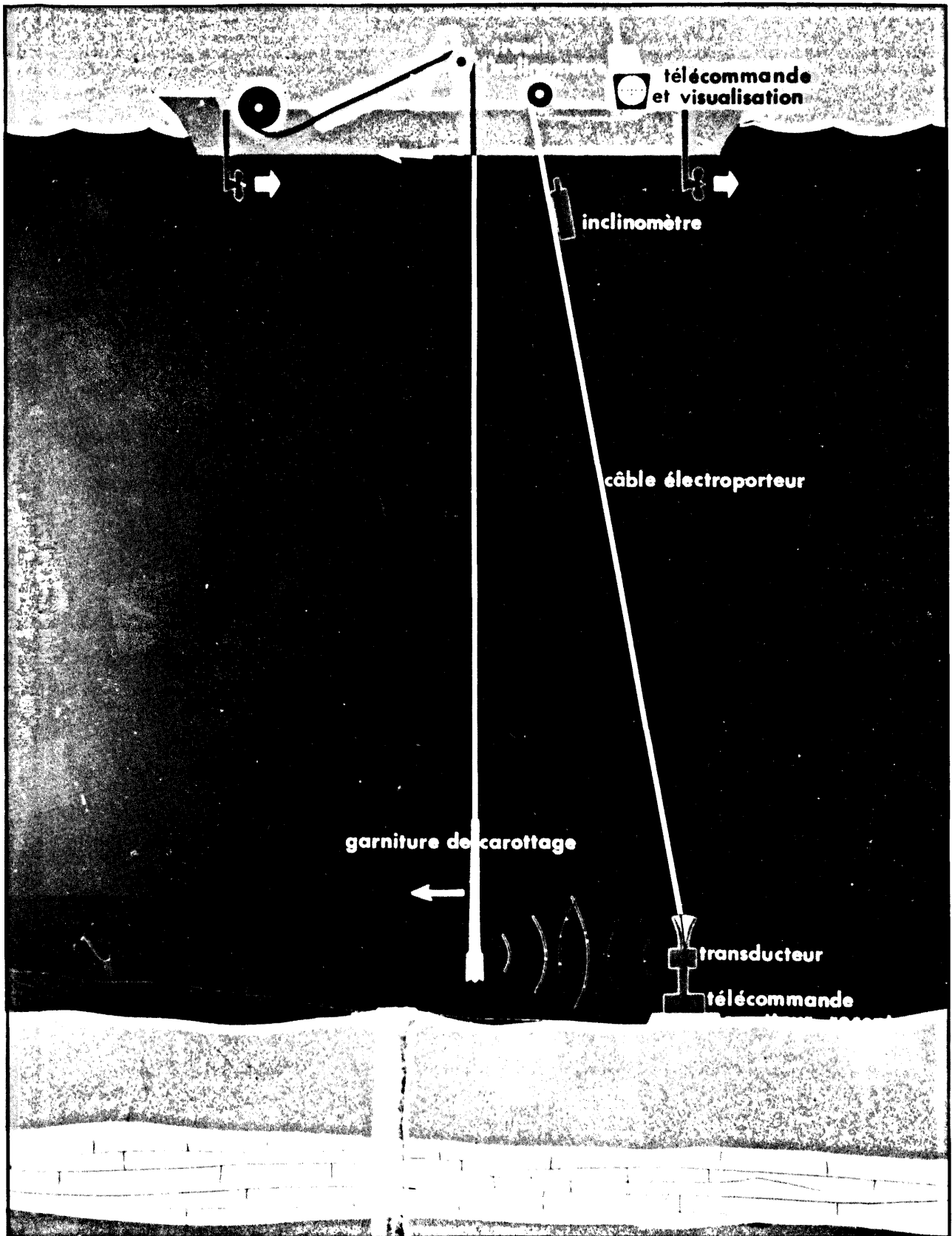


Figure 7 - Principe de sonar de rentrée I.F.P.

DEROULEMENT DES OPERATIONS

par J.M. AUZENDE, J. MASCLE et J.L. OLIVET (CNEXO - C.O.B.)

La campagne de forage profond en Méditerranée occidentale par la méthode de Flexo-Electro-Carottage s'est déroulée du 3 avril au 27 mai 1970. Cette mission fut en grande partie dépendante des conditions météorologiques très variables à cette époque de l'année (cf. tableau). Les autres éléments déterminants ont été les faibles possibilités de navigation du navire foreur "Térébel" et des difficultés à obtenir un sondage efficace sur les bateaux accompagnateurs qui ont été successivement : la WINNARETTA SINGER du Musée Océanographique de Monaco, l'ESPADON du Centre d'Etudes Marines Avancées et la CATHERINE-LAURENCE du Laboratoire de Géologie Dynamique de la Faculté des Sciences de Paris. D'autre part, le secteur choisi pour cette campagne (entre Marseille et Nice, au Nord de 42° 30 N) est placé sous contrôle de la Marine Nationale à qui il faut soumettre le plan des opérations au moins une semaine à l'avance.

Une réunion préparatoire le vendredi 3 avril à laquelle participaient : G. ALLA, J. ALINAT et O. LEENHARDT du Musée Océanographique de Monaco, M. LEVALLOIS, de l'Institut Français du Pétrole (Chef de Mission à bord du Térébel), J.M. AUZENDE et X. LE PICHON du Centre Océanologique de Bretagne, fixe les modalités de la mission. Chaque forage sera précédé par une reconnaissance effectuée par le bateau accompagnateur : bathymétrie - sondage de vase - sismique continue (Sparker). Une fois la reconnaissance faite, le bateau accompagnateur placera le Térébel au point choisi. Le début des opérations est fixé au samedi 4 avril.

Samedi 4 et dimanche 5 avril :

La Winnaretta Singer et le Térébel sont bloqués respectivement à la Ciotat et à Port-de-Bouc en raison du mauvais temps.

Lundi 6 avril :

La Winnaretta effectue les premiers essais en mer. Le Sparker est embarqué et dans la soirée elle se dirige vers la première zone d'étude choisie, c'est-à-dire le sud du banc des Blauquières.

Mardi 7 avril :

Le fonctionnement du Sparker est défectueux. Le sondeur de vase permet cependant de déterminer deux points de forages intéressants au niveau de l'ennoyage du socle des Blauquières sous la plaine abyssale.

mercredi 8 avril :

Le Térébel est en mer pour opérer au déroulement et à l'enroulement sous tension de son câble.

Du jeudi 9 avril au dimanche 12 avril

Le mauvais temps ne permet pas d'effectuer de nouvelles reconnaissances.

Lundi 13 avril :

Le Térébel retourne à quai à Toulon. Après le premier forage *T 0* réalisé sous la direction de l'I.F.P., il avait été prévu un arrêt technique de 8 jours pour réaliser quelques modifications sur le système de flexoforage et pour installer le procédé de navigation Toran sur le Térébel. En raison des prévisions météorologiques très défavorables, nous plaçons cet arrêt technique pendant la période du mardi 14 avril au samedi 18 avril. Pendant cet arrêt, la Winnaretta Singer est remplacée par l'Espadon.

Dimanche 19 avril :

Les conditions météorologiques sont encore très mauvaises. On décide de déplacer la zone de travail vers l'est où le mistral se fait moins sentir. Les zones sud des Blauquières et sud Toulon sont provisoirement abandonnées au profit des zones sud de Cannes et sud de Nice.

Lundi 20 avril :

L'Espadon appareille de Toulon et se dirige vers le sud de Cannes pour faire l'étude d'un site. Une panne dans le système d'ancrage dynamique contraint le Térébel à rester à Toulon.

Mardi 21 avril :

L'Espadon continue la reconnaissance du canyon de Saint-Tropez et détermine un point favorable pour le forage. Le Térébel appareille dans la soirée pour rallier le point choisi.

Mercredi 22 avril :

L'objectif de ce premier forage est d'atteindre le substratum du canyon de Saint-Tropez. Ce substratum doit être accessible au niveau du thalweg sous une faible couverture de vase (d'après les données du sondeur de vase). Alors que le Térébel est en place sur le point, un avis défavorable de la Marine Nationale et un incident au cours de la descente de l'électroforeuse obligent à arrêter l'opération. Le Térébel dérive très rapidement en raison d'un fort courant et l'engin atteint le fond sur le flanc nord du canyon. De ce fait, le substratum solide n'est pas atteint et une carotte de vase compacte (*T 1*) est prélevée entre 38 et 39 m sous le fond.

Jeudi 23 avril :

L'Espadon détermine une large zone favorable au forage dans une zone au sud-est de Cannes au bas de la pente continentale localement très abrupte. Au cours d'un premier forage, le substratum est atteint sous 8 m de sédiments meubles.

Cette couverture est insuffisante pour maintenir l'électroforeuse dans une position verticale. Un deuxième forage est donc implanté. Le substratum est atteint sous 12,5 m de sédiments et le carottage est fait entre 12,8 et 12,93 m. 13 cm de socle constitués par un conglomérat à éléments cristallins sont prélevés (T 2).

Vendredi 24 avril :

L'opération projetée est annulée, la Marine Nationale n'ayant pas accordé l'autorisation nécessaire.

Arrêt technique (réparation - ravitaillement) à Saint-Tropez.

Samedi 25 avril :

Des incidents sur le radar de l'Espadon retardent le départ des navires. Le Térébel est cependant en place en fin de matinée dans une zone qui marque la limite de l'ennoyage du haut-fond du Méjean. Un nouvel incident dans le fonctionnement de l'électroforeuse interrompt les opérations. A la reprise du forage, le substratum solide est atteint dans de bonnes conditions sous 25 m de sédiments. Au cours du carottage T 3, la foreuse se coince à deux reprises après 10 cm de pénétration dans la roche. L'appareil est alors remonté mais le carottier est vide.

Du dimanche 26 avril au jeudi 30 avril :

Les mauvaises conditions météorologiques nous forcent à rester au port. Cet arrêt est mis à profit pour faire quelques mises au point sur les appareils de radionavigation et à confectionner un système de balisage par bouée qui permettra au Térébel de conserver plus facilement sa position.

Vendredi 1er mai :

La reprise des opérations se fait dans une zone située au sud du cap Ferrat, sur ce qui avait été interprété comme le prolongement du cap d'Antibes. A ce niveau, une structure d'orientation NW - SE détermine une dénivellation de 500 à 600 m de la pente continentale. Sur le sondeur de vase de l'Espadon apparaît un fort réflecteur vers 20 m de profondeur. Le forage T 4 rencontre ce niveau entre 18 et 19 m, mais la vitesse de pénétration augmente encore jusqu'à 38 m. Le carottage à 40 m donne 110 cm de vase bleue compacte.

Samedi 2 mai :

Le site choisi est celui du carottage T 5. Le radar du Térébel est en panne. La mer agitée perturbe les enregistrements du sondeur de vase de l'Espadon. Le Térébel est placé seulement au moyen de la bathymétrie. Le forage T 5 rencontre 40 m de terrains meubles. Au moment du carottage, le système de déclenchement du carottier ne fonctionne pas et l'appareil remonte vide.

Dimanche 3 mai :

Le site choisi est le canyon de Cannes. Dans le thalweg du canyon, le sondeur de vase repère un niveau dur affleurant qui avait déjà été reconnu en sismique réflexion (PAUTOT - 1969). Le Térébel maintient exactement sa position grâce au Toran. Le substratum solide est rencontré sous 7 m de vase. Cette couverture semble insuffisante pour assurer le maintien de l'électroforeuse dans une position

verticale. Le carottage T 6 pénètre de 50 cm dans le substratum, mais après de grosses difficultés au moment de l'arrachement, le carottier remonte vide.

Lundi 4 mai :

L'objectif de ce forage est de reconnaître la nature d'un dôme sédimentaire situé au sud du cap Ferrat dans le prolongement du cap d'Antibes. Ce dôme a été reconnu par sismique réflexion (PAUTOT - 1969) où il apparaît comme une zone transparente sans réflecteur. L'Espadon effectue une reconnaissance de cette structure au sondeur de vase et confirme le positionnement radar du Térébel. Lors de la prise d'ancrage dynamique, le Térébel dérive fortement vers l'ouest et la foreuse glisse sur la pente. Le forage T 7 s'effectue dans le sédiment meuble jusqu'à une profondeur de 43 m. Une carotte de vase molle avec des taches de réduction est obtenue à 43 m sous le fond.

Mardi 5 mai :

La zone choisie pour le forage est dans le sud du cap Ferrat. La sismique réflexion (PAUTOT - 1969. Coupe II') montre l'affleurement d'un niveau dur. Au cours de sa reconnaissance, l'Espadon retrouve cet affleurement et place une bouée. Au cours de la descente de l'électroforeuse, on constate que la bouée dérive avec le courant. 1 000 m de câble sont déjà à l'eau et les manoeuvres de repositionnement s'avèrent difficiles. Deux minutes après le début du forage T 8, le niveau dur est atteint sous 1,4 m de sédiments. De ce fait, l'appareil ne peut pas se maintenir à la verticale et son mouvement "use" la roche. Après avoir coincé à deux reprises, le carottier est déclenché, mais il remonte vide.

Mercredi 6 mai :

Le mauvais temps entraîne l'interruption des travaux et les deux navires changent de zone et se dirigent vers Toulon.

Du jeudi 7 mai au dimanche 10 mai :

Le Térébel fait route vers Toulon le 7 mai.

Deux jours d'arrêt technique suivis de deux jours de mauvais temps retiennent les deux navires à quai à Toulon.

Le 8 mai les objectifs de la campagne en cours et les moyens mis en oeuvre sont présentés à des journalistes de l'ORTF.

Lundi 11 mai :

L'Espadon effectue des essais d'un nouveau sondeur. Ils se révèlent négatifs à plus de 300 m de profondeur. Le Térébel se dirige et se positionne sur le dôme SH à l'aide du Rana. Au cours de la descente, une fuite dans le système de freinage du câble interrompt les travaux sur le point T 9.

Mardi 12 mai :

Le sondeur de l'Espadon est toujours inutilisable et nous envisageons de faire appel à la Catherine-Laurence (Laboratoire de Géologie Dynamique de la Faculté des Sciences de Paris). Le Térébel se positionne au moyen du Rana sur le dôme SH. Le réseau n° 1 est imprécis et le lever de doute laisse une incertitude de

4 hyperboles (5 200 m). La bathymétrie semble indiquer une position plus sud que celle prévue. Le forage *T 9 bis* a pour résultat une carotte de 40 cm de vase grise grumeleuse prélevée entre 41 et 42 m. La faible longueur de la carotte obtenue est due au tassement occasionné volontairement pour assurer le maintien de la vase dans le carottier.

Mercredi 13 mai :

Les travaux sont interrompus en raison d'une interdiction de forer venant de la Marine Nationale.

Jeudi 14 mai :

Un nouveau changement de zone en raison du mauvais temps nous amène dans le sud du banc du Magaud. La Catherine-Laurence positionne le Térébel au niveau de l'ennoyage du socle des Maures (BELLAICHE, 1969) sous la plaine abyssale. Le sondeur de vase permet de suivre cet ennoyage sous environ 25 m de sédiments. La mise en place du forage *T 10* s'accompagne d'une dérive du Térébel vers le sud, et sous 43 m de sédiments, la carotte prélevée est constituée par un sable grossier.

Vendredi 15 mai :

Nouvelle tentative sur le dôme SH. La Catherine-Laurence place le Térébel exactement sur le sommet du dôme. Le forage *T 11* s'effectue très rapidement jusqu'à 41 m où un niveau sableux (4 m d'épaisseur) freine considérablement le forage. Le carottier est déclenché à 45,5 m et remonte une vase grise sableuse et du sable terrigène.

Samedi 16 et dimanche 17 mai :

Arrêt technique à Toulon.

Lundi 18 mai :

La Catherine-Laurence n'est pas disponible. Le Térébel tente de se placer au moyen du Rana sur le dôme SH. Une panne du réseau n° 2 l'oblige à interrompre le travail.

Mardi 19 mai :

Interruption en raison du mauvais temps.

Mercredi 20 mai :

La Catherine-Laurence place le Térébel sur un flanc du dôme SH à une profondeur de 48 mètres supérieure à celle du carottage *T 11*. Ceci afin de forer au-dessous du banc de sable déjà reconnu. Le forage *T 12* s'effectue sans incidents jusqu'à 45 m où une carotte de vase compacte verte est prélevée.

Jeudi 21 mai :

Le Térébel regagne Toulon en raison du mauvais temps. La Catherine-Laurence réussit à mouiller deux bouées sur les sommets des dômes CL et T.

Vendredi 22 et samedi 23 mai :

En raison du mauvais temps persistant, nous décidons de faire une escale technique de deux jours à Toulon.

Dimanche 24 mai :

Le Térébel retrouve la bouée placée sur le sommet du dôme CL. Sa position correspond aux coordonnées Rana déjà connues. Le forage *T 13* s'effectue très rapidement jusqu'à 43 m de profondeur où 1 m de vase verte à passées sablonneuses est carotté.

Lundi 25 mai :

Le Térébel se place, grâce à la bouée, sur le sommet du dôme T. Le forage *T 14* donne une carotte de 60 cm de vase grise très compacte à 45 m sous le fond.

Mardi 26 et mercredi 27 mai :

Une nouvelle tentative de forage sur le dôme T est interrompu par le mauvais temps. Le Térébel rejoint son port d'attache dans la journée du 27.

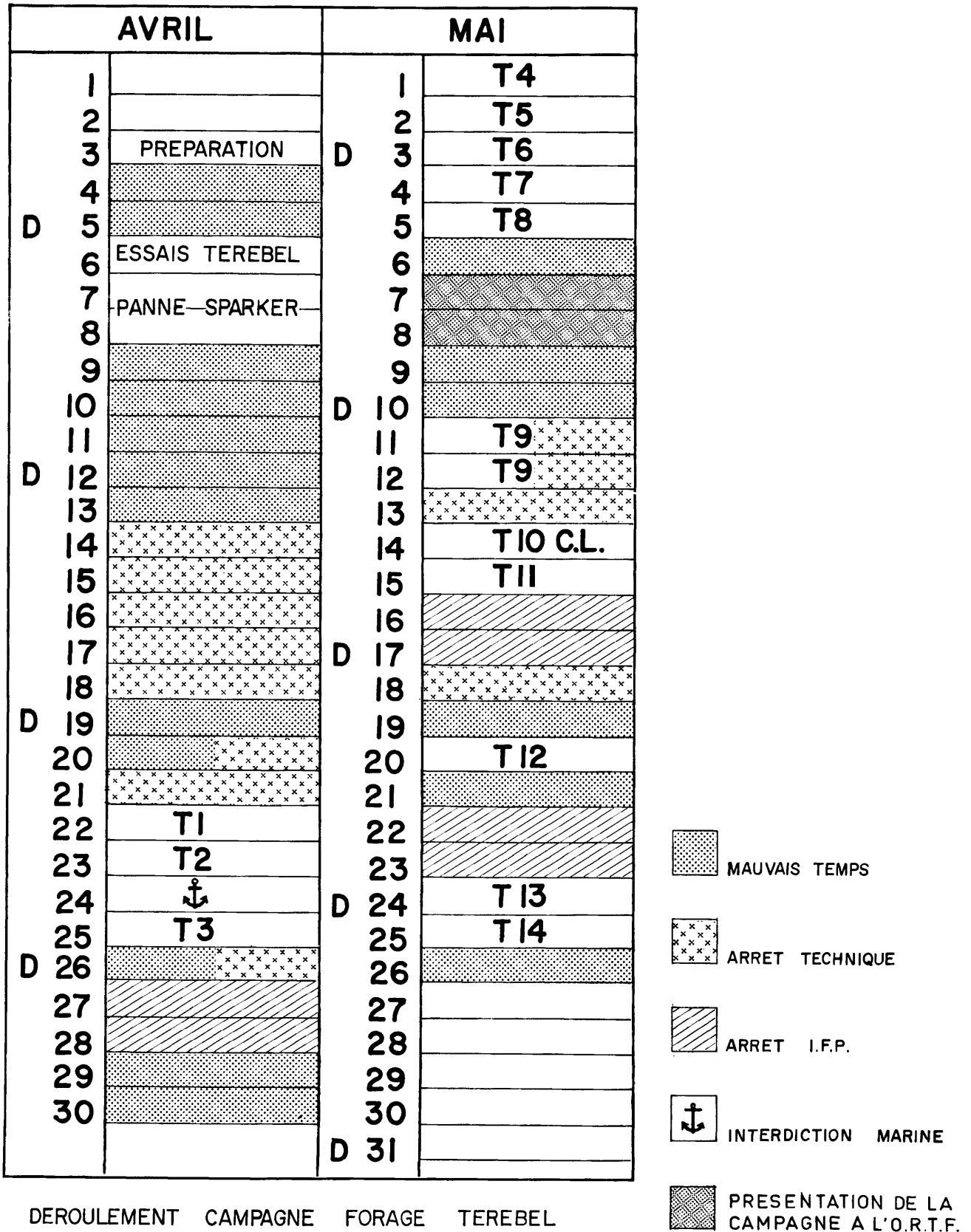


Figure 8

METHODES D'ETUDE DES ECHANTILLONS *)

1 - PROPRIETES PHYSIQUES

1.1 - Teneur en eau (B.R.G.M.)

Méthode classique à l'étuve.

1.2 - Fractions fin/grossier (C.O.B.)

Tamisage sur tamis 63 μ .

1.3 - Granulométrie de la fraction fine (B.R.G.M.)

par compteur COULTER

division en 12 classes : 20 μ , 16 μ , 12,5 μ , 10 μ , 8 μ , 6,3 μ , 5 μ , 4 μ , 3,1 μ , 2,5 μ , 2 μ et 1,6 μ .

2 - MINERALOGIE

2.1 - Examen des frottis (C.O.B.)

Les frottis ont été réalisés à partir du sédiment recueilli dans la carotte elle-même ou sur le système de prélèvement (tube et ogive).

L'examen de ces frottis a permis d'apprécier (sans comptage réel) les classes dimensionnelles, la fraction organique et la fraction terrigène. Il est à noter ici que sur les frottis la fraction grossière est toujours surestimée.

Nous avons utilisé la classification des sédiments meubles de J. BOURCART car elle a l'avantage d'être basée sur un critère facile, la granulométrie, et en outre elle est liée aux propriétés physiques du sédiment. Trois classes principales ont été séparées :

- . les sables : fraction supérieure à 0,1 mm
- . les sablons : 100 à 20 μ
- . les poudres : 20 à 1 μ

Nous avons ensuite déterminé par grandes classes les minéraux et les organismes.

*) Pour chaque technique sont cités entre parenthèses les chercheurs ou les organismes ayant effectué le travail.

Pour la classification des sédiments, nous utilisons la division suivante qui a l'avantage de la simplicité nécessaire au cours d'un examen microscopique sur frottis :

- . plus de 75 % de calcaire : vase calcaire
- . teneur en calcaire entre 25 et 75 % : vase terrigène
- . teneur en calcaire inférieure à 25 % : "argiles".

2.2 - Minéraux lourds (B.R.G.M.)

Les traitements sont schématisés dans le tableau ci-joint (figure 9).

Trois lots granulométriques ont été examinés,

- . la fraction de 0,50 à 0,050 mm
- . les fractions I, II, III de l'ordre de 0,050 à 0,020 mm
- . les fractions IV, V de l'ordre de 0,020 à 0,010 mm.

Séparation densimétrique et étude sur les fractions $d > 2,89$.

L'échelle de l'estimation quantitative des minéraux est la suivante :

| | | | |
|--------------------|---------------|-------------------|-------------|
| TA : très abondant | > ~ 90 % | PA : peu abondant | ~ 10 à 30 % |
| A : abondant | ~ 60 % à 90 % | R : rare | ~ 1 à 10 % |
| M : moyen | ~ 30 % à 60 % | d : décelé | < ~ 1 % |

2.3 - Minéralogie de la phase argileuse - paramètres cristallographiques de l'illite (S.N.P.A.)

Les diagrammes ont été effectués sur plaquettes orientées obtenues à partir de suspensions décarbonatées.. Deux séries de diagrammes ont été enregistrées :

- diagrammes à vitesse habituelle ($8^\circ/\text{mn}$) pour la mesure conventionnelle de la largeur du réflexe 001 de l'illite à mi-hauteur (KUBLER, 1964) ;
- diagrammes à vitesse lente ($2^\circ/\text{mn}$) pour la mesure des hauteurs des différents réflexes h_1 à h_{12} (figures 10 et 11). Ces mesures ont été utilisées pour calculer les rapports $\frac{005}{001}$, $\frac{005}{002}$, $\frac{002}{001}$ de l'illite et pour estimer l'abondance relative des minéraux argileux : chlorite, kaolinite, illite, interstratifiés irréguliers illite-montmorillonite. Cette abondance relative, bien qu'exprimée dans les tableaux avec deux chiffres significatifs, n'est qu'une *évaluation approchée*.

L'exploitation des diagrammes d'argiles est due à P. RICARRERE.

2.4 - Données paléoclimatiques des argiles (H. CHAMLEY)

Les argiles des sédiments meubles du bassin méditerranéen nord-occidental sont héritées du continent, et en particulier du bassin versant du Rhône, dans lequel elles constituent une partie importante des formations superficielles : altérations, sols. Les climats successifs qui ont affecté le continent ont déterminé des modifications variées de ces formations superficielles, notamment dans les proportions relatives et l'état des différents minéraux argileux : à l'image des modèles climatiques actuels en fonction de la latitude (MILLOT, 1964 ; PEDRO, 1968), les modèles climatiques passés se sont répartis, dans le bassin du Rhône, entre un type froid-sec, respectant les minéraux originels, et un type plus ou moins chaud-humide, conduisant à leur dégradation et à leur remplacement partiel par des minéraux issus de la pédogenèse. Or les minéraux argileux des sédiments ne sont modifiés

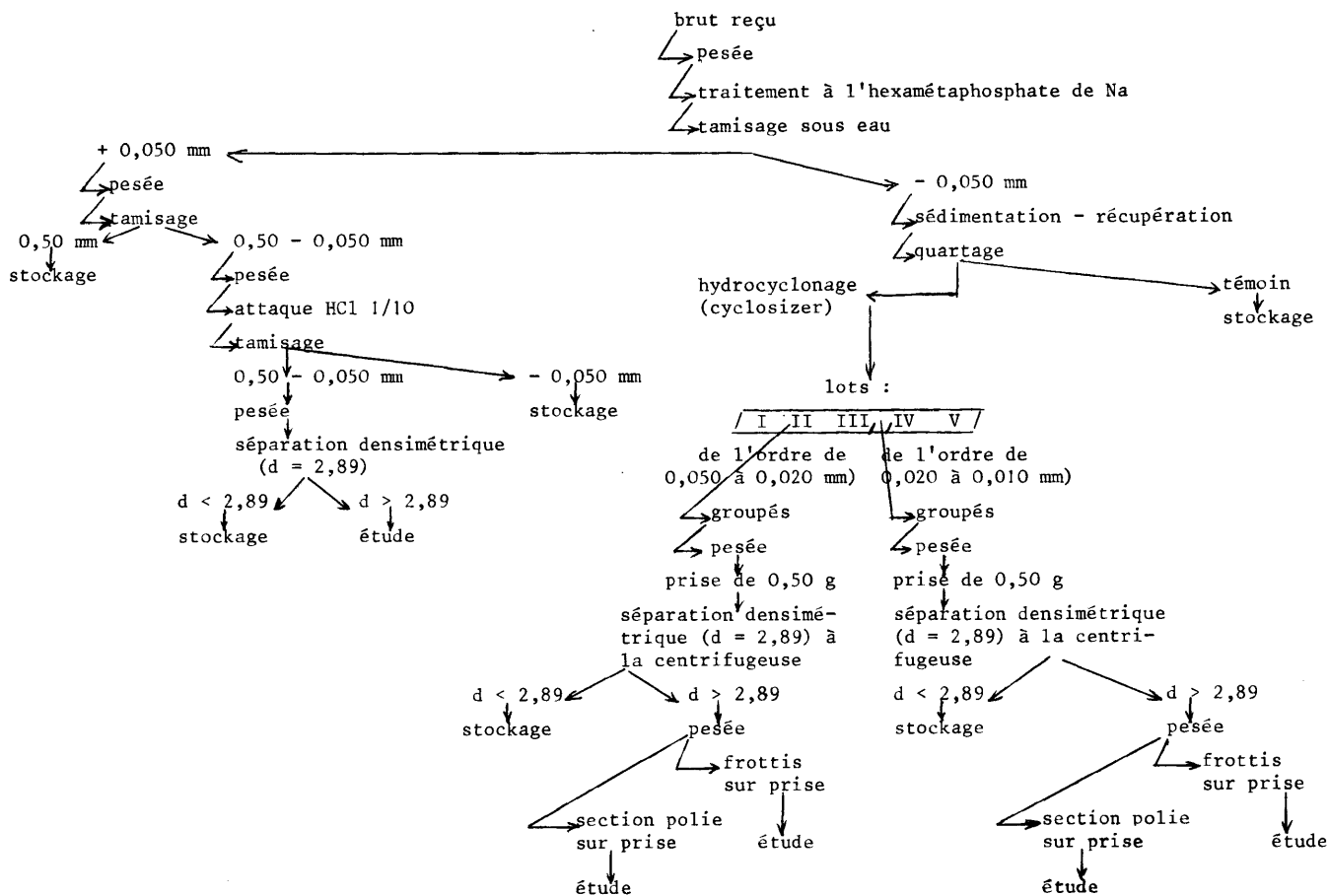


Figure 9 - Schéma de traitement

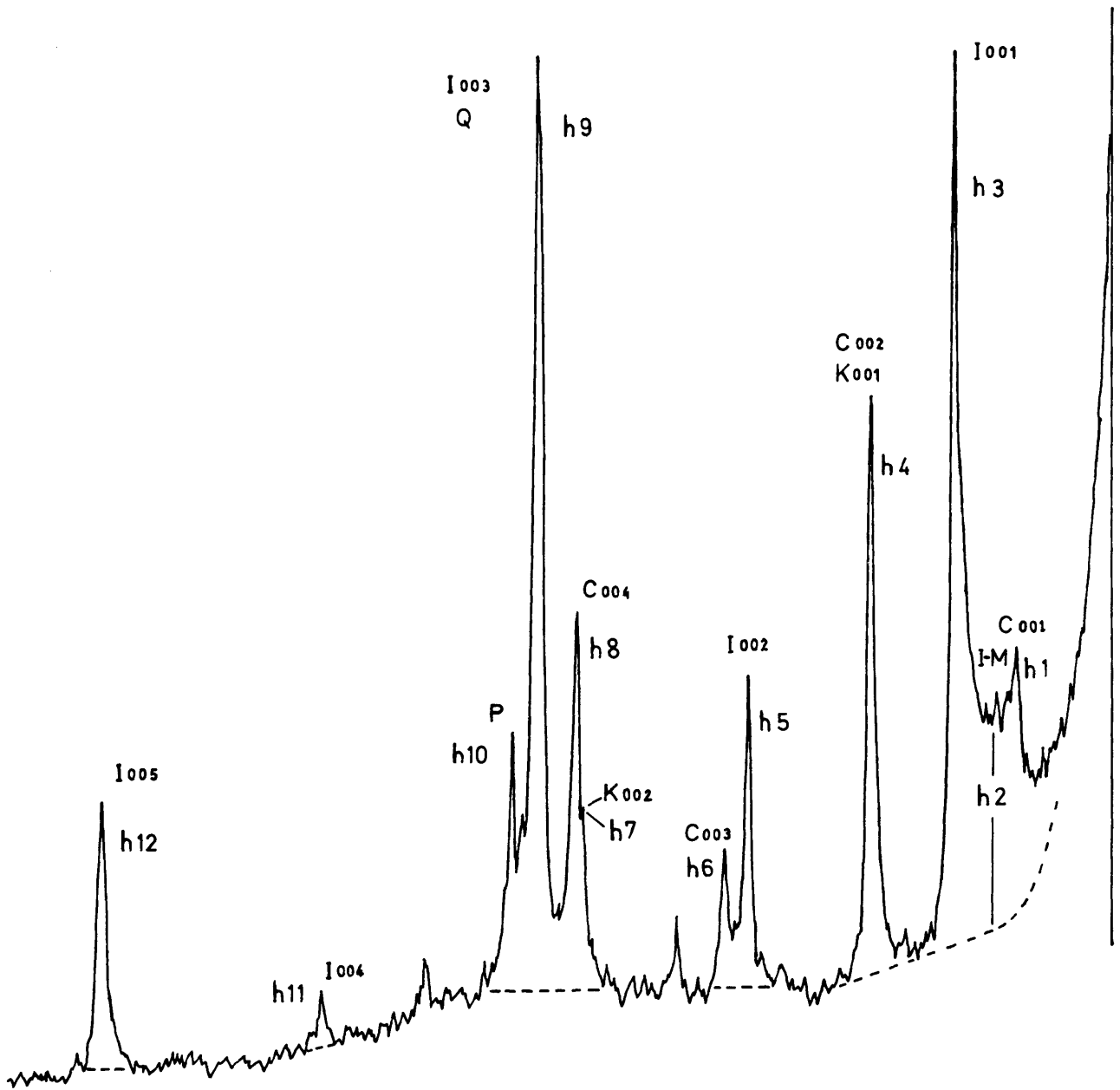


Figure 10

Exemple de diagramme d'une phase argileuse avec interstratifiés irréguliers I-M et kaolinite (T 1, 35-37)

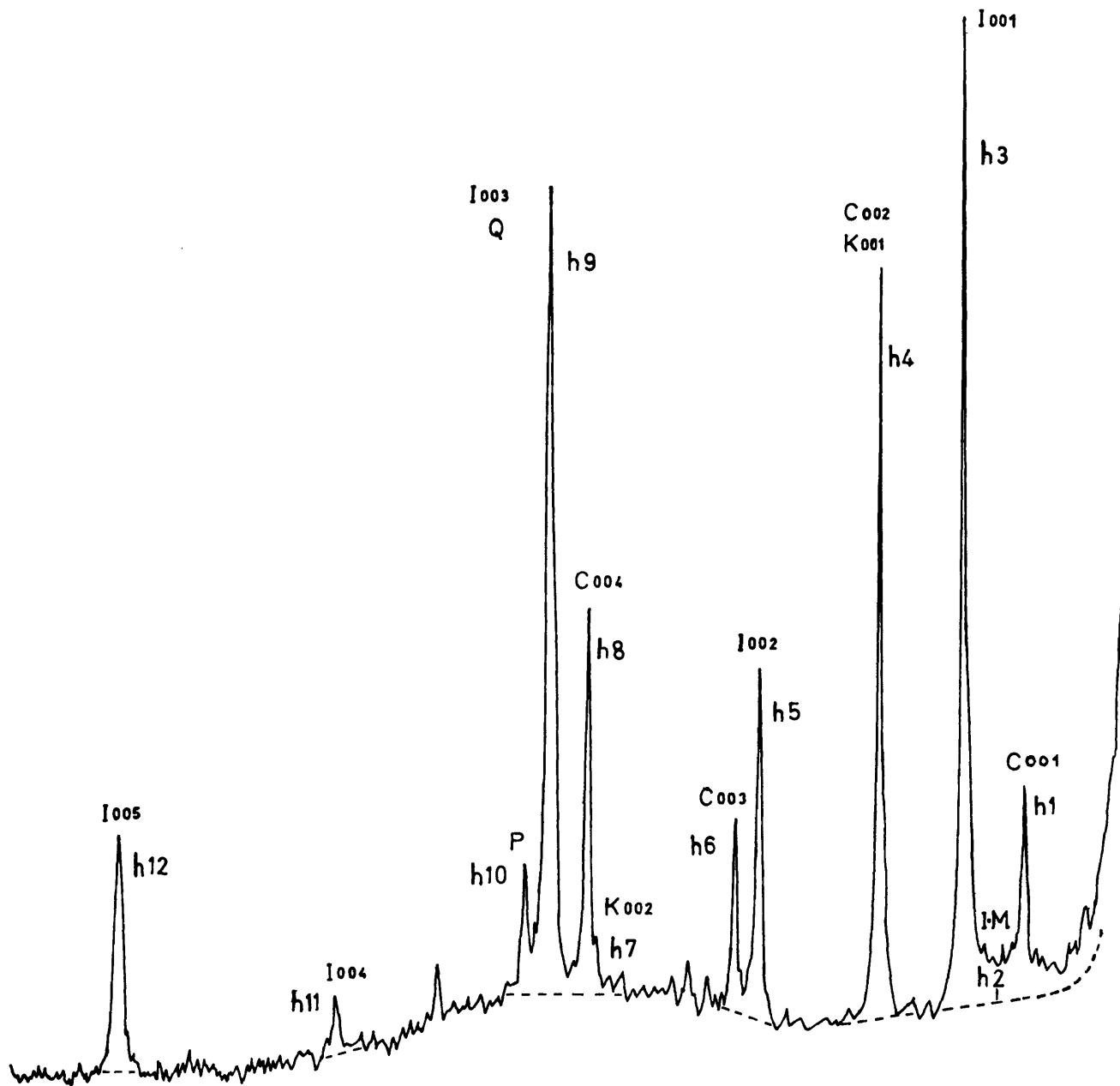


Figure 11

Exemple de diagramme d'une phase argileuse pauvre en interstratifiés irréguliers I-M et kaolinite (T 9, 4-6)

que d'une manière très ténue dans les couches superficielles (CHAMLEY, 1968 a). Il en résulte qu'ils sont susceptibles de permettre la reconstitution des paléoclimats continentaux.

La justification de cette démarche est donnée par la confrontation des données climatiques des argiles avec celles des Foraminifères planctoniques, des Ptéropodes (BLANC-VERNET et al., 1969) ou des pollens (FRANCAVILLA et TOMADIN, 1970), et par la correspondance qui existe entre la minéralogie et la morphologie des argiles (CHAMLEY, 1969 a).

La méthode proprement dite (CHAMLEY, 1969 b) repose sur l'examen détaillé des diagrammes de diffraction X, obtenus à partir d'agrégats orientés de particules décarbonatées inférieures à 2 microns. Le critère de base est la mesure, en $1/10^\circ \theta$, de la largeur du pic à 10 Å de l'illite sur l'essai glycolé, à mi-hauteur au-dessus du fond continu stabilisé ; le pic est d'autant plus large, pour un minéral de nature et d'origine donnée, que l'altération est plus forte, donc le climat plus chaud et humide. Des critères annexes, dont la signification est également climatique, permettent éventuellement de préciser le rôle de la diagenèse ou de relever des anomalies : il s'agit d'appréciations chiffrées sur l'abondance relative des minéraux et sur leur état (complexe gonflant, chlorite, kaolinite, feldspath de la fraction fine). Notons enfin que la couleur des suspensions décalcifiées est généralement de tendance beige dans les niveaux sédimentaires "chauds", et traduit la mobilisation du fer dans les sols continentaux : elle est grise dans les niveaux "froids".

3 - MICROPALÉONTOLOGIE

3.1 - Foraminifères (Y. LE CALVEZ et L. PASTOURET)

1 - Méthodes d'étude

1.1 - Isolement et traitement de la microfaune

Les échantillons prélevés à différents niveaux des carottes ont été préalablement fractionnés en deux lots sur un tamis de maille égale à 63 μ . Seul le refus de tamis fera l'objet de cette étude. Dans un premier stade, des observations à la loupe binoculaire ont été effectuées dans le but d'examiner l'ensemble des constituants détritiques et organiques du sédiment. Les traits dominants de chaque échantillon ont été figurés sous forme de tableaux.

Dans un second stade de l'analyse, l'observation a porté sur la microfaune de foraminifères benthiques et planctoniques.

- Foraminifères benthiques :

Seule a été évaluée l'abondance relative des différentes espèces rencontrées dans la totalité de la fraction grossière.

- Foraminifères planctoniques :

L'étude de ce groupe a été réalisée de la façon suivante :

- . tout d'abord, estimation de l'abondance relative des espèces rencontrées
- . puis dénombrement de certaines espèces préalablement choisies. Afin de faciliter les comptages, l'ensemble de la fraction grossière de chaque échantillon

a été fragmenté sur des tamis de maille égale à 0,4 mm et 0,16 mm (série AFNOR). Un volume constant de sédiment égal à 1/8 cm³ a été prélevé dans chaque refus de tamis. Les pourcentages de chaque espèce ont été calculés sur une fraction de sédiment isolée par la méthode du quart. Les résultats ramenés à un volume constant sont comparables.

1.2 - Description des espèces de foraminifères planctoniques utilisées :
(figure 12 à laquelle on fera référence tout au long de ce volume)

Les espèces ayant fait l'objet des comptages sont les suivantes ; la répartition latitudinale utilisée est celle décrite par BE et HAMLIN (1967) :

a) - Espèces tropicales :

- *Globigerinoides trilobus* (Reuss) forma *sacculifera* Brady = *G. quadrilobatus sacculifer* (Brady) (in : BLOW, 1969).

- *Globigerinoides trilobus* (Reuss) forma *typica* = *G. quadrilobatus trilobus* (Reuss) (in : BLOW, 1969).

BE et HAMLIN (1967) proposent de regrouper les formes avec ou sans loge en forme de sac ("sac like chamber") sous le même nom : *Globigerinoides sacculifer* (Brady) par opposition à la dénomination *Globigerinoides trilobus* (Reuss) réservée aux espèces "fossiles". Il nous a semblé préférable de faire la distinction entre ces deux formes.

Diagrammes polaires -

Fréquence des espèces planctoniques de

Foraminifères.

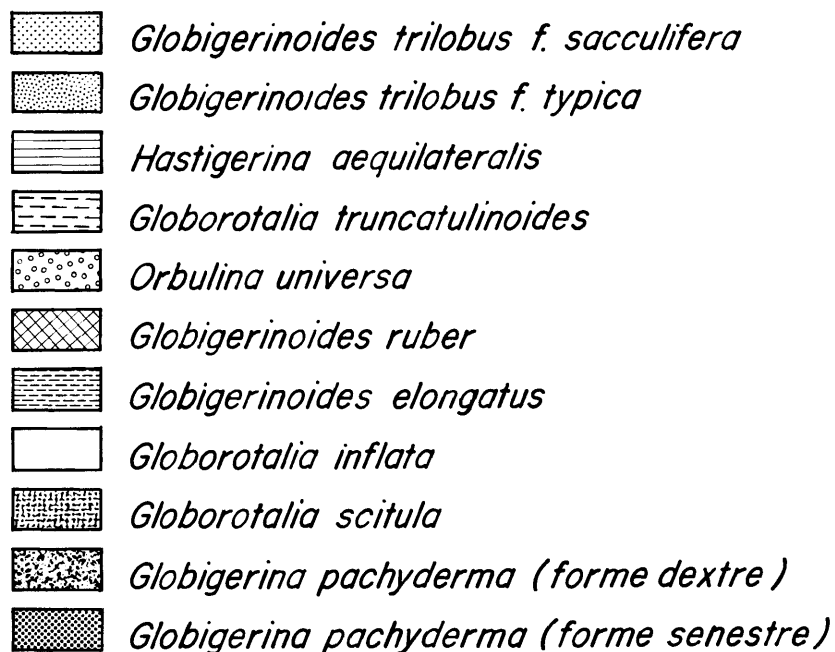


Figure 12

Elles sont caractérisées par l'aspect de leur test qui présente une structure en rayon de miel ("honey comb structure"). Les individus référables à la première ont une dernière loge en forme de sac plus ou moins étiré.

b) - Espèces subtropicales

- *Hastigerina aequilateralis* (Brady) = *Globigerinella aequilateralis* (Brady).

Elle a été rapportée au genre *Hastigerinella* par BE (1969). La plupart des individus rencontrés dans cette étude présente un test planispiral à spire d'enroulement assez ouverte et le plus souvent symétrique. Toutefois, des formes présentant quelques différences ont été rencontrées ; les unes ont un test plus évolutive, les autres ont une dernière loge plus développée que la normale dans une direction perpendiculaire au plan d'enroulement du test.

- *Globorotalia truncatulinoides* (d'Orbigny)

Les individus rapportés à cette espèce ont, d'une façon générale, un test dont la hauteur de spire est peu élevée ; de ce fait, ils sont moins tronconiques que l'espèce type. Ils pourraient être rapprochés de *G. truncatulinoides pachytheca*, Blow.

Le sens d'enroulement du test est le plus souvent senestrogyre.

- *Orbulina universa* (d'Orbigny)

Le test est plus ou moins épais ; il présente des variations dans la densité et le diamètre des pores. Quelques individus ont montré des sortes d'excroissances allongées et aplaties ; ils ne sont pas référables à *O. suturalis* Brönniman.

- *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny)

Cette espèce présente une ouverture principale assez large prenant appui sur les deux avant-dernières loges, des ouvertures secondaires bien développées. Quelques individus de la variété *G. ruber var rosea* ont été trouvés ; ils ont été dénombrés communément.

- *Globigerinoides elongatus* (d'Orbigny)

Cette espèce a été dénombrée séparément de la précédente. Elle présente les caractères suivants : test épais et compact grossièrement perforé ; loges mal individualisées ; ouverture principale (bordée par un épaississement du test) assez étroite dont la base se situe au voisinage de la suture des deux loges précédentes ; ouvertures secondaires petites.

D'après BANNER et BLOW (1960), il n'est pas exclu qu'elle soit apparentée à *G. ruber*. Nous l'avons rapprochée de *Globigerinoides ruber var. B.* proposée par ROSENBERG - HERMANN (1965). BOLTOVSKOY (1968) l'a trouvée dans le plancton pêché dans la partie orientale de l'Atlantique tropical ; il l'a rattaché au groupe *G. ruber*.

c) - *Globorotalia inflata* (d'Orbigny)

Elle présente des variations morphologiques. Ont été dénombrés sous ce nom les individus à test planoconvexe lisse à 3 - 5 loges au dernier tour, à ouverture extra-ombilicale plus ou moins large, ainsi que des individus de taille plus petite à 3 - 4 loges au dernier tour, à ouverture assez arrondie bordée par une lèvre, dont le test est plus mince et légèrement épineux.

Nous avons dénombré séparément des individus que l'on pourrait rattacher à cette espèce mais qui en diffèrent par un test plus globuleux non plano-convexe, un nombre de loges plus élevé.

Le sens d'enroulement est souvent sénestrogyre à 95 %. C'est une espèce de transition entre les formes subarctiques et subtropicales (BE et HAMLIN, 1967). Dans les sédiments des carottes prélevées en Méditerranée, elle a le comportement d'une espèce tempérée (BLANC-VERNET et PASTOURET, 1969).

d) - *Globorotalia scitula* (Brady)

La plupart des individus ont cinq loges au dernier tour de spire, quelquefois six. Le sens d'enroulement est généralement dextrogyre. C'est une espèce d'eau profonde (BE et HAMLIN, 1967). Dans les carottes de Méditerranée, les variations de sa fréquence suivent celles des formes d'eau froide (PARKER 1958, TODD 1958, BLANC-VERNET 1969, PASTOURET 1970).

e) - Espèce subarctique

Globigerina pachyderma (Ehrenberg)

Elle présente les caractères suivants : test subquadratique ou globuleux, épais, à enroulement dextre ou sénestre ; le nombre de loges au dernier tour est de 4 - 5, la dernière est quelquefois volumineuse, elle est munie d'une lèvre.

Il faut préciser que des formes moins globuleuses, à 4, 4 1/2, 5 loges au dernier tour, dextres ou sénestres, à ouverture étroite ombilicale, extra-ombilicale et loge bien individualisées ont été dénombrées sous le nom de *G. aff. pachyderma* sans être incluses dans les calculs de fréquence des différentes espèces. D'après KENNETT (1968) elles correspondraient à des adaptations écologiques de l'espèce : formes à 4 1/2 - 5 loges, sénestres dans les eaux subantarctiques, formes à 4 - 4 1/2 loges, dextres dans les eaux tropicales.

Quelques individus que l'on peut rapporter à *Globigerina pachyderma incompta* Cifelli ont été rencontrés.

Remarque :

Il faut signaler que certaines opérations de forage ont atteint des strates indurées, il s'agit de T 2, T 3, T 5 et T 6. Des carottes n'ont pu être prélevées, toutefois nous avons pu examiner le sédiment qui adhérait à la paroi du tube carottier. Les résultats de ces observations seront présentés ici.

3.2 - Pollens (I. GAUDRY)

Si, en Italie (LONA et FOLLIERI, 1957 - PAGANELLI, 1961) et en Europe Centrale et Septentrionale (ZAGWIJN, 1957), la palynologie a fourni de nombreuses informations relatives à la connaissance et à l'évolution de la végétation au quaternaire moyen, il n'en est pas de même en France, et particulièrement dans le domaine méditerranéen (MORZADEC - KERFOURN, 1969).

L'intérêt de l'analyse palynologique des sédiments prélevés lors de la mission TEREBEL est de contribuer à combler cette lacune en apportant quelques données nouvelles tant sur le plan paléobotanique que paléoclimatologique.

Végétation et climat étant liés, l'étude des spectres polliniques, reflète

de la végétation, permet de distinguer diverses fluctuations climatiques. Les variations de pourcentage des pollens appartenant à deux groupes de végétaux sont plus particulièrement révélatrices à cet égard.

1 - Arbres et arbustes de l'Europe tempérée actuelle

Une partie de ce groupe est constituée par des genres croissant aujourd'hui dans les plaines et sur les pentes de basses montagnes : saule, aulne, charme et feuillus thermophiles de la chênaie-mixte (*Quercus sessiliflora*, *Q. pubescens*, *Ulmus*, *Tilia platyphyllos*, *T. cordata*, *Acer*). A ceux-ci, s'ajoutent les essences des zones forestières d'altitude : sapin, épicéa, bouleau, pin sylvestre ¹⁾, hêtre, font également partie de ce premier groupe.

2 - Arbres et arbustes thermophiles

Le second groupe est d'abord représenté par un ensemble de taxons étroitement localisés aujourd'hui dans les régions les plus chaudes de l'Europe méridionale : *Pinus halepensis*, *P. pinea*, *Celtis australis*, *Zelkova* ?.

D'autres, fréquents en Europe au Pliocène et qui ont survécu dans nos régions durant le Quaternaire ancien et moyen, ne sont plus indigènes en Europe. Parmi eux : *Carya*, *Liquidambar*, *Sciadopitys*, *Ostrya*, *Cedrus*, correspondent à des climats relativement chauds et humides.

Hors de ces deux groupes, il faut placer *Tsuga* qui a disparu de l'Europe moyenne, mais qui affectionne actuellement des climats humides et frais, ainsi que *Podocarpus* et *Pinus t. haploxyton* dont les exigences climatiques sont très hypothétiques. Ce dernier, dont le pollen se distingue de celui des Pins type *silvestris* par le mode d'attache de ses ballonnets sur le corps du grain, dit "emboitant", présente une ambiguïté. D'appartenance inconnue au niveau spécifique, et bien qu'il soit le plus souvent lié au groupe des thermophiles, il n'implique pas nécessairement l'existence d'un climat chaud.

Parmi les herbacées, il est difficile de distinguer celles qui se rattachent au premier groupe de celles qui vont avec le second.

Cependant, certaines d'entre elles ont une signification paléoclimatique propre : Armoises, Chicoriées, Chénopodiacées et à un moindre degré Caryophyllacées et Cistacées correspondent certainement à des végétations "ouvertes".

Ephedra traduit au moins une xéricité édaphique locale prononcée.

Les variations quantitatives des herbacées observées dans les spectres polliniques ne sont pas forcément significatives d'un changement climatique. Seule, une détermination au niveau spécifique pourrait apporter des précisions quant au climat.

Par exemple, le développement des Armoises considéré souvent comme la conséquence d'une péjoration climatique peut aussi être lié à la morphologie littorale.

1) Le pollen du pin sylvestre, par sa morphologie, pourrait être rapproché de celui de *Pinus montana* et diffère de celui du groupe des *Pinus type pinea*. Ce dernier type appartient en majorité à l'espèce *P. pinea* sans que soit exclue l'intervention possible des espèces *Pinus salzmanni* et *Pinus nigra*.

En effet, certaines espèces colonisent les terrains salés ou les infractuosités des rochers dans la zone des embruns.

L'analyse des variations de ces différents ensembles permet une première approche paléoclimatique. En effet, les variations des fréquences relatives de la majorité des types représentés, pris individuellement, sont trop faibles pour indiquer de franches oscillations climatiques.

Du point de vue stratigraphique, les critères de datation résultent de la présence ou de l'absence de *Tsuga*, *Carya*, *Pinus type haploxyton* dont on sait qu'ils ont franchi la limite tertiaire-quaternaire sans atteindre le Riss, (ZAGWIJN, 1957 PAGANELLI, 1961).

Cependant, si de tels pollens sont la preuve d'une ancienneté certaine du dépôt (ZAGWIJN, 1957, les éléments floristiques plus nettement pliocènes (*Sequoia*, *Taxodium*, *Nyssa*, *Symplocos*, *Engelhardtia*, *Myrica*) retrouvés dans la région rhodanienne (PONS, 1964) ne sont pas représentés dans nos spectres. Ceux-ci, dès lors, ne peuvent pas être datés du Quaternaire ancien.

Technique

Après traitement des sédiments par la méthode classique, attaque aux acides forts HCL et HF et lavage à la potasse 10 % à chaud, les comptages ont été effectués sur lames de 22 X 32 mm et le pourcentage, ou fréquence relative, de chaque type représenté, calculé à partir de la somme de base $T = AP + NAP$ (Arboreal pollen grains + Non arboreal pollen grains).

Ptéridophytes et taxas indéterminés et indéterminables ont été exclus de ce total et leurs pourcentages calculés par rapport à T.

Pour chaque carotte étudiée, les résultats seront exposés dans un tableau récapitulatif et interprétés à l'aide de diagrammes.

Par ailleurs, il est à souligner que le mauvais état de conservation des sporomorphes n'a pas toujours permis une détermination spécifique.

3.3 - Nannofossiles calcaires (M. CLOCCHIATTI)

Le but principal de cette méthode est de mettre l'échantillon en suspension en le débarassant de la majeure partie de l'argile qu'il contient. Cette élimination des particules argileuses facilite l'observation fine des éléments constitutifs des coccolithes.

Les échantillons de roches sont mis à déliter dans de l'eau additionnée de quelques gouttes d'hexamétophosphate de sodium à 10 % (afin de favoriser la mise en suspension de l'argile). Il est préférable de travailler à pH neutre (7). Puis on traite ces solutions par les ultrasons pendant 5 à 10 minutes. Après avoir ainsi mis le sédiment en suspension, on élimine la plus grande partie de l'argile en rinçant les échantillons un grand nombre de fois, en les centrifugeant à vitesse modérée (1 800 tours/minute environ) après chaque rinçage pendant une minute. Cela permet d'obtenir un culot composé presque essentiellement de particules assez lourdes (coccolithes, discoasters, cristaux...). Les particules plus légères (argiles en majorité) surnagent, en suspension. Le résidu de centrifugation, repris à l'eau distillée, est alors prêt pour effectuer des préparations de microscopie photonique ou de microscopie électronique.

Pour l'étude en microscopie photonique, les échantillons ont été montés dans du baume de Canada cuit. La conservation de ces lames est pratiquement infinie.

La préparation des échantillons en vue de leur étude au microscope électronique à balayage est très simple et rapide : il suffit de rendre la surface de l'échantillon conductrice. Pour cela, on évapore sous un vide assez poussé une couche métallique conductrice (or-palladium par exemple) en couche mince (200 Å environ) sur une petite fraction de la suspension séchée.

4 - GEOCHIMIE

4.1 - Eléments majeurs (S.N.P.A.)

Les éléments majeurs ont été dosés par fluorescence X selon la méthode en usage au Centre de Recherches S.N.P.A. (SAHORES, 1968). Les erreurs ont été calculées pour les moyennes des teneurs.

Les dosages d'éléments majeurs sont dus à C. AUBERT.

4.2 - Eléments traces (S.N.P.A. et B.R.G.M.)

4.2.1 - S.N.P.A.

Les éléments-traces ont été dosés par spectrométrie d'émission ultra-violet (Quantomètre ARL - Sofica). La méthode a été décrite par KULBICKI *et al.* (1967).

Une première série de déterminations a été effectuée sur sédiment total. Ces teneurs sont exprimées en ppm du sédiment total étuvé à 105°C.

On a procédé, de plus, à une seconde série de dosages sur la fraction fine (<5µ) du sédiment, obtenue par décarbonatation ménagée et fractionnement granulométrique par sédimentation. Ces teneurs sont exprimées par rapport à la fraction fine calcinée à 900°C et exempte de quartz.

L'expérience du Laboratoire de Géochimie du Centre de Recherches S.N.P.A. a montré que les concentrations déterminées sur cette phase sont représentatives des conditions physico-chimiques du milieu de dépôt et, ou des apports détritiques et permettent de comparer des sédiments de lithologies différentes (KULBICKI et RUMEAU, 1967). Les erreurs de reproductibilité sur les éléments-traces (au seuil de probabilité de 95 %) ont été calculées pour les moyennes des teneurs.

Les éléments-traces sur sédiment total et sur fraction fine décarbonatée ont été dosés par J. BARADAT.

4.2.2 - B.R.G.M.

Le dosage des éléments-traces a été effectué également par spectrométrie d'émission sur le sédiment brut.

4.3 - Chimie de l'eau interstitielle (B.R.G.M.)

Pour l'extraction de l'eau interstitielle, on utilise la méthode par pressage. L'appareil se compose essentiellement de trois pièces métalliques :

- un corps cylindrique en acier inoxydable de diamètre intérieur égal à 60 mm, percé à sa partie inférieure de trous disposés en couches concentriques.
- le piston en acier inoxydable, de diamètre extérieur égal à 60 mm. L'étanchéité piston-corps cylindrique est assurée par deux joints toriques.

Dans le fond du corps cylindrique, sont placés trois disques filtrés en acier inoxydable. Un quatrième en papier filtre supporte le sédiment humide dans lequel sont introduites des mèches destinées à drainer l'eau interstitielle au contact des disques filtrés.

La mise en pression est faite à l'aide d'un vérin hydraulique Weler.

5 - BACTERIOLOGIE (B.R.G.M.)

Méthode d'analyse bactériologique pour l'isolement des bactéries sulfato-réductrices :

Ces recherches ont été effectuées sur des échantillons de vase prélevés stérilement au coeur des carottes et mis dans un milieu de culture approprié contenant pour un litre de milieu :

| | |
|---------------------------|-----------------------------|
| Phosphate bi-potassique | 0,500 g |
| Chlorure d' NH_4 | 1 g |
| Chlorure de sodium | 5 g |
| Chlorure de calcium | 0,100 g |
| Carbonate de calcium | 1 g |
| Sel de Mohr | traces |
| Lactate de sodium | 30 ml d'une solution à 60 % |
| Sulfate de soude, 10h 20 | 18 g |

Après développement, les bactéries sont repiquées sur milieu gélosé.

6 - MATIERE ORGANIQUE

6.1 - Carbone (S.N.P.A. et B.R.G.M.)

6.1.1 - S.N.P.A.

Le carbone organique a été dosé sur sédiment décarbonaté, par combustion et mesure de la conductibilité thermique du CO_2 (BLAZEJCZAK et VAN DER WEIDE, 1968). L'erreur est estimée à ± 6 % relatifs.

Ces dosages ont été réalisés par M. BALOUS et R. AYALA.

6.1.2 - B.R.G.M.

On procède tout d'abord à l'élimination du carbone minéral (carbonates) par traitement par l'acide chlorhydrique dilué. Filtration du résidu insoluble sur creuset réfractaire poreux ; lavage pour éliminer toute trace de chlorure.

Le dosage lui-même est effectué après combustion dans l'oxygène par une méthode conductimétrique.

6.2 - Soufre (S.N.P.A. et B.R.G.M.)

6.2.1 - S.N.P.A.

Sur sédiment total, le soufre des monosulfures, le soufre élémentaire, le soufre organique, le soufre des bisulfures, le soufre des sulfates et le soufre total ont été dosés conformément aux techniques mises au point à la S.N.P.A. par HETMAN et PUYO (1967, 1969).

Sur fraction fine décarbonatée (cf. éléments-traces) le soufre total a été dosé par combustion et iodométrie (appareil Leco).

Les déterminations des différentes formes du soufre ont été effectuées par M. PUYO. Le dosage du soufre sur fraction fine a été réalisé par M. BALOUS et R. AYALA.

6.2.2 - B.R.G.M.

Cette détermination a été effectuée sur sédiment débarrassé de ses sulfates par lavage et centrifugation.

ANALYSE SITE PAR SITE

SITE T 1

1 - DETERMINATION DU SITE

1.1 - Sismique de la zone (figure 13)

L'objectif du forage T 1 est d'*atteindre le socle* dans lequel est entaillé le canyon de Saint-Tropez, à l'endroit où ce dernier change brutalement de direction, probablement par l'intermédiaire d'une faille d'orientation NNE - SSW. Cette faille sépare la marge proprement dite d'un petit massif surélevé : le haut fond du Méjean. Des profils sismiques (BELLAICHE - 1969) recoupant le canyon de Saint-Tropez montrent que celui-ci est entaillé dans le substratum de la marge au sud de Saint-Raphaël. Sur le flanc méridional du canyon, une épaisse série sédimentaire (400 m environ) repose sur la terminaison orientale du promontoire de Saint-Tropez.

1.2 - Sondeur de vase (figure 14)

Un profil sur la bordure est du canyon montre de nombreux échos latéraux rendant difficile la lecture de l'enregistrement.

1.3 - Bathymétrie (figure 15)

A ce niveau, la carte bathymétrique (Musée Océanographique de Monaco) montre l'entaille du canyon qui longe le promontoire de Saint-Tropez. Elle a d'abord une orientation sensiblement W - E puis prend une direction NNE - SSW entre le promontoire de Saint-Tropez et le haut fond du Méjean.

2 - OPERATIONS DE FORAGE

2.1 - Chronologie

Au cours de la descente de l'électroforeuse, un fort courant fait dériver le B.F. Térébel vers le sud. De ce fait, le forage a lieu sur l'extrémité du promontoire de Saint-Tropez dans la masse de sédiments récents.

2.2 - Courbe d'enfoncement (figure 16)

Le forage se fait à une vitesse rapide de 1 437 m à 1 452 m. Après un essai de dégagement, la reprise du forage est faite sous tension constante, ce qui explique la différence de vitesse de pénétration. A 1 467 m, on observe un net ralentissement (12 m/h), puis un nouveau freinage (9 m/h) entre 1 472 et 1 475 m.

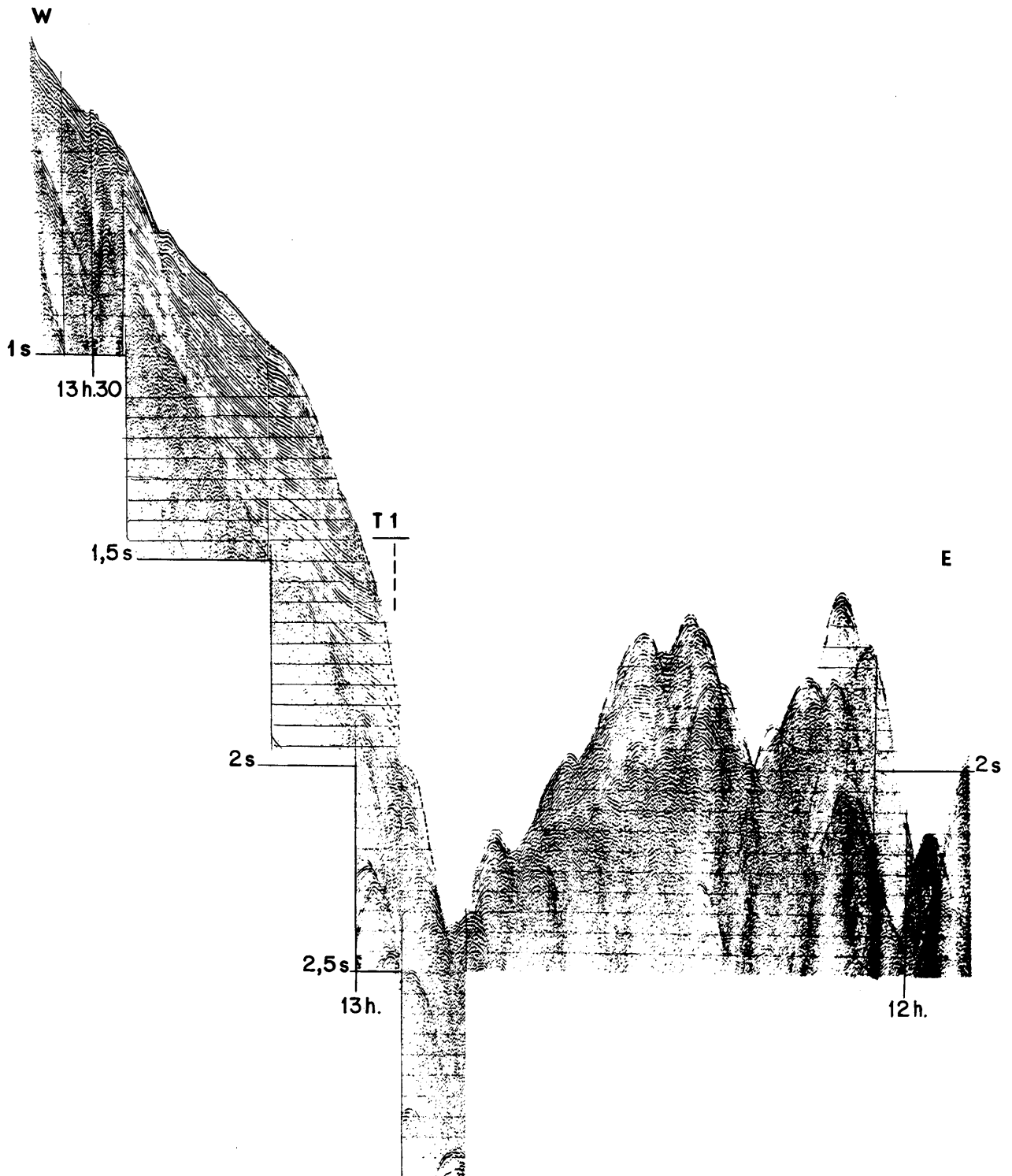


Figure 13 - Profil air-gun réalisé par G. BELLAICHE avec le B.O. CATHERINE-LAURENCE entre le promontoire de Saint-Tropez et le haut-fond du Méjean. Vitesse : 8 noeuds.

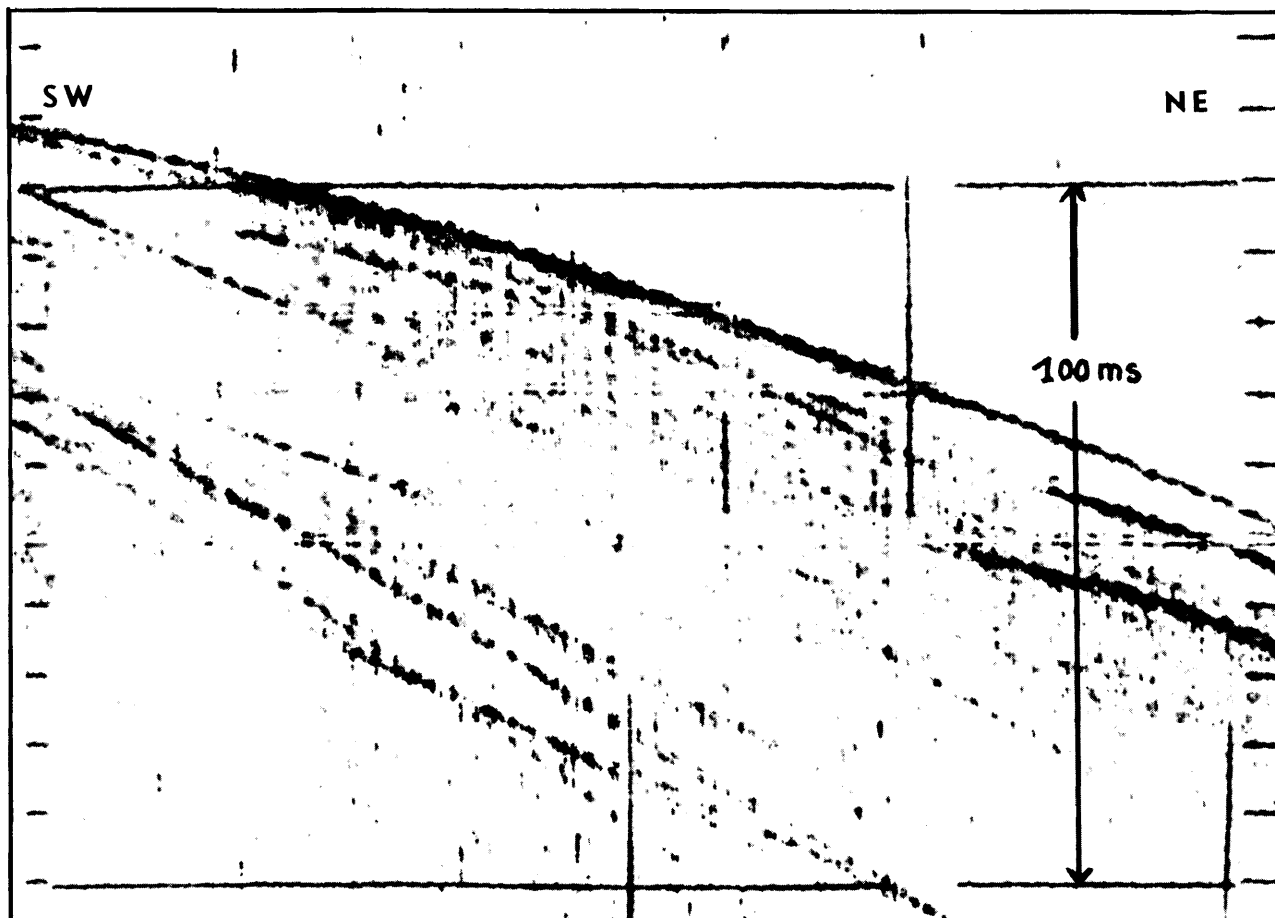


Figure 14 - Sondeur de sédiment à fréquence variable

Profil SW - NE sur le flanc du canyon de St-Tropez

Nombreux échos latéraux. Présence possible d'un réflecteur à 40 ms.

(Photo : 22 avril 10 h 30 à 10 h 35).

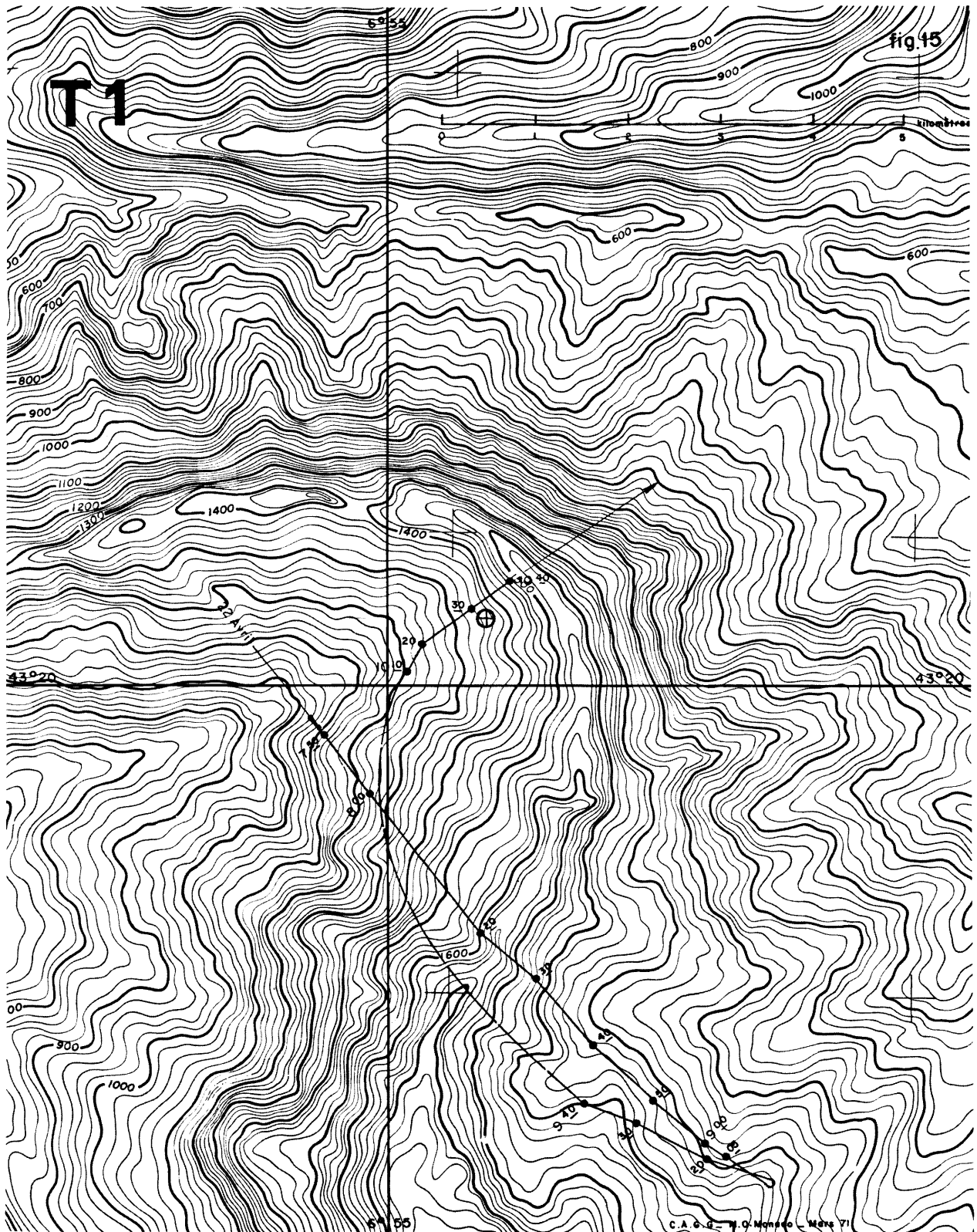


Figure 15 - Extrait de la carte bathymétrique du Musée Océanographique de Monaco (mer Ligure au 1/50 000e)
On a tracé la route du bateau accompagnateur utilisant le sondeur de sédiment à fréquence variable
La position du forage est reportée.

Ces ralentissements sont dus à des niveaux dont la compaction est plus élevée.

2.3 - Carottage

Le carottage est effectué entre 1 475 et 1 476 m sous 38 m de sédiments. La tension lors de l'arrachement est pratiquement nulle. La carotte est constituée par une vase grise compacte.

CAROTTE T. 1

Profondeur 1437 m.

Prélèvement à 38 m.

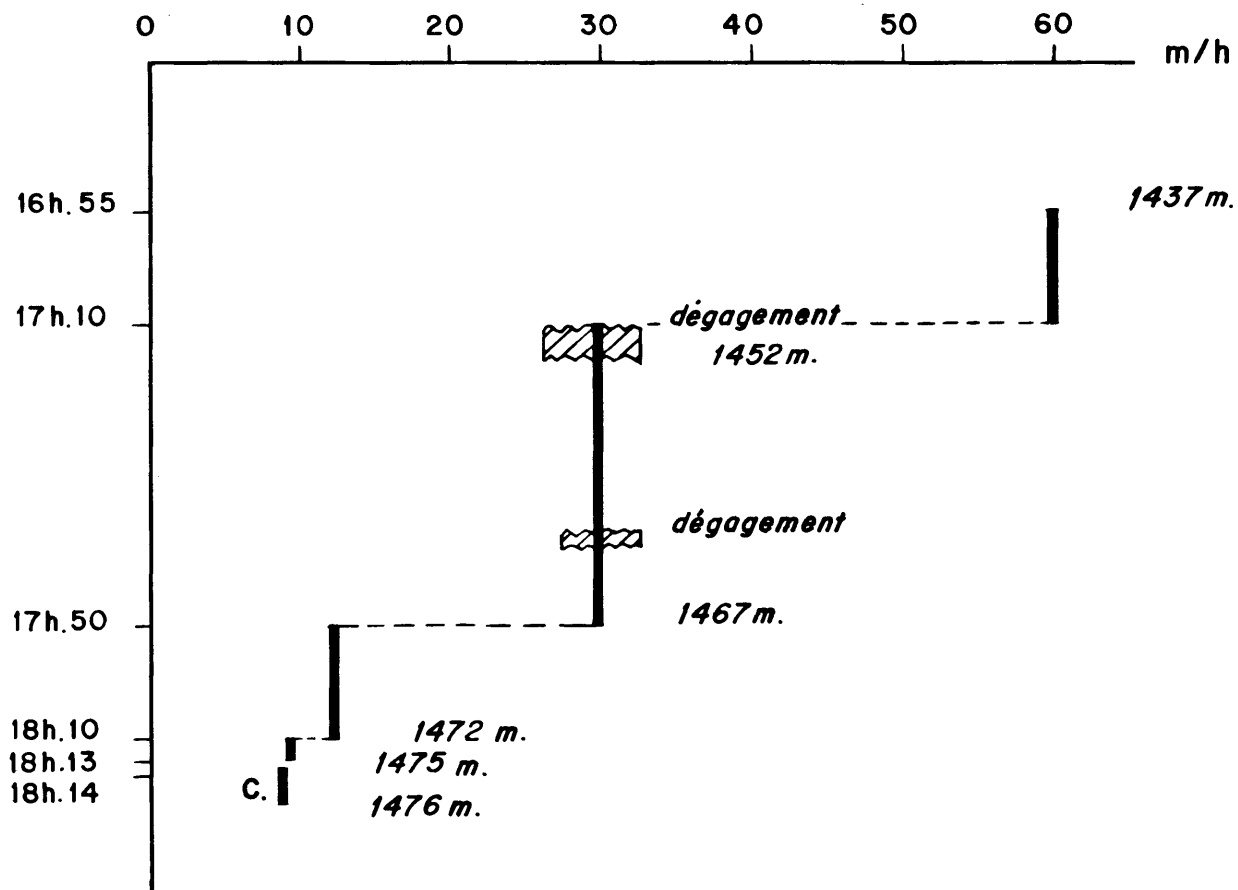
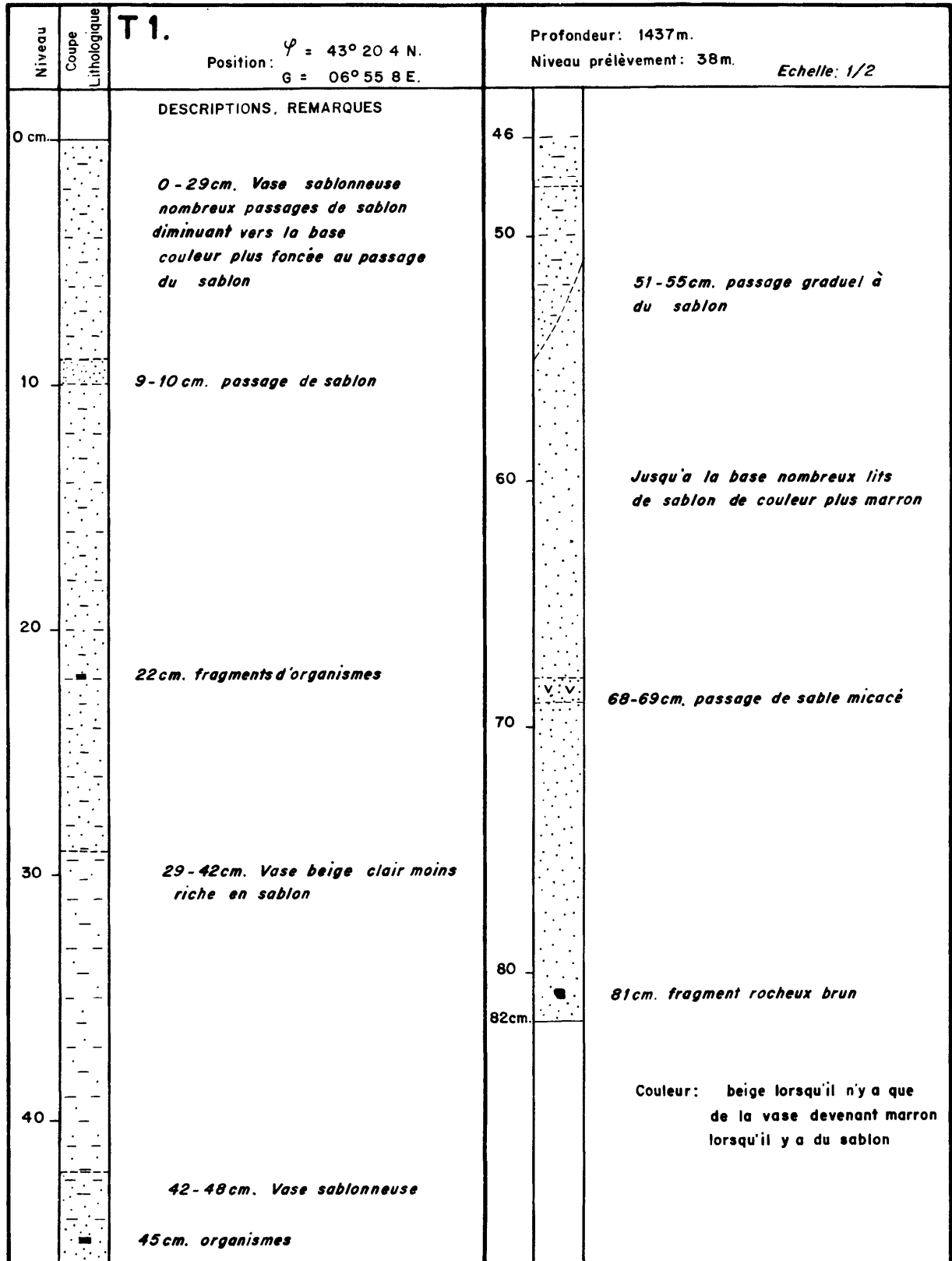


Figure 16

3 - LOG GRAPHIQUE



4 - PROPRIETES PHYSIQUES

4.1 - Teneur en eau

| Niveau | H ₂ O % |
|-----------|--------------------|
| 3 - 6 cm | 24,30 |
| 18 - 21 | 26,70 |
| 22 - 24 | 25,00 |
| 37 - 39 | 26,50 |
| 42 - 44 | 25,60 |
| 56 - 58,5 | 24,15 |
| 62 - 65 | 24,50 |
| - | 22,50 |

4.2 - Pourcentage de la fraction grossière (supérieure à 63 μ)

| Niveau | > 63 μ % |
|--------|----------|
| 0 | 6 |
| 20 | 7 |
| 40 | 5 |
| 60 | 9 |
| 80 | 5 |

4.3 - Granulométrie de la fraction fine (inférieure à 20 μ)

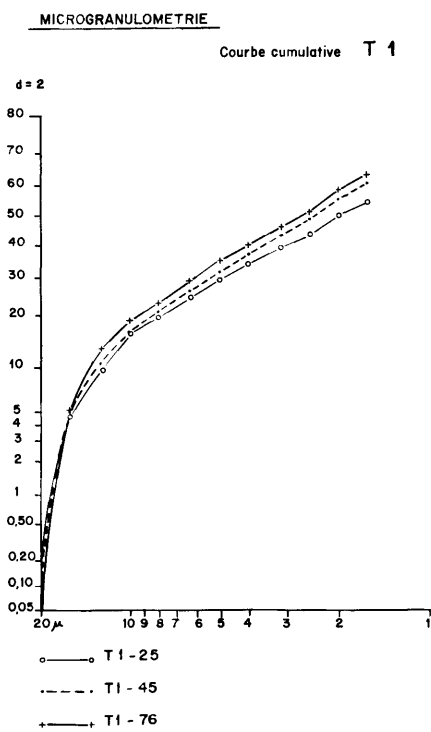


Figure 17

5 - MINERALOGIE

5.1 - Observation de la fraction grossière ($\emptyset > 63 \mu$)

| <u>Niveau</u> | <u>Débris d'origine organique</u> | <u>Fraction détritique</u> |
|---------------|--|--|
| 0 cm | Ostracodes. Piquants et plaques d'oursins. Lamellibranches. Spicules d'éponges. Débris végétaux. | Micas très abondants : chlorite, muscovite, biotite. Limonite abondante. Croûtes et bâtonnets pyriteux rares. Fraction minérale abondante. |
| 20 cm | idem Ptéropodes : <i>Creseis acicula</i> | idem Abondance des bâtonnets pyriteux |
| 40 cm | Débris d'organismes sont plus abondants Ptéropodes : <i>Limacina</i> stade juvénile | Présence de quartz émoussés. idem Moins de micas, plus de limonite. Granulométrie plus fine. |
| 60 cm | Débris végétaux bruns | Micas très abondants. |
| 80 cm | Ptéropodes : <i>Limacina trochiformis</i> <i>Clio cuspidata</i> . | |

Remarque : Sédiment caractérisé par une fraction minérale micacée très abondante.

5.2 - Examen des frottis

| Niveaux | Sable | Sablon | Poudre |
|----------|-------|--------|--------|
| 0 à 3 cm | 30 | 10 | 60 |
| 5 | 20 | 15 | 65 |
| 69 | 20 | 10 | 70 |

- 0 à 3 cm

- . terrigène : 40 %
 - muscovite : 25
 - quartz : 15
- . organique : 60 %
 - nannoplancton : 50
 - foraminifères : 10 (planctoniques + benthiques)

Des traces de :

- . chlorite, hématite, pyrite, fragments rocheux
- . discoasters, spicules calcaires
- d'où appellation : vase terrigène à nannoplancton.

- 5 cm

- . terrigène : 28 %
 - quartz : 15
 - muscovite : 10
 - chlorite : 3
- . organique : 72 %
 - nannoplancton : 68
 - foraminifères : 5

La pâte est formée de nannoplancton et de muscovite, les gros éléments étant du quartz, de la chlorite et des foraminifères.

C'est une vase terrigène à nannoplancton.

- 69 cm

- . terrigène : 35 %
 - quartz : 15
 - muscovite : 10
 - pyrite : 10
- . organique : 65 %
 - nannoplancton : 40
 - calcite : 20
 - foraminifères : 5

C'est une vase terrigène à nannoplancton.

5.3 - Minéraux lourds (figure 18)

Sur la fraction de 0,50 à 0,050 mm, nous avons la détermination suivante :

| niveau Minéraux | 18-21 cm | 42-44 cm | 62-65 cm |
|--|----------|----------|----------|
| grenats | | R | R |
| staurotide | | R | R |
| biotite | R | PA | PA |
| chlorites | R | PA | PA |
| pyrite + pyritos- sphères en agrégats | A | PA | PA |
| mica blanc | R | PA | PA |
| glaucophane | | R | R |
| oxydes de fer ferromagnétiques | R | PA | PA |

Les amphiboles sont présentes de façon appréciable dans les fractions plus fines. On ne note pas de zircon.

Ce cortège est différent de celui des sédiments quaternaires de la vallée du Var décrit par S. DUPLAIX et M. GENNESSEAU (1968). L'influence du massif des Maures est très sensible.

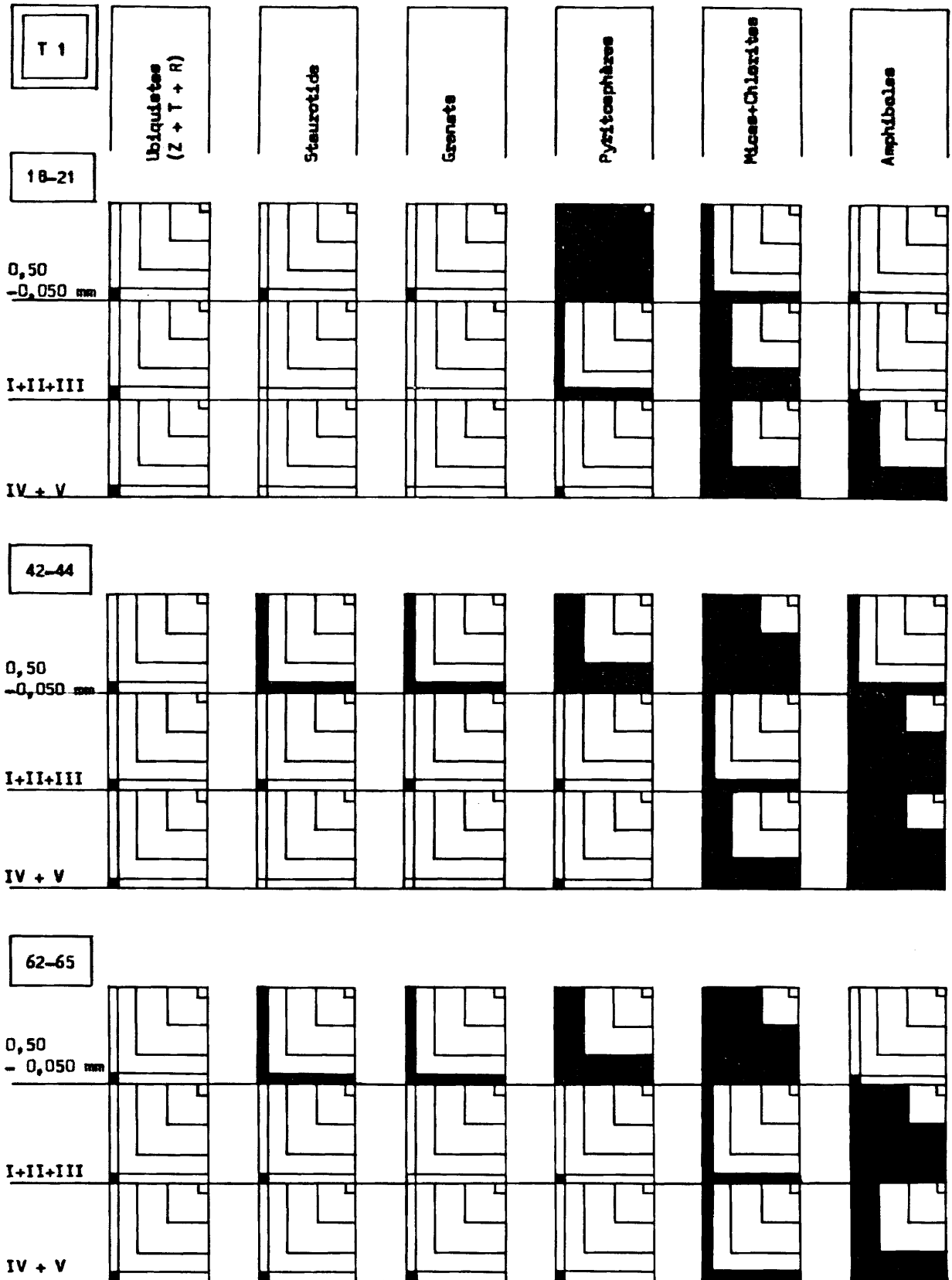


Figure 18

5.4 - Minéralogie de la phase argileuse (S.N.P.A.)

Données analytiques

| Cotes (en cm) | * h 1 | h 2 | h 3 | h 4 | h 5 | h 6 | h 7 | h 8 | h 9 | h 10 | h 11 | h 12 |
|------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 8-10 | 35 | 22 | 120 | 67 | 38 | 16 | 20 | 38 | 91 | 16 | 8 | 24 |
| 26-28 | 47 | 33 | 149 | 100 | 48 | 22 | 32 | 54 | 133 | 31 | 9 | 40 |
| 35-37 | 47 | 37 | 157 | 102 | 55 | 25 | 32 | 67 | 165 | 46 | 10 | 47 |
| 54-56 | 34 | 28 | 125 | 65 | 39 | 18 | 29 | 42 | 96 | 21 | 8 | 25 |
| 71-73 | 26 | 11 | 138 | 77 | 46 | 21 | 26 | 45 | 124 | 27 | 8 | 36 |

* hauteurs en mm, mesurées sur diagrammes enregistrés à 2°/mn

Composition *estimée* de la phase argileuse

| Cotes (en cm) | Interstrat. irrégul. I - M | Illite | Chlorite | Kaolinite |
|------------------|----------------------------------|--------|----------|-----------|
| 8-10 | 10 | 60 | 20 | 10 |
| 26-28 | 13 | 52 | 23 | 12 |
| 35-37 | 13 | 53 | 24 | 10 |
| 54-56 | 13 | 57 | 18 | 12 |
| 71-73 | 5 | 61 | 22 | 12 |

Paramètres cristallographiques de l'illite

| Cotes (en cm) | * 1 001 | $\frac{002}{001}$ | $\frac{005}{001}$ | $\frac{005}{002}$ |
|------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 8-10 | 2,7 | 0,31 | 0,20 | 0,63 |
| 26-28 | 3,5 | 0,32 | 0,27 | 0,83 |
| 35-37 | 4,2 | 0,35 | 0,30 | 0,85 |
| 54-56 | 3,5 | 0,31 | 0,20 | 0,64 |
| 71-73 | 2,7 | 0,33 | 0,26 | 0,78 |

*1 : largeur en mm, à mi-hauteur, mesurée sur diagrammes enregistrés à 8°/mm.

5.5 - Relations argiles-climats (H. CHAMLEY) (niveaux 0, 40, 80 cm)

Le degré d'"ouverture" de l'illite, compris entre 3 et 4/10°θ, caractérise un climat tempéré dans les sédiments situés au large de l'Estérel. Il va de pair avec une couleur beige, qui comprend une nuance rougeâtre certainement en relation avec la couverture colluviale rubéfiée des massifs proches.

Au milieu de la carotte, l'illite accuse une certaine "fermeture" qui s'accompagne d'une légère diminution du complexe gonflant (montmorillonite, interstratifiés irréguliers (10 - 14_M) et (14_C - 14_M), nomenclature LUCAS, 1962), ainsi que d'une légère augmentation et amélioration de la chlorite (observation sur le pic à 4,7 Å). Le climat y apparaît donc plus frais qu'aux extrémités du sondage. L'interprétation que l'on peut proposer est la suivante :

- 0 cm : tempéré chaud
- 40 cm : tempéré frais
- 80 cm : tempéré chaud.

L'assemblage minéralogique, dominé par l'illite, est très voisin de celui des sédiments superficiels carottés par les procédés classiques dans le même secteur. Il est donc possible que l'âge des dépôts soit quaternaire assez récent. Cela est en accord avec l'abondance des sables et sablons, responsables probables d'une forte augmentation de la vitesse de sédimentation.

6 - MICROPALÉONTOLOGIE

6.1 - Foraminifères

Le sédiment de cette carotte est caractérisé par une fraction minérale abondante surtout composée de micas. Elle est fine aux niveaux 40 et 80. Les débris d'origine organique sont abondants. Les Ptéropodes sont rares ; on trouve surtout des espèces d'eau chaude : *Creseis acicula* (Rang), *Limacina trochiformis* (d'Orbigny), *Clio cuspidata* (Bosc).

Abondance relative des Foraminifères : (figure 20)

- Foraminifères benthiques

Prélevée par 1 395 m de fond, la carotte T 1 renferme une association de Foraminifères benthiques plus riche en espèces qu'en individus et principalement composée de formes vivant à une assez grande profondeur. Cependant, quelques *Cibicides*, *Elphidium*, *Angulogerina angulosa*, *Spiroloculina disparilis*, proviennent d'un milieu très littoral et leur présence dans cette zone est le résultat d'un transport.

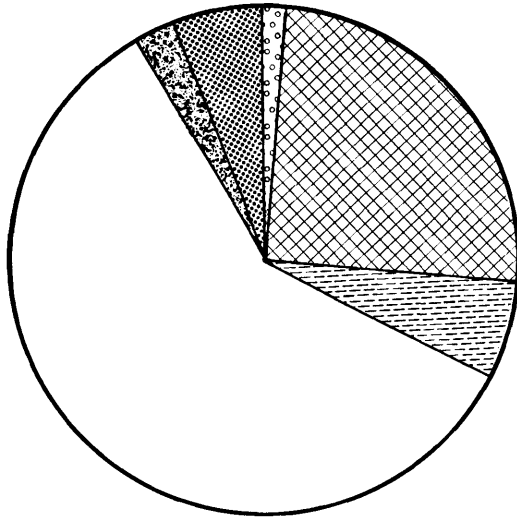
Cette microfaune de fréquence uniforme et toujours faible est affectée au niveau 40 cm par un renouvellement assez important qui se traduit par le remplacement d'une douzaine d'espèces par d'autres espèces et d'autres genres. Ce remplacement est très probablement le fait d'un remaniement dont il est impossible de préciser exactement l'âge.

- Foraminifères planctoniques

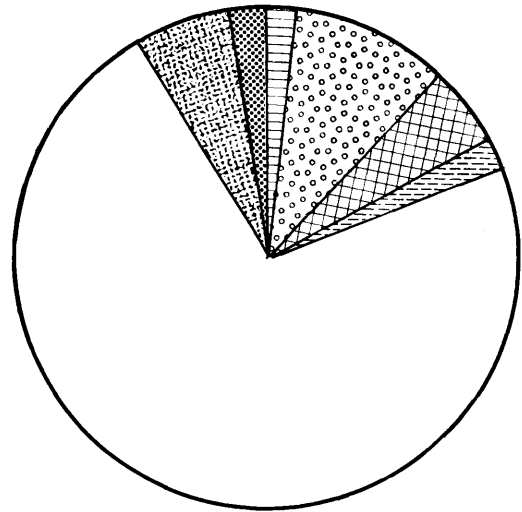
Globorotalia inflata, *Globigerina bulloides* et *Globigerina pachyderma* sont très largement dominantes. Il faut signaler la présence de *Globorotalia crassa-*

formis aux niveaux 0 cm et 40 cm. *Globorotalia scitula* est abondante au niveau 40 cm.

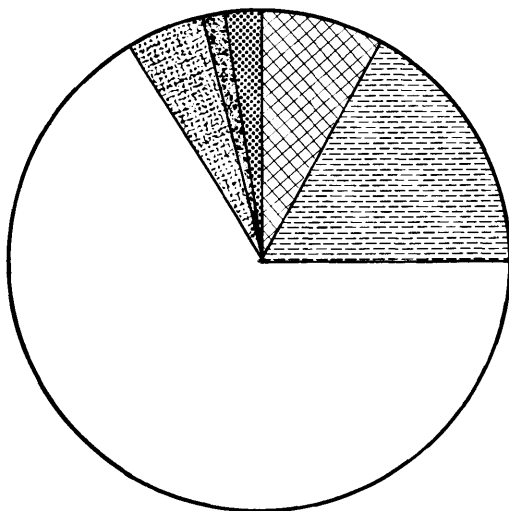
CAROTTE T1



niveau 0



n. 40



n. 80

Diagrammes polaires.
Fréquence des espèces planctoniques de
Foraminifères.












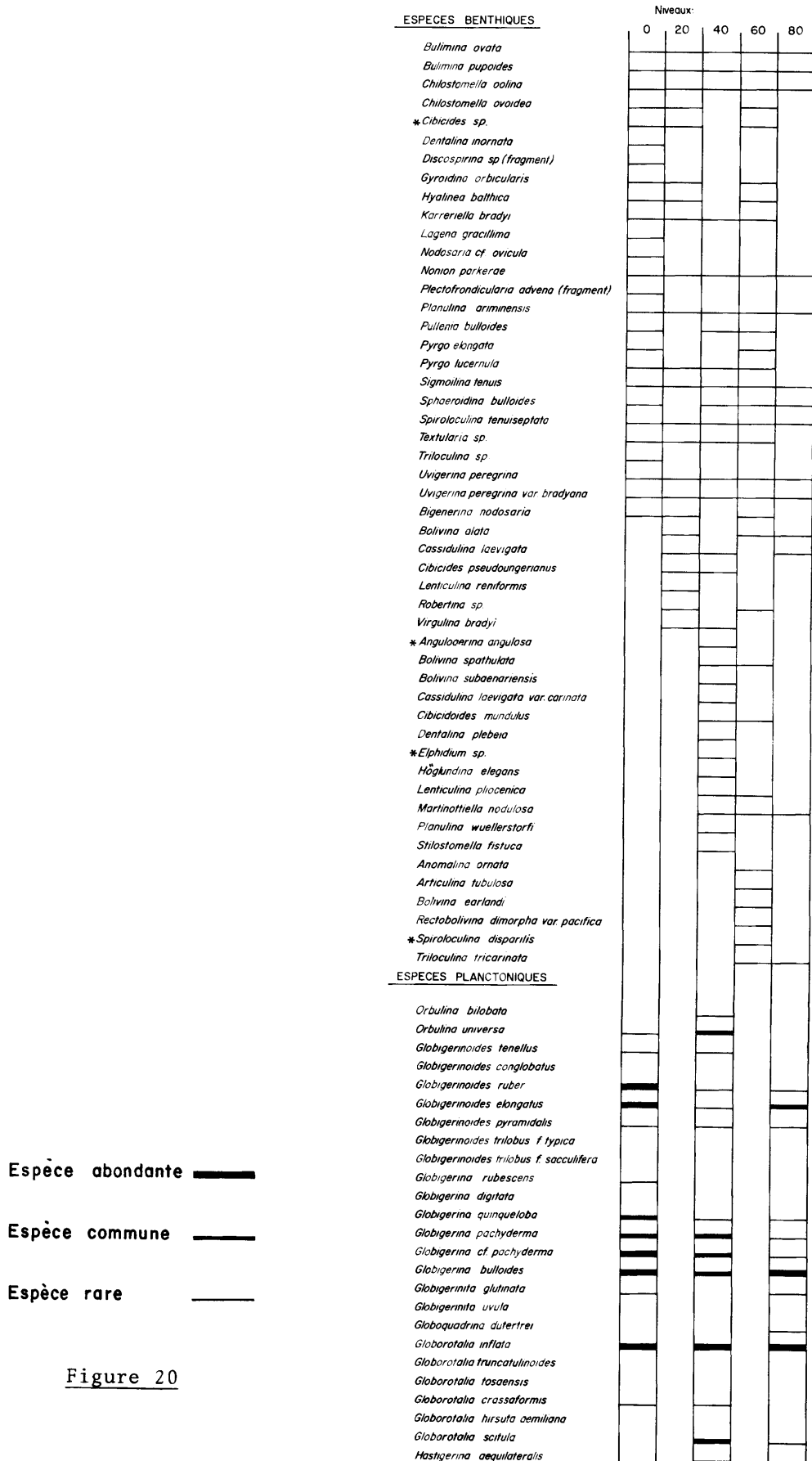

-  *Globigerinoides trilobus f. sacculifera*
-  *Globigerinoides trilobus f. typicala*
-  *Hastigerina aequilateralis*
-  *Globorotalia truncatulinoides*
-  *Orbulina universa*
-  *Globigerinoides ruber*
-  *Globigerinoides elongatus*
-  *Globorotalia inflata*
-  *Globorotalia scitula*
-  *Globigerina pachyderma (forme dextre)*
-  *Globigerina pachyderma (forme senestre)*


Figure 19

T 1

Liste et abondance des Foraminifères contenus dans chaque échantillon de sédiment.



Espèce abondante 

Espèce commune 


Espèce rare 

Figure 20

Fréquence des Foraminifères planctoniques (niveaux 0, 40, 80 cm ; figure 19)

Les groupes de Foraminifères d'eau chaude et d'eau froide ont tout au long de cette carotte des fréquences à peu près équivalentes. On peut noter la présence à tous les niveaux de la forme sénestogyre de *Globigerina pachyderma*, plus fréquente au niveau 0 cm. Le niveau 40 cm est caractérisé par la présence de *Hastigerina aequilateralis* et la fréquence de *Orbulina universa*. *Globigerinoides ruber* diminue avec la profondeur à l'inverse de *Globigerinoides elongatus*.

Cette carotte a été prélevée dans le canyon de Saint-Tropez qui représente une zone placée sous l'influence des apports détritiques en provenance du massif des Maures. Les phénomènes de transport sédimentaire depuis les zones moins profondes sont relativement importants. Ce fait limitera la portée de l'interprétation. La microfaune est incontestablement d'âge Quaternaire. *Globorotalia crassaformis* qui est caractéristique du Pliocène moyen (M. COLALONGO, 1968) est très rare ; elle a pu être remaniée. Il faut signaler que L. LECLAIRE et Y. LE CALVEZ (1969) signalent cette espèce dans des sédiments du Quaternaire ancien carottés au large de la côte algérienne.

L'interprétation paléoclimatique que l'on peut proposer est la suivante :

- 0 cm : climat tempéré froid
- 40 cm : climat tempéré chaud
- 80 cm : climat tempéré froid

Distribution des Foraminifères planctoniques

| | 0 | | 40 | | 80 | |
|---|------|------|------|------|-----|------|
| | Nb | F % | Nb | F % | Nb | F % |
| <i>Hastigerina aequilateralis</i> | | | 38 | 1,7 | | |
| <i>Globigerinoides ruber</i> | 400 | 23,5 | 86 | 4,0 | 52 | 7,0 |
| <i>Globigerinoides elongatus</i> | 96 | 5,6 | 38 | 1,7 | 120 | 16,2 |
| <i>Orbulina universa</i> | 24 | 1,4 | 210 | 9,7 | | |
| <i>Globorotalia inflata</i> | 1048 | 61,5 | 1604 | 74,5 | 508 | 69,0 |
| <i>Globorotalia scitula</i> | | | 128 | 6,0 | 36 | 4,8 |
| <i>Globigerina pachyderma</i> (f. senestre) | 96 | 5,6 | 40 | 1,8 | 12 | 1,6 |
| <i>Globigerina pachyderma</i> (f. dextre) | 40 | 2,3 | 4 | 0,1 | 8 | 1,0 |
| Total | 1704 | | 2148 | | 736 | |
| Nombre d'individus comptés | 213 | | 603 | | 184 | |

6.2 - Pollens

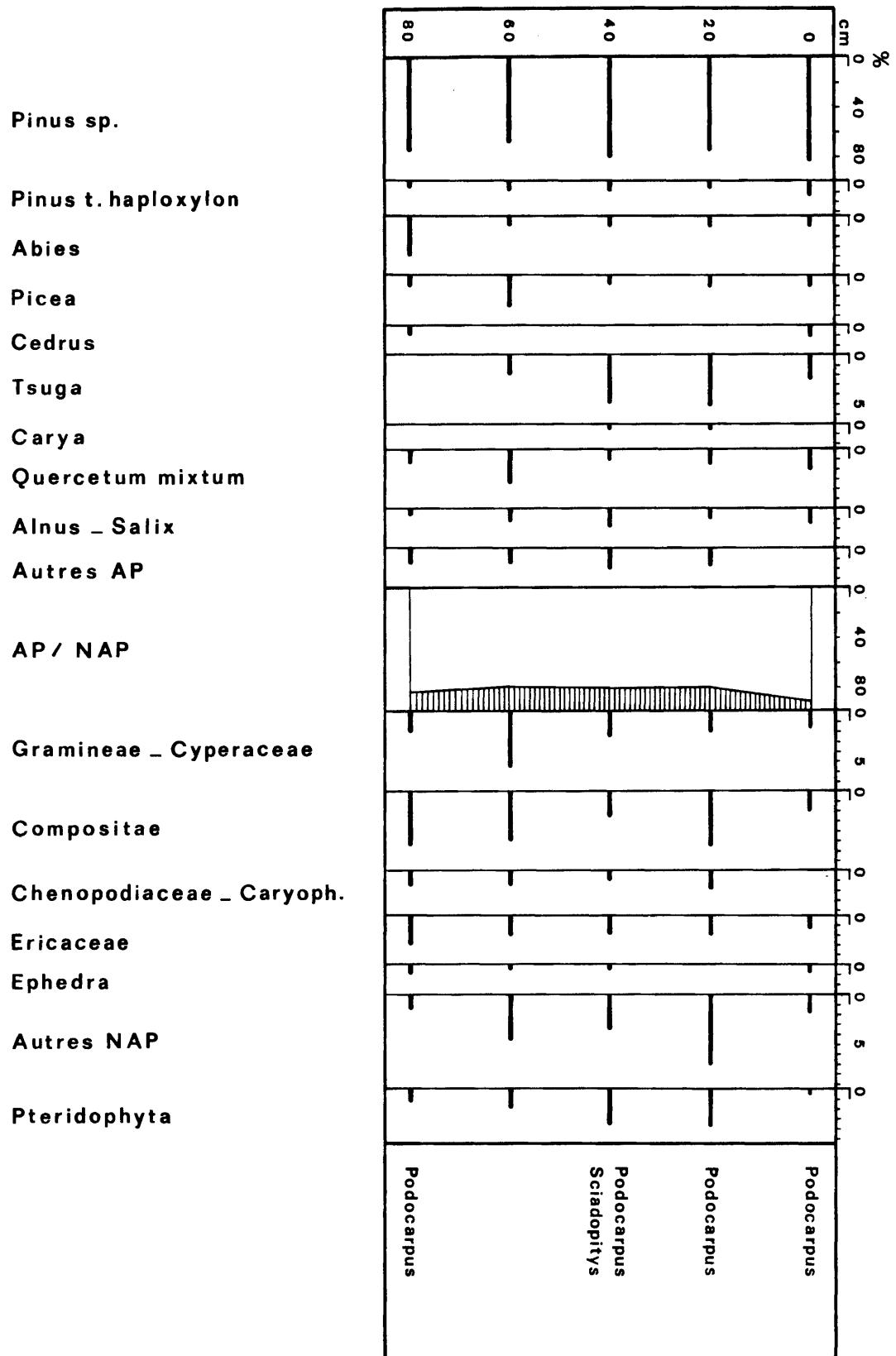
Dans les spectres des sédiments de cette carotte, riches en pollens, les Pins (*Pinus silvestris*, *P. pinea*) dominent tous les arbres. Oscillant autour d'une moyenne de 76 %, ils éclipsent Sapin, Epicéa, Aulne, Saule et Feuillus thermophiles (*Quercus*, *Ulmus*, *Carpinus*, *Tilia*, *Acer*) dont les pourcentages n'excèdent pas 3 %.

Mélangé à cette végétation typique de l'Europe tempérée actuelle, *Carya* très rare est le seul élément thermophile exotique. *Pinus t. haploxyton* et *Podocarpus* sont présents. *Tsuga* est un peu plus important. Ce dernier seul, dont la fréquence varie de 0 à 5 % de la base à 20 cm, évolue de façon continue.

Dans les spectres des trois niveaux inférieurs, la somme *Tsuga*, *Picea* et *Abies* semble traduire un climat tempéré-froid-humide et peut être partiellement accentué au niveau 40 cm où la Chênaie-mixte est un peu plus effacée (0,5 %).

Fréquences relatives des essences et herbacées

| niveaux en cm | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>Pinus sp.</i> | 84 | 74 | 80 | 69 | 75 |
| <i>Pinus t. haploxyton</i> | 1,3 | 0,3 | 0,9 | 0,8 | 0,6 |
| <i>Abies</i> | 1,2 | 0,8 | 0,7 | 2 | 3,6 |
| <i>Picea</i> | 1,2 | 1 | 0,7 | 3 | 1 |
| <i>Cedrus</i> | 1 | - | - | - | 1 |
| <i>Tsuga</i> | 2,5 | 5 | 5 | 2 | 1 |
| <i>Carya</i> | - | 0,3 | 0,1 | - | - |
| <i>Quercus</i> | 0,6 | 0,3 | - | 3 | 0,3 |
| <i>Carpinus</i> | 0,6 | 1 | 0,4 | 0,2 | - |
| <i>Ulmus</i> | - | - | 0,2 | - | 1 |
| <i>Tilia</i> | - | - | - | 0,2 | 0,3 |
| <i>Acer</i> | - | - | 0,2 | 0,2 | - |
| <i>Alnus</i> | 0,6 | 0,3 | 1,3 | 0,5 | 0,6 |
| <i>Salix</i> | 0,6 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | - |
| Autres AP | - | 1,5 | 2 | 1,7 | 1,5 |
| Gramineae-Cyperaceae | 1,2 | 2 | 2,6 | 5,5 | 2 |
| Compositae | 1,8 | 5,5 | 2,4 | 5 | 5,4 |
| <i>Artemisia</i> | 0,6 | 2,3 | 1 | 3 | 2 |
| Chenopodiaceae-Caryoph. | - | 1,6 | 1,2 | 1,5 | 1,5 |
| Ericaceae | 1,2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Ephedra</i> | 0,6 | - | 0,3 | 0,5 | 1 |
| Autres NAP | 1,8 | 7 | 3,4 | 4,6 | 5,2 |
| Ptéridophyta | 0,4 | 4 | 3,3 | 1,9 | 1,5 |
| Varia + indéterm. | 3,7 | 7 | 3 | 6 | 6 |
| AP | 92 | 84 | 89 | 81 | 84 |
| NAP | 8 | 15 | 11 | 19 | 16 |
| \sum AP + NAP | 164 | 341 | 581 | 585 | 337 |



TEREBEL 1 - Diagramme pollinique

Le couvert végétal était une forêt de Pins auxquels se mêlaient par endroits des essences à feuillage caduc, accompagnées de pelouses diversifiées à Graminées, Composées, Caryophyllacées, Rosacées, Crucifères, *Plantago* et Ombellifères.

Toute fluctuation quantitative des genres arborescents étant masquée par la prépondérance continue du Pin, il est difficile, dans cette séquence, de repérer des changements climatiques.

Des résultats analogues ont été obtenus par LONA et FOLLIERI (1957) dans la série supérieure du Bassin de Leffe (Bergame) qui correspond à une fin de phase glaciaire mindélienne :

- prédominance des Conifères,
- présence de *Tsuga* et de *Pinus type haploxyton*
- absence d'essences caducifoliées.

Cependant, ces auteurs ont noté de forts pourcentages pour *Tsuga* et *Picea* attribuables peut-être à la plus grande proximité d'un cadre montagneux.

6.3 - Nannoplancton





La nannoflore calcaire contenue dans les cinq échantillons de cette carotte est assez peu abondante. Elle comporte environ 5 % d'espèces remaniées ¹⁾ du Tertiaire (*Sphenolithus abies*, *Braarudosphaera bigelowi*, *Discoaster* sp.) et du Crétacé (*Eiffelithus* sp., *Micula staurophora concava*, *Prediscosphaera* sp., *Watznaueria barnesae* et un certain nombre de formes non déterminables). La fraction détritique fine contenue dans tous ces échantillons est assez importante.

Parmi les nannofossiles calcaires, les plus fréquents, on trouve : *Gephyrocapsa oceanica*, *Cyclococcolithus leptoporus*, *Helicosphaera carteri* et *Rhabdosphaera stylifer* (sauf dans l'échantillon 0). On note également la présence de *Coccolithus pelagicus* (rare) dans les échantillons 0 et 20. L'absence de *Emiliana huxleyi* dans cette carotte comme dans les suivantes et la présence de *Gephyrocapsa oceanica* en quantité toujours assez élevée (toujours plus de 50 %) indiquent que toutes les carottes proviennent du Quaternaire moyen, ceci dans la mesure où peuvent s'appliquer à ces résultats les conclusions des auteurs ayant travaillé dans la mer des Caraïbes et celles des Antilles [1 et 3]. ²⁾























Au point de vue climatologie, les résultats obtenus sont plus difficiles à interpréter car les études sur ce sujet sont peu nombreuses, dispersées et ne concernent que l'Océan Atlantique [4, 6 et 7] et le Pacifique subantartique [2], de plus les résultats en sont très fréquemment contradictoires. En effet, selon les auteurs *Cyclococcolithus leptoporus* et *Gephyrocapsa oceanica* sont considérées comme des espèces froides [6, 7] ou eurythermes [4], *Helicosphaera carteri* et *Rhabdosphaera stylifer* comme formes indicatrices de milieu chaud [2 et 4] voire subtropical [4 et 7], seul *Coccolithus pelagicus* semble indiquer un milieu froid pour la majorité des auteurs [4 et 6].

1) Ces espèces sont notées par un astérisque sur les tableaux récapitulatifs qui se trouvent dans le chapitre de synthèse.

2) Les chiffres entre crochets se rapportent aux références bibliographiques citées dans le chapitre de synthèse.

Espèce abondante  Espèce rare 
 Espèce commune  Trouvailles isolées 

Carotte 1

| | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 |
|--|---|----|----|----|----|
| <i>Gephyrocapsa oceanica</i> Kamptner |  | | | | |
| <i>Cyclococolithus leptoporus</i> (Murray et Blackmann) Kamptner |  | | | | |
| <i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich) Kamptner |  | | | | |
| <i>Gephyrocapsa</i> cf. <i>G. oceanica</i> Kamptner |  | | | | |
| <i>Rhabdosphaera claviger</i> Murray et Blackmann |  | | | | |
| <i>Pontosphaera</i> cf. <i>P. discopora</i> Schiller |  | | | | |
| <i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller |  | | | | |
| <i>Scyphosphaera apsteinii</i> Lohmann |  | | | | |
| <i>Rhabdosphaera styliifer</i> Lohmann |  | | | | |
| <i>Discolithus japonicus</i> (Takayama) Clocchiatti |  | | | | |
| <i>Discolithus</i> sp. |  | | | | |
| <i>Rhabdosphaera</i> indét. |  | | | | |
| <i>Scyphosphaera</i> cf. <i>S. apsteinii</i> Lohmann |  | | | | |
| <i>Umbilicosphaera mirabilis</i> Lohmann |  | | | | |
| * Formes crétacées indéterminables |  | | | | |
| * <i>Sphenolithus abies</i> Deflandre |  | | | | |
| * <i>Braarudosphaera bigelowi</i> (Gran et Braarud) Deflandre |  | | | | |
| * <i>Discoaster</i> sp. |  | | | | |
| * <i>Prediscosphaera</i> sp. |  | | | | |
| * <i>Watznaueria barnesae</i> (Black) Perch-Nielsen |  | | | | |
| * <i>Micula staurophora concava</i> (Stradner) Noël |  | | | | |
| * <i>Eiffelithus</i> sp. |  | | | | |

Les résultats exposés ci-dessus laissent penser que la carotte T 1 témoigne d'un milieu tempéré-chaud dans la partie inférieure (présence de *Rhabdosphaera styliifer*) devenant plus froid dans la partie supérieure (présence de *Coccolithus pelagicus*). Mais ces résultats doivent être considérés avec beaucoup de circonspection et devront être confrontés avec les résultats d'études postérieures concernant plus particulièrement la Méditerranée et aussi la répartition selon la température des autres espèces présentes.

7 - GEOCHIMIE

7.1 - Teneurs en éléments majeurs (S.N.P.A.)

- teneurs en éléments majeurs (dosage en Fluorescence X) exprimées en % du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O | CaO | Fe ₂ O ₃ | MgO | TiO ₂ | *P.F. |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------|-------|
| 8-10 | 45,3 | 11,1 | 1,9 | 15,9 | 4,4 | 3,0 | 0,7 | 17,7 |
| 26-28 | 41,8 | 10,9 | 1,7 | 17,9 | 4,6 | 2,7 | 0,5 | 19,3 |
| 35-37 | 42,0 | 11,5 | 1,8 | 18,2 | 4,8 | 3,5 | 0,5 | 19,2 |
| 54-56 | 44,1 | 11,7 | 2,0 | 16,3 | 4,3 | 3-5 | 0,5 | 18,3 |
| 71-73 | 44,0 | 11,5 | 2,0 | 16,4 | 4,9 | 3,0 | 0,5 | 18,5 |
| erreur à 95 % de probab. | ± 0,8 | ± 0,4 | ± 0,1 | ± 0,3 | ± 0,1 | ± 0,3 | ± 0,05 | ± 0,2 |

* P.F. : perte au feu (de 105°C à 900°C)

7.2 - Teneurs en éléments-traces

7.2.1 - analyses S.N.P.A.

- teneurs en éléments-traces (quantomètre) exprimées en ppm du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total).

| Cote (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|
| 8-10 | 90 | 87 | n.d. | 13 | 77 | 16 | 106 | 41 | 11 | 402 | 289 | 10 | 290 |
| 26-28 | 67 | 97 | 3 | 16 | 80 | 14 | 103 | 40 | 23 | 678 | 346 | 13 | 330 |
| 35-37 | 75 | 84 | 1 | 12 | 78 | 17 | 110 | 41 | 17 | 536 | 310 | 11 | 400 |
| 54-56 | 82 | 106 | 3 | 20 | 85 | 21 | 109 | 41 | 21 | 543 | 355 | 15 | 340 |
| 71-73 | 81 | 83 | n.d. | 15 | 75 | 26 | 105 | 35 | 12 | 369 | 305 | 10 | 380 |
| reproduc- tibilité | ±7,0 | ±7,6 | ±1,8 | ±3,0 | ±5,0 | ±2,8 | ±6,0 | ±5,6 | ±5,0 | ±30 | ±20 | ±2,4 | ±35 |

n.d. : non détecté.

- teneurs en éléments-traces (quantomètre) exprimées en ppm de la fraction fine calcinée à 900°C et teneurs en TiO₂ en % (analyses sur la fraction fine (<5 µ) et décarbonatée du sédiment total).

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn | TiO ₂ |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|-----|----|----|-----|-----|----|-----|------------------|
| 8-10 | 195 | 216 | n.d. | 12 | 128 | 52 | 240 | 75 | 19 | 112 | 381 | 31 | 160 | 1,06 |
| 26-28 | 184 | 207 | 1 | 8 | 133 | 43 | 222 | 87 | 18 | 91 | 402 | 33 | 220 | 1,14 |
| 35-37 | 173 | 231 | 1 | 13 | 120 | 41 | 231 | 84 | 21 | 111 | 419 | 33 | 160 | 1,08 |
| 54-56 | 197 | 223 | 2 | 14 | 120 | 51 | 222 | 82 | 22 | 101 | 390 | 36 | 180 | 1,11 |
| 71-73 | 178 | 217 | 1 | 13 | 121 | 59 | 224 | 79 | 21 | 106 | 401 | 32 | 140 | 1,06 |
| reproduc- tibilité | ± 11 | ± 12 | ±0,8 | ±2,5 | ±6,5 | ±4,0 | ±10 | ±8 | ±4 | ±9 | ±25 | ±3 | ±20 | ±0,08 |

n.d. : non détecté.

7.2.2 - analyses B.R.G.M.

| ELEMENTS *limites de dosabi- lité g/t | N° | 3 - 6 | 18 - 21 | 22 - 24 | 37 - 39 | 42 - 44 | 56-58,5 | 62 - 65 |
|---|----|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Be | 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 |
| B | 20 | 65 | 51 | 64 | 62 | 75 | 76 | 70 |
| Sc | 2 | 7 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 |
| V | 10 | 88 | 88 | 73 | 90 | 92 | 92 | 88 |
| Cr | 5 | 84 | 82 | 82 | 91 | 97 | 86 | 84 |
| Mn | 10 | 414 | 383 | 435 | 439 | 432 | 410 | 378 |
| Co | 5 | 11 | 10 | 10 | 11 | 10 | 11 | 9 |
| Ni | 5 | 45 | 59 | 43 | 52 | 48 | 47 | 45 |
| Cu | 3 | 26 | 21 | 26 | 42 | 35 | 30 | 24 |
| Zn | 20 | 79 | 51 | 69 | 81 | 81 | 81 | 65 |
| Ga | 2 | 17 | 13 | 17 | 17 | 18 | 18 | 16 |
| Ge | 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 |
| Sr | 5 | 332 | 384 | 386 | 365 | 412 | 283 | 311 |
| Y | 10 | 13 | 10 | < 10 | 12 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Mo | 7 | < 7 | < 7 | < 7 | < 7 | < 7 | < 7 | < 7 |
| Ag | 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |
| Cd | 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 |
| Sn | 2 | < 2 | < 2 | < 2 | 4 | 4 | < 2 | < 2 |
| Ba | 5 | 257 | 258 | 257 | 280 | 288 | 278 | 288 |
| Yb | 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 |
| Pb | 6 | 23 | 13 | 41 | 67 | 31 | 42 | 28 |
| Bi | 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 |

pour une prise normale d'échantillon de 200 mg.

Spectrométrie d'émission.

Résultats exprimés en g/t par rapport au sédiment sec.

8 - MATIERE ORGANIQUE

8.1 - analyses S.N.P.A.

- teneurs en carbone organique et soufre sur le sédiment total

| Cotes (en cm) | C.O. * | S** total | S** élémen- taire | S** des mono- sulfures | S** organique | S** des bi- sulfures | S** des sulfates |
|------------------|--------|--------------|-------------------------|------------------------------|------------------|----------------------------|------------------------|
| 8-10 | 0,55 | 5600 | < 0,1 | n.d. | 660 | 4700 | 900 |
| 26-28 | 0,38 | 3700 | < 0,1 | n.d. | 270 | 3000 | 1000 |
| 35-37 | 0,41 | 3600 | 2 | n.d. | 360 | 3000 | 1100 |
| 54-56 | 0,43 | 3900 | 2 | 2 | 360 | 2800 | 1600 |
| 71-73 | 0,43 | 4300 | 6 | 2 | 320 | 2200 | 1600 |

* : en % du sédiment étuvé à 105°C (erreur à 95 % de probabilité : ± 6 % relatifs).

** : en ppm du sédiment étuvé à 105°C, erreurs non évaluées

n.d. non détecté.

- teneurs en carbone organique et en soufre exprimées en % de la fraction fine étuvée à 105°C.

| Cotes (en cm) | C.O. % * | S % |
|------------------|----------|------|
| 8-10 | 1,52 | 0,80 |
| 26-28 | 1,58 | 0,36 |
| 35-37 | 1,80 | 0,28 |
| 54-56 | 1,53 | 0,27 |
| 71-73 | 1,62 | 0,11 |

* : erreur à 95 % de probabilité : ± 6 % relatifs.

8.2 - analyses B.R.G.M.

| Cotes (en cm) | S % | C total % | CO ₃ % | C minéral % |
|------------------|------|--------------|----------------------|-------------------|
| 3- 6 | 0,24 | 4,00 | 19,75 | 3,82 |
| 18-21 | 1,70 | 4,10 | 21,20 | 4,10 |
| 22-24 | 0,30 | 4,20 | 21,30 | 4,12 |
| 37-39 | 0,22 | 4,10 | 21,20 | 4,10 |
| 42-44 | 0,16 | 3,80 | 19,55 | 3,78 |
| 56-58,5 | 0,16 | 4,00 | 20,00 | 3,87 |
| 62-65 | 0,23 | 4,00 | 19,15 | 3,71 |
| - | 0,20 | 3,90 | 19,15 | 3,71 |

sur sédiment total séché à 105-110°C.

8.3 - Etude des sulfures par microscopie métallographique (Planche 1)

Section polie au niveau 18 à 21 cm :

Pyrite très abondante, le plus souvent sous forme de "framboïdes" (pyritosphères) de taille variable (3/10 mm maximum). Souvent aussi en remplacement de tests de microorganismes ou de débris végétaux.

On note aussi un peu de rutile, de magnétite, quelques plages de goethite. Egalement quelques traces de matière organique très évoluée (graphitoïde). Le rutile est en fait, la plupart du temps, de l'anatase.

Planche 1



Photo 1 - Remplacement de microorganisme par la pyrite - T 1 150 X

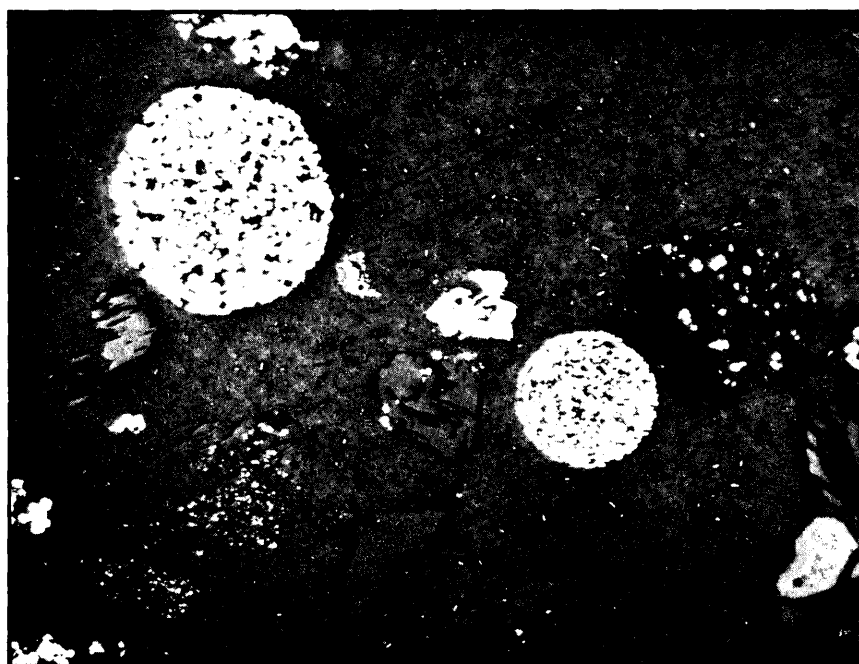


Photo 2 - Pyritosphères : T 1 150 X

SITE T 2

1 - DETERMINATION DU SITE

1.1 - Sismique de la zone (figures 21 - 22)

L'objectif du forage T 2 est d'atteindre *le socle continental au bas de la pente* dans une zone située au large de Cannes et à l'est du cap Camarat. La sismique réflexion (air-gun) montre au bas de la pente une structure en dôme acoustiquement opaque, qui prolonge directement le substratum de la pente (Pautot, 1969). Il s'agit probablement d'un ressaut où le socle affleure. En direction de la plaine abyssale, la série sédimentaire vient buter sur cette structure.

1.2 - Sondeur de vase (figure 23)

L'enregistrement montre une pente de forte déclivité au bas de laquelle apparaît un réflecteur à environ 14 ms de profondeur.

1.3 - Bathymétrie (figure 24)

La bathymétrie montre le contact entre la pente et la plaine abyssale au point choisi pour le forage. Au nord de ce point, les canyons de Saint-Tropez et des Stoechades confluent avant de disparaître dans la plaine abyssale.

2 - OPERATIONS DE FORAGE

2.1 - Chronologie

Un premier essai de forage traverse une couverture sédimentaire meuble de 8 m avant d'atteindre le substratum. Cette couverture est insuffisante pour maintenir l'appareil en position verticale. Une deuxième tentative montre le socle à 12,50 m sous la couche sédimentaire.

2.2 - Courbe d'enfoncement (figure 25)

Dans le premier trou, la vitesse de pénétration était de 40 m/h, dans le deuxième, elle n'est que de 28 m/h dans la couche meuble. Ceci suggère de rapides variations latérales de compaction de la couverture sédimentaire.

A partir de 12,5 m, la vitesse d'enfoncement est considérablement ralentie (1,2 m/h) jusqu'à 12,8 m.

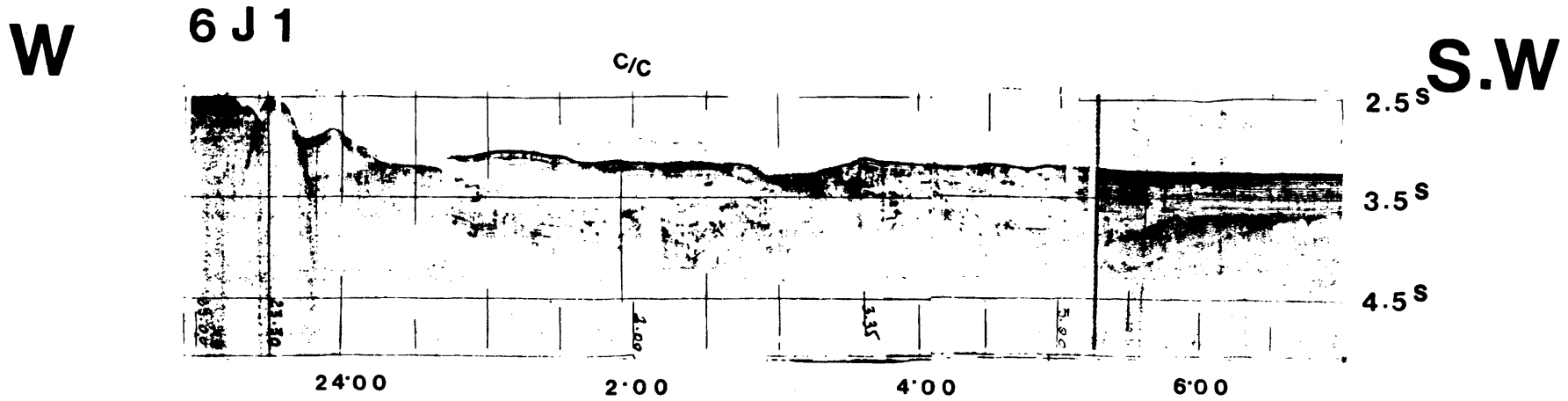


Figure 21 - Profil sismique du M.O.M. avec un sparker

La route est reportée sur la figure 24

Le dôme en bas de pente à 23 h 30 est le site choisi pour le forage T 2.

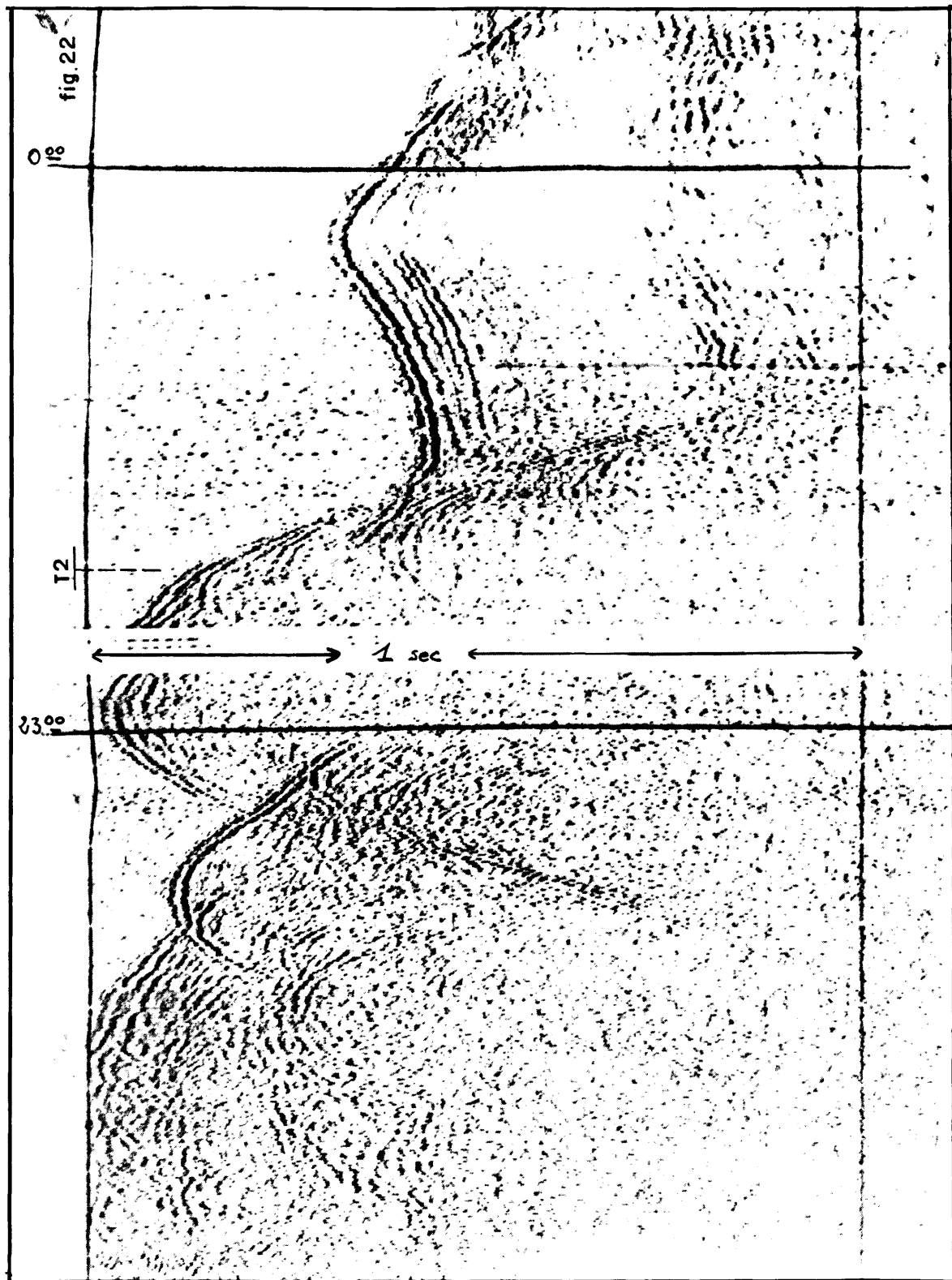


Figure 22 - Profil sismique (M.O.M.)
Profil 6 J 1 de 23 h 00 à 0 h 00 montrant le dôme en bas de
pente. (Sparker 9 000 J. Enregistreur EGG 254).

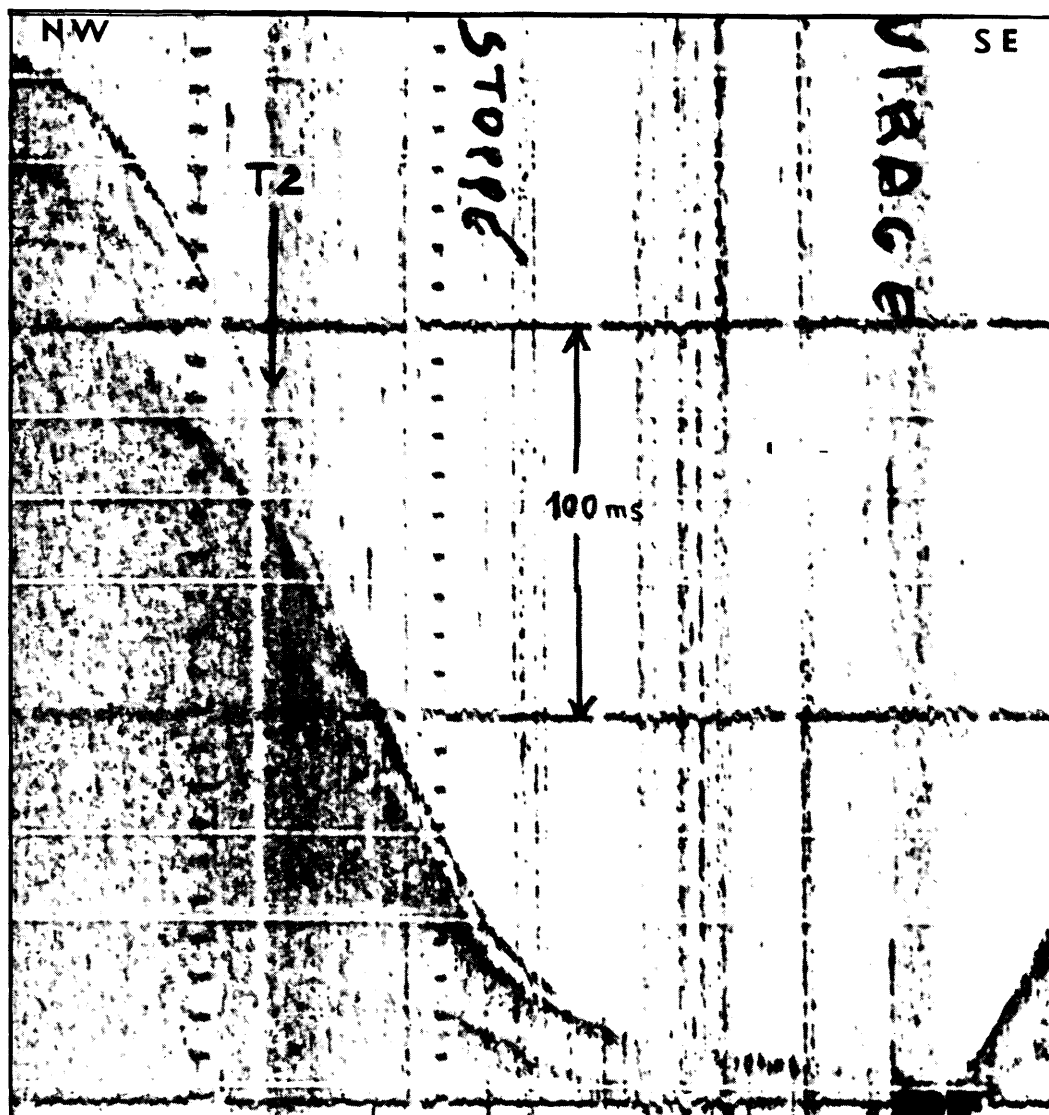


Figure 23 - Sondeur de sédiment

La pente est très raide. On observe un réflecteur puissant à 14 ms environ sous le fond.

Le profil a une orientation NW - SE sur le flanc de la structure.

La photo est entre 6 h 05 et 6 h 10.

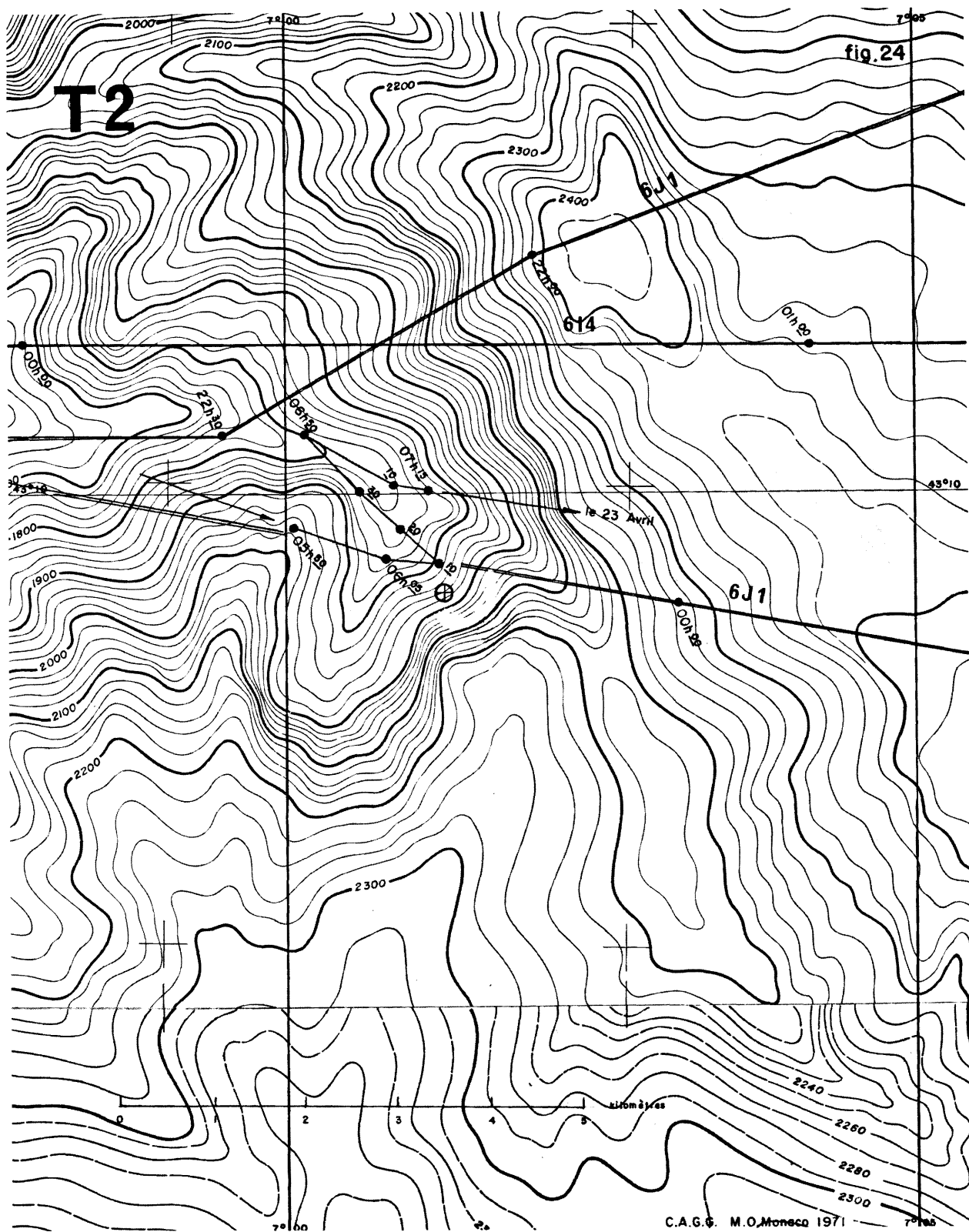


Figure 24

Extrait de la carte bathymétrique de la mer Ligure en 1/50 000e. (M.O.M.)
Profils Sparker. Profils du bateau accompagnateur.

CAROTTE T. 2

Profondeur 2110 m.

Prélèvement à 12,50 m.

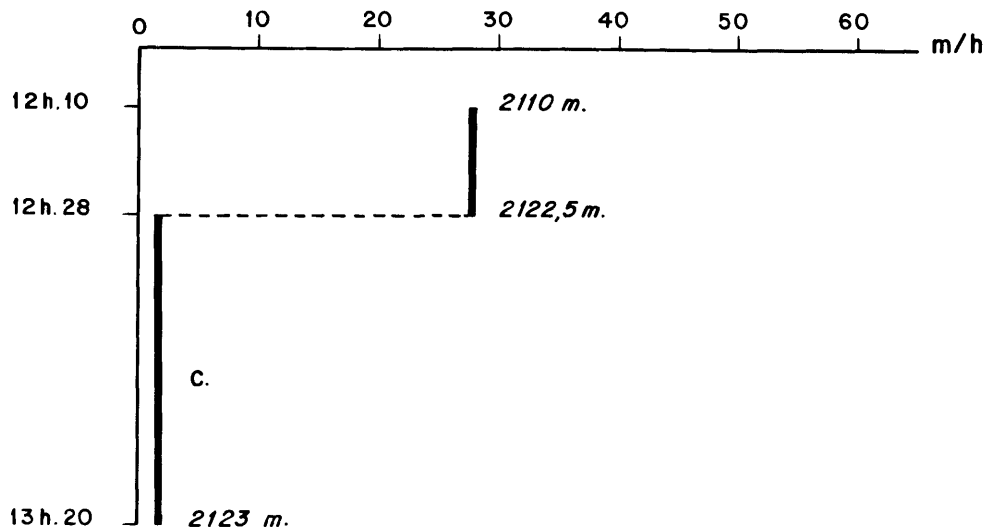


Figure 25

2.3 - Carottage

Le carottier est déclenché avec succès à 2122,5 m, entre 12,5 m et 12,63 m dans le socle. Les 13 cm de socle prélevés sont constitués par un conglomérat à éléments cristallins.

3 - MINERALOGIE

3.1 - Examen des frottis

Niveaux :

- . T 2 - 1 : traces de vase sur la foreuse
- . T 2 - 2 : traces de vase sur la foreuse
- . T 2 - 3 : intérieur de l'ogive.

Granulométrie :

| Niveau | Sable | Sablon | Poudre |
|---------|-------|--------|--------|
| T 2 - 1 | 30 | 35 | 35 |
| T 2 - 2 | 15 | 15 | 70 |
| T 2 - 3 | 40 | 15 | 45 |

. T 2 - 1

- . terrigène : 45 %
 - quartz : 35
 - biotite : 5
 - muscovite : 5

- . organique : 55 %
 - calcite : 45
 - nannoplancton : 8
 - foraminifères : 2

Des traces de :

- . chlorite, pyrite, hématite.

C'est un *sablon terrigène calcaire*.

. T 2 - 2

- . terrigène : 30 %
 - quartz : 20
 - muscovite (séricite) : 10
- . organique : 70 %
 - calcite : 35 (nombreux rhomboèdres)
 - nannoplancton : 30
 - foraminifères : 5

Des traces de :

- . magnétite, limonite, chlorite.

C'est une *vase terrigène à nannoplancton recristallisé*.

. T 2 - 3

- . terrigène : 40 %
 - quartz : 30
 - muscovite : 10
- . organique : 60 %
 - calcite : 25 (rhomboèdres)
 - foraminifères : 10
 - nannoplancton : 25

Traces d'hématite et de pyrite.

C'est un *sable fin vaseux*.

4 - MICROFAUNE DU SEDIMENT SURMONTANT LE CONGLOMERAT (figure 26)

Abondance relative des foraminifères

- Foraminifères benthiques

Le sédiment vaseux de cette carotte contient des foraminifères benthiques peu abondants à l'exception de *Cibicides pseudoungerianus* et *Cibicidoides mundulus* un peu mieux représentés.

Dans le sédiment grossier, on trouve quelques formes transportées :

Cibicides lobatulus, *Cibicides sp.*, ou remaniées du Pliocène : *Elphidium laminatum*.

- Foraminifères planctoniques

Il y a dominance des espèces suivantes : *Orbulina universa*, *Globigerina pachyderma*, *Globigerina bulloides* et *globorotalia inflata*.

T 2

Liste et abondance des Foraminifères contenus dans chaque échantillon de sédiment

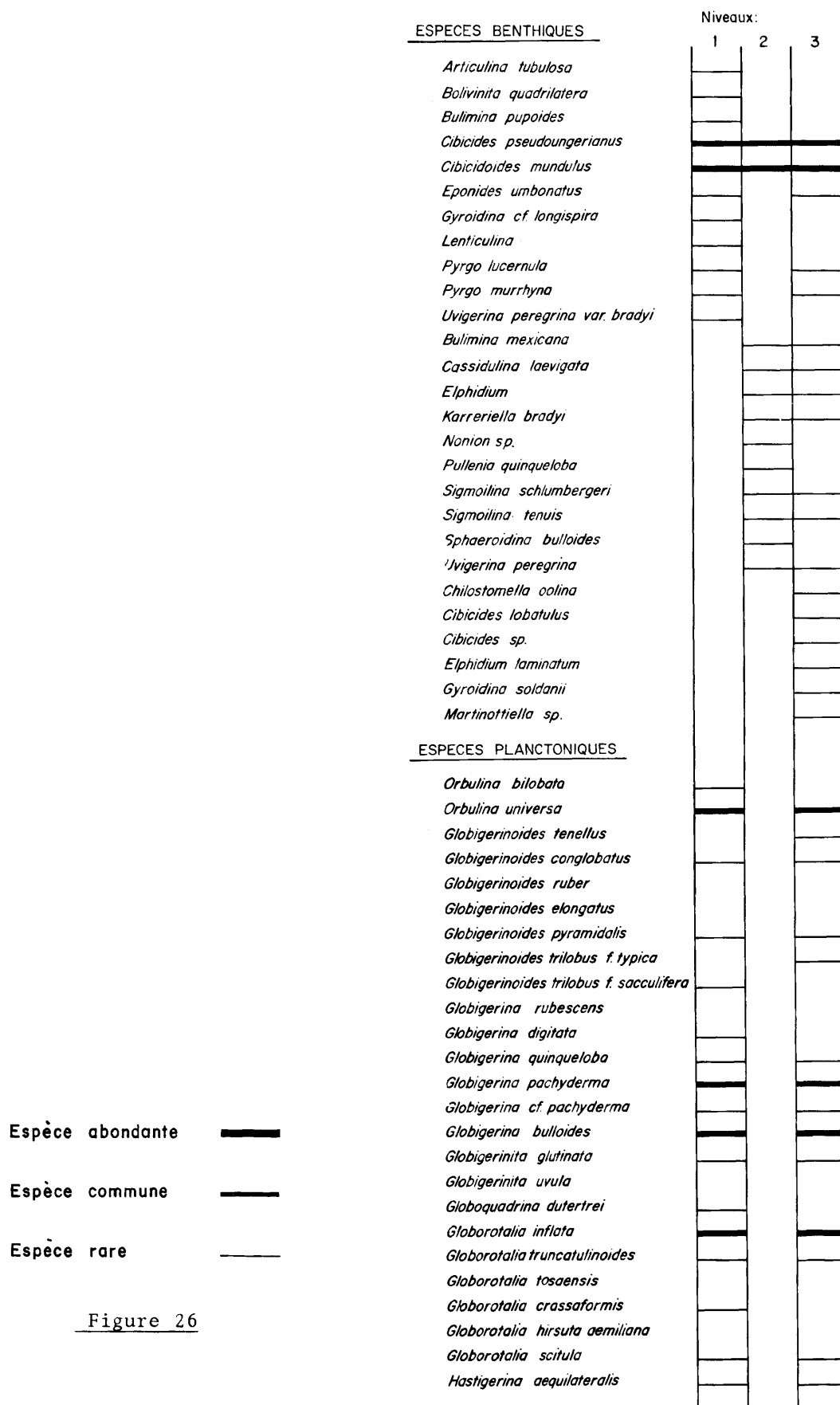


Figure 26

Quelques individus de *Globigerinoides trilobus* forma *typica* et forma *sacculifera*, *Globorotalia truncatulinoides* senestres ont été trouvés.

Cette microfaune est d'âge Pleistocène. Quelques formes benthiques sont remaniées du Pliocène.

5 - ETUDE DU CONGLOMERAT *) (planches 2, 3, 4)

5.1 - Caractères macroscopiques de l'échantillon (planche 2)

L'échantillon présente à l'oeil nu, les caractères d'un conglomérat polygénique à petits éléments, sub-arrondis ou anguleux, de roches cristallines, dispersées dans une matrice carbonatée hétérogène.

5.1.1 - Aspect de la matrice carbonatée

Un examen plus attentif, à la loupe, des flancs polis de la carotte ou de surfaces sciées montre que la matrice emballant les galets comporte elle-même :

- une pâte calcaire très fine blanc jaunâtre à crème, d'allure micritique, servant de liant ;
- de très nombreux fragments (1 à 10 mm) d'organismes (Algues, Bryozoaires, Oursins, Mollusques), les plus volumineux (5 à 6 mm) d'entre eux étant manifestement émoussés ou arrondis ;
- des encroûtements algaires stratifiés, qui enveloppent parfois complètement certains galets cristallins, ou qui forment de petites concrétions mamelonnées ayant pour coeur un nodule de pâte calcaire (endoclaste ?) ou un débris organique ;
- des Foraminifères.

Les bioclastes se distinguent aisément de la pâte micritique jaunâtre qui les baigne par leur teinte laiteuse ou grisâtre et par l'aspect de leur section, mat ou finement saccharoïde.

Quelques fissures au tracé flexueux découpent la matrice calcaire, en contournant les galets ou en les pénétrant. La plupart d'entre elles sont tapissées par un enduit de manganèse gris bleuté qui émet dans les épontes de très fines arborisations dendritiques. D'autres sont cicatrisées par un film de calcite.

La pâte calcaire se teinte localement en rougeâtre au voisinage de certains galets cristallins qui, en exsudant leur fer, s'enveloppent d'un liseré bien circonscrit ou d'un halo diffus de pigment limonitique.

En outre, elle est ponctuée çà et là de vacuoles arrondies ou anguleuses de 1 à 4 mm d'ouverture, dont certaines se disposent sur le trajet des fissures décrites précédemment.

5.1.2 - Caractéristiques générales des galets

Tous les fragments lithiques identifiables à l'oeil nu ou à la loupe, paraissent de nature éruptive ou métamorphique. Il s'agit :

*) Etude réalisée au Département de Géologie de l'Université de Bretagne occidentale (BREST) par A. PELHATE et M. GRAVELLE, avec la collaboration de S. GUEIRARD (Laboratoire de Pétrologie de l'Université de Marseille - St-Jérôme) et G. PAUTOT (Centre Océanologique de Bretagne).

Planche 2



1



2

Photographie 1 :

Vue générale de l'échantillon T₂ (hauteur de la carotte = 13 cm)

Photographie 2 :

Section longitudinale, montrant la disposition préférentielle des galets aplatis, selon une direction de plan inclinée de 40° sur l'axe de la carotte.

- d'une part, de gneiss ou granites orientés à grain moyen ou fin, largement représentés dans la portion de carotte étudiée,

- d'autre part, de roches à grain très fin, souvent micacées et présentant alors une foliation délicate (phyllites au sens de Winkler, 1966).

Les granito-gneiss forment des granules, graviers ou petits cailloux d'allure générale anguleuse, mais dont les arêtes sont presque toujours émoussées (fragments sub-arrondis). Les plus grands éléments atteignent 25 mm.

Les galets de phyllites et de roche microgrenue manifestent une usure plus régulière ; ils ont souvent l'aspect de dragées ovoïdes ou aplaties de 10 à 20 mm de longueur. Quelques-uns d'entre eux ont conservé cependant une forme sub-anguleuse.

5.1.3 - Particularités structurales

Sur les sections longitudinales de l'échantillon, on peut observer que les galets aplatis tendent parfois à s'orienter parallèlement. Ils ébauchent ainsi un litage très sommaire, incliné de 30 à 40° sur l'axe de la carotte.

Cette direction de plan privilégiée est en outre soulignée par certaines des microfissures qui sillonnent la matrice calcaire. Par contre, elle ne se manifeste pas clairement dans la répartition et l'orientation des bioclastes.

5.2 - Etude des constituants détritiques

5.2.1 - Eléments cristallins

L'examen en lames minces permet de préciser la nature pétrographique des éléments détritiques grossiers. Il met en outre en évidence l'existence d'une fraction fine constituée de particules poly ou monocristallines de la classe des arénites et des lutites.

5.2.1.1 - Fraction détritique grossière

Les galets de la taille des granules, graviers, ou petits cailloux, se rapportent aux types pétrographiques suivants ; classés par ordre décroissant d'abondance.

- *Eléments abondants :*

. Granito-gneiss ou gneiss granitoïdes calco-alcalins à biotite brune, ou rouge (dans un seul échantillon). Ces roches à foliation cristallophyllienne indécise représentent, soit des granites orientés, soit plus vraisemblablement des orthogneiss. Certaines sont fraîches et peu déformées. D'autres, au contraire, manifestent une rétro-morphose prononcée avec la déstabilisation ou chloritisation partielle des biotites, la séricitisation et saussuritisation des feldspaths et la granulation des quartz. Elles sont en outre intensément tectonisées, comme l'attestent les extinctions très onduleuses et l'existence d'un réseau de microfractures rectilignes cicatrisées par de la pennine et du quartz. On note, enfin, la présence de fissures plus tardives, sinueuses et anastomosées, tapissées de calcite, qui s'insinuent entre les cristaux ou parfois les recourent.

- *Eléments peu abondants :*

. Gneiss à grain fin ou moyen, calco-alcalin, à biotite souvent déstabilisée et grosses apatites.

. Phyllites (ou micaschistes à grain très fin, inférieur à 0,5 mm) à biotite, quartz et oligoclase-andésine, avec texture grano-lépidoblastique typique. L'un de ces galets présente une esquisse de litage avec intercalation de petits niveaux riches en reliques stables de plagioclases zonés (ancien tuf volcanique ?).

. Granites aplitiques calco-alcalins ; les uns à biotite seule, verdie et déstabilisée ; les autres à biotite verte et muscovite.

- *Eléments rares*

. Granite calco-alcalin à biotite rétrotransformée et muscovite paraissant tardive ;

. Granite à biotite, muscovite et amas pinitisés (cordiérite ?).

. Gneiss leucocrate à sillimanite rétrotransformée en séricite.

- *Eléments très rares* : (un seul galet rencontré)

. Phyllite à biotite, trémolite, zoïsite, quartz et fantômes de feldspaths pseudomorphosés en agrégats microcristallins de séricite, zoïsite, calcite et quartz ; cette roche à structure diablastique étant très probablement polymétamorphique.

. Microdolérite, calcifiée et épidotisée.

. Biotite à grains très fins.

5.2.1.2 - Fraction détritique fine

Cette fraction fine est représentée par :

- *Des fragments polycristallins* sub-anguleux ou anguleux de la classe des arénites (à grain fin, moyen ou grossier). On y rencontre les associations minéralogiques suivantes, classées par ordre de fréquence décroissant :

. plagioclase + quartz ;

. plagioclase + biotite ; quartz + biotite ; quartz + quartz ;

. feldspath alcalin + quartz : quartz + feldspath + chlorite.

- *Des particules monocristallines*, anguleuses ou sub-anguleuses, de dimensions comprises entre 15 microns et 2 mm. Il s'agit le plus souvent de menus fragments de quartz, parfois de plagioclase ou de biotite et rarement de feldspath alcalin.

5.2.1.3 - Conclusions à l'étude des éléments cristallins (planche 3)

L'examen en lames minces souligne l'hétérométrie accusée des éléments cristallins dispersés dans la matrice carbonatée ; il montre en effet que des arénites et des particules silteuses se mêlent aux granules et graviers. Il met en outre en évidence, chez certains galets de granito-gneiss notamment, une corrosion des quartz par de la calcite progressant à la faveur de microfissures. La calcitisation, favorisée par une préparation tectonique, paraît contemporaine de la diagenèse.

Cette étude indique en outre que la plupart des matériaux détritiques ont pu être empruntés au complexe cristalloyphyllien des Maures. Mademoiselle GUEIRARD qui a bien voulu étudier quelques lames minces, situe ainsi les sources de quelques types caractéristiques :

- les gneiss à biotite brun pâle, nombreux plagioclases et très grosses apatites ont un faciès analogue à celui des gneiss inclus dans les micaschistes "type cap Nègre" de la chaîne côtière (secteurs Cavalaire - Cogolin).

- des gneiss leucocrates à sillimanite rétrotransformés existent dans la Presqu'île de Saint-Tropez, à l'est du granite de Plan de la Tour, ainsi que dans la partie orientale du Massif de Tanneron.

- quant aux granites aplitiques et aux gneiss granitoïdes, écrasés, ils pourraient provenir de la zone tectonisée Grimaud - Moulins de Paillas.

- enfin elle souligne la parenté pétrographique évidente de ces éléments cristallins avec les matériaux repris en galets dans le Carbonifère de Plan de la Tour.

5.2.2 - Eléments organiques (planche 4)

5.2.2.1 - Algues

Les algues se présentent sous deux formes ; soit encroûtantes autour de galets cristallins (le revêtement peut atteindre une épaisseur de 4 mm), soit en fragments de taille variable. Ce sont des Corallinacées. Les genres *Lithophyllum* et *Archaeolithothamnium* sont représentés essentiellement à l'état de phytoclastes, alors que l'espèce *Lithoporella melobesioides* constitue l'enveloppe de certains fragments détritiques. *)

5.2.2.2 - Bryozoaires, Echinides, Mollusques, Ostracodes.

5.2.2.3 - Foraminifères benthiques

Ils sont abondants et variés ; des formes calcaires : *Amphistegina*, *Sphaerogypsina*, *Elphidium* sp., *Bolivina*, *Spiroloculina*, *Triloculina*, *Ophthalmidium*, *Rotalia* sont associées à des formes arénacées : *Textularia*, *Bigenerina nodosaria*.

5.3 - Etude du ciment

Le liant qui unit les différents constituants étudiés est formé essentiellement par de la calcite micritique, la calcite spathique étant localisée en particulier dans les conceptacles algaires.

Il n'est pas possible de dire à l'examen au microscope ordinaire, si cette micrite constitue à elle seule un sédiment, c'est-à-dire si elle est formée par la juxtaposition d'éléments carbonatés provenant d'une précipitation ou de l'abrasion de débris calcaires et si, en conséquence, on doit lui attribuer le nom de matrice. En ne tenant compte que de la nature chimique de ce liant, nous le considérons comme un ciment. La calcite spathique représente une cristallisation secondaire dans les vides existant lors de la sédimentation.

La micrite renferme des Foraminifères planctoniques, *Orbulina*, *Globorotalia*, *Globigerina*, *Globigerinoïdes*:

G. DUNOYER DE SEGONZAC a analysé ce ciment.

Le ciment, étudié aux rayons X, indique une calcite dont certains paramètres, un peu plus faibles, suggèrent l'introduction de Mg en remplacement de Ca.

*) Détermination de M. EMBERGER de l'I.G.B.A. de Bordeaux-Talence

Planche 3



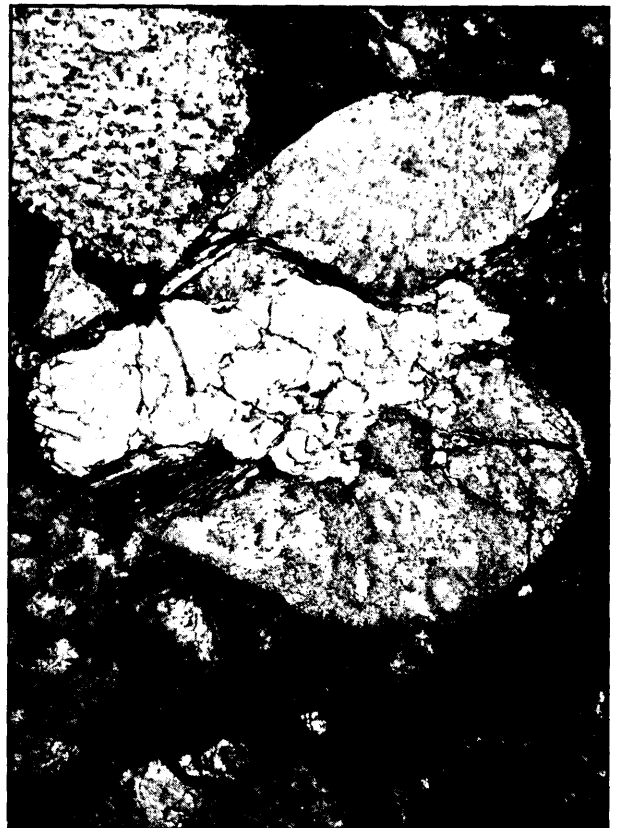
1



2



3



4

Planche N° 3

Aspect en lames minces de quelques galets et fragments de roches cristallines.

Photographie 1

Fragment polycristallin sub-anguleux comportant plagioclase, quartz et chlorite. Cette particule est empruntée à un gneiss ou un granite calco-alcalin fortement déformé comme l'attestent la courbure des lamelles hémitropes et la microfracturation. LP x 57.

Photographie 2

Granule sub-anguleux de microdolérite légèrement calcifiée (plages denticulées claires) et épidotisée. LP x 57.

Photographie 3

Gravier sub-arrondi de gneiss fin calco-alcalin à biotite (vue partielle). LN x 23.

Photographie 4

Granule sub-arrondi de granito-gneiss à biotite chloritisée. La corrosion du quartz (plage claire) par la calcite à la faveur de microfissures sinueuses est bien visible dans la partie centrale du galet. LN x 23.

Planche 4



1



2



3



4

Planche N° 4

Aspect en lames minces des organismes et bioclastes.

Photographie 1

Encroûtement algaire. LN x 23

Photographie 2

Micrite à Foraminifères planctoniques avec thalles algaires et endoclastes. LN x 23

Photographies 3 et 4

Eléments bioclastiques (Bryozoaires, Algues, Foraminifères, radioles d'Echinides) insérés dans la micrite. LN x 23.

Une analyse chimique après attaque chlorhydrique à chaud a donné les résultats suivants :

CaO : 53,3 %

MgO : 0,99 %

on ne peut pas parler de calcite magnésienne pour une teneur aussi faible en Mg. La transformation de Ca et Mg en carbonate donne par le calcul une teneur en CO₂ de 43,0 %.

La somme de ces trois oxydes est alors :

53,3

0,99

43,0

97,27 %

De déficit à 100 % doit être représenté par les autres cations généralement associés à la calcite : Fe et Mn.

C'est donc en définitive une calcite très ordinaire qui se signalait seulement à l'attention par sa teinte très claire et sa dureté exceptionnelle.

5.4 - Discussions sur le mode de dépôt et l'âge du conglomérat

5.4.1 - Mode de dépôt

Les éléments terrigènes ont subi, dans une première phase de sédimentation, un transport par un ou des agents suffisamment efficaces pour entraîner une certaine usure. Le matériel cristallin provenant des Maures a été, vraisemblablement, transporté par les rivières dans le lieu de dépôt où il a pu acquérir un plus grand émousé par l'intermédiaire des courants marins. Cette hypothèse est appuyée par la très faible proportion d'arénites et de lutites terrigènes. Cet apport détritique semble avoir subi un lavage avec élimination des particules les plus fines.

L'association algale rencontrée dans ce sédiment est, d'ailleurs, caractéristique des sols coquilliers et graveleux (ZINOVA, 1940). Les Corallinacées se développent communément dans les eaux peu profondes (5 - 25 m) de la zone sublittorale. L'agitation de l'eau par des courants était, dans le cas étudié, indispensable pour la genèse des encroûtements algaires. Il est, en effet, nécessaire que le nodule calcaire soit continuellement débarrassé du sédiment environnant, pour assurer sa croissance. Si à un certain moment, ces courants sont insuffisants, le nodule algale reste immobile, est recouvert par le sable, ce qui entraîne la mort de l'algue. Les mouvements de l'eau sont aussi prouvés par le nombre abondant de bioclastes qui participent à l'édification de la roche.

Les courants indispensables pour expliquer la genèse des nodules calcaires ont dû cesser dans la dernière phase du dépôt : en effet, leur énergie était alors insuffisante pour disperser la fine poussière de calcite précipitée dans le milieu. Un phytoplancton abondant, non conservé a pu être responsable, par suite du phénomène de photosynthèse, de la précipitation de cette boue calcaire (ROBERTSON, SYKES, NEWELL in CLOUD, 1962), dans laquelle se sédimentent les tests vides des Foraminifères planctoniques.

Les caractères pétrographiques et paléontologiques de cette roche sont ceux d'un dépôt sublittoral dans lequel la répartition du matériel détritique et la

nature du peuplement biologique dépendent en grande partie de l'énergie des vagues et des courants.

5.4.2 - Age

Il est important de pouvoir dater cette formation. L'examen des lames minces n'a pas révélé la présence de Foraminifères caractéristiques. On peut émettre, toutefois, l'hypothèse suivante :

- d'une part, la présence d'*Amphistegina* et de *Sphaerogypsina* indiquerait un âge, au plus, pliocène.

- d'autre part, l'aspect fortement consolidé de cette roche ainsi que son faciès particulier rappelant celui du conglomérat de Roquebrune (BOUCART, 1960) amènent à penser que l'échantillon recueilli serait d'âge miocène.

5.4.3 - Problème de l'emplacement de cette roche

Ce sédiment ayant été carotté à - 2 100 m, deux hypothèses peuvent être émises pour expliquer la présence d'un sédiment sublittoral à une aussi grande profondeur.

- la première hypothèse est celle d'un écoulement turbide dans un canyon ou sur la pente continentale, entraînant vers les fonds marins les particules détritiques et bioclastiques. Un mode de sédimentation de ce type a pu être observé dans ces dépôts subactuels près de La Paz (Californie) par SCHLANGER et JOHNSON (1969) ; mais dans ce cas, le sédiment recueilli à grande profondeur apparaît formé de séquences successives, constituées de deux termes :

. silts zonés riches en Foraminifères planctoniques (10 cm d'épaisseur)

. ravinés par des calcaires organoclastiques grano-classés (2 - 3 cm de puissance).

Or dans l'échantillon T 2 étudié, il n'y a aucun granoclassement visible de telle sorte qu'il nous semble difficile de retenir une telle hypothèse. En outre, en l'absence d'argile, la boue calcaire servant de liant n'aurait certainement pas eu le coefficient de viscosité suffisant pour transporter les graviers.

Enfin, certaines colonies de Bryozoaires extrêmement fragiles sont conservées au sein de la micrite et auraient été, sans aucun doute, brisées dans un transport turbide.

- la deuxième hypothèse est celle de la consolidation sur place du sédiment par assèchement du bassin méditerranéen ou phénomène de subsidence.

SITE T 3

1 - DETERMINATION DU SITE

1.1 - Sismique de la zone (figure 27)

L'objectif du forage est *d'atteindre le socle du haut fond du Méjean* (Pautot, 1969) à l'endroit où celui-ci s'ennoie sous les premières couches sédimentaires de la plaine abyssale. La sismique montre la partie méridionale du haut fond du Méjean qui affleure sur la pente de 1 s à 2,5 s. Ensuite, il s'ennoie sous les sédiments meubles jusqu'à une profondeur de 3 s. Le forage est placé au niveau de cet ennoyage.

1.2 - Sondeur de vase (figure 28)

L'enregistrement montre sur un dôme surélevé une couche sédimentaire à environ 12 ms de profondeur au-dessus d'un fort réflecteur.

1.3 - Bathymétrie (figure 29)

Sur la bathymétrie apparaît l'abrupt, qui, de 1 300 m à 2 000 m, marque l'effondrement du Méjean en direction du sud-est et du nord-est. Le point T3 est placé sur cet abrupt entre 1 600 et 1 700 m.

2 - OPERATIONS DE FORAGE

2.1 - Chronologie

La mise en place de l'appareil s'effectue sans difficulté et les opérations de forage se déroulent rapidement. Au cours du carottage, la faible pénétration du carottier dans le substratum n'a pas suffi à maintenir la carotte dans le tube.

2.2 - Enfoncement (figure 30)

De 1 840 m à 1 853,2 m, la vitesse de pénétration est rapide (30 m/h). De 1 853,2 m à 1 857,2 m, un niveau plus résistant freine l'avancement (18 m/h), puis la vitesse s'accroît de nouveau entre 1 857,2 et 1 865,7 m (23 m/h). A 1 865,7 m, l'appareil se bloque dans le substratum solide.

2.3 - Carottage

Le carottier est remonté de 1 m et déclenché. La pénétration est bonne dans les sédiments, mais dans le socle elle n'est que de 10 cm. Ceci entraîne qu'au cours de l'arrachement, l'ensemble du carottier se vide.

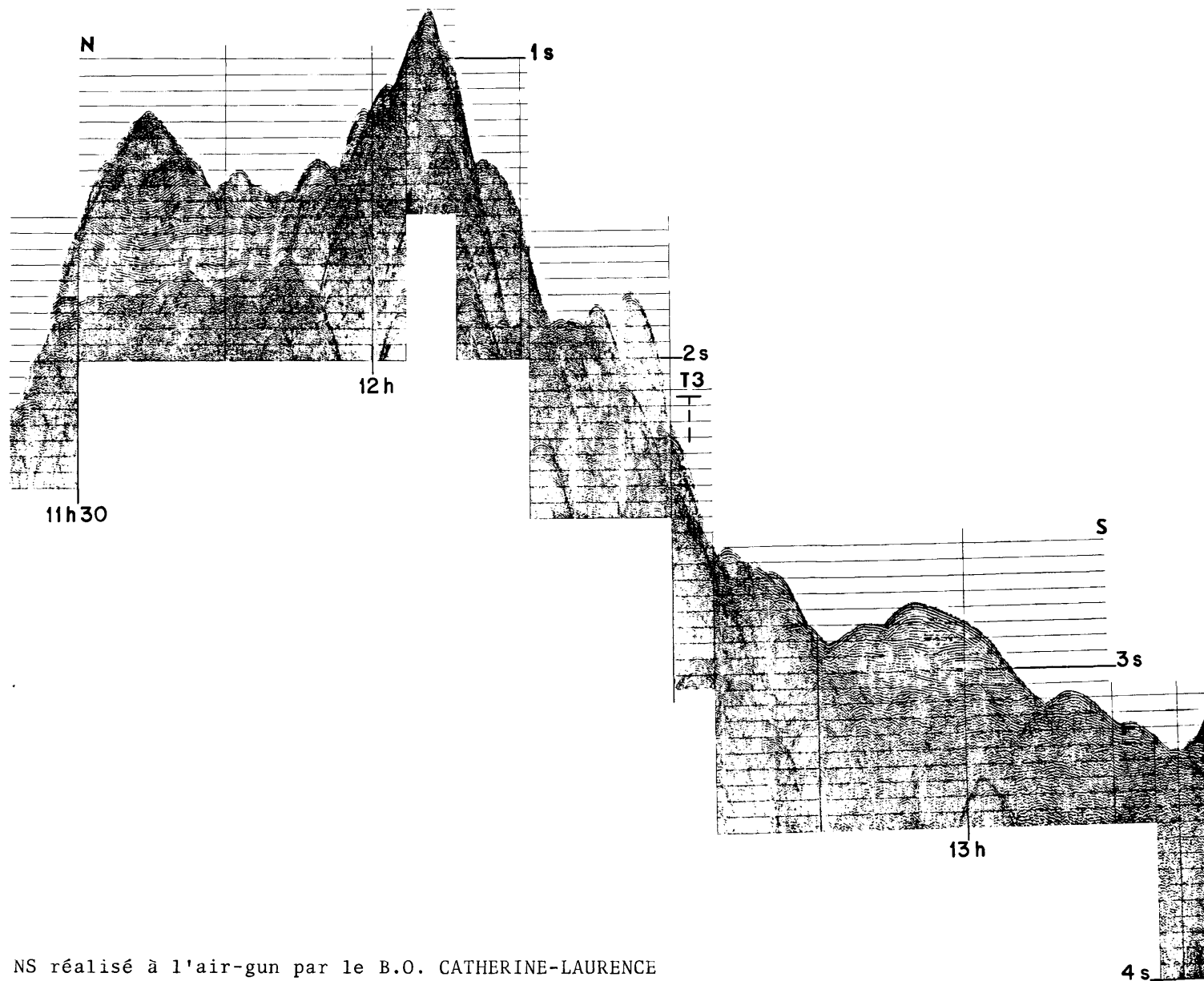


Figure 27 - Profil NS réalisé à l'air-gun par le B.O. CATHERINE-LAURENCE
 La limite N est constituée par le canyon de Cannes, on suit
 l'ennoyage du haut-fond du Méjean vers le sud.



Figure 28 - Sondeur de vase

Profil le 25 avril (photo à 9 h 00)

Réflecteur puissant à environ 12 ms sous le fond.

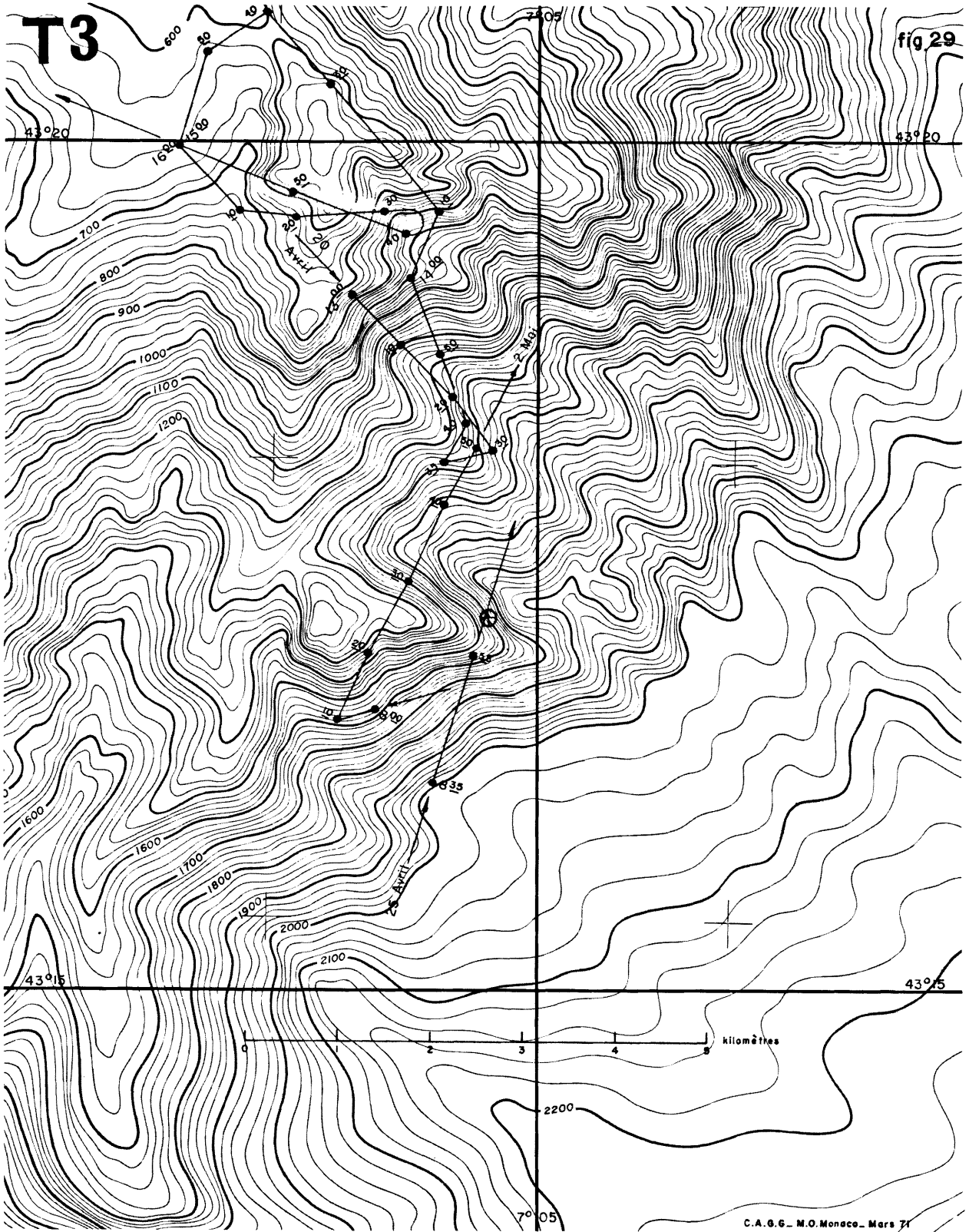


Figure 29

Extrait de la carte bathymétrique de la mer Ligure au 1/50 000e (M.O.M.)
Routes du bâtiment accompagnateur avec le sondeur de vase. Position du
forage.

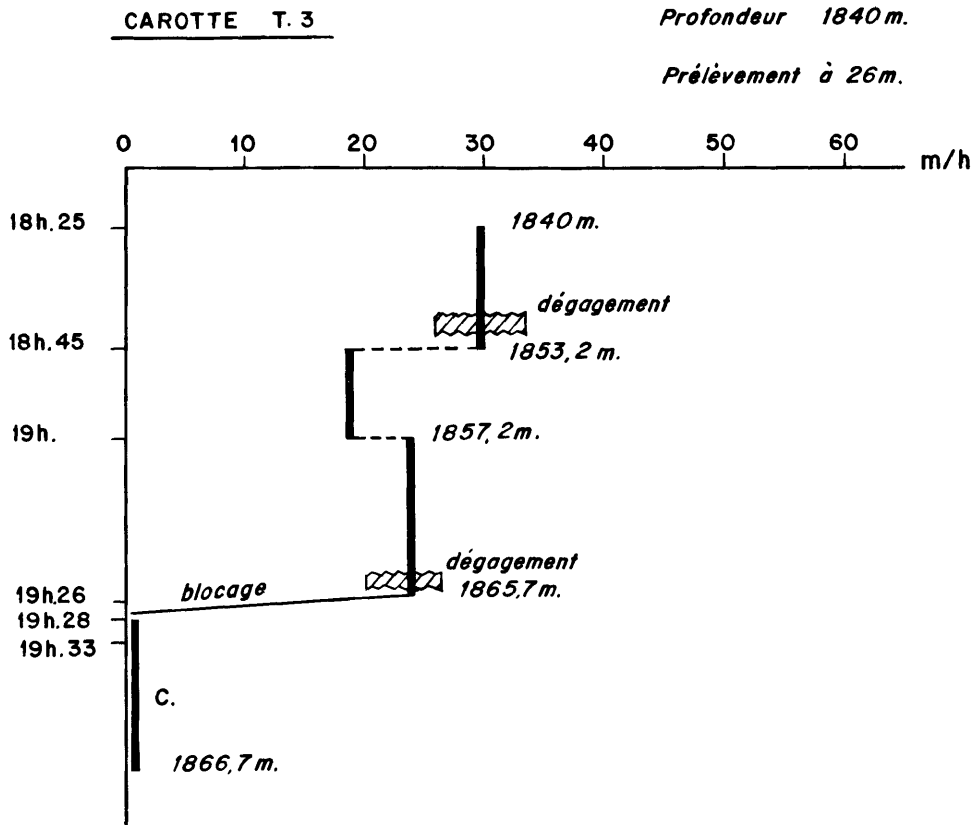


Figure 30

3 - MINERALOGIE

- Examen des frottis

Niveaux

- . T 3 - 1 : traces sur le haut du tube
- . T 3 - 2 : traces sur le bas du tube
- . T 3 - 3 : traces sur la couronne.

Granulométrie

| Niveau | Sable | Sablon | Poudre |
|---------|-------|--------|--------|
| T 3 - 1 | 20 | 20 | 60 |
| T 3 - 2 | 10 | 20 | 70 |
| T 3 - 3 | 20 | 20 | 60 |

. T 3 - 1

- . terrigène : 20 %
quartz : 10
muscovite : 10

- . organique : 80 %
 - nannoplancton : 50 (recristallisé)
 - calcite : 20
 - foraminifères : 5
 - fragments de lamellibranches : 5

- . Traces de :
 - . magnétite, limonite, chlorite
 - . bryozoaires (fragments)

C'est une vase terrigène à nannoplancton recristallisé.

. T 3 - 2

- . terrigène : 25 %
 - muscovite : 20
 - quartz : 5
- . organique : 75 %
 - nannoplancton : 70
 - fragments de bryozoaires : 5

Traces de foraminifères planctoniques et de spicules calcaires.

C'est une vase calcaire.

. T 3 - 3

- . terrigène : 35 %
 - muscovite : 20
 - quartz : 15
- . organique : 55 %
 - nannoplancton : 50
 - foraminifères : 5

Traces de calcite, hématite, biotite, bryozoaires, et quelques pentolithes de Braarudosphaera.

C'est une vase terrigène à nannoplancton.

4 - MICROPALÉONTOLOGIE

- Foraminifères

La fraction détritique est rare, composée de quelques fragments de roches éruptives (estérellite ?).

Les ptéropodes sont abondants surtout dans l'échantillon n° 1 : *Cavolinia inflexa* (Lesueur), *Creseis acicula* Rang, *Creseis virgula constricta* Chen et Bé, *Clio pyramidata* Linné, *Diacria trispinosa* (Lesueur).

Abondance relative des foraminifères (figure 31)

- Foraminifères benthiques

L'association des foraminifères benthiques récoltés dans les trois prélèvements étudiés se caractérise par la plus grande fréquence de *Bulimina pupoides*, *Gyroidina cf. longispira*, *Gyroidina orbicularis*, *Höglundina elegans*, *Nonion*

T 3

Liste et abondance des Foraminifères contenus dans chaque échantillon de sédiment

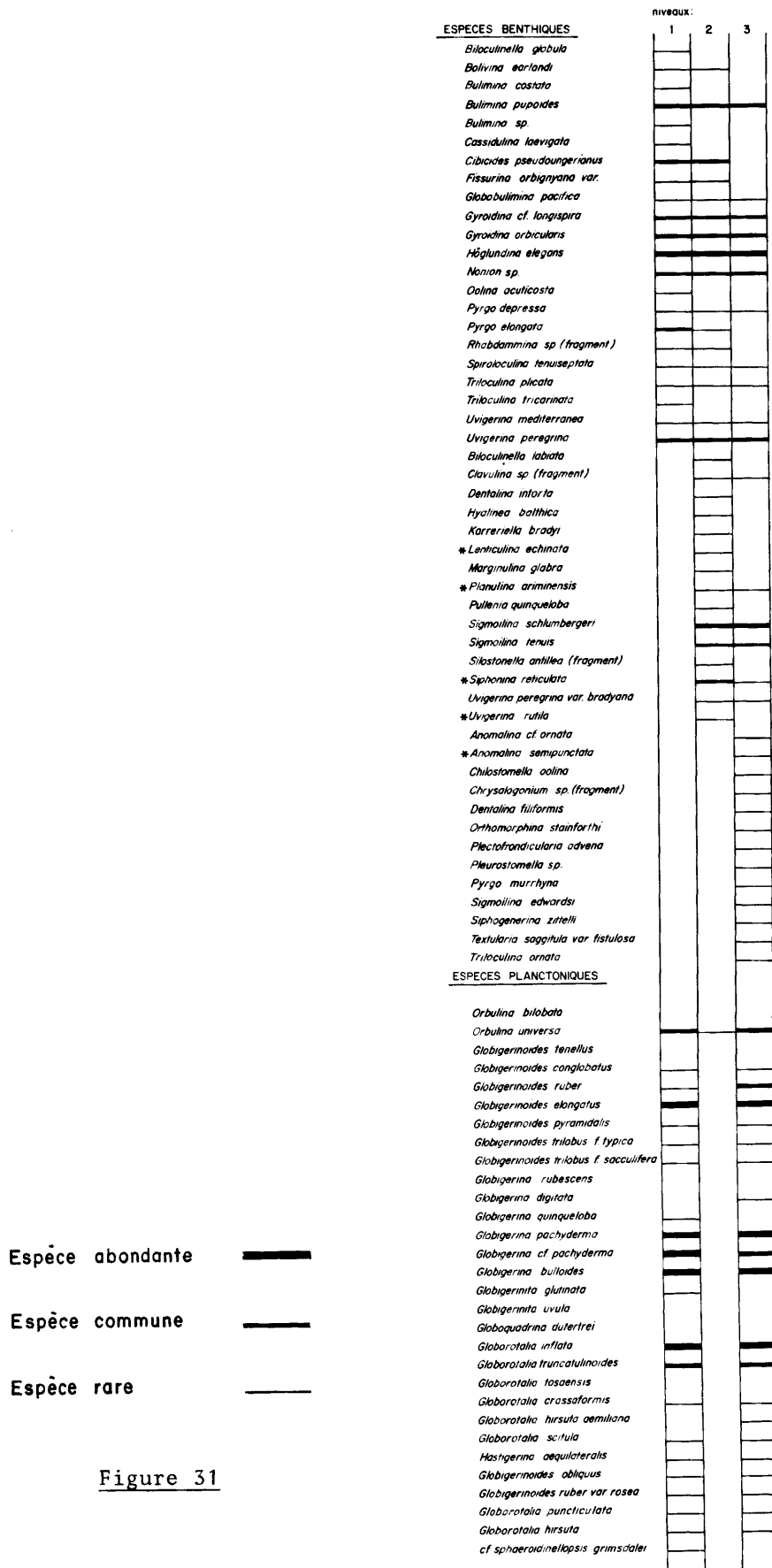


Figure 31

parkeriae, *Uvigerina peregrina* dans les échantillons 1, 2 et 3, par celle enfin de *Pyrgo elongata* dans l'échantillon 1. *Sigmoilina schlumbergeri* et *S. tenuis* ne sont représentées que dans les échantillons 2 et 3 et *Siphonina reticulata* dans l'échantillon 2.

De plus, alors que l'échantillon 2 contient une microfaune que l'on peut considérer comme étant en place, l'échantillon 2 renferme des individus transportés (*Siphonina reticulata*) ou même remaniés du Pliocène (*Uvigerina rutila*, *Lenticulina echinata*). Quant à l'échantillon 3, il diffère des précédents par un ensemble microfaunique un peu particulier dans lequel une douzaine d'espèces ne se rencontrent pas dans l'échantillon 2.

- Foraminifères planctoniques

La microfaune planctonique est composée de deux stocks :

. le premier comprend *Globigerinoides elongatus*, *Globigerina pachyderma*, *G. cf. pachyderma*, *G. bulloides* et *Globorotalia inflata* qui sont abondantes et *Orbulina universa*, *Globorotalia truncatulinoides* qui sont fréquentes.

. le second comprend des espèces pliocènes, beaucoup plus rares : *Globigerinoides obliquus extremus* Bolli, *Globorotalia puncticulata* (Deshayes), *Globorotalia hirsuta aemiliana* Colalongo et Sartoni, *Globorotalia hirsuta* (d'Orbigny) et une forme que l'on peut rapprocher de *Sphaeroidinellopsis grimsdalei* (Keijzer).

Il faut signaler que quelques individus de *Globigerinoides ruber var. rosea* ont été trouvés.

La faible quantité de sédiments recueillis sur la paroi du tube carottier n'a pas permis d'évaluer la fréquence des espèces.

Afin de proposer une interprétation, nous avons suivi la démarche suivante :

- Les dépôts seraient d'âge Pliocène. Un certain nombre d'arguments contradictoires vont à l'encontre de cette hypothèse.

D'une part, les espèces benthiques et planctoniques caractéristiques du Pliocène inférieur et moyen sont rares (D'ONOFRIO, 1964, CATI et BORSETTI, 1968, DONDI et PAPETTI, 1968, PERCONIG, 1968). Les espèces quaternaires au contraire sont très abondantes.

D'autre part, on ne rencontre pas la composition microfaunistique décrite par GENNESSEAU et LE CALVEZ (1960) dans des fragments de vase pliocènes dragués dans cette région.

- Nous sommes donc amenés à envisager que le sédiment recueilli résulte d'un mélange de dépôts quaternaires et pliocènes. Lors de l'opération de forage, le carottier a butté contre une formation indurée qui pourrait correspondre aux strates pliocènes. Une partie de ces formations aurait été entraînée et mêlée à de la vase sus-jacente.

SITE T 4

1 - DETERMINATION DU SITE

1.1 - Sismique (figure 32)

Le prolongement du cap d'Antibes est constitué par une ride sédimentaire d'orientation nord-ouest sud-est. Cette dorsale sédimentaire présente un abrupt vers le nord-est qui forme une dénivellation de 500 à 600 mètres. Au pied de cet abrupt un réflecteur puissant représentant probablement le substratum, semble affleurer. Ce réflecteur se poursuit sous la dorsale sédimentaire entre la baie des Anges et le canyon de Cannes. L'objectif de ce forage était de prélever ce substratum au pied de l'abrupt nord-est.

Le courant portant sud-ouest a fait dériver le bateau et le forage a eu lieu sur la dorsale dans la couverture plio-quaternaire.

1.2 - Sondeur de vase (figure 33)

Sur un profil à faible déclivité, l'enregistrement montre une série de réflecteur jusqu'aux environs de 40 à 50 ms.

1.3 - Bathymétrie (figure 34)

La bathymétrie montre un massif surélevé constitué par cette accumulation sédimentaire qui borde vers le sud-ouest la vallée sous-marine du Var.

2 - OPERATION DE FORAGE

2.1 - Chronologie

Le forage s'effectue sans incident jusqu'à une profondeur de 40 m environ.

2.2 - Enfoncement (figure 35)

La vitesse de pénétration est d'abord de 60 m/h jusqu'au moment où le forage fait à tension constante (à 1 360,9 m). De 1 360,9 m à 1 373,2 m, la vitesse est encore rapide (30 m/h). De 1 373,2 à 1 390,2 m, la vitesse décroît et on peut noter des passées plus compactes.

2.3 - Carottage

Le carottage s'opère entre 1 390,2 et 1 391,2 m à une vitesse encore importante. On prélève 1 m de vase compacte gris bleu.

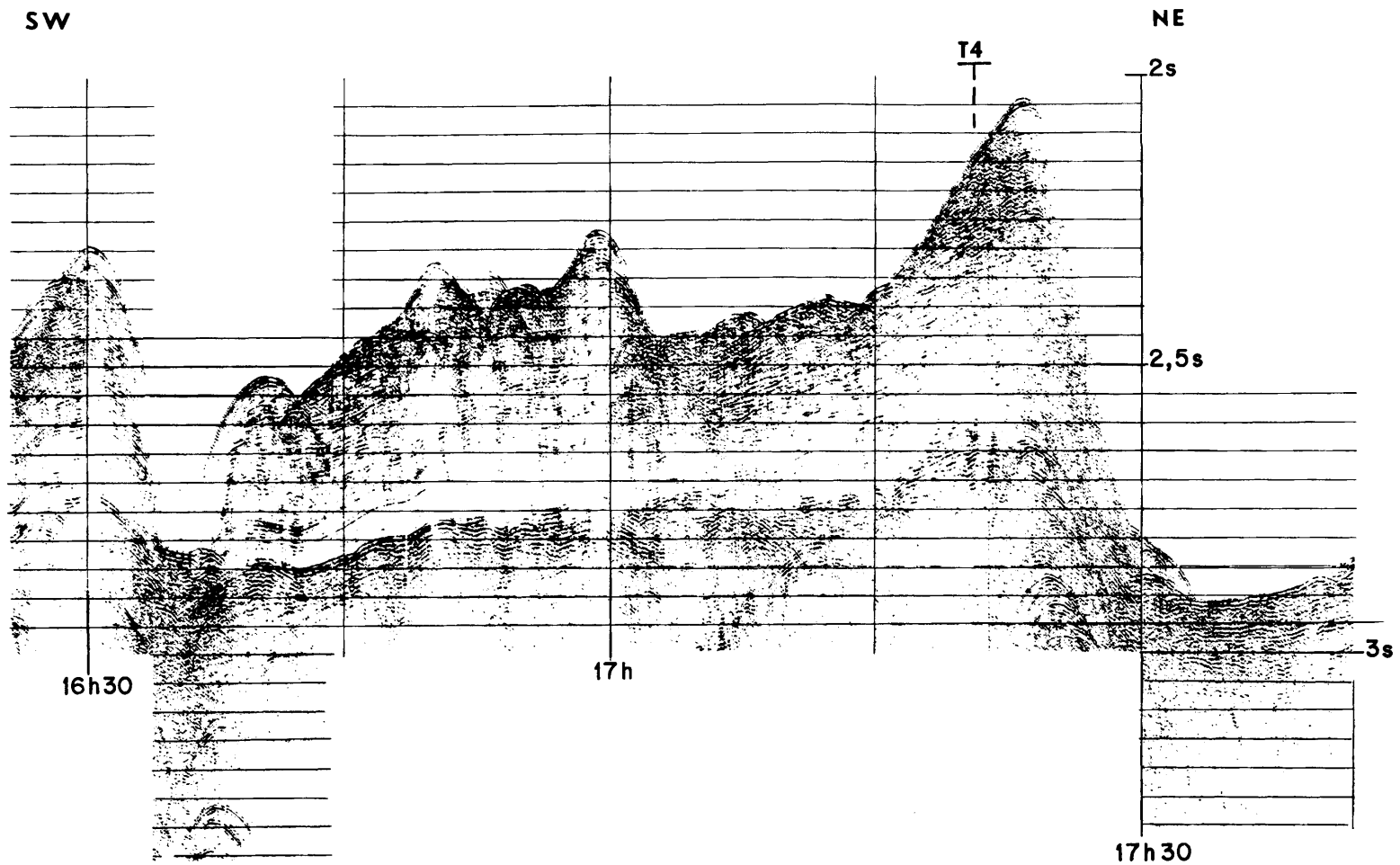


Figure 32

Profil à l'air-gun réalisé avec le B.O. CATHERINE-LAURENCE sur la dorsale sédimentaire du cap d'Antibes.

Vitesse 8 noeuds.

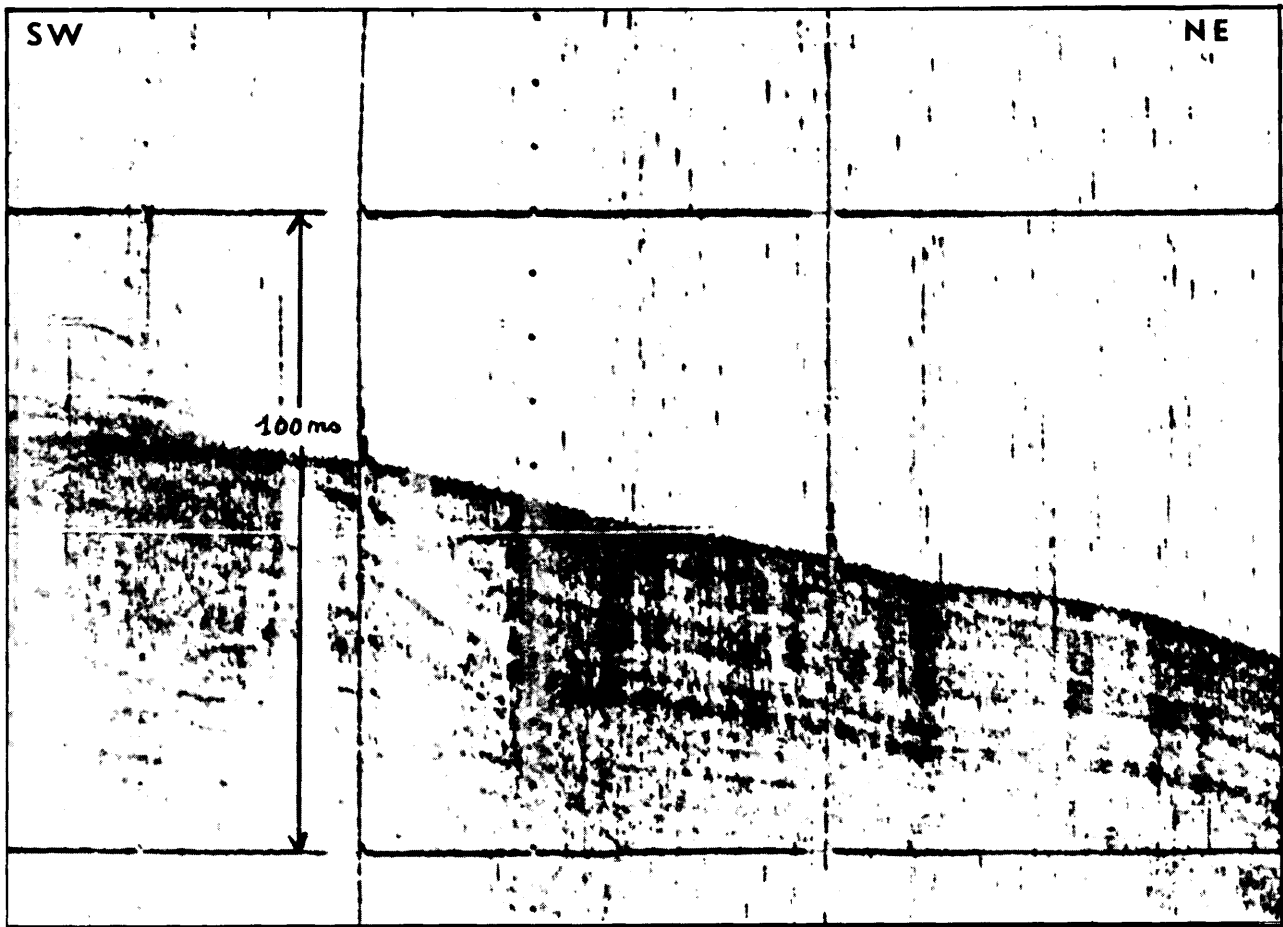


Figure 33 - Sondeur de vase

Photo : profil du 5 mai de 7 h 20 à 7 h 35.

Importante pénétration (environ 20 ms) indiquant un fond vaseux.

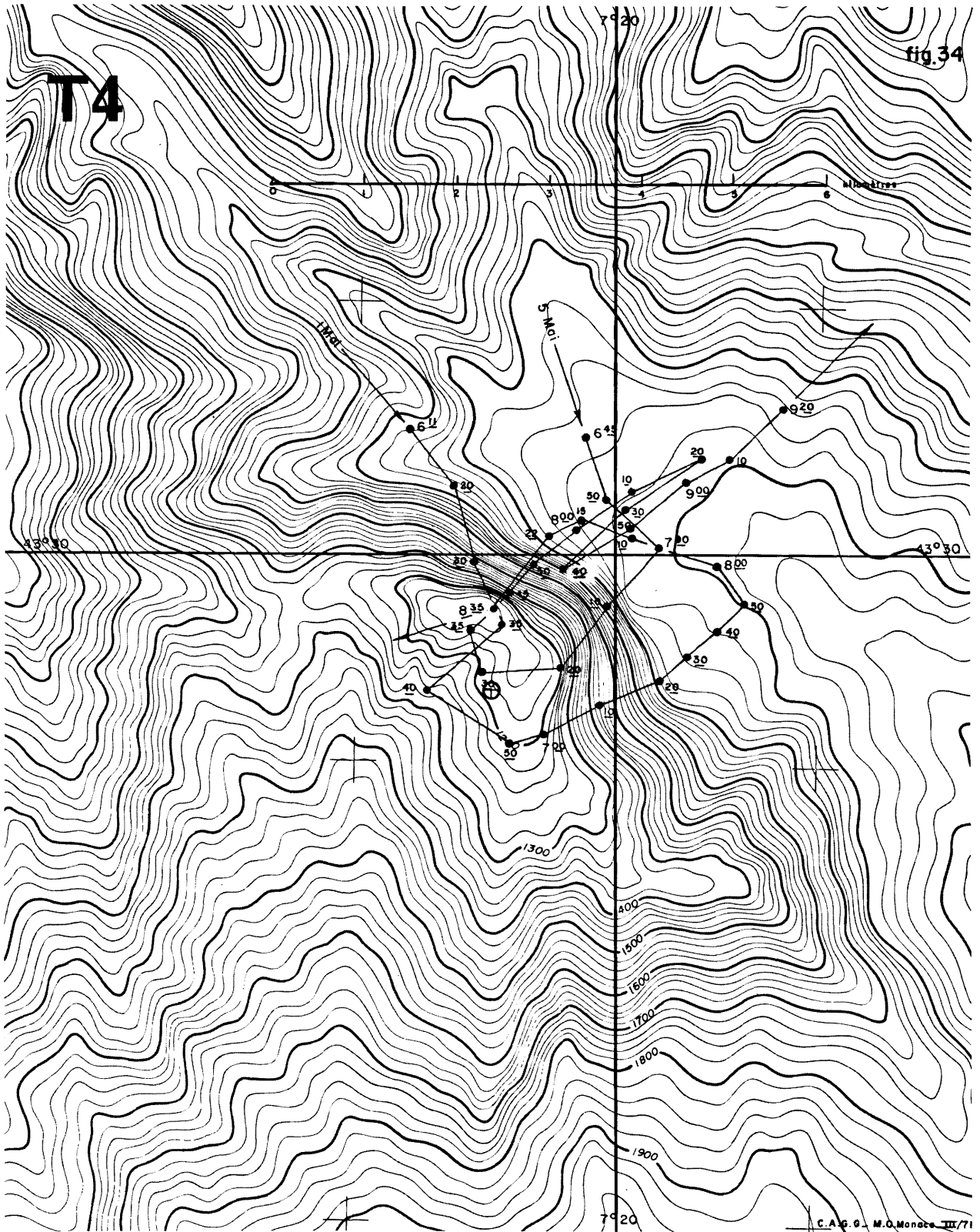


Figure 34

Extrait de la carte bathymétrique de la mer Ligure au 1/50 000e (M.O.M.)
Profils au sondeur de vase et position du forage.

CAROTTE T.4

Profondeur 1350 m.

Prélèvement à 40 m.

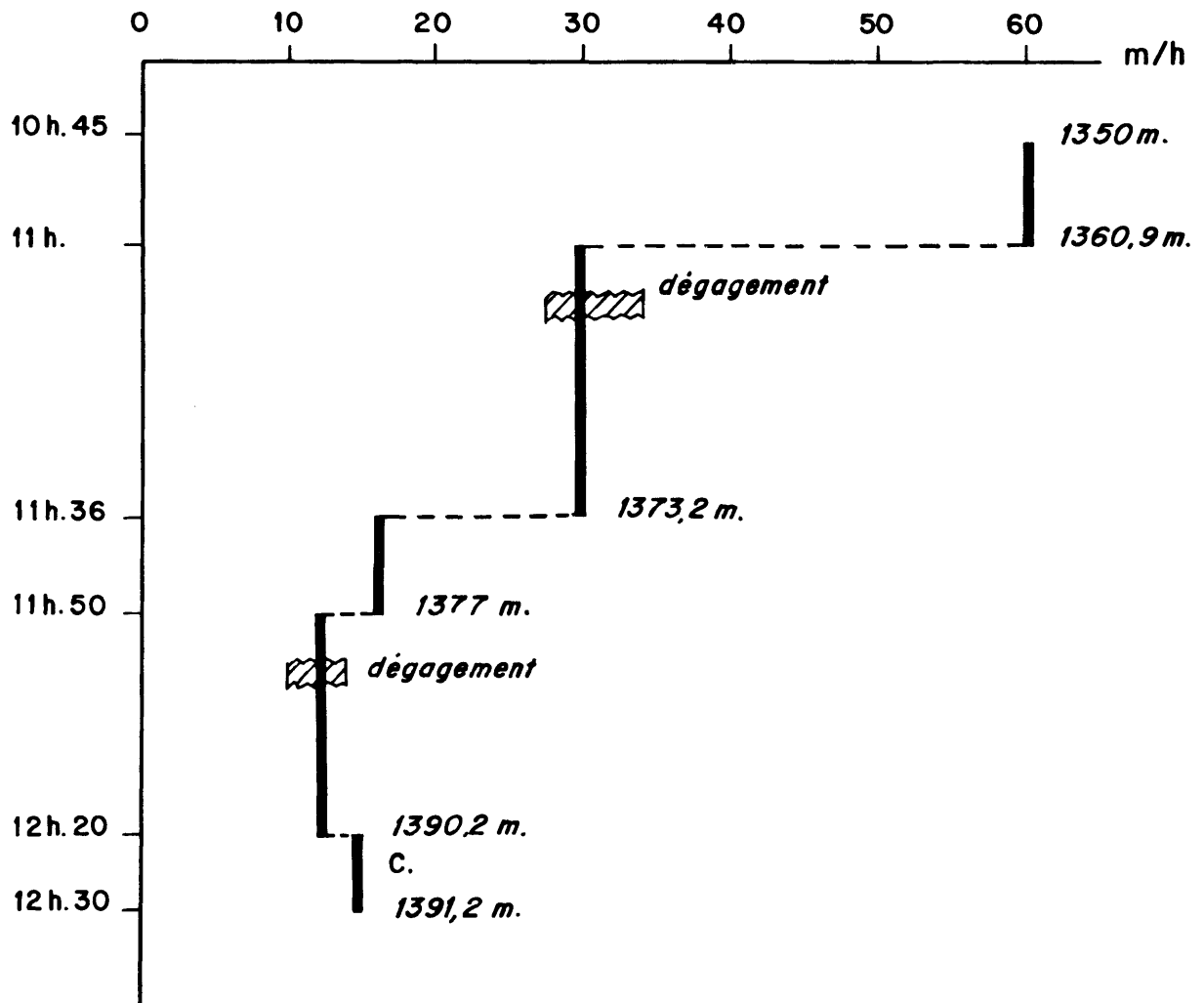
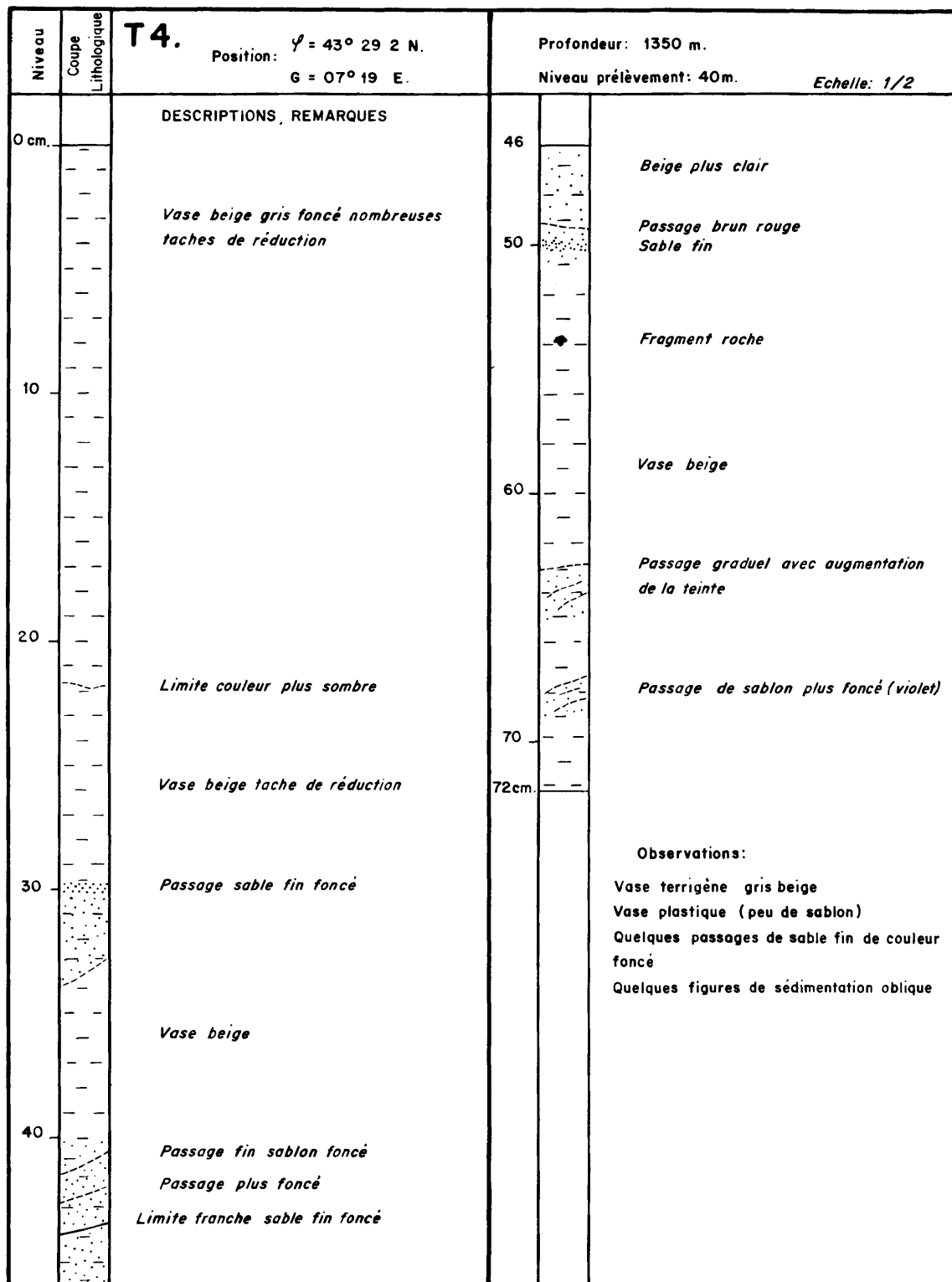


Figure 35

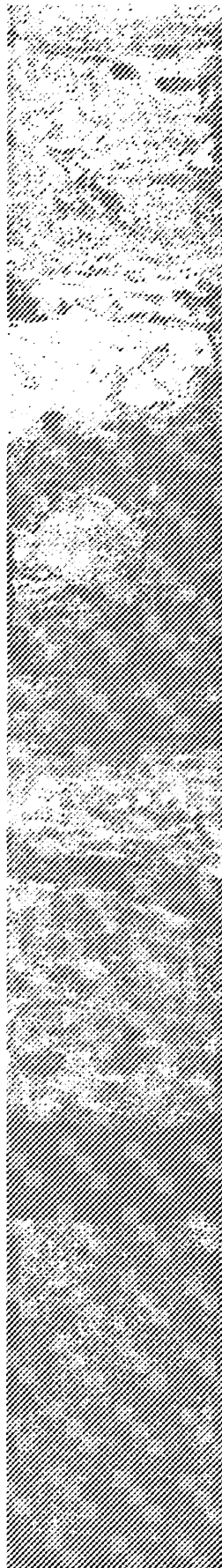
3 - LOG GRAPHIQUE



T4



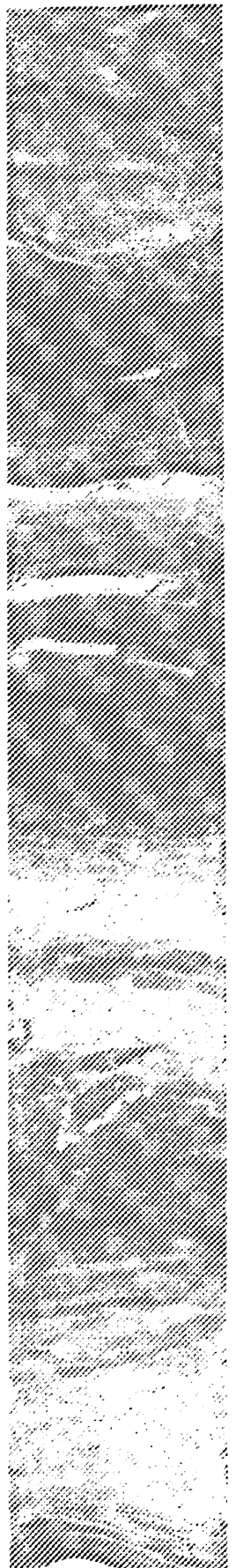
T10



T12



T13



4 - PROPRIETES PHYSIQUES

4.1 - Teneur en eau

| Niveau | H ₂ O % |
|----------|--------------------|
| 3 - 8 cm | 27,65 |
| 16 - 19 | 27,00 |
| 21 - 25 | 27,75 |
| 37 - 39 | 26,00 |
| 42 - 45 | 26,00 |
| 56 - 58 | 26,70 |
| 62 - 63 | 27,10 |
| 67 - 69 | 27,20 |

4.2 - Fraction grossière

| Niveau | > 63 μ % |
|--------|----------|
| 20 cm | 2 |
| 30 | 5 |
| 40 | 1,5 |
| 60 | 1,5 |
| 70 | 3 |

4.3 - Granulométrie de la fraction fine (inférieure à 20 μ) (figure 36)

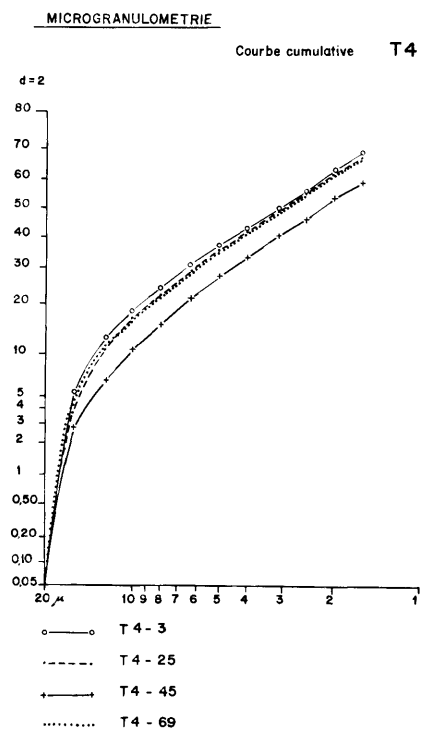


Figure 36

5 - MINERALOGIE

5.1 - Observations effectuées sur la fraction grossière du sédiment ($\emptyset > 63 \mu$)

| <u>Niveaux</u> | <u>Débris d'origine organique</u> | <u>Fraction détritique</u> |
|----------------|--|--|
| 0 cm | Fraction abondante. Ostracodes. Lamellibranches. Ecailles de poisson. Piquants d'oursins. | Pyrite abondante, crôutes. Limonite, quartz non usés et micas rares. Malachite (?) |
| 20 cm | idem | idem |
| 30 cm | Piquants d'oursins très abondant. Débris ligneux. | Pyrite très abondante : agrégats, crôutes et plaquettes. Glauconie et limonite rares. |
| 40 cm | Piquants d'oursins très abondants. Débris chitineux et végétaux. Ecailles de poisson. | Pyrite abondante. Sphérules. |
| 60 cm | idem | Pyrite abondante. Limonite, micas très rares. Glauconie quartz non usés peu abondants. |
| 70 cm | idem | idem |

Remarque : sédiment caractérisé par l'abondance de la pyrite.

5.2 - Examen des frottis

Niveaux

- . T 4 - 1 : traces sur le haut du tube
- . T 4 - 2 : traces sur le bas du tube
- . T 4 : 20 cm
- . T 4 : 51 cm

| Niveau | Sable | Sablon | Poudre |
|---------|-------|--------|--------|
| T 4 - 1 | 10 | 20 | 70 |
| T 4 - 2 | 30 | 40 | 30 |
| 20 cm | 5 | 10 | 85 |
| 51 cm | 10 | 10 | 80 |

. T 4 - 1

- . terrigène : 35 %
 - muscovite : 25
 - quartz : 10
- . organique : 65 %
 - nannoplancton : 55
 - calcite : 10

Des traces de minéraux opaques, de pyrite, hématite, spicules calcaires, foraminifères.

C'est une *vase terrigène à nannoplancton*.

. T 4 - 2

- . terrigène : 55 %
 - quartz : 30
 - muscovite : 25 (séricitisée et damouritisée)
- . organique : 45 %
 - nannoplancton : 30
 - calcite : 10
 - foraminifères : 5

Traces de plagioclases, d'hématite et de pyrite.

C'est un *sablon terrigène à nannoplancton*.

. T 4 - 20 cm

- . terrigène : 20 %
 - muscovite : 15
 - quartz : 5
- . organique : 80 %
 - nannoplancton : 65
 - éléments de Braarudosphaera : 10
 - foraminifères : 5

Des traces de pyrite et de fragments rocheux.

C'est une *vase calcaire*.

. T 4 - 51 cm

- . terrigène : 50 %
 - quartz : 20
 - muscovite : 15
 - pyrite : 15
- . organique : 50 %
 - nannoplancton : 35
 - foraminifères pyritisés : 10
 - pentalithes de Braarudosphaera : 5

Des traces de chlorite, plagioclase, argile.

C'est une *vase terrigène à pyrite et nannoplancton*.

5.3 - Minéraux lourds (figure 37)

Dans la fraction granulométrique de 0,5 à 0,05 mm, on note la présence des minéraux lourds suivants :

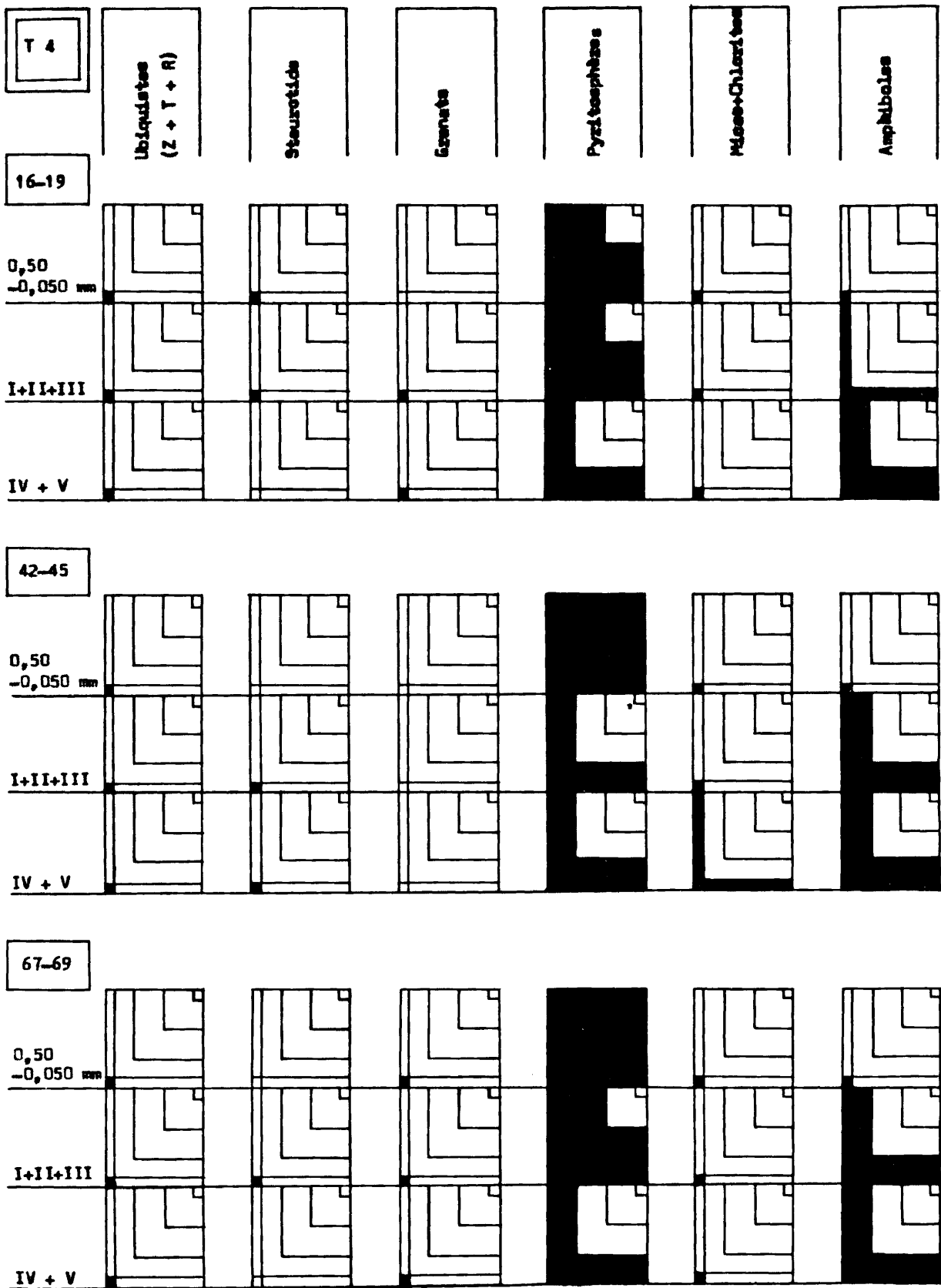


Figure 37

| minéraux | niveaux | 16-19 cm | 42-45 cm | 67-69 cm |
|----------|--|----------|----------------------|----------|
| | hématite pyrite + pyritosphères en agrégats oxydes de fer ferro- magnétiques | | R M PA | TA |

Dans la fraction plus fine, on note la présence de :

- . amphiboles
- . mica blanc
- . zoïsite
- . carbonates
- . "opaques"

5.4 - Minéralogie de la phase argileuse (S.N.P.A.)

Données analytiques

| cotes (en cm) | * h1 | h2 | h3 | h4 | h5 | h6 | h7 | h8 | h9 | h10 | h11 | h12 |
|------------------|------|----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 10 - 12 | 33 | 17 | 113 | 82 | 38 | 19 | 21 | 42 | 102 | 19 | 6 | 24 |
| 14 - 16 | 28 | 14 | 101 | 66 | 32 | 16 | 13 | 32 | 82 | 15 | 5 | 19 |
| 35 - 37 | 30 | 20 | 95 | 66 | 29 | 19 | 15 | 30 | 78 | 15 | 5 | 20 |
| 54 - 56 | 35 | 19 | 99 | 70 | 31 | 20 | 20 | 37 | 105 | 25 | 5 | 22 |
| 64 - 66 | 30 | 27 | 106 | 65 | 31 | 16 | 20 | 30 | 93 | 21 | 4 | 20 |

* h : hauteurs en mm, mesurées sur diagrammes enregistrés à 2°/mn.

Composition *estimée* de la phase argileuse

| Cote (en cm) | Interstrat. irrégul. I - M | Illite | Chlorite | Kaolinite |
|-----------------|----------------------------------|--------|----------|-----------|
| 10 - 12 | 8 | 53 | 26 | 13 |
| 14 - 16 | 8 | 56 | 26 | 10 |
| 35 - 37 | 11 | 53 | 24 | 12 |
| 54 - 56 | 10 | 53 | 24 | 13 |
| 64 - 66 | 14 | 53 | 21 | 12 |

Paramètres cristallochimiques de l'illite

| Cotes (en cm) | * 1 001 | $\frac{002}{001}$ | $\frac{005}{001}$ | $\frac{005}{002}$ |
|------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 10 - 12 | 2,8 | 0,34 | 0,21 | 0,63 |
| 14 - 16 | 2,8 | 0,32 | 0,19 | 0,59 |
| 35 - 37 | 4,3 | 0,31 | 0,21 | 0,69 |
| 54 - 56 | 2,9 | 0,31 | 0,22 | 0,71 |
| 64 - 66 | 4,2 | 0,29 | 0,19 | 0,65 |

* 1 : largeur en mm, à mi-hauteur, mesurée sur diagrammes enregistrés à 8°/mn.

5.5 - Relations argiles - climats (H. CHAMLEY)

(niveaux 0, 20, 30, 40, 60, 70 cm)

Le climat que désignent les argiles est tempéré chaud pour l'ensemble du sondage : l'illite est passablement ouverte (3,4 à 4/10° θ) et la chlorite assez mal définie (pic à 4,7 Å rattaché par une amorce de palier au pic à 5 Å de l'illite). Le sommet de la carotte apparaît, du point de vue de l'illite, légèrement plus chaud que le reste, mais cette variation n'est pas confirmée par l'abondance relative de la chlorite (pic à 4,7 / pic à 5 Å) et de la montmorillonite (pic à 18 / pic à 10 Å) essai glycolé), et demeure donc discutable.

La proportion notable de la montmorillonite (3/10 environ de la phase argileuse) est caractéristique des apports du Var, tels qu'ils sont reconnus dans les dépôts actuels et du Quaternaire supérieur (jusqu'à la base du Würm). Cette proportion est inférieure, par contre, à celle des dépôts pliocènes de la même région. On peut envisager pour la carotte T 4 un âge quaternaire moyen à supérieur.

6 - MICROPALÉONTOLOGIE

6.1 - Foraminifères

Le sédiment de cette carotte est riche en débris pyriteux de toutes sortes : agrégats, croûtes, plaquettes, enduits et remplissages de foraminifères. Le quartz et les micas sont rares. La fraction d'origine organique est abondante. Il faut noter la présence de débris chitineux, d'écailles de poisson et de très nombreux piquants d'oursins au niveau 30. Les Ptéropodes sont absents.

Abondance relative des Foraminifères (figure 39)

- Foraminifères benthiques

Comme dans la carotte T 1, on rencontre dans cette carotte une association de foraminifères benthiques adaptés à une certaine profondeur. Cette association

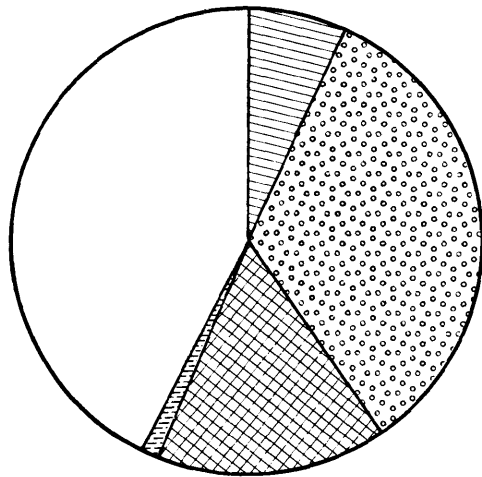
qui renferme quelques individus transportés depuis les zones superficielles (*Angulogerina angulosa*, *Cibicides lobatulus*, *Fissurina orbignyana*) ou remaniés du Pliocène (*Elphidium laminatum*) se caractérise par l'abondance des *Buliminacea* dans la région superficielle de la carotte.

En effet, au niveau 0, cette famille comprenant les *Bolivina*, *Bulimina*, *Uvigerina*, *Globobulimina*, occupe la première place alors qu'elle ne comptait que quatre espèces dans le niveau inférieur de 70 cm.

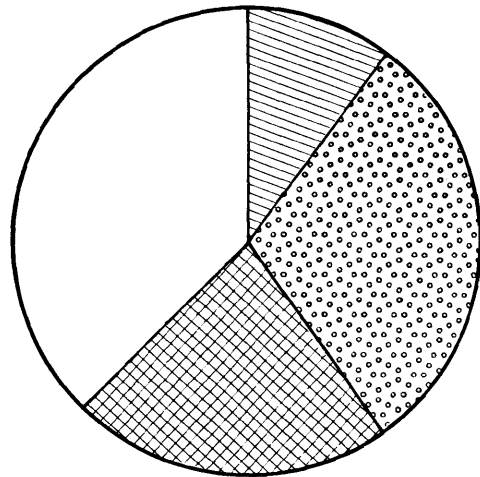
- Foraminifères planctoniques

Globigerina bulloides est dominante à tous les niveaux. *Orbulina universa*, *Globigerinoides ruber* et *Hastigerina aequilateralis* sont fréquentes.

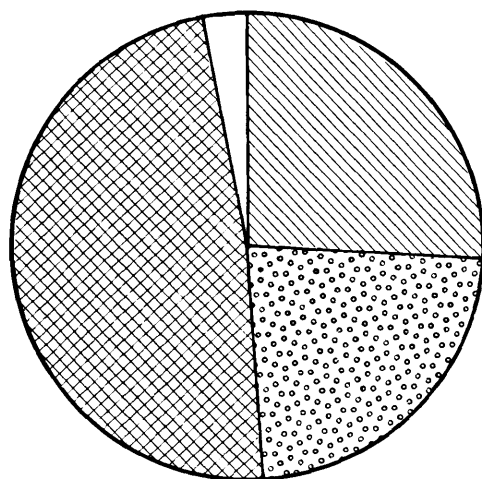
CAROTTE T 4



niveau 0



n. 30



n. 70

Diagrammes polaires.
Fréquence des espèces planctoniques de Foraminifères.












-  *Globigerinoides trilobus f. sacculifera*
-  *Globigerinoides trilobus f. typica*
-  *Hastigerina aequilateralis*
-  *Globorotalia truncatulinoides*
-  *Orbulina universa*
-  *Globigerinoides ruber*
-  *Globigerinoides elongatus*
-  *Globorotalia inflata*
-  *Globorotalia scitula*
-  *Globigerina pachyderma (forme dextre)*
-  *Globigerina pachyderma (forme senestre)*

Figure 38

Globorotalia inflata abondante jusqu'à 30 cm, devient rare dans les niveaux inférieurs.

Globigerinoides trilobus f. typica et *f. sacculifera* sont présentes à 40 cm et 70 cm.

Il faut noter d'une part la rareté de *Globigerina pachyderma*, *G. cf. pachyderma*, *Globigerinita glutinata*, *Globorotalia scitula* et d'autre part la présence d'*Orbulina suturalis*, espèce remaniée à 70 cm. Certaines formes rapportées à l'espèce *Globigerina bulloides* ont une ouverture très large ; elles sont abondantes dans les niveaux inférieurs.

Fréquence des Foraminifères planctoniques (niveaux 0, 30, 70 cm ; figure 38)

La composition microfaunistique de cette carotte présente par rapport à l'ensemble des carottes étudiées certaines particularités :

- les espèces d'eau chaude sont toujours dominantes et deviennent de plus en plus abondantes du haut vers le bas du prélèvement où l'on note la présence des formes tropicales *Globigerinoides trilobus f. typica* et *f. sacculifera*.

- *Globorotalia inflata* au contraire diminue progressivement.

- les espèces d'eau froide sont rares.

Ce site a été implanté dans un secteur soumis aux apports fluviatiles du Var, ce qui implique que le taux de sédimentation doit être important et le confinement doit se faire rapidement. Ceci est corroboré par l'abondance de la pyrite et la conservation des débris organiques.

Cette carotte a été prélevée sur une ride sédimentaire résultant du triage et du façonnement des apports détritiques par les courants. La fraction granulométrique supérieure à 63 μ est en effet peu abondante.

L'abondance de *Globorotalia inflata* et la présence de *Globigerina pachyderma* et *Hyalinea balthica* attestent pour ces sédiments un âge Quaternaire.

L'interprétation paléoclimatique que l'on peut proposer est la suivante :

- . 0 cm : climat tempéré chaud
- . 30 cm : climat tempéré chaud
- . 70 cm : climat chaud

Les associations de foraminifères planctoniques suggèrent que nous serions en présence de sédiments déposés lors d'une période de réchauffement attribuable à un épisode interstadiaire, voire même interglaciaire.

T 4

Liste et abondance des Foraminifères contenus dans chaque échantillon de sédiment

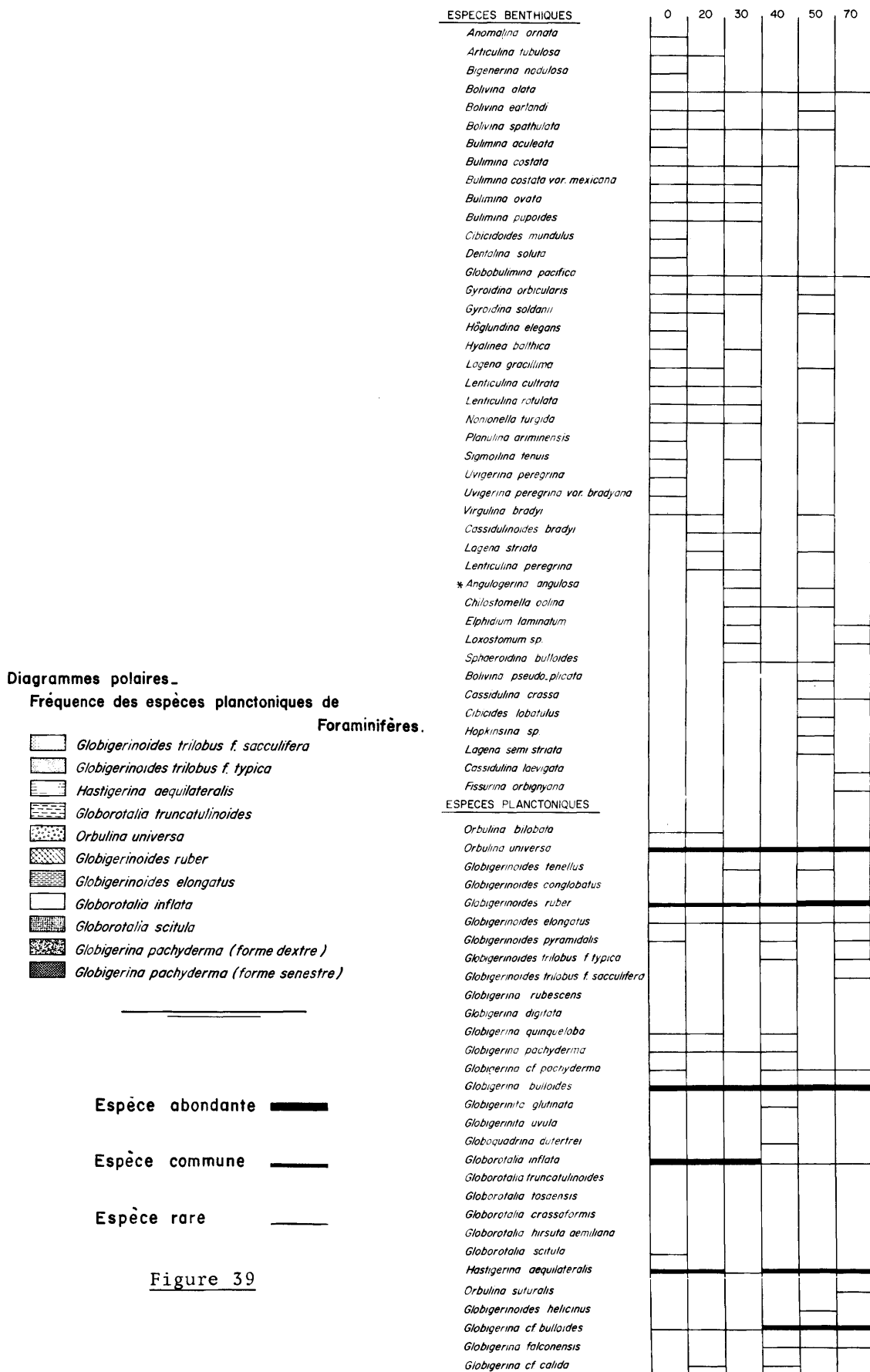


Figure 39

Distribution des Foraminifères planctoniques

| | 0 | | 30 | | 70 | |
|--|------|------|------|------|-----|------|
| | Nb | F % | Nb | F % | Nb | F % |
| <i>Hastigerina aequilateralis</i> | 264 | 7,7 | 110 | 9,4 | 133 | 25,8 |
| <i>Globigerinoides trilobus</i> f. <i>typica</i> | | | | | 1 | 0,2 |
| <i>Globigerinoides trilobus</i> f. <i>sacculifera</i> | | | | | 1 | 0,2 |
| <i>Globigerinoides ruber</i> | 463 | 13,5 | 259 | 22,1 | 243 | 47,2 |
| <i>Globigerinoides elongatus</i> | 28 | 0,8 | 2 | 0,1 | 1 | 0,2 |
| <i>Orbulina universa</i> | 1136 | 33,1 | 320 | 27,3 | 125 | 24,3 |
| <i>Globorotalia inflata</i> | 1525 | 44,5 | 476 | 40,7 | 10 | 2,0 |
| <i>Globorotalia scitula</i> | | | | | | |
| Total | 3420 | | 1167 | | 514 | |
| Nombre d'individus comptés | 2196 | | 659 | | 533 | |

6.2 - Pollens

Dans les trois niveaux inférieurs de la carotte, la flore apparaît riche en types arborescents et les groupes des thermophiles, européens comme exotiques, sont bien représentés.

Les pins méditerranéens ont des fréquences moyennes de l'ordre de 35 % et le pin sylvestre figure dans ces spectres en pourcentages non négligeables (2 à 24 %).

Tsuga (9 à 18 %) domine largement *Abies* et *Picea*.

Les feuillus thermophiles atteignent 18 % du total avec les genres suivants: *Quercus*, *Ulmus*, *Fraxinus*, *Tilia*, *Acer* et *Carya*.

La faible abondance des herbacées (graminées, composées, renonculacées, rosacées, saxifragacées) correspond à un taux de boisement élevé que traduit bien le rapport AP/T = 76 à 80 %.

Un tel type de spectres semble refléter une végétation où le mélange de genres européens et exotiques témoigne d'un climat tempéré, peut être plus humide que l'actuel et légèrement plus chaud.

Dans les niveaux supérieurs s'observe un changement sensible de la végétation.

Les pins se développent aux dépens des autres essences silvatiques. La diminution des pollens de *Tsuga* et des représentants de la chênaie-mixte, la disparition de *Carya*, l'augmentation des pins sylvestres (24 % au niveau 20 cm), évoquent une dégradation climatique allant dans le sens d'un assèchement, la présence de *Tsuga* indiquant que le climat n'a pas pu devenir franchement froid.

Fréquences relatives des essences et herbacées

| Niveaux en cm | 0 | 20 | 30 | 40 | 60 | 70 |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>Pinus</i> | 66 | 52 | 48 | 34 | 39 | 32 |
| <i>Pinus silvestris</i> | 7 | 24 | 7 | 5 | 2 | 2 |
| <i>Pinus t. haploxylon</i> | 2 | 2 | - | - | 1 | 1 |
| <i>Abies</i> | 3 | 2 | - | 5 | 4 | 2 |
| <i>Picea</i> | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| <i>Cedrus</i> | - | - | 0,5 | 0,4 | - | - |
| <i>Tsuga</i> | 11 | 8 | 16 | 18 | 18 | 9 |
| <i>Carya</i> | - | 0,5 | 3,5 | 3,5 | 4 | 4 |
| <i>Quercus</i> | - | - | 0,8 | 1,4 | 3,5 | 4 |
| <i>Ulmus</i> | - | 0,5 | 0,8 | 3 | 2 | 2 |
| <i>Carpinus</i> | 0,8 | 2 | 1,4 | 3,6 | 2 | 3 |
| <i>Tilia</i> | 0,8 | 0,5 | 1,7 | 0,7 | - | 0,5 |
| <i>Acer</i> | - | - | 0,3 | 0,4 | - | - |
| <i>Alnus</i> | - | 1 | 0,3 | 1 | 1,8 | 3 |
| <i>Betula</i> | 0,8 | 1,5 | 0,6 | 4 | 3 | 4 |
| Autres AP | 0,8 | 7 | 4 | 3 | 5 | 7,5 |
| Gramineae - Cyperaceae | 6 | 7 | 0,6 | 1 | 2 | 5,5 |
| Compositae | 2,4 | 1,5 | 2,2 | 3,2 | 2,6 | 3,5 |
| <i>Artemisia</i> | 0,8 | 1 | 0,8 | 2 | 2 | 2 |
| Chenopodiaceae Caryophyllaceae | - | 1,5 | 2,4 | 1 | 1,7 | 1,7 |
| Ericaceae | 1,6 | 3,6 | 4 | 7,5 | 5 | 6 |
| Autres NAP | 4 | 5,5 | 2 | 2 | 4 | 4 |
| Ptéridophyta | 1,6 | 3,6 | 3 | 1,5 | 2,5 | 1 |
| Varia + ind. | 10 | 12 | 11 | 14 | 12 | 12 |
| AP | 86 | 80 | 85 | 83 | 83 | 76 |
| NAP | 14 | 20 | 15 | 17 | 17 | 24 |
| Σ AP + NAP | 125 | 196 | 352 | 278 | 230 | 229 |

Remarque :

Au niveau 20 cm, la brusque augmentation du pin sylvestre, celle minime de l'épicéa, corrélatives du recul de *Tsuga* et *Abies*, correspondraient à une accentuation passagère de cette tendance

L'histoire de la végétation ainsi traduite est analogue à celle trouvée dans les séries du Bassin de Leffe (LONA et FOLLIERI, 1957) datées de l'interstade Mindel I - II et début Mindel II.

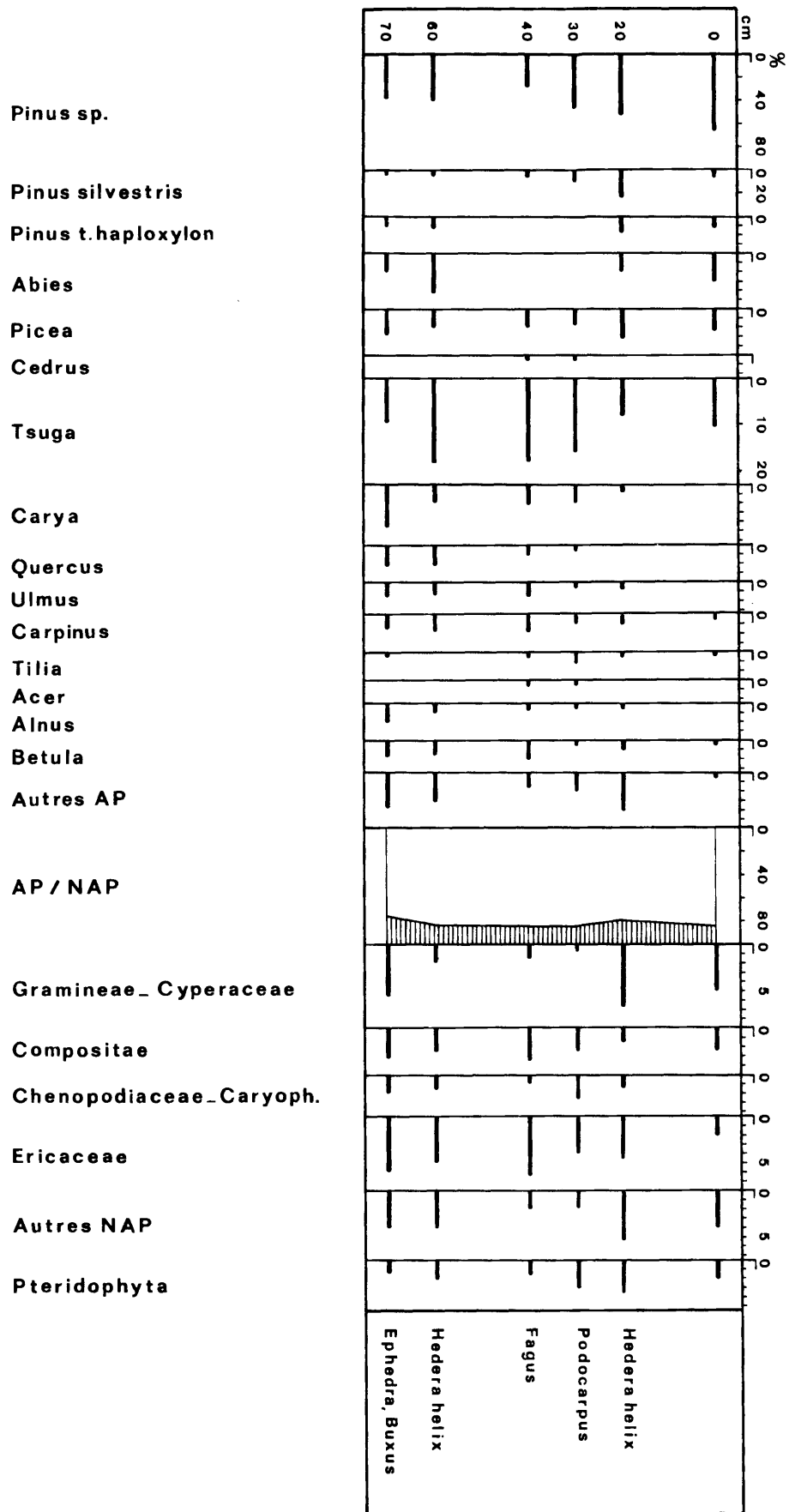
Cependant, le pourcentage non négligeable de *Carya* (9 %) retrouvé à la base de la séquence pourrait témoigner d'un âge un peu plus ancien, peut-être fini-Günz-Mindel.

Reste le problème posé par la présence de *Tsuga* : il est classiquement admis que ce genre ne s'est pas maintenu en Europe occidentale et méridionale durant l'interglaciaire Günz-Mindel, mais nous pouvons supposer qu'il s'était réfugié dans les zones d'altitude moyenne des Alpes du sud.

6.3 - Nannoplancton

Les nannofossiles calcaires sont peu abondants dans les échantillons (six) de cette carotte. Les espèces remaniées tertiaires (*Discoaster* sp., *Discolithus* cf. *D. obliquipons*) et crétacées (*Micula staurophora concava* et diverses autres formes non déterminables) ne sont pas rares, elles représentent environ 10 % du total de la nannoflore. La proportion d'éléments détritiques fins est élevée dans tous les échantillons.















La nannoflore calcaire de cette carotte, caractéristique du Quaternaire moyen, semble correspondre à un milieu chaud avec la présence de *Gephyrocapsa oceanica*, *Cyclococcolithus leptoporus* et *Helicosphaera pulchra* (formes reconnues comme indicatrices de milieu chaud à certains niveaux (30 et 40). Un autre fait est également à noter : la présence de *Discolithus japonicus* dans tous les niveaux en quantités plus importantes dans le bas que dans le haut de la carotte.



Térébel 4 - Diagramme pollinique

Espèce abondante  Espèce rare 
 Espèce commune  Trouvailles isolées 

Carotte 4

| | 0 | 20 | 30 | 40 | 60 | 70 |
|---|---|----|----|----|----|----|
| <i>Gephyrocapsa oceanica</i> Kamptner |  | | | | | |
| <i>Cyclococcolithus leptoporus</i> (Murray et Blackmann) Kamptner |  | | | | | |
| <i>Discolithus japonicus</i> (Takayama) Clocchiatti |  | | | | | |
| <i>Pontosphaera discopora</i> Schiller |  | | | | | |
| <i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich) Kamptner |  | | | | | |
| <i>Rhabdosphaera stylifer</i> Lohmann |  | | | | | |
| <i>Rhabdosphaera claviger</i> Murray et Blackmann |  | | | | | |
| <i>Umbilicosphaera mirabilis</i> Lohmann |  | | | | | |
| <i>Syracosphaera pulchra</i> Lohmann |  | | | | | |
| <i>Gephyrocapsa cf. oceanica</i> Kamptner |  | | | | | |
| * Formes crétacées indéterminables |  | | | | | |
| * <i>Micula staurophora concava</i> (Stradner) Noël |  | | | | | |
| * <i>Discoaster</i> sp. |  | | | | | |
| * <i>Discolithus cf. D. obliquipons</i> Deflandre |  | | | | | |

7 - GEOCHIMIE

7.1 - Teneurs en éléments majeurs (S.N.P.A.)

- teneurs en éléments majeurs (dosage en fluorescence X) exprimées en % du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O | CaO | Fe ₂ O ₃ | MgO | TiO ₂ | * P.F. |
|--------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------|--------|
| 10-12 | 38,0 | 9,5 | 1,5 | 22,8 | 4,0 | 2,6 | 0,3 | 22,3 |
| 14-16 | 38,5 | 9,6 | 1,4 | 21,7 | 4,2 | 2,5 | 0,3 | 21,5 |
| 35-37 | 40,8 | 10,3 | 1,7 | 18,1 | 5,1 | 2,9 | 0,4 | 19,8 |
| 54-56 | 39,4 | 10,2 | 1,6 | 22,4 | 4,5 | 2,5 | 0,4 | 21,0 |
| 64-66 | 40,2 | 10,6 | 1,7 | 20,9 | 4,2 | 2,9 | 0,4 | 20,5 |
| erreur à 95 % de probab. | ± 0,8 | ± 0,4 | ± 0,1 | ± 0,3 | ± 0,1 | ± 0,3 | ± 0,05 | ± 0,2 |

* P.F. : perte au feu (de 105°C à 900°C)

7.2 - Teneurs en éléments traces

7.2.1. - analyses S.N.P.A.

- teneurs en éléments-traces (quantomètre) exprimées en ppm du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|
| 10-12 | 81 | 90 | 4 | 12 | 78 | 15 | 99 | 37 | 31 | 825 | 410 | 13 | 310 |
| 14-16 | 91 | 74 | 4 | 7 | 68 | 15 | 96 | 35 | 25 | 614 | 393 | 11 | 350 |
| 35-37 | 85 | 89 | 3 | 6 | 74 | 23 | 104 | 37 | 25 | 765 | 432 | 11 | 250 |
| 54-56 | 86 | 74 | 4 | 8 | 66 | 15 | 97 | 34 | 22 | 620 | 382 | 9 | 270 |
| 64-66 | 84 | 103 | 5 | 6 | 73 | 18 | 111 | 40 | 19 | 640 | 457 | 13 | 340 |
| reproduc- tibilité | ±7,0 | ±7,6 | ±1,8 | ±3,0 | ±5,0 | ±2,8 | ±6,0 | ±5,6 | ±5,0 | ±3,0 | ±20 | ±2,4 | ±35 |

- teneurs en éléments-traces (quantomètre) exprimées en ppm de la fraction fine calcinée à 900°C et teneurs en TiO₂ en %. (analyses sur la fraction fine (<5μ) et décarbonatée du sédiment total.

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn | TiO ₂ |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|-----|------|------------------|
| 10-12 | 223 | 216 | 1 | 7 | 109 | 88 | 214 | 89 | 17 | 122 | 488 | 32 | 110 | 1,10 |
| 14-16 | 213 | 216 | 1 | 5 | 103 | 45 | 205 | 75 | 16 | 116 | 403 | 31 | 110 | 0,98 |
| 35-37 | 223 | 215 | 1 | 9 | 106 | 55 | 286 | 81 | 15 | 110 | 434 | 33 | 120 | 1,15 |
| 54-56 | 234 | 206 | 1 | 4 | 103 | 72 | 217 | 76 | 11 | 105 | 409 | 32 | 110 | 1,05 |
| 64-66 | 227 | 219 | 13 | 4 | 106 | 73 | 233 | 80 | 13 | 105 | 440 | 32 | 120 | 1,04 |
| reproduc- tibilité | ± 11 | ± 12 | ±0,8 | ±2,5 | ±6,5 | ±4,0 | ± 10 | ± 8 | ± 4 | ± 9 | ± 25 | ± 3 | ± 20 | ±0,08 |

8 - MATIERE ORGANIQUE

8.1. + analyses S.N.P.A.

- teneurs en carbone organique et soufre (sédiment total)

| Cotes (en cm) | C.O. * | S** total | S** élémen- taire | S** des mono- sulfures | S** organique | S** des bi- sulfures | S** des sulfates |
|------------------|--------|--------------|-------------------------|------------------------------|------------------|----------------------------|------------------------|
| 10-12 | 0,55 | 7200 | 7 | 4 | 600 | 3500 | 2100 |
| 14-16 | 0,51 | 6600 | 1 | 2 | 300 | 3900 | 2000 |
| 35-37 | 0,31 | 9200 | 0,3 | 4 | 360 | 6400 | 2200 |
| 54-56 | 0,66 | 7500 | 0,3 | 2 | 430 | 4900 | 1800 |
| 64-66 | 0,68 | 10900 | 0,3 | 2 | 500 | 8400 | 1900 |

* : en % du sédiment étuvé à 105°C (erreur à 95 % de probabilité : ± 6 % relatifs)

** : en ppm du sédiment étuvé à 105°C, erreurs non évaluées.

- teneurs en carbone organique et en soufre exprimées en % de la fraction fine étuvée à 105°C.

| Cotes (en cm) | C.O. % * | S % |
|------------------|----------|------|
| 10-12 | 1,32 | 0,54 |
| 14-16 | 1,43 | 0,41 |
| 35-37 | 1,98 | 0,51 |
| 54-56 | 2,24 | 0,50 |
| 64-66 | 2,31 | 0,94 |

* : erreur à 95 % de probabilité : ± 6 % relatifs.

8.2. + analyses B.R.G.M.

Résultats exprimés en % sur échantillon total séché à 105-110°C

| Cotes (en cm) | S % | C total % | CO ₃ | C minéral |
|------------------|------|--------------|-----------------|--------------|
| 3- 8 | 0,34 | 4,90 | 25,30 | 4,90 |
| 16-19 | 0,31 | 4,95 | 25,55 | 4,95 |
| 21-25 | 0,38 | 4,70 | 24,30 | 4,70 |
| 37-39 | 0,58 | 4,95 | 23,15 | 4,48 |
| 42-45 | 0,70 | 4,70 | 21,50 | 4,16 |
| 56-58 | 0,74 | 4,00 | 17,90 | 3,47 |
| 62-63 | 0,60 | 5,05 | 23,05 | 4,46 |
| 67-69 | 0,85 | 5,05 | 23,25 | 4,50 |

Examen au microscope métallographique (planches 5 et 6)

- niveau 67 - 69 cm (+ 0,050 mm)

Très jolies structures de remplacement de microorganismes par de la pyrite sous forme d'agglomérats de petits cubes rappelant les pyritosphères sans en avoir l'organisation. Les loges sont aussi remplies par ces assemblages pyriteux et le test est remplacé lui-même par de la melnicovite. On observe d'ailleurs également de vraies pyritosphères. A signaler un très beau remplacement de microorganisme par de la covelline. Parfois les agglomérats pyriteux à contours circulaires sont inclus dans un cortex unique (et non dans une série de loges) pouvant être éventuellement brisé.

On note aussi quelques rares plages d'ilménite, de rutile, ainsi qu'un peu de molybdénite (pollution probable).

- niveau 67 - 69 cm (0,020 à 0,010 mm)

Les métalliques, beaucoup plus rares, sont représentés par quelques pyritosphères, de très petite taille avec, toujours, quelques traces de rutile.

- niveau 67 - 69 cm (0,050 à 0,020 mm)

On retrouve des pyritosphères et des agglomérats pyriteux remplissant les loges de microorganismes. L'ensemble est de beaucoup plus petite taille que dans l'échantillon (+ 0,050 mm). La goethite est fréquente.

Remarque : Trois sections supplémentaires, effectuées dans les différentes fractions 16-19, 42-45, 67-69 de l'échantillon n° T 4, n'ont pas permis de retrouver le type de covelline signalé précédemment.

Planche 5

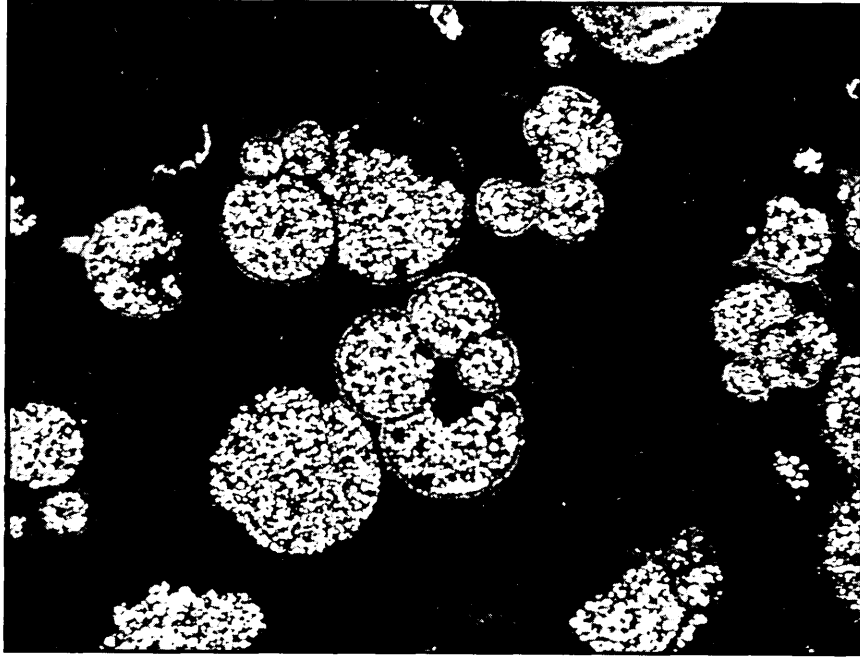


Photo 3 - Pseudopyritosphères résultant du remplissage des loges de microorganismes par des agglomérats pyriteux - 150 X - T 4

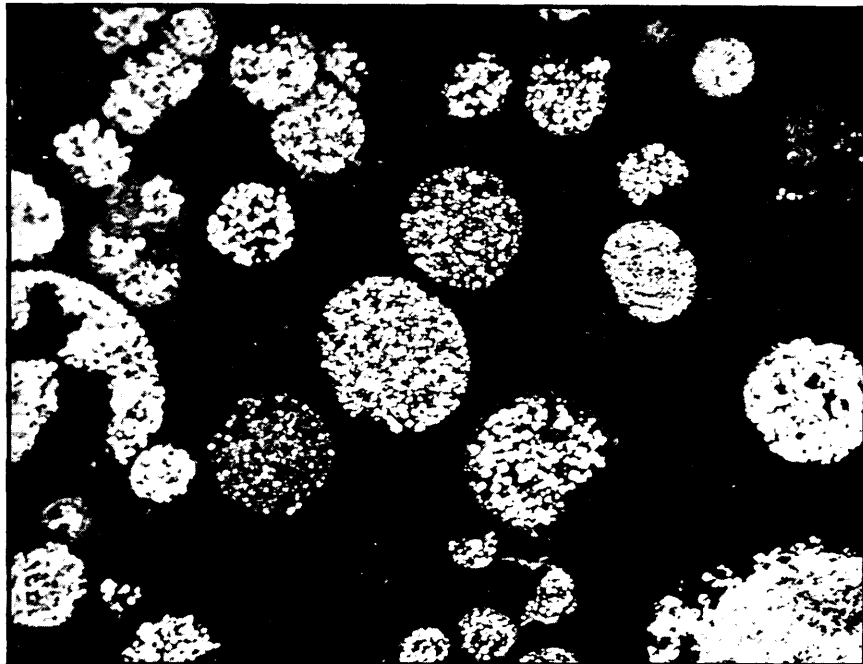


Photo 4 - Pseudopyritosphères limitées par une cuticule simple (présentant une déchirure) 150 X - T 4

Planche 6

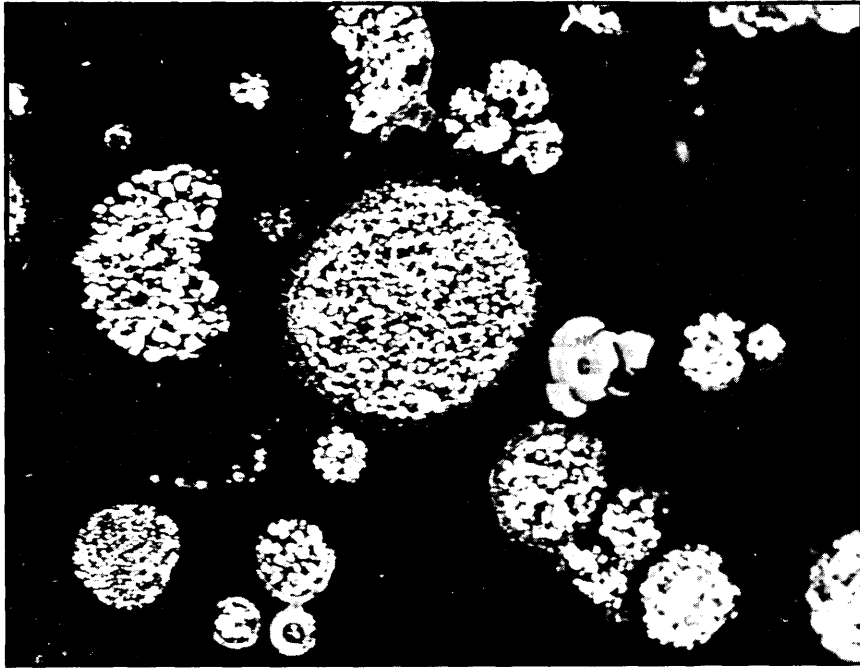


Photo 5 - Covelline (grise) ayant remplacé un microorganisme 150 X T 4

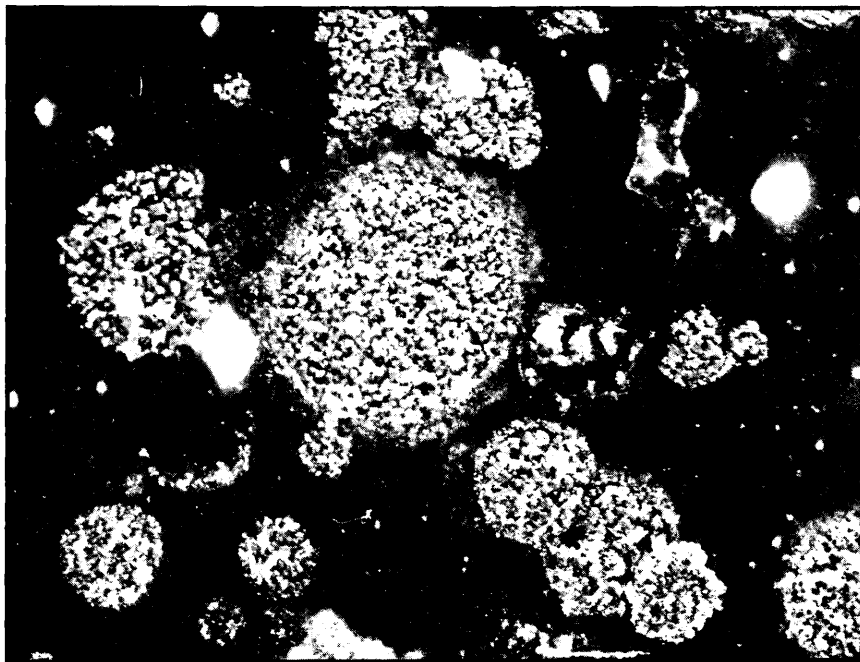


Photo 6 - La même entre nicols croisés (faisant apparaître la structure fibro-radiée)

SITE T 5

1 - DETERMINATION DU SITE

Les objectifs sont identiques à ceux du forage T 3, c'est-à-dire prélever le substratum du haut-fond du Méjean dans sa partie la plus méridionale.

2 - OPERATIONS DE FORAGE

2.1 - Chronologie

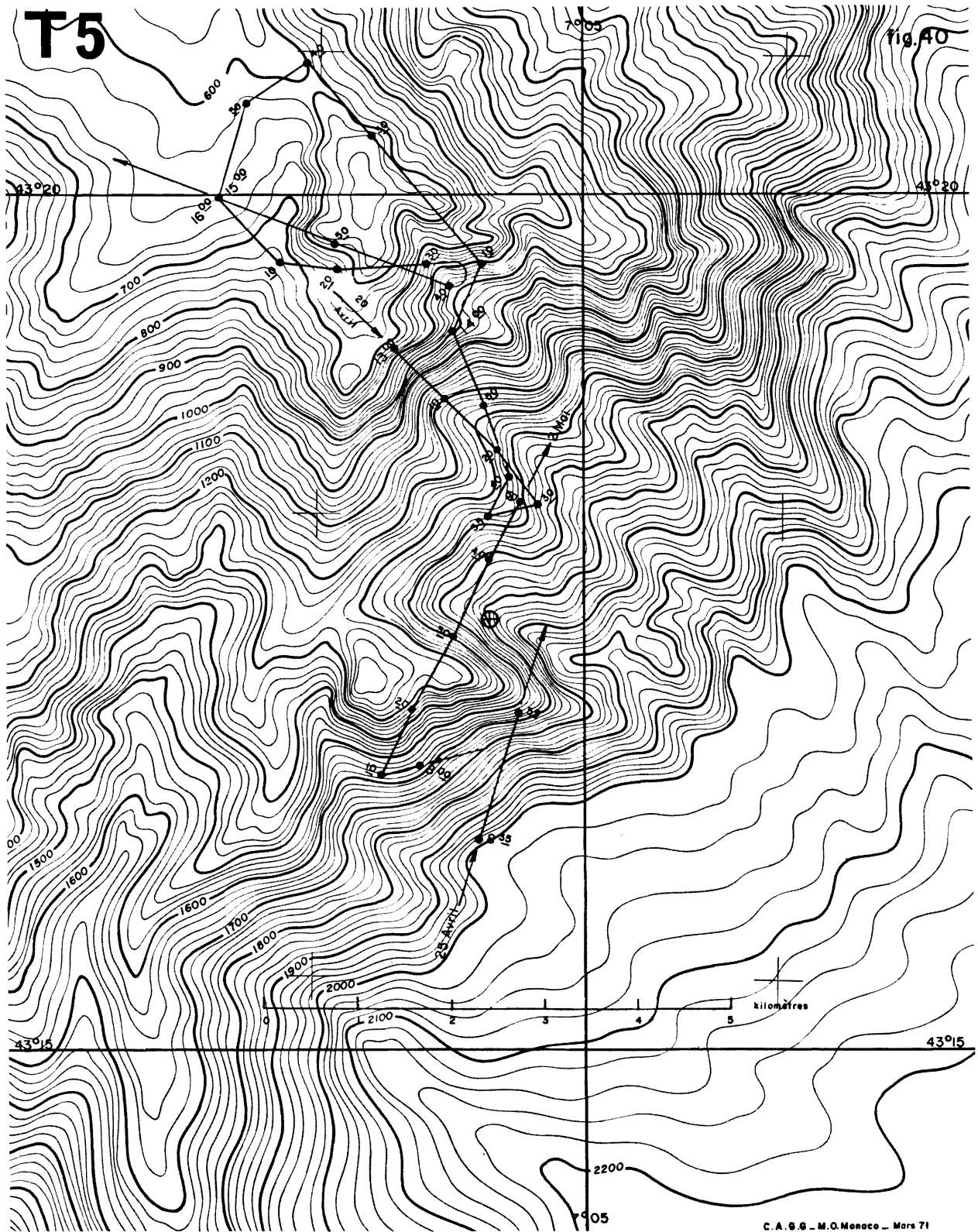
Le bateau foreur se place seulement au moyen de la bathymétrie (figure 40) en raison de l'impossibilité d'effectuer une reconnaissance au sondeur de vase à cause du mauvais temps.

2.2 - Enfoncement (figure 41)

La vitesse d'enfoncement d'abord assez rapide (30 m/h) montre une série de ralentissements en relation avec des lits de plus en plus compacts. Vers 38 m, l'avancement est très faible (1,8 m/h) sur une dizaine de centimètres (non indiqué sur la figure). La vitesse s'accroît à 6 m/h jusqu'à 1 933 m puis jusqu'à 8,4 m/h à 1 935,2 m.

2.3 - Carottage

Au cours du carottage, la vitesse de pénétration est de 6 m/h. Le système de déclenchement du carottier ne fonctionne pas et le tube remonte vide. Il est cependant probable que le milieu foré devait être très compact.



C. A. 66 - M.O. Monaco - Mars 71

Figure 40

Extrait de la carte bathymétrique de la mer Ligure au 1/50 000e (M.O.M.)
Traces des profils au sondeur de vase
Position du forage.

Carotte T 5

Profondeur 1896 m.

Prélèvement à 40 m.

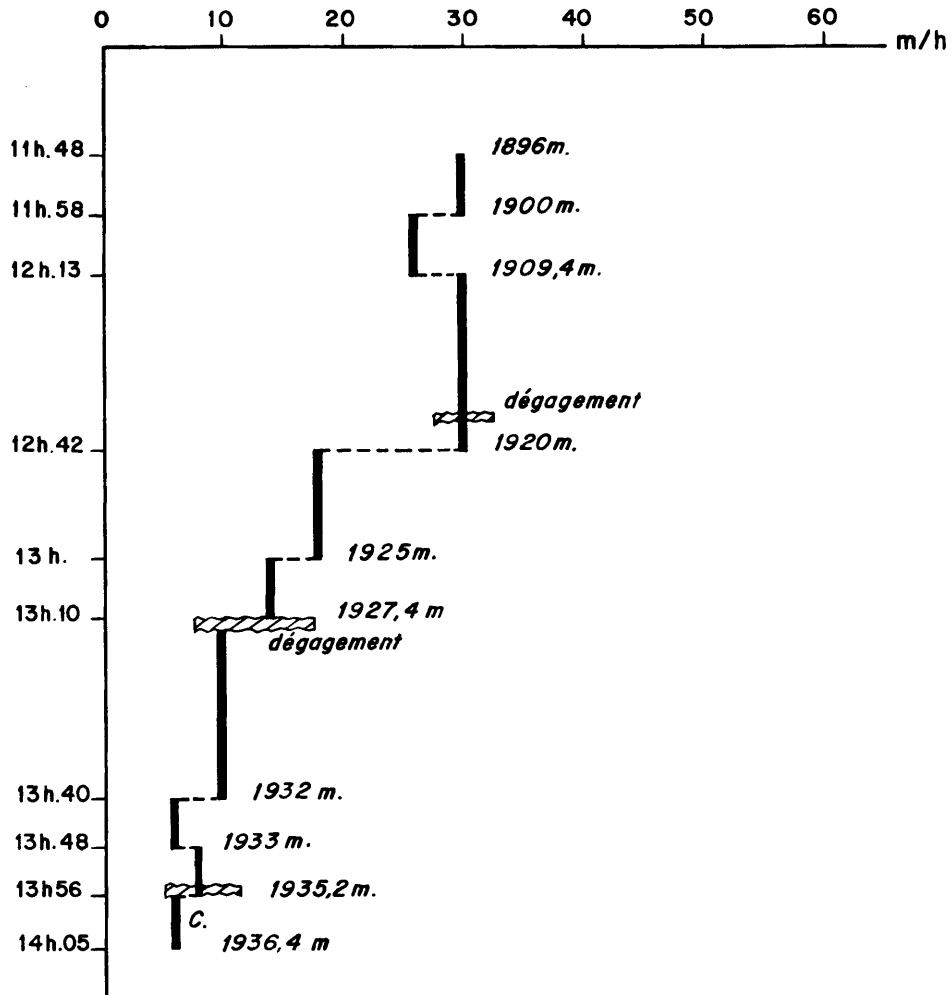


Figure 41

3 - MINÉRALOGIE

Niveaux

- . T 5 - 1 : traces sur le haut du tube
- . T 5 - 5 : traces sur le bas du tube
- . T 5 - 2 : traces sur l'extérieur de l'ogive.

Granulométrie

| Niveau | Sable | Sablon | Poudre |
|---------|-------|--------|--------|
| T 5 - 1 | 15 | 15 | 70 |
| T 5 - 5 | 20 | 15 | 65 |
| T 5 - 2 | 5 | 15 | 80 |

. T 5 - 1

- . terrigène : 30 %
 - quartz : 10
 - muscovite : 20
- . organique : 70 %
 - nannoplancton : 55
 - calcite : 10
 - foraminifères : 5

Traces de plagioclases, pyrite, hématite, présence de Discoasters.
C'est une *vase terrigène à nannoplancton*.

. T 5 - 5

- . terrigène : 25 %
 - muscovite : 15
 - quartz : 10
- . organique : 75 %
 - nannoplancton : 60
 - calcite : 10
 - foraminifères : 5

Traces de chlorite, pyrite, hématite, spicules calcaires, fragments de bryozoaires.

C'est une *vase calcaire*.

. T 5 - 2

- . terrigène : 25 %
 - muscovite : 15
 - quartz : 10
- . organique : 75 %
 - nannoplancton : 60
 - calcite : 10
 - foraminifères : 5

Traces de pyrite, hématite, fragments de lamellibranches, Discoasters.
C'est une *vase calcaire*.

4 - MICROPALÉONTOLOGIE

Foraminifères

Ce forage a été réalisé à proximité du site T 3. Comme ce dernier, il a atteint des strates indurées qui n'ont pu être échantillonnées. Seule une faible quantité de sédiment vaseux a été recueillie sur la paroi du tube carottier. Les comptages n'ont pu être effectués. On note une quantité importante de sablon dans l'échantillon n° 2. Les Ptéropodes sont fréquents.

Abondance relative des Foraminifères (figure 42)

- Foraminifères benthiques

Ensemble microfaunique benthique d'une soixantaine d'espèces représentées chacune par un très petit nombre d'individus à l'exception de *Bolivina spathulata*, *Cibicides pseudoungerianus*, *Cibicidoides mundulus* et *Sigmoilina schlumbergeri* plus abondants dans certains échantillons : *Bolivina spathulata* dans les échantillons 1 et 2, *Cibicides pseudoungerianus* dans l'échantillon 1, *Sigmoilina schlumbergeri* dans l'échantillon 2. Seul *Cibicidoides mundulus* conserve la même fréquence dans les trois échantillons.

Ici encore nous devons mentionner quelques espèces transportées depuis l'étage infralittoral, ce sont : *Cibicides lobatulus*, *Quinqueloculina seminulum*, *Angulogerina angulosa*, *Elphidium aculeatum*, *Siphonina reticulata* et *Siphonina sp.* et la plus grande richesse en foraminifères de l'échantillon supérieur, ainsi que l'existence d'une forme remaniée (*Vaginulina margaritifera*) du Pliocène.

- Foraminifères planctoniques

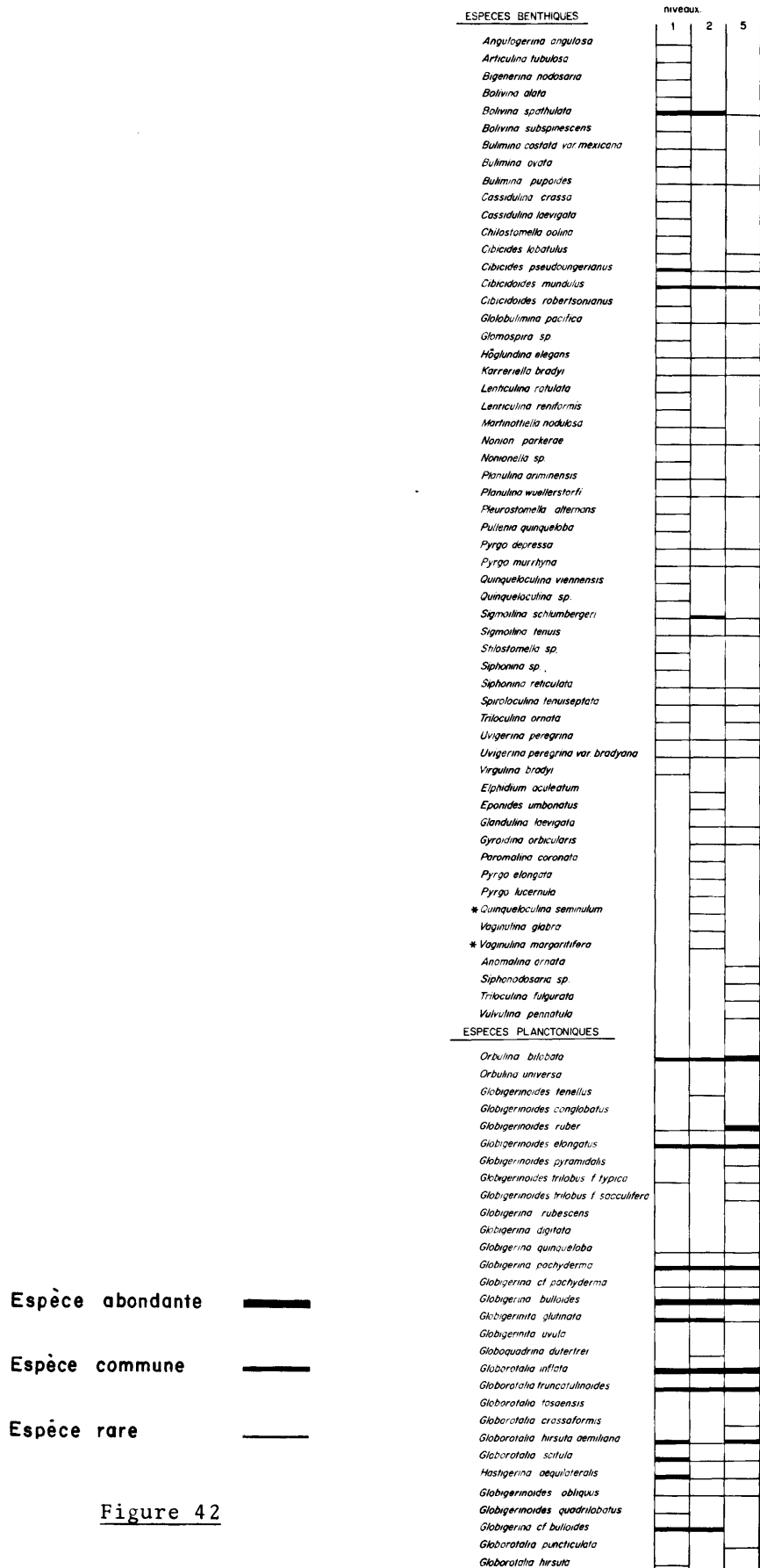
Les espèces rencontrées sont sensiblement les mêmes que celles trouvées dans les échantillons provenant du site T 3. Il y a dominance de *Globigerina bulloides*, *Globorotalia inflata*, *Orbulina universa* et à un degré moindre de *Globigerinoides elongatus*, *Globigerina pachyderma*, *Globorotalia truncatulinoides*. Les espèces pliocènes sont communes.

Il faut toutefois remarquer que *Globorotalia hirsuta aemiliana* est plus abondante que dans le site T 3 alors que *Globorotalia hirsuta* et *Globorotalia puncticulata* sont plus rares.

L'interprétation est très voisine de celle proposée pour T 3. L'échantillon recueilli résulterait d'un mélange de sédiments provenant des niveaux pliocènes et pléistocènes. Il faut remarquer en outre que les espèces de Foraminifères planctoniques caractéristiques du Pliocène moyen sont fréquentes, alors que celles du Pliocène inférieur sont plus rares. On peut envisager l'hypothèse suivante : le forage T 5 ne serait pas descendu aussi profondément dans les strates pliocènes que le forage T 3.

T 5

Liste et abondance des Foraminifères contenus dans chaque échantillon de sédiment



SITE T 6

1 - DETERMINATION DU SITE

1.1 - Sismique de la zone (figure 43)

L'objectif du forage est d'*atteindre le substratum* qui semble affleurer dans le canyon de Cannes. La sismique (Pautot, 1969) montre un réflecteur intense qui affleure dans le thalweg du canyon. De part et d'autre de l'axe du canyon, on observe des levées latérales sédimentaires qui peuvent atteindre 500 ms d'épaisseur. Ce sont les dépôts récents plio-quadernaires.

1.2 - Sondeur de vase (figure 44)

Sur une pente de déclivité moyenne, un fort réflecteur apparaît sous 10 ms de couverture meuble. Il peut s'agir d'un horizon dur.

1.3 - Bathymétrie (figure 45)

Sur la bathymétrie, l'axe du canyon montre une orientation ouest-est puis s'incurve pour prendre une direction nord-ouest sud-est entre deux promontoires.

2 - OPERATIONS DE FORAGE

2.1 - Chronologie

Dès le début du forage, l'appareil butte sur un horizon dur. La couverture sédimentaire trop mince fait que l'appareil use la roche sans pénétrer verticalement.

2.2 - Enfoncement (figure 46)

De 2 020 à 2 025,5 m, la vitesse de pénétration est de 30 m/h. A partir de ce niveau, elle décroît très rapidement jusqu'à 1,4 m/h puis 60 cm/h.

2.3 - Carottage

Le carottier usant la roche sans pénétrer, le tube remonte vide, à l'exception de quelques graviers prélevés sur les parois intérieures de l'électroforeuse.

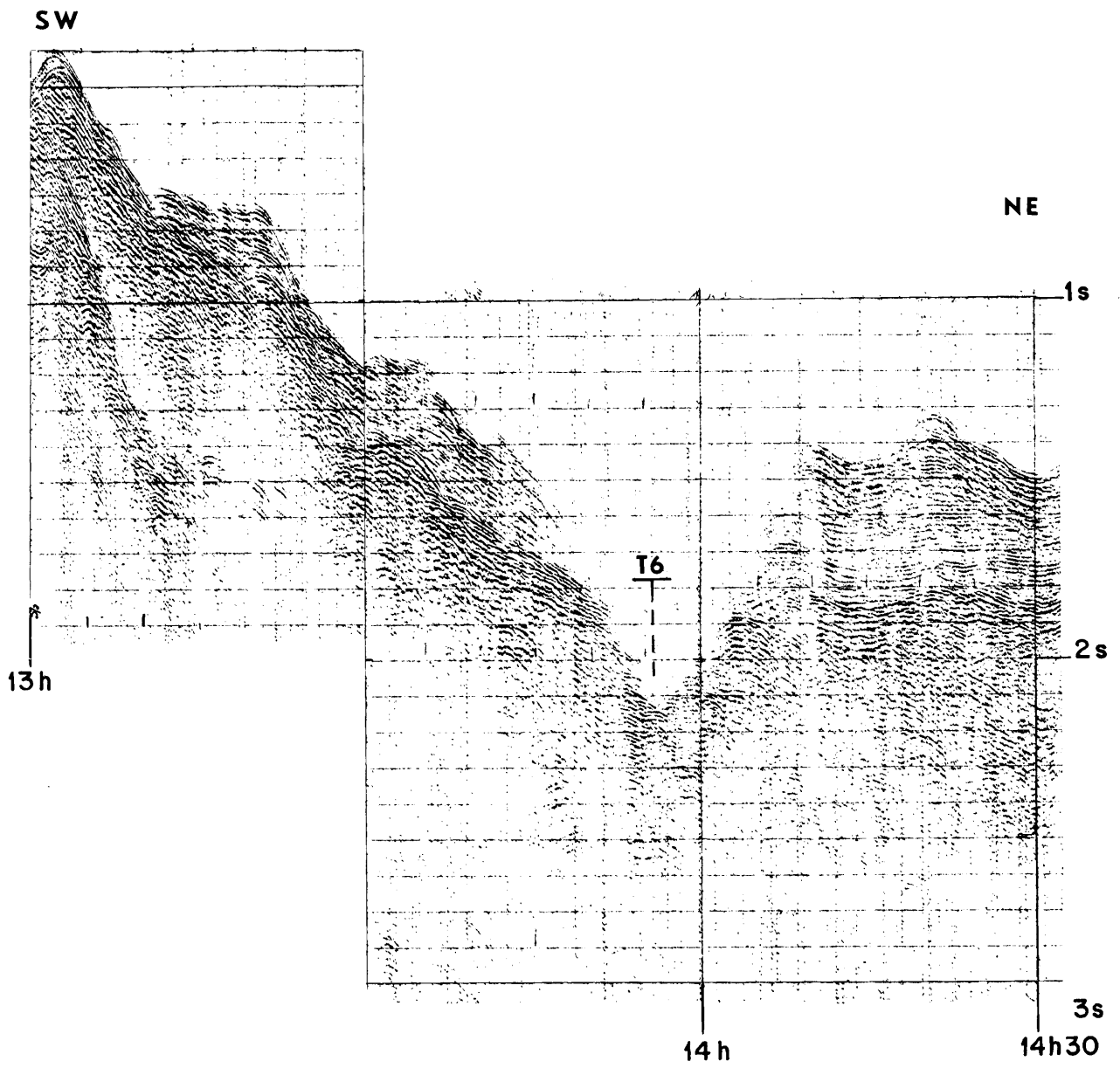


Figure 43

Profil à l'air-gun avec le B.O. CATHERINE-LAURENCE (canyon de Cannes)
Vitesse 8 noeuds

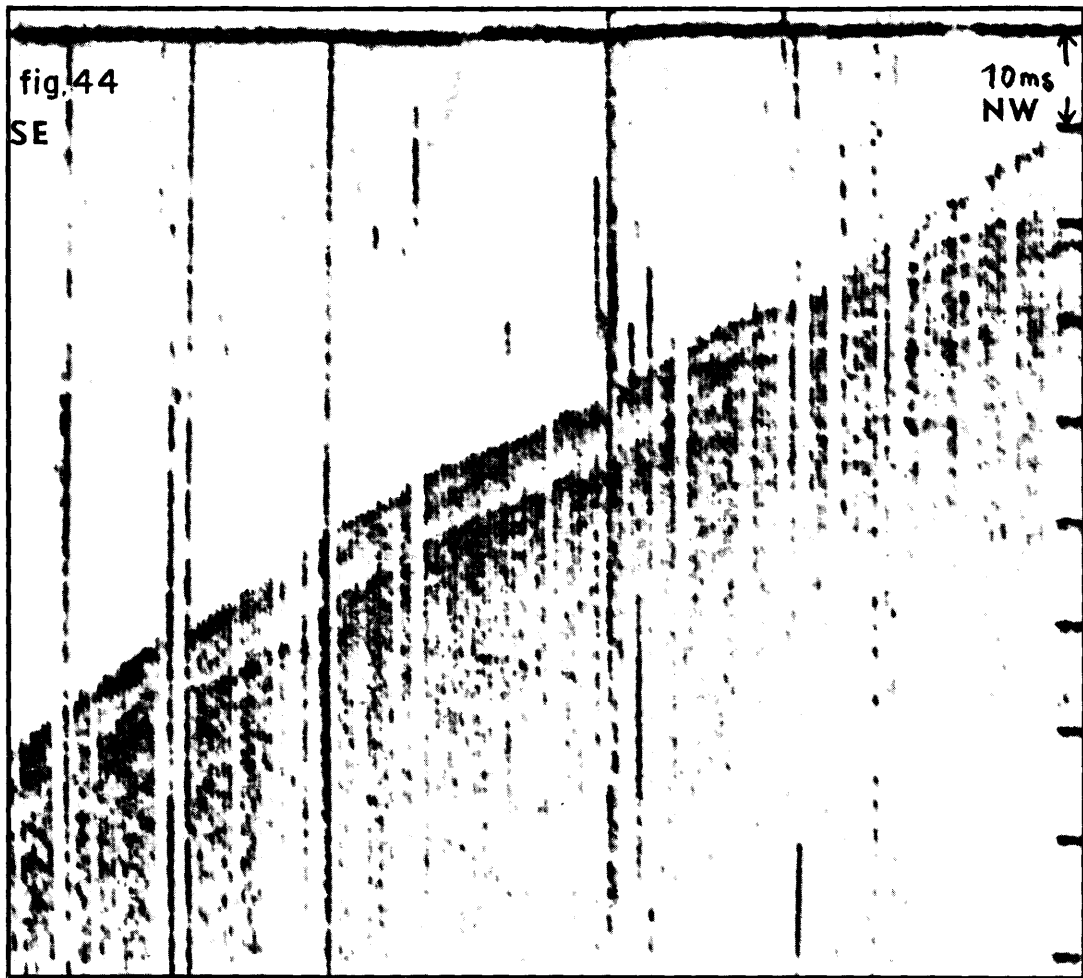


Figure 44 - Sondeur de sédiment

Photo : profil du 3 mai de 9 h 20 à 9 h 25

On remarque un réflecteur dur à environ 10 ms sous le fond.

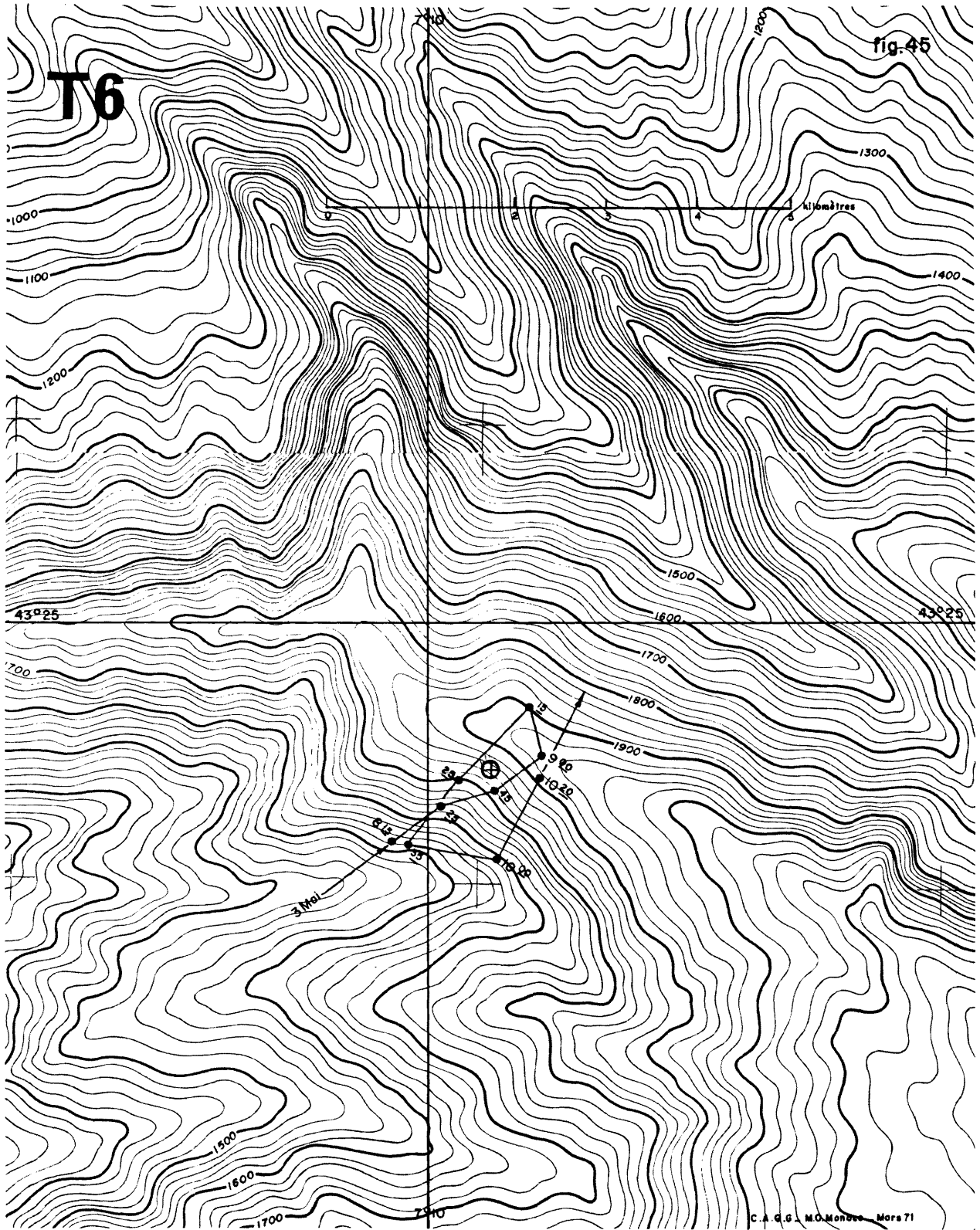


Figure 45

Extrait de la carte bathymétrique de la mer Ligure au 1/50 000e (M.O.M.)
Trace des profils au sondeur de vase.
Position du forage.

Carotte T 6

Profondeur 2020 m.

Prélèvement à 7 m.

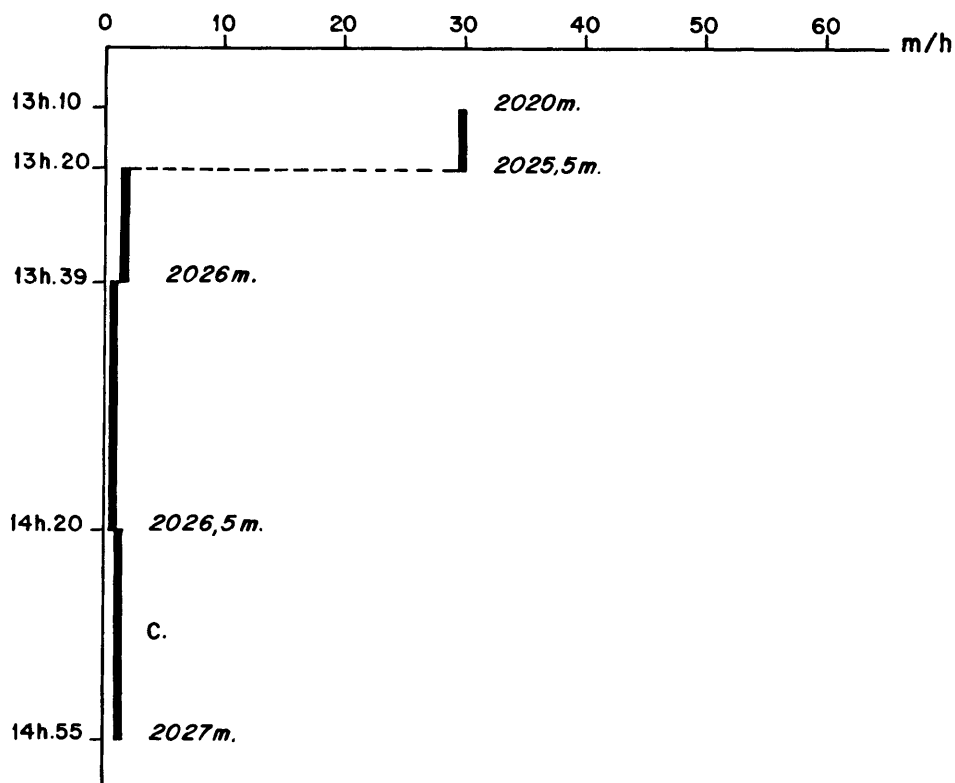


Figure 46

3 - MINERALOGIE

- Examen des frottis

Niveaux

- . T 6 - 1 : vase prélevée à l'extérieur de l'ogive
 - un fragment de calcaire anguleux
 - un gravier de roche métamorphique

Granulométrie

- T 6 - 1 : sable 10 %
 - sablon 15 %
 - poudre 75 %
- . Terrigène : 30 %
 - muscovite : 20
 - quartz : 10
- . organique : 70 %
 - nannoplancton : 70

Traces de :

- . chlorite, pyrite, dolomite
- . foraminifères benthiques et planctoniques, spicules calcaires, éléments de *Braarudosphaera*.

C'est une *vase terrigène à nanoplancton*.

4 - MICROPALÉONTOLOGIE (Figure 47)

- Foraminifères

Ce forage a atteint des formations indurées. La faible quantité de sédiment qu'il a été possible de recueillir contient de nombreux débris détritiques : quartz rond-mats et quartz subautomorphes, fragments de rhyolite et de roche permienne. Les débris d'échinodermes, bryozoaires et gastéropodes sont abondants. Quelques Ptéropodes ont été rencontrés, ce sont : *Limacina retroversa* (Fleming), *Clio pyramidata* Linné, *Clio cuspidata* (Bosc), *Creseis acicula* Rang.

Les Foraminifères sont rares, c'est pourquoi nous avons seulement dressé la liste des espèces sans faire une estimation de leur abondance relative :

- Foraminifères benthiques

Un seul échantillon a été étudié. Il contient une microfaune benthique pauvre à la fois en espèces et en individus dans laquelle *Elphidium crispum* et *Gypsina vesicularis* proviennent certainement d'un niveau beaucoup plus littoral.

- Foraminifères planctoniques

Toutes les espèces présentes se retrouvent dans les sédiments actuels de Méditerranée. Il faut remarquer toutefois l'absence de *Globigerina pachyderma*.

Le carottier a vraisemblablement ramené des dépôts de la couverture sédimentaire récente.

T 6

Liste des Foraminifères contenus dans chaque échantillon de sédiment

ESPECES BENTHIQUES

Bolivina spathulata
Bulimina pupoides
Dorothia pseudoturris
Elphidium crispum
Gypsina vesicularis
Hoglundina elegans
Lenticulina sp.
Nonion parkerae
Paromalina coronata
Quinqueloculina sp.
Sigmoilina costata
Textularia elegans
Textularia pseudorugosa
Uvigerina peregrina

ESPECES PLANCTONIQUES

Orbulina bilobata
Orbulina universa
Globigerinoides tenellus
Globigerinoides conglobatus
Globigerinoides ruber
Globigerinoides elongatus
Globigerinoides pyramidalis
Globigerinoides trilobus f. typica
Globigerinoides trilobus f. sacculifera
Globigerina rubescens
Globigerina digitata
Globigerina quinqueloba
Globigerina pachyderma
Globigerina cf. pachyderma
Globigerina bulloides
Globigerinita glutinata
Globigerinita uvula
Globoquadrina dutertrei
Globorotalia inflata
Globorotalia truncatulinoides
Globorotalia tosaensis
Globorotalia crassaformis
Globorotalia hirsuta aemiliana
Globorotalia scitula
Hastigerina aequilateralis

Figure 47

SITE T 7

1 - DETERMINATION DU SITE

1.1 - Sismique de la zone (figure 48)

L'objectif du forage est de *reconnaître la nature d'un dôme* acoustiquement transparent situé au sud-est du cap Ferrat. Sur les enregistrements sismiques (Pautot, 1969), ce dôme ne présente aucun réflecteur, que ce soit dans sa partie centrale ou sur son sommet. Il semble prolonger la structure observée à l'occasion du forage T 4 au sud du canyon du Var.

1.2 - Sondeur de vase (figure 49)

L'enregistrement montre une série homogène d'origine vraisemblablement sédimentaire dans laquelle un léger réflecteur est détecté vers 15 ms.

1.3 - Bathymétrie (figure 50)

Sur la bathymétrie, ce dôme est marqué par une surélévation à large rayon de courbure entre le canyon du Var au nord et la plaine abyssale au sud.

2 - OPERATION DE FORAGE

2.1 - Chronologie

Lors de la prise de l'ancrage dynamique, le navire foreur dérive vers l'ouest en raison d'un fort courant. La foreuse glisse sur la pente du dôme sans y pénétrer. Après une deuxième tentative infructueuse, l'appareil est lâché en chute libre pour qu'il se plante dans le terrain.

2.2 - Enfoncement (figure 51)

La vitesse d'enfoncement passe de 60 m/h à 30 m/h au début du forage sous tension constante. Entre 1 789 et 1 790 m, un niveau plus compact freine l'avancement (20 m/h). Ensuite, la vitesse reste constante (30 m/h) jusqu'au moment du carottage.

2.3 - Carottage

Le carottage a lieu à 38 m de fond et s'effectue sans difficulté. La résistance à l'arrachement est pratiquement nulle. La carotte prélevée ne mesure que 65 cm car lors de son extraction du tube elle a été fortement tassée et perturbée.

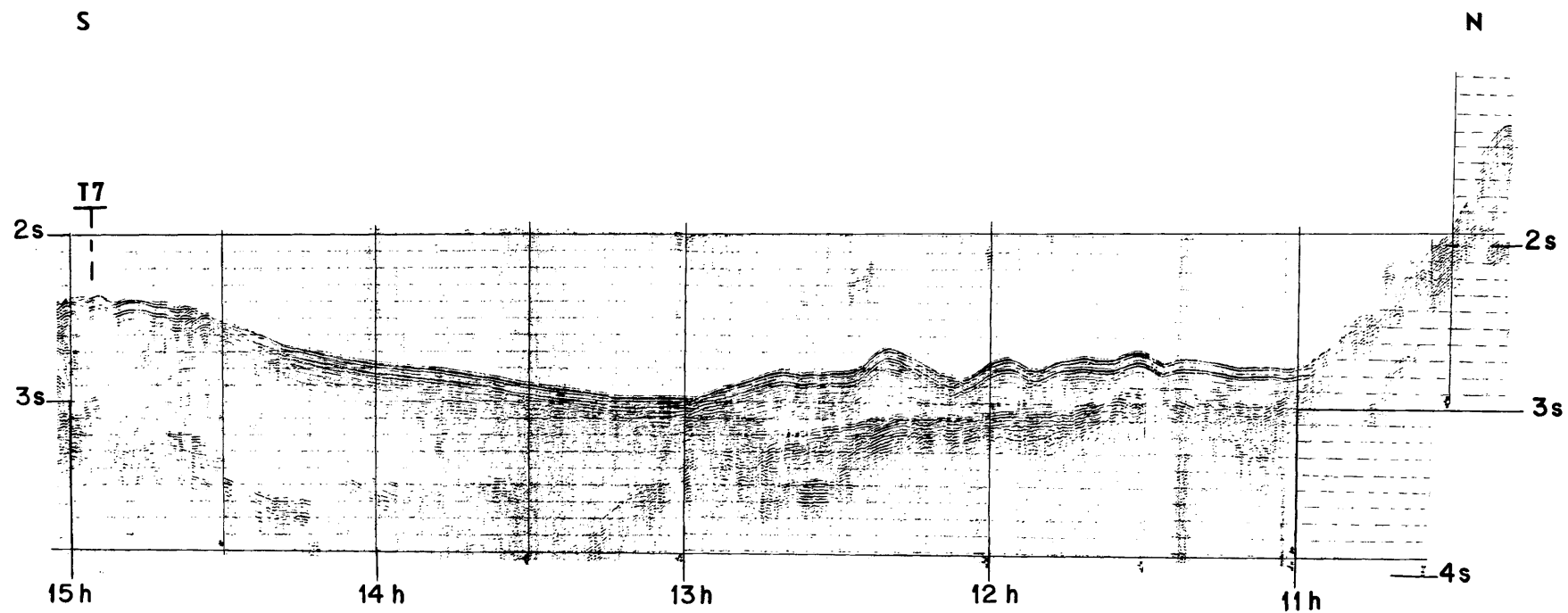


Figure 48

Profil sismique à l'air-gun réalisé avec le B.O. CATHERINE-LAURENCE
 Profil au sud du cap Ferrat - Vitesse : 8 noeuds.

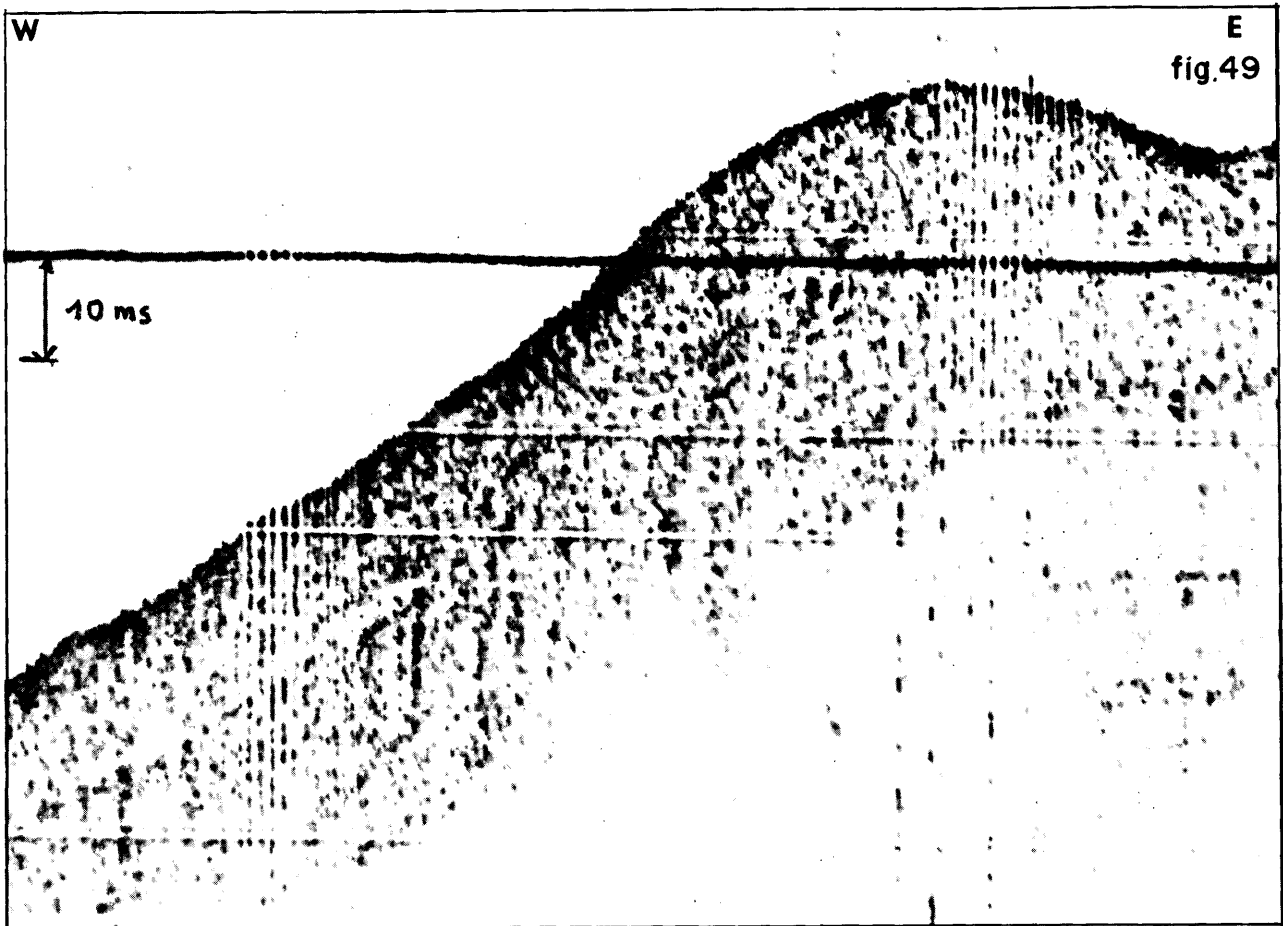


Figure 49 - Sondage de sédiment

Profil du 4 mai. Photo 9 h 50 à 10 h 10.

Un réflecteur léger est détecté vers 15 ms. Aucun réflecteur dur n'apparaît.

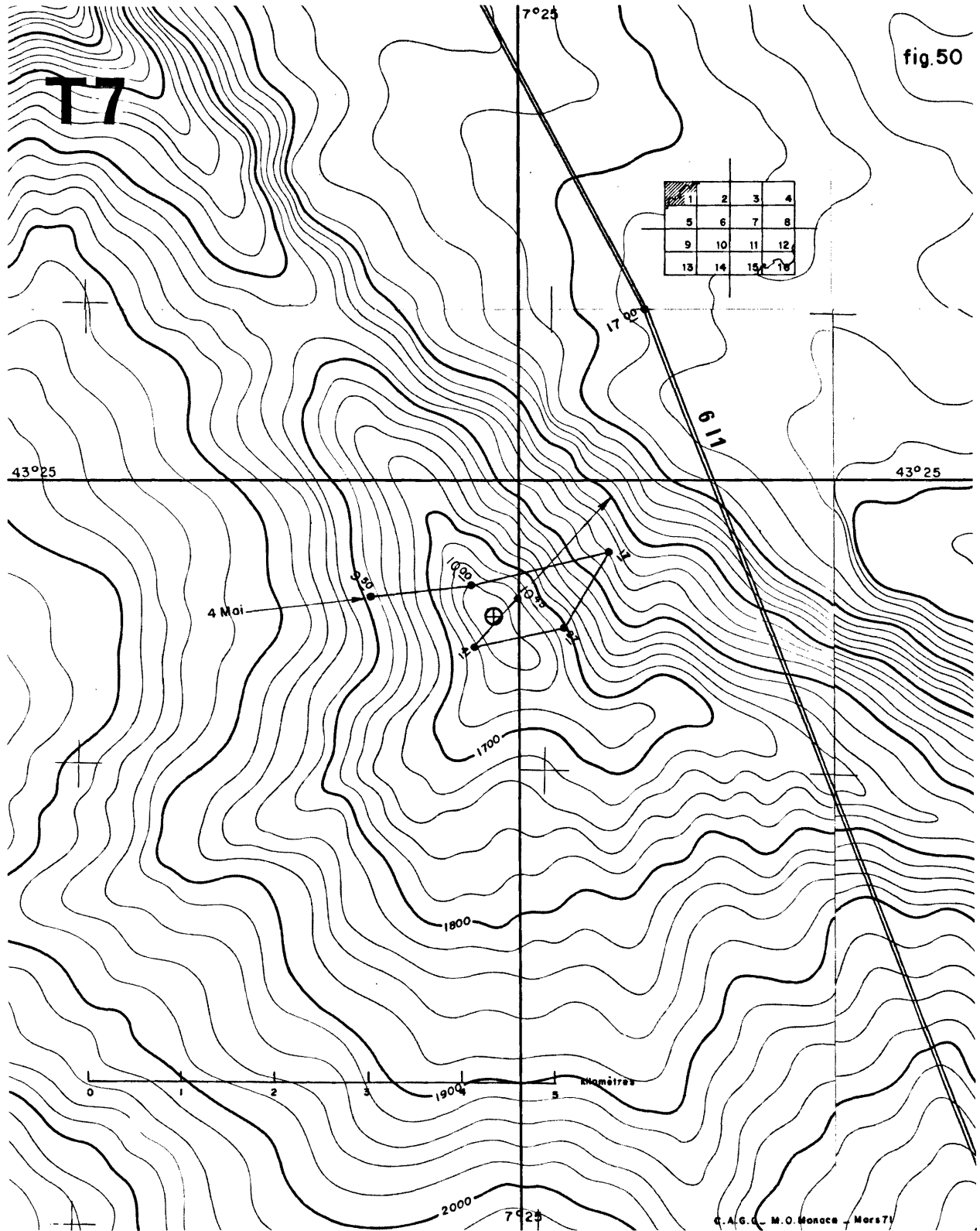


Figure 50

Extrait de la carte bathymétrique de la mer Ligure au 1/50 000 e (M.O.M.)
Trace des profils au sondeur de sédiment - Position du forage.

Carotte T 7

Profondeur 1767m.

Prélèvement à 38 m.

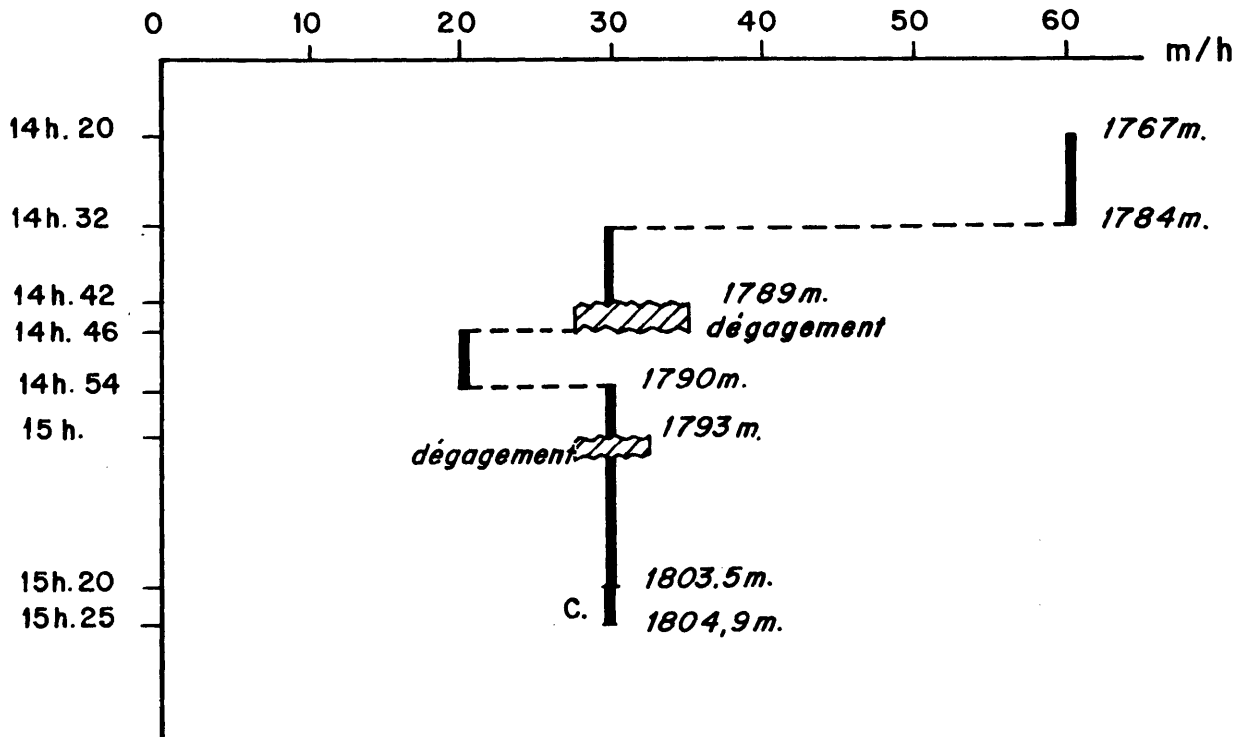
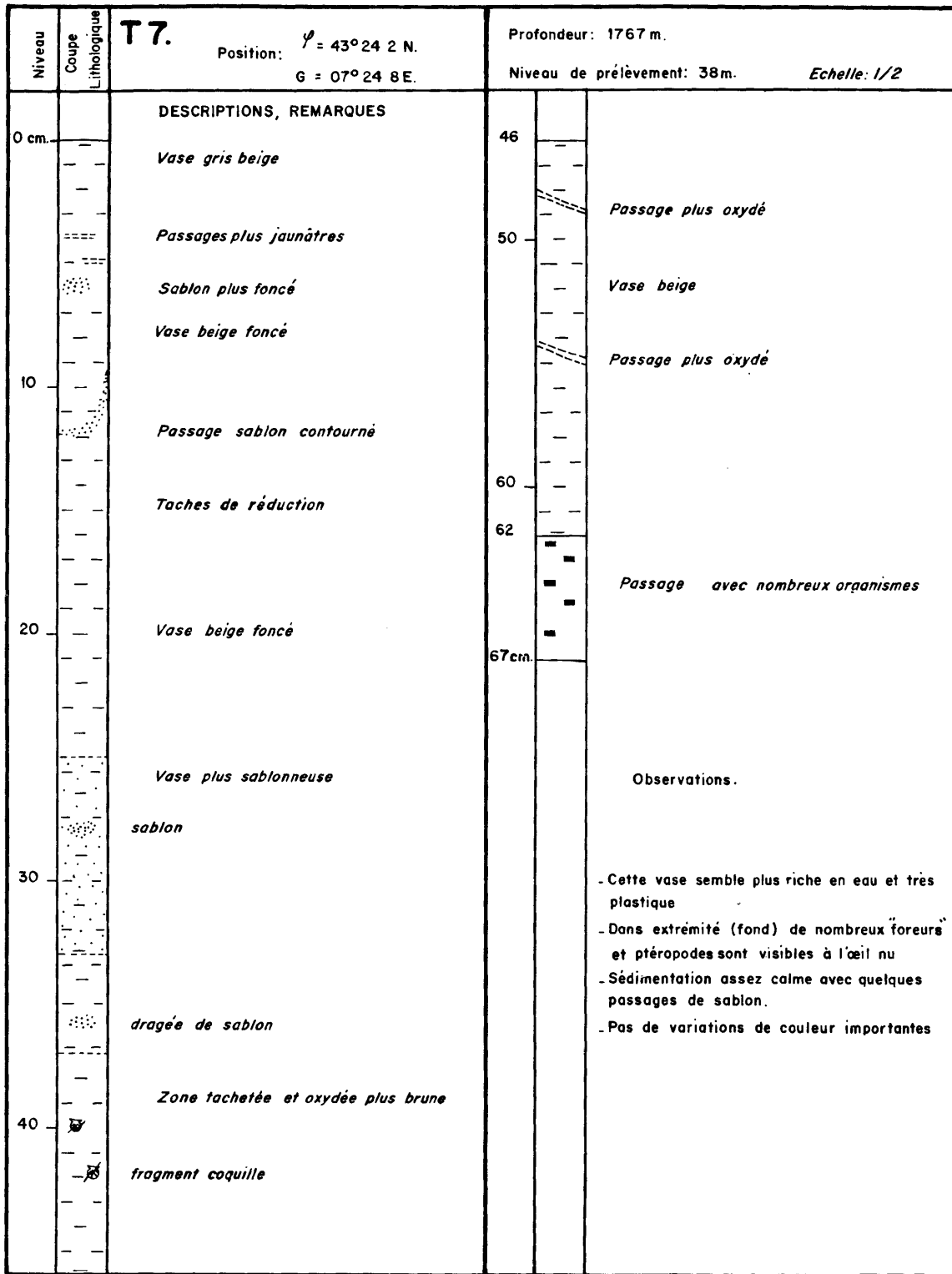


Figure 51

3 - LOG GRAPHIQUE



4 - PROPRIETES PHYSIQUES

4.1 - Teneur en eau

| Niveau | H ₂ O % |
|---------|--------------------|
| 3- 6 cm | 25,75 |
| 15-18 | 26,30 |
| 21-24 | 25,70 |
| 36-39 | 27,10 |
| 42-44 | 29,40 |
| 56-58 | 28,20 |

4.2 - Fraction grossière (supérieure à 63 μ)

| Niveau | > 63 μ % |
|--------|----------|
| 20 cm | 2 |
| 35 | 4 |
| 40 | 3 |
| 60 | 3 |
| 65 | 7 |

4.3 - Granulométrie de la partie fine (inférieure à 20 μ) (figure 52)

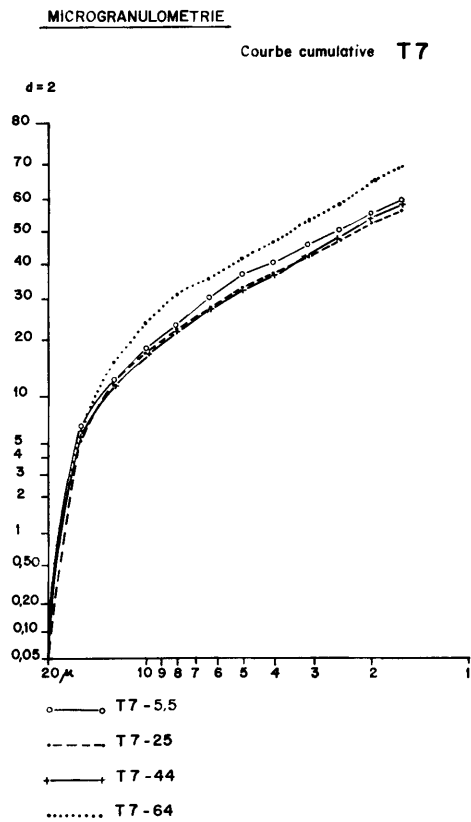


Figure 52

5 - MINÉRALOGIE

5.1 - Observations effectuées sur la fraction grossière du sédiment
($\varnothing > 63 \mu$)

| <u>Niveaux</u> | <u>Débris d'origine organique</u> | <u>Fraction détritique</u> |
|----------------|--|--|
| 0 cm | Présence de piquants d'oursins, débris de mollusques, d'ostracodes. Ptéropodes : <i>Limacina retro-versa</i> abondante (formes juvéniles et adultes). Certains individus ont un remplissage pyriteux. Quelques coquilles sont agglomérées entre-elles par de la pyrite. | Fraction détritique abondante. Micas et limonite abondants, quartz non-usés et glauconie peu abondants. Pyrite abondante : en croûte, agrégats et enduit. Présence de malachite (?). Sédiment assez fin. |
| 20 cm | Débris abondants. <i>Limacina retro-versa</i> présente (formes juvéniles). | Fraction détritique très abondante, sédiment fin. Micas très abondants. Limonite abondante. Quartz non-usés et pyrite peu abondants. |
| 35 cm | idem | idem présence de bâtonnets pyriteux. |
| 40 cm | Ecailles de poisson. Piquants d'oursins. Débris de mollusques et gastéropodes. <i>Limacina retro-versa</i> très abondante. | Fraction détritique peu abondante. Quartz non-usés et micas abondants. Glauconie, limonite, pyrite peu abondante. Sédiment très fin. |
| 60 cm | idem <i>Limacina retro-versa</i> abondante. | Fraction détritique abondante idem |
| 65 cm | <i>Limacina retro-versa</i> très abondante. | Fraction détritique abondante. Sédiment très fin. idem. |

Remarques : - Fraction détritique du sédiment (quartz et mica) toujours abondante et de granulométrie fine.
- Présence dans tous les échantillons de *Limacina retro-versa*.

5.2 - Examen des frottis

| Niveau | Sable | Sablon | Poudre |
|--------|-------|--------|--------|
| 20 cm | 5 | 10 | 85 |
| 30 cm | 5 | 10 | 85 |

. T 7 - 20 cm

- . terrigène : 25 %
 - quartz : 15
 - muscovite : 10
- . organique : 75 %
 - foraminifères : 5
 - nannoplancton : 70 (partiellement recristallisé)

Traces d'hématite, de pyrite et de chlorite.

C'est une *vase calcaire*

. T 7 - 30 cm

- . terrigène : 35 %
 - muscovite : 25
 - quartz : 10
- . organique : 65 %
 - nannoplancton : 65

Traces de magnétite, chlorite.

C'est une *vase terrigène à nannoplancton*.

5.3.- Minéraux lourds (figure 53)

Dans la fraction granulométrique de 0,5 à 0,05 mm, on note la présence des minéraux lourds suivants :

| Niveaux (en cm) | 15-18 | 36-39 | 56-58 |
|--|-------|-------|-------|
| Minéraux | | | |
| hématite | | | R |
| pyrite + pyrito- sphères ± en agrégats | PA | M | M |
| mica blanc (ou chlorites) | A | M | M |

Dans la fraction plus fine, présence de :

- . amphiboles
- . épidotes
- . carbonates
- . "opaques".

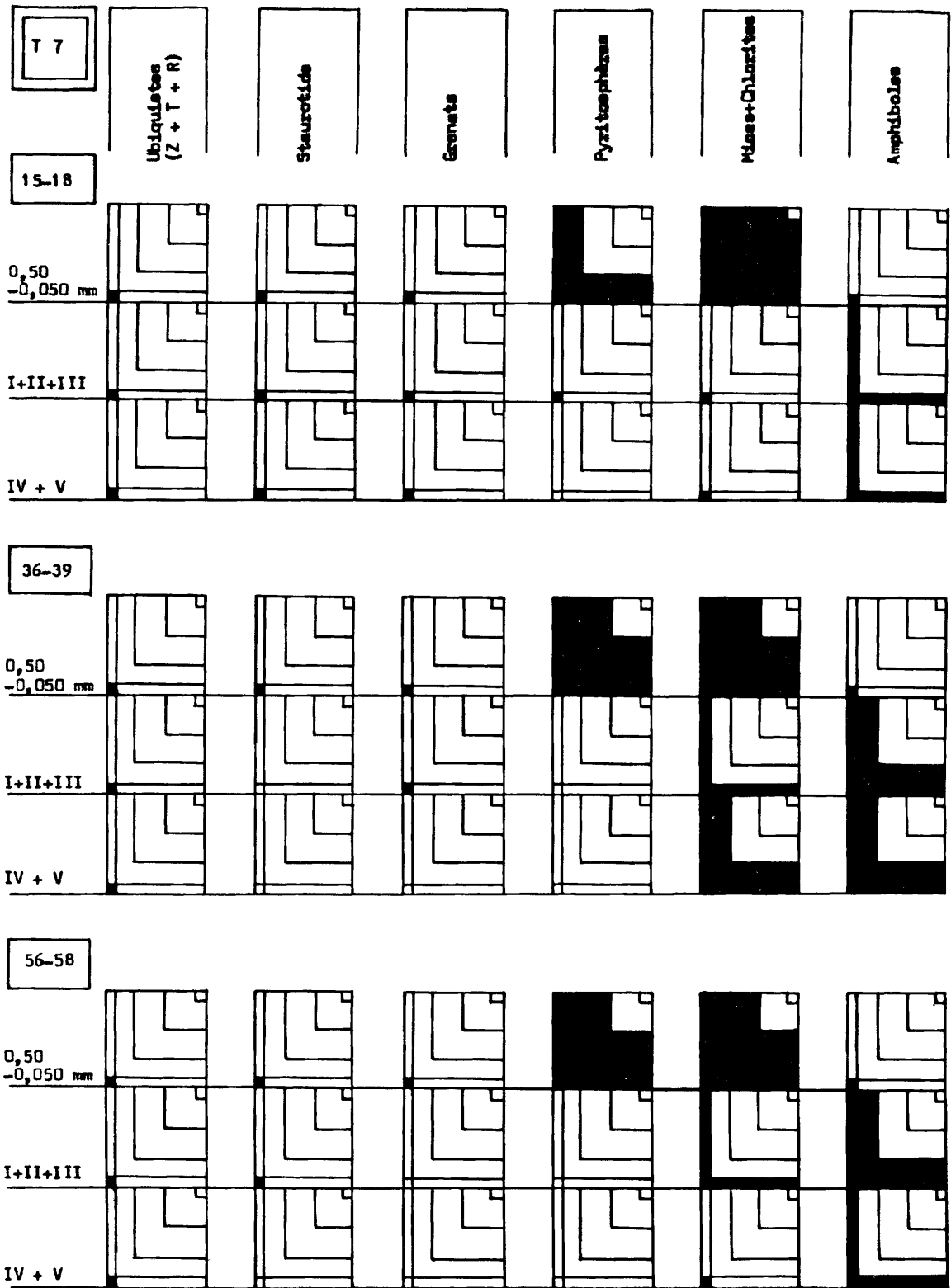


Figure 53

5.4 - Minéralogie de la phase argileuse (S.N.P.A.)

Données analytiques

| Cotes (en cm) | *h1 | h2 | h3 | h4 | h5 | h6 | h7 | h8 | h9 | h10 | h11 | h12 |
|------------------|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 8-10 | 36 | 21 | 135 | 101 | 47 | 29 | 24 | 58 | 130 | 39 | 9 | 34 |
| 33-35 | 32 | 12 | 119 | 81 | 38 | 18 | 23 | 48 | 115 | 32 | 7 | 28 |
| 52-54 | 25 | 12 | 114 | 72 | 35 | 16 | 20 | 35 | 96 | 21 | 5 | 28 |

* h : hauteurs en mm, mesurées sur diagrammes enregistrés à 2°/mn

Composition *estimée* de la phase argileuse

| cotes (en cm) | Interstrat. irrégul. I - M | Illite | Chlorite | Kaolinite |
|------------------|----------------------------------|--------|----------|-----------|
| 8-10 | 7 | 53 | 28 | 12 |
| 33-35 | 6 | 56 | 26 | 12 |
| 52-54 | 6 | 58 | 23 | 13 |

Paramètres cristallographiques de l'illite

| Cotes (en cm) | *1 001 | $\frac{002}{001}$ | $\frac{005}{001}$ | $\frac{005}{002}$ |
|------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 8-10 | 3,0 | 0,35 | 0,25 | 0,72 |
| 33-35 | 3,1 | 0,32 | 0,24 | 0,74 |
| 52-54 | 3,1 | 0,31 | 0,25 | 0,80 |

* l : largeur en mm, à mi-hauteur, mesurée sur diagrammes enregistrés à 8°/mn.

5.5 - Relations argiles - climats (H. CHAMLEY)

(niveaux 0-20-35-40-60-65 cm)

Sauf à la base du sondage, où l'illite est bien fermée (2,5/10° θ) et de type assez froid, le climat marqué par les argiles est tempéré à tempéré chaud. Il apparaît légèrement plus frais que celui indiqué par la carotte T 4 : la chlorite en particulier y est un peu plus abondante par rapport à l'illite, cependant que

la montmorillonite l'est un peu moins. De légers maxima s'observent vers le haut et à 40 cm. L'interprétation est la suivante :

- 0 à 20 cm : tempéré chaud
- 35 cm : tempéré
- 40 cm : tempéré chaud
- 60 cm : tempéré
- 65 cm : assez froid.

Comme pour la carotte T4, l'âge des dépôts est quaternaire, probablement moyen à supérieur.

6 - MICROPALÉONTOLOGIE

6.1 - Foraminifères

Le sédiment de cette carotte est caractérisé par l'abondance et la finesse de la fraction détritique composée surtout de quartz non usés et de micas. La pyrite est assez abondante ; on la trouve sous forme de croûte, agrégats, bâtonnets, enduits et remplissages de foraminifères. Le sédiment est riche en débris d'origine organique. Il faut remarquer la présence du Ptéropode *Limacina retroversa* à tous les niveaux ; il est parfois assez fréquent. Les Foraminifères de petite taille sont abondants à 20 cm, 35 cm et 65 cm.

Abondance relative des Foraminifères (figure 55)

- Foraminifères benthiques

Les Foraminifères benthiques recueillis dans la carotte T 7 sont peu abondants quant au nombre des individus, et les niveaux supérieurs tout en montrant une certaine variabilité dans le choix des espèces, en contiennent tous un nombre à peu près équivalent.

L'appauvrissement de cette microfaune est très sensible à 60 et 65 cm où le nombre des espèces se réduit à 13 mais elles sont représentées par des individus en place. Il semble bien d'ailleurs que dans cette carotte, la majorité des Foraminifères n'ait subi aucun transport et que seul *Cibicides advenum* proviennent du milieu infralittoral.

- Foraminifères planctoniques

Il y a dominance de *Globigerina bulloides* et *Globigerina pachyderma*. *Globorotalia inflata* est plus rare ; elle est seulement commune à certains niveaux.

Globigerina quinqueloba Natland, *Globigerinita glutinata* (Egger) et *Globorotalia scitula* qui sont des espèces de petite taille, sont bien représentées.

Il y a une différence de composition microfaunistique entre les niveaux supérieurs de la carotte et celui de la base où seules *Globigerina quinqueloba*, *Globigerinita glutinata* et *Globorotalia scitula* sont abondantes.

Fréquence des Foraminifères planctoniques (niveaux 0 - 20 - 40 et 60 cm ; figure 54)

Il est remarquable de constater que *Globigerina pachyderma* dextre est très fréquente à 0 cm, 20 cm, 40 cm. Les formes senestres, au contraire, sont plus rares.

Les espèces d'eau chaude apparaissent en faible quantité à 0 cm et 40 cm. *Hastigerina aequilateralis* a été rencontré dans le niveau supérieur.

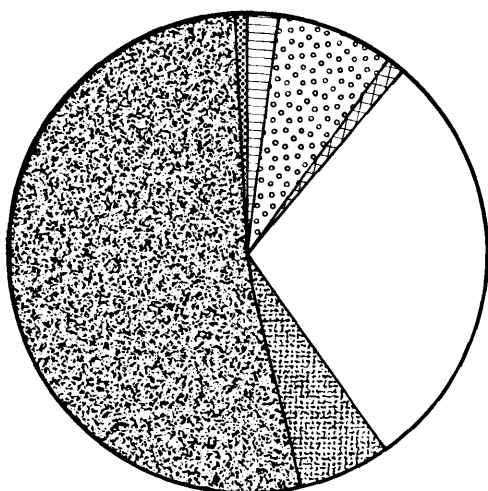
Il faut enfin noter la dominance de *Globigerina pachyderma* à 20 cm et celle de *Globorotalia scitula* à 60 cm.

Globigerina pachyderma et *Hastigerina aequilateralis* ont été trouvées dans le même niveau. (0 cm).

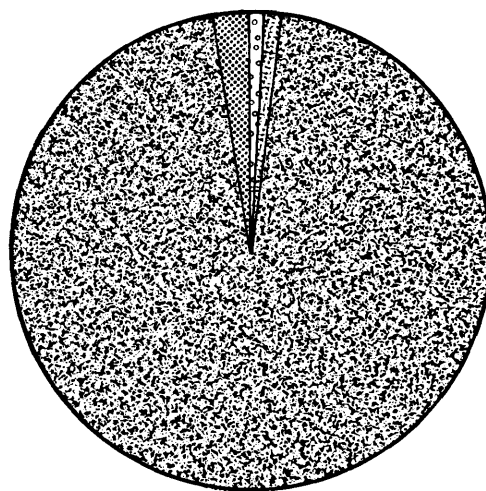
Le site de forage a été implanté de la même façon que T 4, dans la région qui est soumise aux apports détritiques du Var. La rareté et la finesse de la fraction grossière du sédiment ainsi que l'abondance des espèces de Foraminifères planctoniques de petite taille soulignent l'importance des facteurs hydrodynamiques responsables d'une ségrégation granulométrique.

Dans ces conditions, il est difficile de proposer une interprétation paléoclimatique.

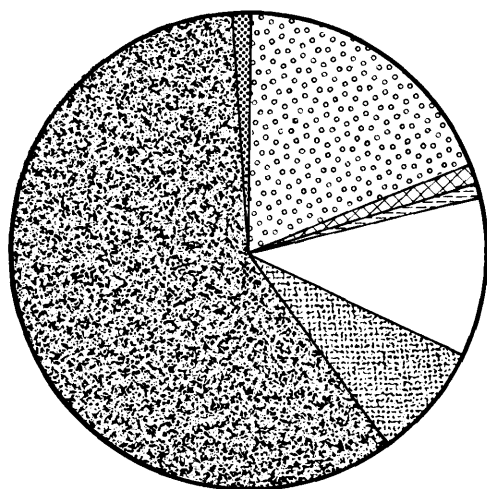
CAROTTE T7



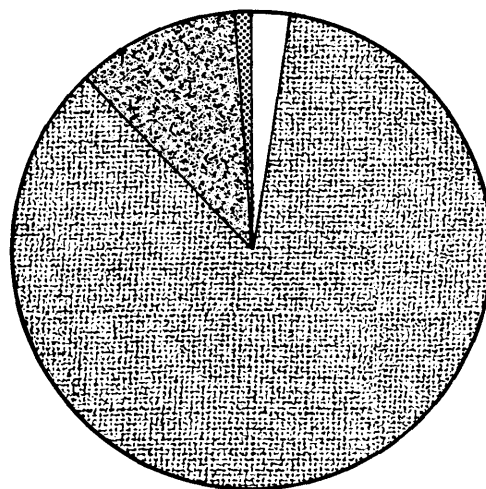
niveau 0



n. 20



n. 40



n. 60

Diagrammes polaires
Fréquence des espèces planctoniques de foraminifères

Légende : cf. figure 12 p.47

Figure 54

T 7

Liste et abondance des Foraminifères contenus dans chaque échantillon de sédiment.

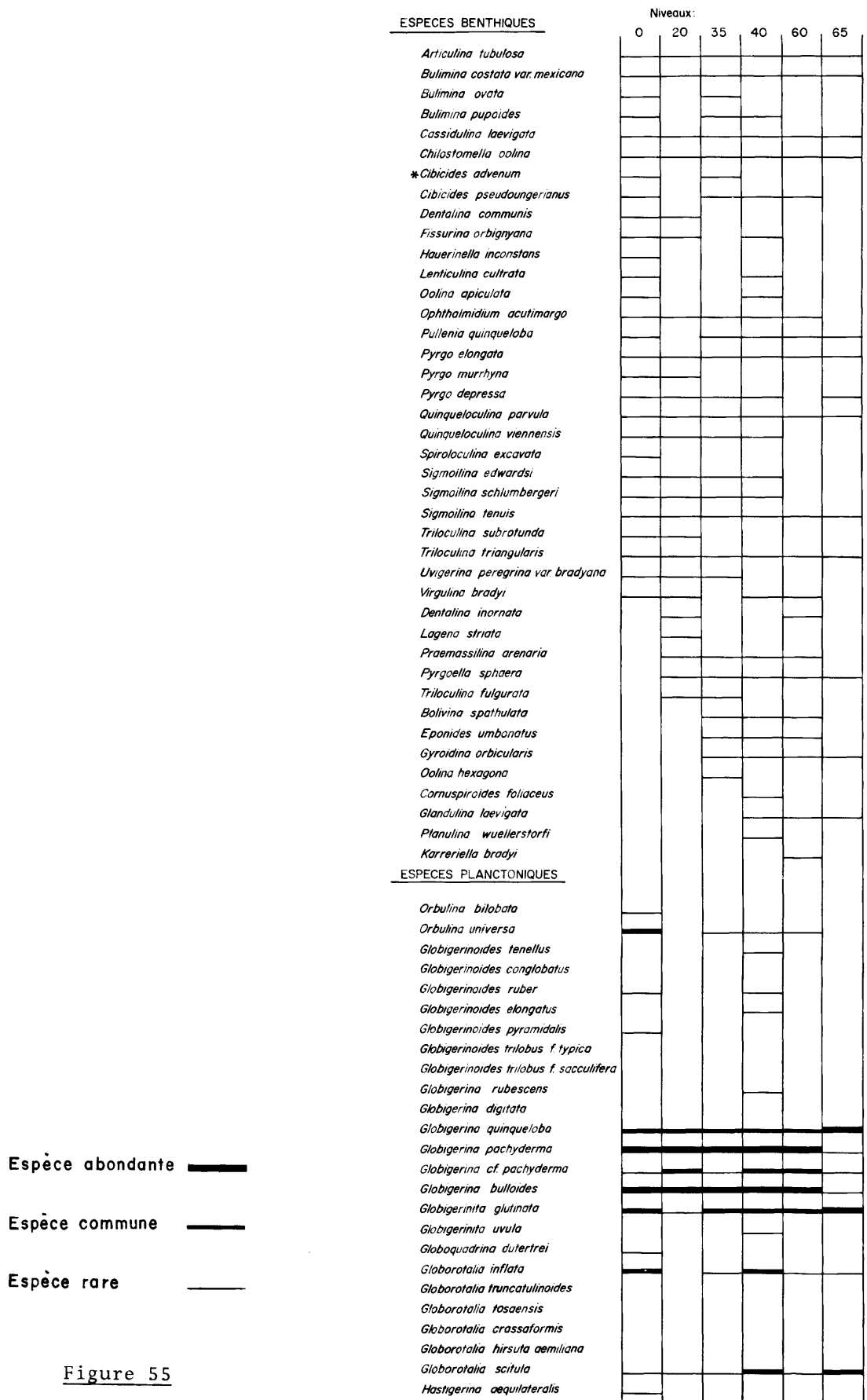


Figure 55

Les dépôts sont d'âge quaternaire. Ils sont vraisemblablement contemporains d'une période de refroidissement. Ce fait est corroboré d'une part par l'abondance de *Globigerina pachyderma* et d'autre part par la présence et la fréquence de *Lima-cina retroversa*. Cette espèce est actuellement absente de Méditerranée (RAMPAL, 1969). Elle est répandue dans les eaux subarctiques de l'Atlantique (TESCH, 1913. CHEN et BE, 1964). Elle est caractéristique des refroidissements tardi et post-glaciaires mis en évidence dans les sédiments carottés en Méditerranée (CHEN, 1968. FROGET et PASTOURET, 1969).

Distribution des Foraminifères planctoniques

| | 0 | | 20 | | 40 | | 60 | |
|--|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| | Nb | F % | Nb | F % | Nb | F% | Nb | F% |
| <i>Hastigerina aequilateralis</i> | 24 | 1,6 | | | | | | |
| <i>Globigerinoides ruber</i> | 8 | 0,5 | | | 16 | 0,9 | | |
| <i>Globigerinoides elongatus</i> | | | | | 8 | 0,4 | | |
| <i>Orbulina universa</i> | 104 | 7,1 | 8 | 0,6 | 304 | 18,2 | | |
| <i>Globorotalia inflata</i> | 408 | 28,0 | | | 184 | 11,0 | 16 | 2,0 |
| <i>Globorotalia scitula</i> | 80 | 5,4 | 8 | 0,6 | 128 | 7,6 | 712 | 87,2 |
| <i>Globigerina pachyderma</i> (f. senestre) | 16 | 1,0 | 124 | 1,8 | 8 | 0,5 | 8 | 1,0 |
| <i>Globigerina pachyderma</i> (f. dextre) | 816 | 56,0 | 1232 | 97,4 | 1016 | 61,0 | 80 | 10,0 |
| Total | 1456 | | 1272 | | 1664 | | 816 | |
| Nombre d'individus comptés | 182 | | 159 | | 168 | | 102 | |

6.2 - Pollens

Tous les niveaux de cette carotte se sont révélés presque entièrement stériles.

Le nombre des pollens comptés à la lecture de plusieurs lames variant de 0 à 50, il était impossible d'en tirer un quelconque enseignement tant sur le plan paléobotanique que stratigraphique.





Toutefois, au niveau 65 cm, la présence de Pin, Sapin, Bouleau, Aulne, l'absence totale de thermophiles autorisent à penser que ce type de végétation très appauvrie en arbres, se serait développé en climat relativement "froid", et sans doute humide si l'on accorde de l'importance au seul grain de pollen de *Sciadopitys*, croissant aujourd'hui en milieu arrosé.

6.3 - Nannoplancton

Cette carotte dont six échantillons ont été étudiés contient une nannoflore pauvre en espèces et en individus, de plus ces individus sont très petits. Il y a

peu de formes remaniées : *Discolithus* cf. *D. obliquipons* (Tertiaire) et quelques formes crétacées non identifiables à cause de leur empatement.

Les nannofossiles calcaires comprennent des formes généralement considérées comme indicatrices de milieu chaud par la plupart des auteurs : *Helicosphaera carteri*, *Rhabdosphaera stylifer* ; des espèces témoignant d'un milieu froid comme *Coccolithus pelagicus* et enfin *Cyclococcolithus leptoporus* et *Gephyrocapsa oceanica*, espèces eurythermes ou indicatrices de milieu froid selon les auteurs. On peut donc vraisemblablement supposer que le milieu au moment du dépôt de cette carotte était tempéré avec subsistance de quelques formes froides et de quelques formes chaudes en quantités minimales. Cette flore est d'âge quaternaire moyen.

Espèce abondante  Espèce rare 
 Espèce commune  Trouvailles isolées 

Carotte T 7

| | 0 | 20 | 35 | 40 | 60 | 65 |
|---|---|----|----|----|----|----|
| <i>Gephyrocapsa oceanica</i> Kamptner | | | | | | |
| <i>Cyclococcolithus leptoporus</i> (Murray et Blackmann) Kamptner | | | | | | |
| <i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich) Kamptner | | | | | | |
| <i>Rhabdosphaera claviger</i> Murray et Blackmann | | | | | | |
| <i>Pontosphaera discopora</i> Schiller | | | | | | |
| <i>Rhabdosphaera stylifer</i> Lohmann | | | | | | |
| <i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller | | | | | | |
| <i>Gephyrocapsa</i> cf. <i>G. oceanica</i> Kamptner | | | | | | |
| <i>Pontosphaera</i> cf. <i>P. discopora</i> Schiller | | | | | | |
| <i>Discolithus</i> sp. | | | | | | |
| * <i>Discolithus</i> cf. <i>D. obliquipons</i> Deflandre | | | | | | |
| *Formes crétacées indéterminables | | | | | | |

7 - GEOCHIMIE

7.1 - Teneurs en éléments majeurs (S.N.P.A.)

- teneurs en éléments majeurs (dosage en fluorescence X) exprimées en % du sédiment étuvé à 105°C. (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O | CaO | Fe ₂ O ₃ | MgO | TiO ₂ | P.F. * |
|--------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------|--------|
| 8-10 | 39,1 | 10,3 | 1,5 | 19,3 | 4,5 | 2,6 | 0,4 | 23,0 |
| 33-35 | 42,2 | 11,0 | 1,8 | 18,8 | 4,6 | 2,9 | 0,4 | 19,6 |
| 52-54 | 42,4 | 11,2 | 1,6 | 18,1 | 4,8 | 3,2 | 0,4 | 18,3 |
| erreur à 95 % de probab. | ± 0,8 | ± 0,4 | ± 0,1 | ± 0,3 | ± 0,1 | ± 0,3 | ± 0,05 | ± 0,2 |

* P.F. : perte au feu (de 105°C à 900°C).

7.2 - Teneurs en éléments traces

7.2.1 + analyses S.N.P.A.

- teneurs en éléments traces (quantomètre) exprimées en ppm du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total)

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|
| 8-10 | 75 | 76 | 2 | 186 | 76 | 37 | 105 | 38 | 19 | 491 | 345 | 10 | 570 |
| 33-35 | 73 | 96 | 3 | 13 | 83 | 21 | 128 | 43 | 20 | 613 | 402 | 12 | 460 |
| 52-54 | 76 | 83 | 1 | 11 | 80 | 22 | 115 | 39 | 15 | 463 | 330 | 10 | 540 |
| reproducti- bilité | ±7,0 | ±7,6 | ±1,8 | ±3,0 | ±5,0 | ±2,8 | ±6,0 | ±5,6 | ±5,0 | ±30 | ±20 | ±2,4 | ±35 |

- teneurs en éléments traces (quantomètre) exprimées en ppm de la fraction fine calcinée à 900°C et teneurs en TiO₂ en %. (analyses sur la fraction fine (< 5 μ) et décarbonatée du sédiment total).

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn | TiO ₂ |
|-----------------------|-----|-----|------|------|------|------|-----|----|----|-----|-----|----|-----|------------------|
| 8-10 | 205 | 217 | 1 | 6 | 124 | 45 | 217 | 83 | 14 | 105 | 431 | 34 | 180 | 1,11 |
| 33-35 | 208 | 224 | n.d. | 5 | 124 | 44 | 232 | 93 | 19 | 118 | 465 | 33 | 180 | 1,20 |
| 52-54 | 214 | 225 | 1 | 4 | 117 | 33 | 232 | 89 | 11 | 110 | 414 | 34 | 140 | 1,16 |
| reproducti- bilité | ±11 | ±12 | ±0,8 | ±2,5 | ±6,5 | ±4,0 | ±10 | ±8 | ±4 | ±9 | ±25 | ±3 | ±20 | ±0,08 |

n.d. : non détecté.

8 - MATIERE ORGANIQUE

8.1 - analyses S.N.P.A.

- teneurs en carbone organique et soufre (sédiment total)

| Cotes (en cm) | C.O.* | S** total | S** élémen- taire | S** des mono- sulfures | S** organique | S** des bi- sulfures | S** des sulfates |
|------------------|-------|--------------|-------------------------|------------------------------|------------------|----------------------------|------------------------|
| 8-10 | 0,84 | 2800 | 0,3 | 2 | 510 | 1700 | 1100 |
| 33-35 | 0,31 | 9200 | 1,0 | 4 | 370 | 8500 | 1100 |
| 52-54 | 0,31 | 2800 | 0,3 | 3 | 290 | 1000 | 1100 |

* : en % du sédiment étuvé à 105°C (erreur à 95 % de probabilité : ± 6 % relatifs)

** : en ppm du sédiment étuvé à 105°C, erreurs non évaluées.

- teneurs en carbone organique et soufre exprimées en % de la fraction fine étuvée à 105°C

| Cotes (en cm) | C.O. %* | S % |
|------------------|---------|------|
| 8-10 | 1,41 | 0,05 |
| 33-35 | 1,26 | 0,14 |
| 52-54 | 1,85 | 0,10 |

* : erreur à 95 % de probabilité : ± 6 % relatifs

- teneurs en carbone organique et soufre

8.2 + analyse B.R.G.M. exprimée en % par rapport au sédiment total séché à 105-110°C

| Cotes (en cm) | S | C total | CO ₃ | C minéral |
|------------------|------|------------|-----------------|--------------|
| 3- 6 | 0,06 | 4,35 | 21,90 | 4,24 |
| 15-18 | 0,03 | 4,45 | 22,65 | 4,38 |
| 21-24 | 0,03 | 4,10 | 21,20 | 4,10 |
| 36-39 | 0,43 | 4,22 | 20,75 | 4,02 |
| 42-44 | 0,09 | 4,10 | 20,70 | 4,01 |
| 56-58 | 0,04 | 4,30 | 21,00 | 4,07 |

- Examen au microscope métallographique

Echantillon (36 - 39 cm) : + 0,050 mm

Pyrite abondante sous forme de pyritosphères ou de cristaux subautomorphes. Un peu de goethite. Quelques plages de martite. Rares plages de magnétite, de spinelle et d'ilménite. Très rares traces de chalcopyrite (pollution ?).

SITE T 8

1 - DETERMINATION DU SITE

1.1 - Sismique (figure 56)

Le but du forage est d'atteindre le *substratum solide* dans l'axe du canyon du Var, au pied de la dorsale sédimentaire. La sismique réflexion montre un fort réflecteur interprété comme substratum (Pautot, 1969) qui affleure au niveau du thalweg de la vallée du Var. Au sud, ce niveau s'ennoie sous la ride sédimentaire déjà forée en T 4 et T 7.

1.2 - Sondeur de vase (figure 57)

Au pied de la pente de la ride sédimentaire, on enregistre une série d'échos latéraux. La partie plane montre un fort réflecteur représentant un horizon dur.

1.3 - Bathymétrie (figure 58)

La vallée du Var est entaillée entre deux rides sédimentaires d'orientation nord-ouest sud-ouest. Au niveau du point choisi, la vallée s'élargit avant son contact avec la plaine abyssale.

2 - OPERATIONS DE FORAGE

2.1 - Chronologie

Le navire accompagnateur mouille une bouée de repérage au point choisi. Au cours de la descente de l'appareil, la bouée dérive et le navire foreur a de grandes difficultés pour se replacer, vu que 1 000 m de câble sont déjà à l'eau.

Deux minutes après le début du forage, le carottier se coince dans l'horizon dur. Une deuxième tentative a lieu mais le carottier se coince une nouvelle fois.

2.2 - Enfoncement (figure 59)

La vitesse de pénétration est de 18 m/h jusqu'à 1,4 m sous le fond. A ce niveau, elle décroît jusqu'à 4 m/h et à 2,10 m l'appareil se coince dans le trou.

2.3 - Carottage

Après déblocage, le carottage est tenté entre 1 889,4 et 1889,7 m. Mais le carottier use la roche au lieu d'y pénétrer car la couverture meuble (1,4 m) est insuffisante. Après déclenchement, le carottier remonte vide.

SW

NE

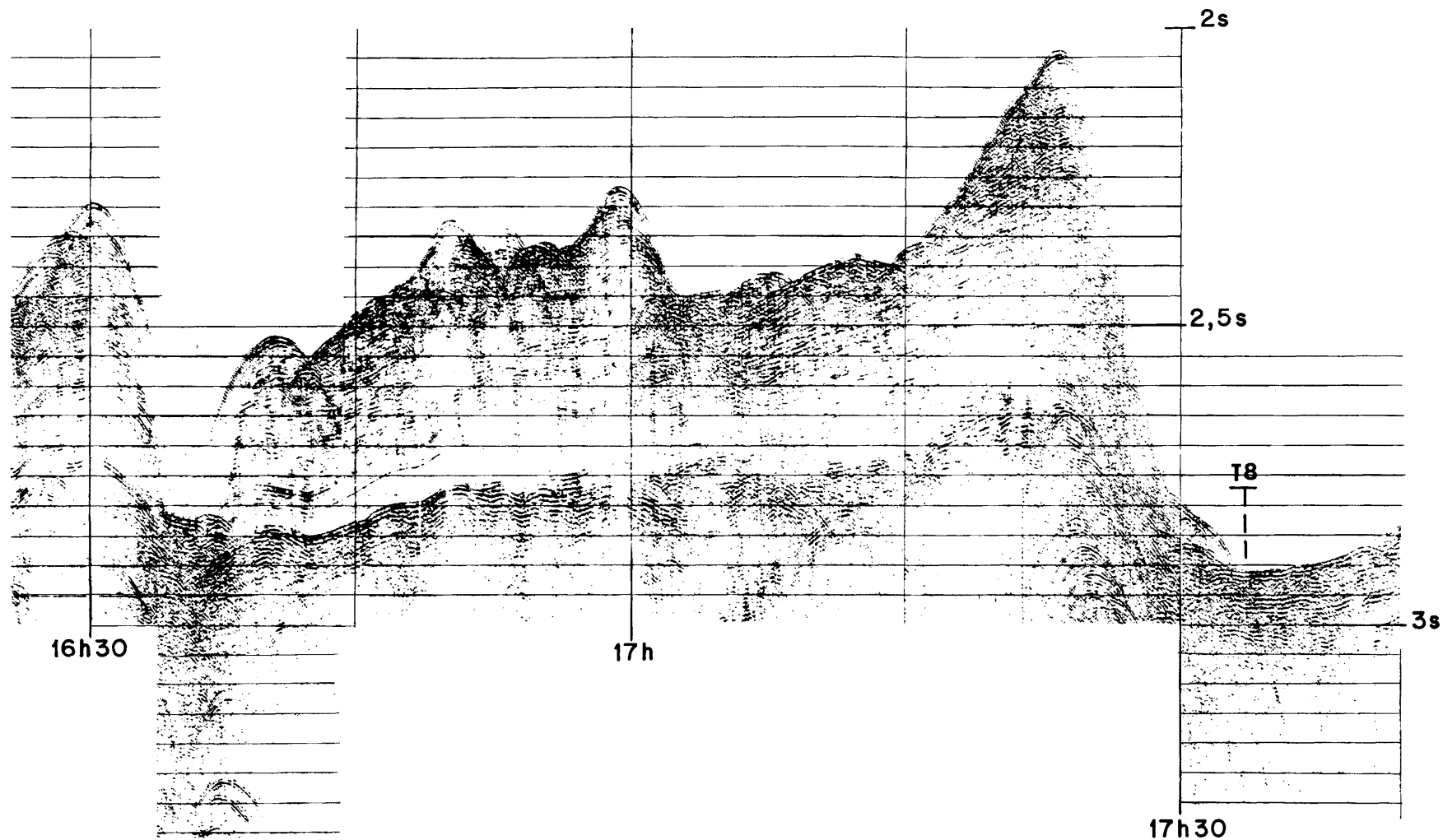


Figure 56

Profil à l'air-gun réalisé avec le B.O. CATHERINE-LAURENCE sur la dorsale sédimentaire du cap d'Antibes.
Vitesse 8 noeuds.

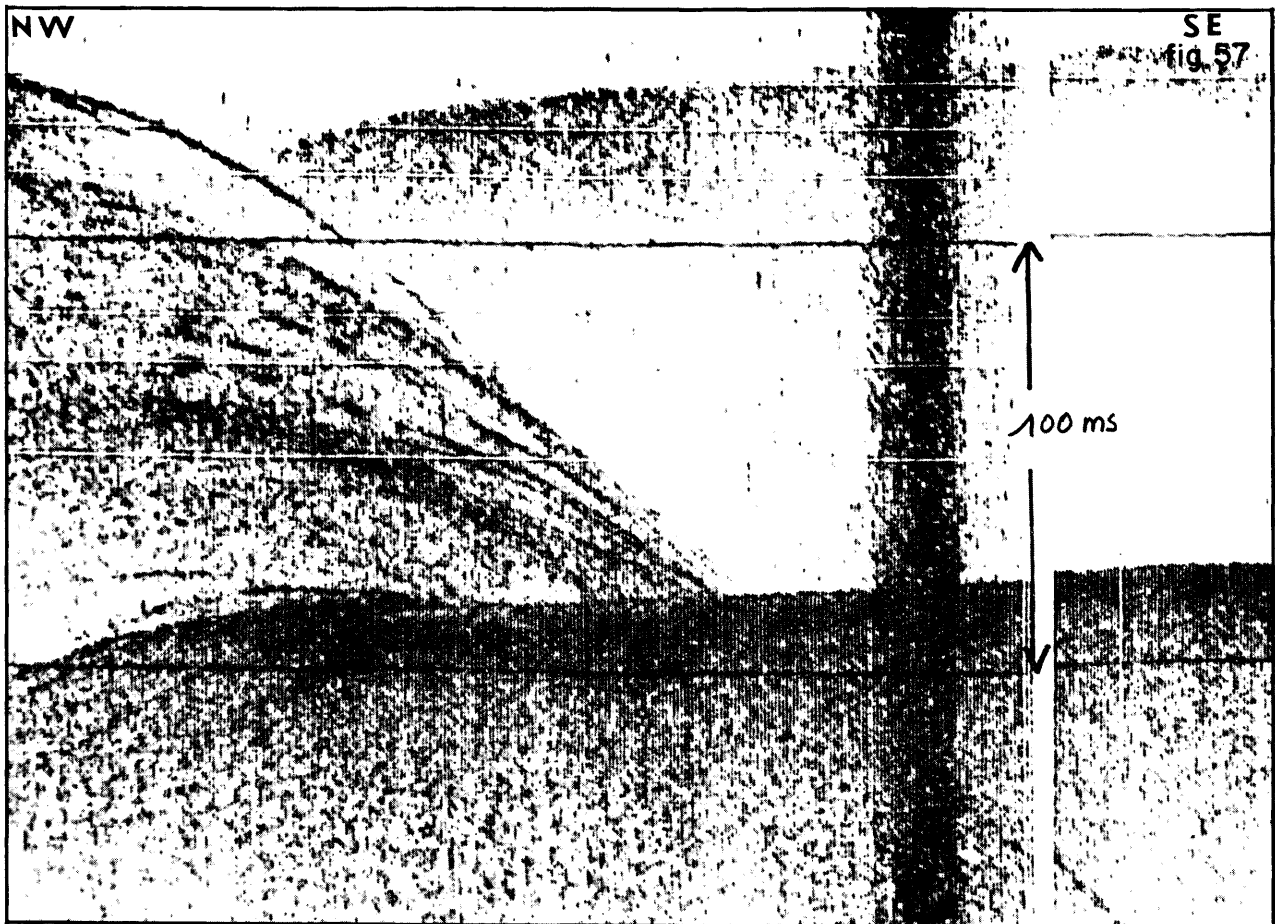


Figure 57 - Sondage de sédiment

Contact entre la plaine du canyon du Var et la ride sédimentaire du cap d'Antibes. On voit les échos latéraux provenant de la pente. Sous la partie plane, le fond est dur sans aucune pénétration.

Photo : profil du 5 mai de 7 h 00 à 7 h 10.

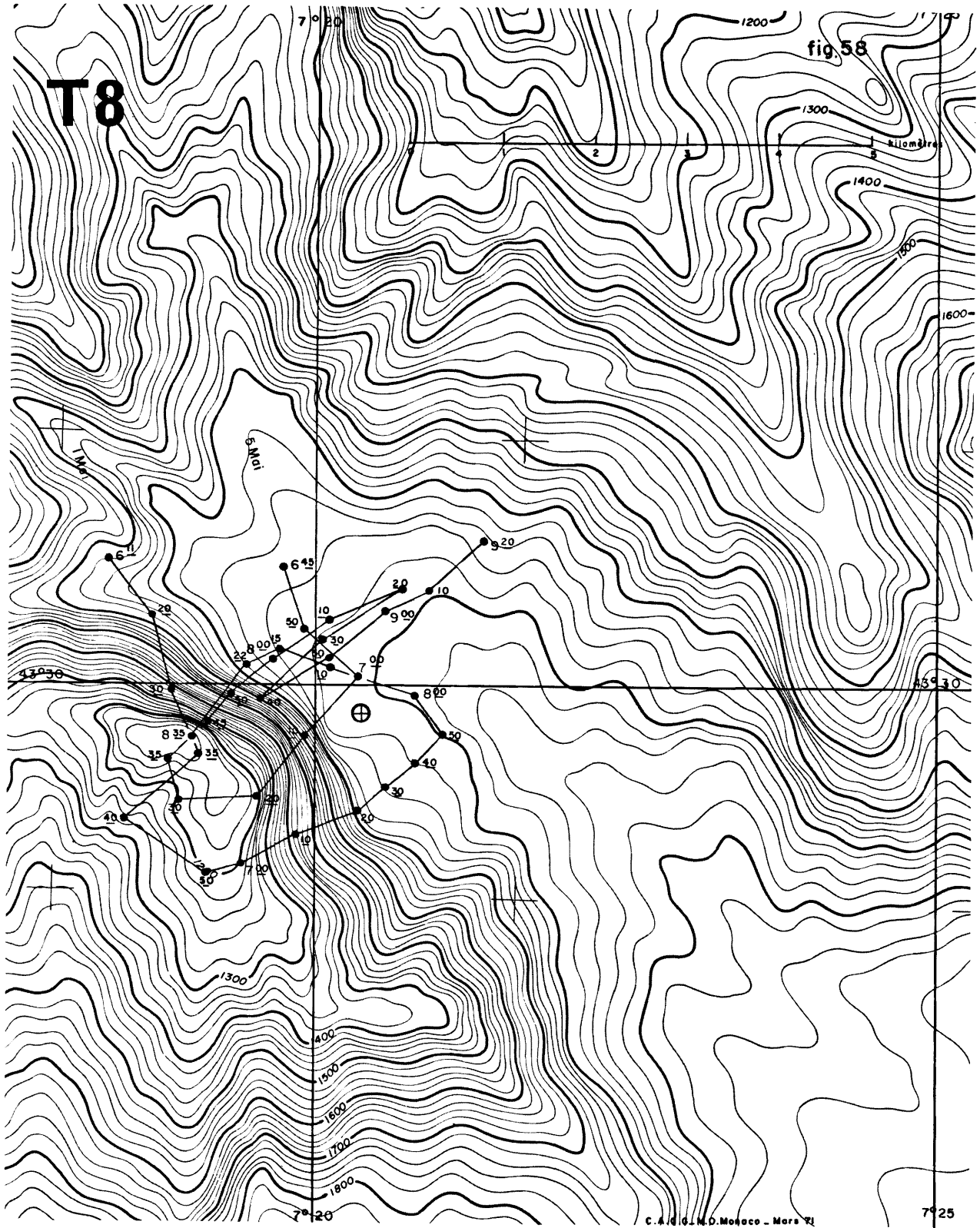


Figure 58

Extrait de la carte bathymétrique de la mer Ligure au 1/50 000 e (M.O.M.)
Traces des profils au sondeur de vase - Position du forage.

Carotte T.8

Profondeur 1888 m.

Prélèvement à 1,40 m.

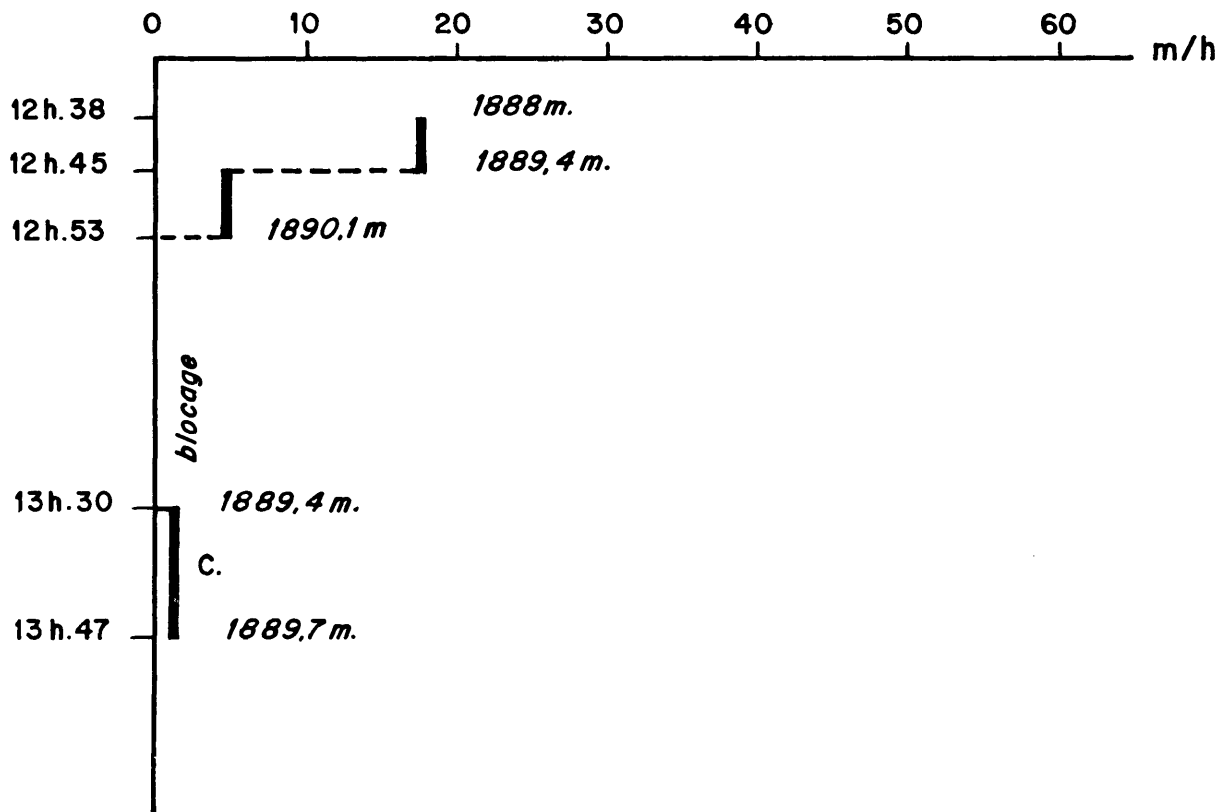


Figure 59

SITES T 9 et T 9 bis

1 - DETERMINATION DU SITE

1.1 - Sismique (figure 60)

L'objectif du forage est de *percer le toit des structures en forme de dôme* que l'on attribue à des formations salifères. Sur les enregistrements, les dômes apparaissent comme des structures acoustiquement opaques qui traversent une série sédimentaire épaisse d'environ 1,5 s. Cette série sédimentaire est constituée par une succession de 3 niveaux.

- un ensemble profond à plus de 1 s formé par une série de forts réflecteurs bien lités, qui serait le toit de la couche évaporitique.

- un ensemble intermédiaire dans lequel on ne distingue aucun litage (sur les profils air gun). Il s'agit du "transparent layer" des auteurs américains.

- un ensemble superficiel entre la surface et 300 ms montrant une stratification nette.

Dans le sud de Toulon, un groupe de dômes a été reconnu et nos forages sont localisés sur trois d'entre eux :

- dôme SH - forages T 9, T 9 bis, T 11 et T 12
- dôme CL - forage T 13
- dôme T - forage T 14.

1.2 - Sondeur de vase (figure 61)

Sur le sondeur de vase, le sommet du dôme SH apparaît à 2 270 m de profondeur. A 2 320 m se dessine un bombement annexe sur lequel on distingue une série de réflecteurs jusqu'à 10 m sous fond.

1.3 - Bathymétrie (figure 62)

Sur la bathymétrie, le dôme SH est marqué par un pointement double dont les sommets sont à 2 270 m et 2 320 m. Au sud la plaine abyssale est à 2 380 m alors qu'au nord elle se trouve à 2 350 m.

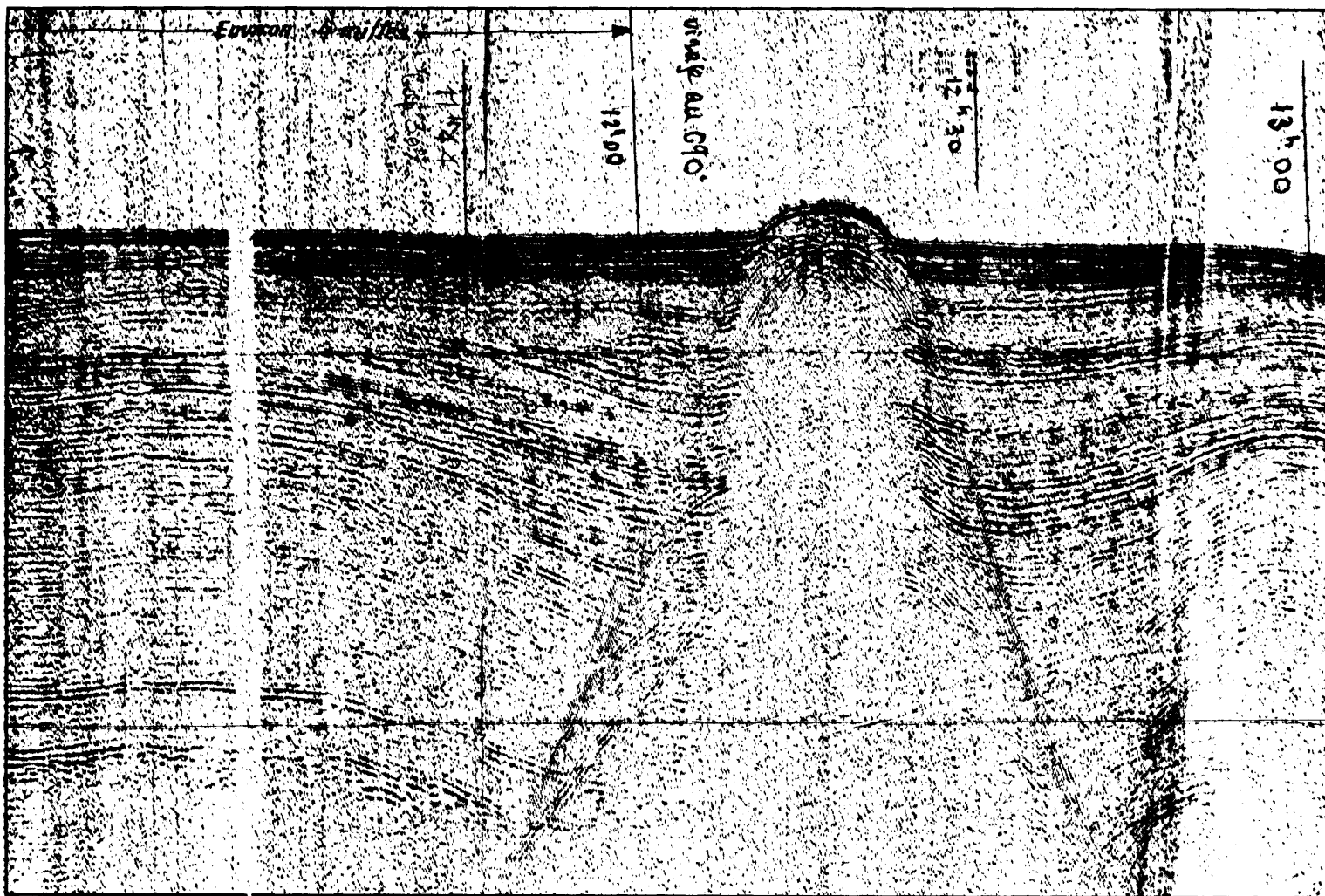


Figure 60

Enregistrement Sparker du Musée Océanographique de Monaco sur un dôme au sud de Toulon. Le réflecteur le plus profond montrant des phénomènes de diffraction serait le toit de la couche salifère.

(Profil 6 B 3 - orientation W - E).

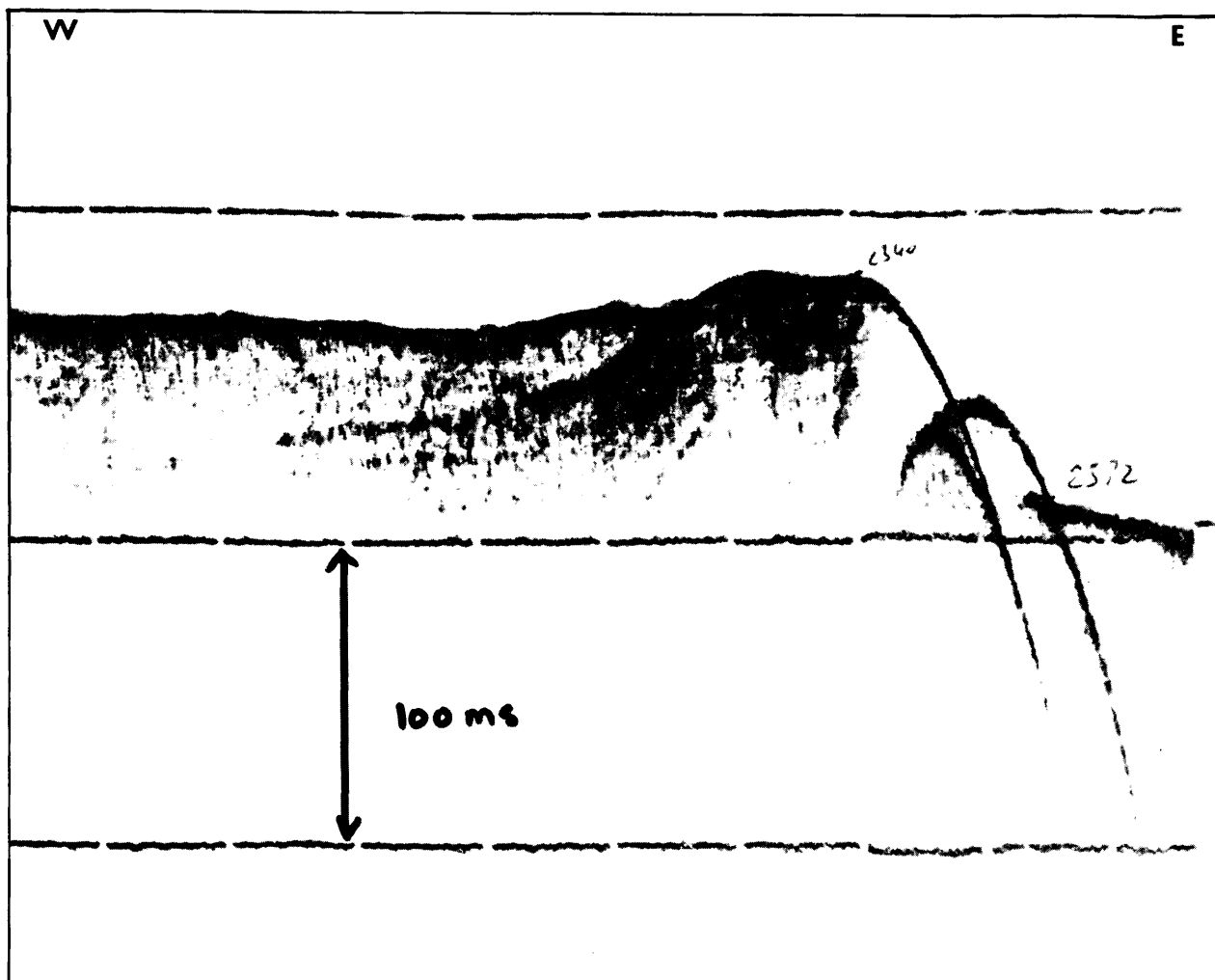


Figure 61 - Sondeur de vase

Profil W - E sur la bordure méridionale du dôme. On remarque l'abrupt de la pente orientale du dôme. Un réflecteur est visible sur la pente occidentale à environ 10 ms.

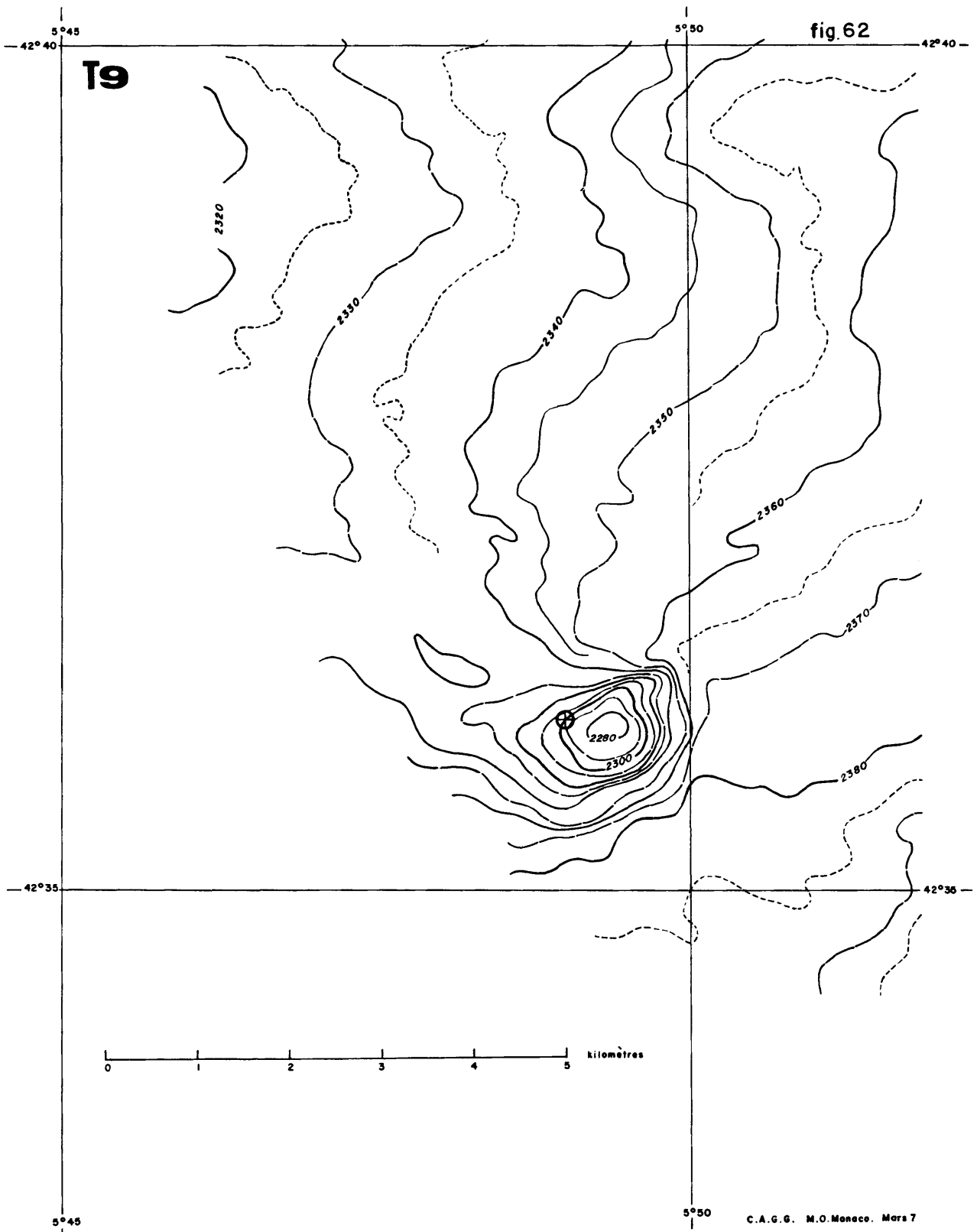


Figure 62 - Dôme SH

Extrait de la carte bathymétrique au 1/50 000e de la mer Ligure (M.O.M.)
Position du forage.

2 - OPERATIONS DE FORAGE

2.1 - Chronologie

Le forage T 9 est interrompu au cours de la descente par une fuite dans le système de freinage. Le forage T 9 bis devait être implanté au même point, mais le positionnement Rana est imprécis sur le réseau 1. La levée de doute laisse une incertitude de 4 hyperboles (5 200 m). La profondeur atteinte par l'appareil suggère que le forage est situé plus au sud que le point prévu.

2.2 - Courbe d'enfoncement (figure 63)

La pénétration est très rapide de 2 514 m à 2 535 m (60 m/h). Elle passe à 30 m/h au début du forage sous tension constante. Après 2 547 m on note une nouvelle accélération de la vitesse d'enfoncement (40 m/h).

2.3 - Carottage

Des ennuis dans la centrale électrique nous obligent à carotter à 41 m. La carotte obtenue est une vase grise à passées grumeleuses. Il faut souligner la déformation produite dans le sédiment au cours de l'extraction de la carotte de son tube.

Carotte T 9 bis

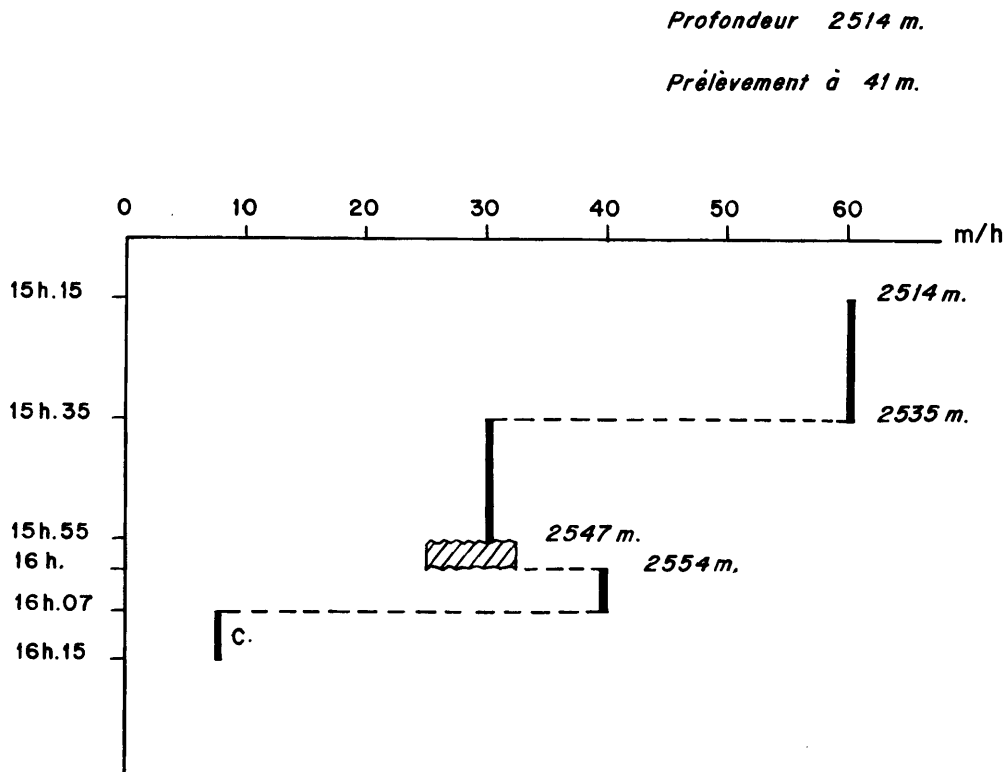


Figure 63

4 - PROPRIETES PHYSIQUES

4.1 - Teneur en eau

| Niveau | H ₂ O % |
|--------|--------------------|
| 9-11 | 23,60 |
| 25-29 | 22,70 |

4.2 - Pourcentage de la fraction grossière (supérieure à 63 μ)

| Niveau | < 63 μ % |
|--------|----------|
| 20 cm | 1,5 |
| 36 cm | 3 |

4.3 - Granulométrie de la fraction fine (inférieure à 20 μ)

(figure 64)

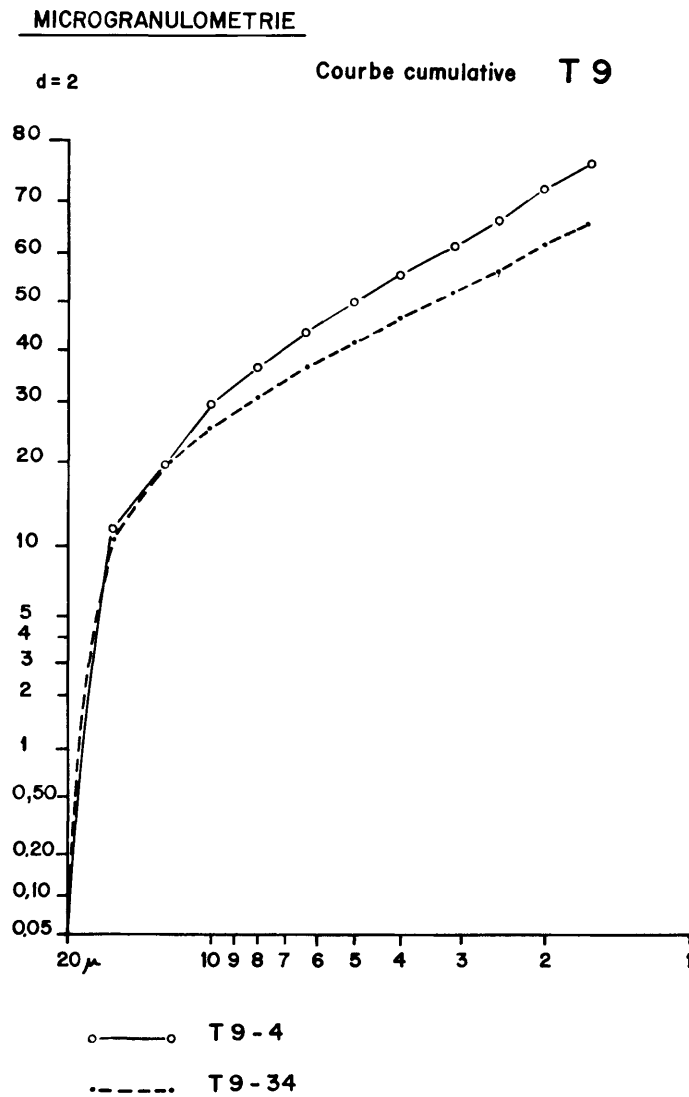


Figure 64

5 - MINERALOGIE

5.1 - Observations effectuées sur la fraction grossière du sédiment ($\emptyset > 63 \mu$)

| <u>Niveaux</u> | <u>Débris d'origine organique</u> | <u>Fraction détritique</u> |
|----------------|--|--|
| 0 cm | Fraction rare. Bryozoaires. Piquants d'oursins. Ptéropodes : <i>Cavolinia inflexa</i> abon- dants. <i>Creseis acioula</i> . <i>Creseis virgula constricta</i> abondants. <i>Limacina inflata</i> <i>Limacina retroversa</i> (formes juvéniles) <i>Clio pyramidata</i> | Fraction abondante, granulométrie assez fine Micas très abondants. Limonite et glau- conie peu abondantes. Pyrite rare. Quartz anguleux luisants très abondants, émoussés mats rares. |
| 20 cm | Fraction rare. Ostracodes Ptéropodes : <i>Cavolinia inflexa</i> <i>Clio pyramidata</i> <i>Limacina retroversa</i> | Fraction très abondante, granulométrie fine. Quartz anguleux luisants très abondants ronds mats rares. Micas et limonite abondants. Pyrite et bâtonnets pyriteux rares. Fragments de grès. |
| 36 cm | Fraction rare. Débris végétaux. <i>Limacina</i> <i>retroversa</i> . | idem Nombreux petits quartz émoussés. |

5.2 - Examen des frottis

| Niveau | Sable | Sablon | Poudre |
|--------|-------|--------|--------|
| 20 | 20 | 10 | 70 |

- . terrigène : 35 %
 - quartz : 20
 - muscovite : 10
 - pyrite : 5
- . organique : 65 %
 - nannoplancton : 65 (presque entièrement recristallisé).

C'est une vase terrigène à nannoplancton recristallisé.

5.3 - Minéralogie de la phase argileuse (S.N.P.A.)

Données analytiques

| Cotes (en cm) | *h1 | h2 | h3 | h4 | h5 | h6 | h7 | h8 | h9 | h10 | h11 | h12 |
|------------------|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 4- 6 | 37 | 6 | 175 | 133 | 62 | 34 | 10 | 68 | 149 | 23 | 10 | 41 |
| 20-22 | 35 | 9 | 175 | 146 | 66 | 36 | 15 | 80 | 164 | 36 | 10 | 49 |
| 28-30 | 30 | 6 | 149 | 120 | 54 | 33 | 6 | 61 | 117 | 24 | 8 | 34 |

* h : hauteurs en mm, mesurées sur diagrammes enregistrés à 2°/mn

Composition *estimée* de la phase argileuse

| Cotes (en cm) | Interstrat. irrégul. I - M | Illite | Chlorite | Kaolinite |
|------------------|----------------------------------|--------|----------|-----------|
| 4- 6 | 2 | 56 | 39 | 3 |
| 20-22 | 3 | 53 | 40 | 4 |
| 28-30 | 2 | 54 | 41 | 3 |

Paramètres cristallochimiques de l'illite

| Cotes (en cm) | * 1 001 | $\frac{002}{001}$ | $\frac{005}{001}$ | $\frac{005}{002}$ |
|------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 4- 6 | 2,3 | 0,35 | 0,23 | 0,66 |
| 20-22 | 2,3 | 0,38 | 0,28 | 0,74 |
| 28-30 | 2,2 | 0,36 | 0,23 | 0,63 |

* 1 : largeur en mm, à mi-hauteur, mesurée sur diagrammes enregistrés à 8°/mn.

5.4 - Relations argiles-climats (niveaux 0 - 20 - 36 cm) (H. CHAMLEY)

La prépondérance de l'influence rhodanienne se reconnaît à la rareté du complexe gonflant (0,5 environ de l'argile), la présence nette de feldspath. *Le climat est frais sur toute la hauteur du sondage* : en effet, l'illite est passablement fermée ($2,5/10^\circ \theta$), la kaolinite absente (réflexion (003) de la chlorite symétrique et culminant à $3,54 \text{ \AA}$), la chlorite très bien cristallisée et relativement abondante (pic à $4,27 \text{ \AA}$ étroit, parfaitement individualisé et égal à la moitié du pic à 5 \AA de l'illite).

Ces caractères vont de pair avec la couleur grise des sédiments et des suspensions fines décalcifiées. Ils sont proches de ceux de divers sédiments würmiens anciens analysés dans le même secteur (ex : Würm II). L'abondance de la fraction sableuse suggère un rythme de dépôt rapide, et il est probable que l'on saisisse ici un épisode glaciaire modéré.

6 - MICROPALÉONTOLOGIE

6.1 - Foraminifères

La fraction détritique est abondante, fine surtout au niveau 20 cm. Elle est constituée de quartz et de micas. La pyrite est extrêmement rare. Les débris d'origine organique sont peu abondants. Les Ptéropodes sont fréquents à 0 cm.

Abondance relative des Foraminifères (figure 66)

- Foraminifères benthiques

Les Foraminifères benthiques sont assez peu abondants dans la carotte T 9. Chacune des espèces rencontrées n'est représentée que par 1 ou 2 individus à l'exception de 4 d'entre elles : *Articulina tubulosa*, *Bulimina mexicana*, *Cibicides pseudoungerianus*, *Cibicidoides mundulus*. Les deux premières sont abondantes à 20 et 36 cm alors qu'elles étaient rares au sommet de la carotte, les deux suivantes ont une fréquence analogue dans les trois échantillons étudiés.

L'examen du tableau où sont consignés tous les foraminifères récoltés montre que la partie supérieure de la carotte contient une microfaune assez différente de celle des échantillons prélevés à 20 et à 36 cm. Il semble que les espèces y soient en place (sauf *Spiroloculina rostrata*) alors que les niveaux inférieurs contiennent des *Cibicides lobatulus*, *Neocorbina terquemi*, *Spirillina vivipara*, *Patellina corrugata*, *Elphidium* sp., Foraminifères du milieu infra-littoral qui ont certainement été déplacés. Ce transport se manifeste d'ailleurs également par la fraction abondante de matériel détritique (en particulier de mica) que contient le sédiment.

- Foraminifères planctoniques

L'étude de la composition microfaunistique met en évidence la différence existant entre l'échantillon prélevé à 0 cm et les autres. Dans le premier, *Orbulina universa*, *Globigerina bulloides*, *Globorotalia inflata* sont les espèces dominantes. Alors que dans les seconds, *Globigerina quinqueloba*, *Globigerinita glutinata* et *Globorotalia scitula* sont les plus fréquentes. Il faut remarquer que ces dernières sont le plus souvent des espèces de petite taille.

Fréquence des Foraminifères planctoniques (niveaux 0 - 20 - 36 cm; figure 65)

Les diagrammes polaires font également ressortir les variations de composition de la microfaune.

Le niveau 0 cm présente une association de foraminifères où dominent les espèces d'eau chaude mais dans laquelle les formes d'eau froide sont fréquentes.

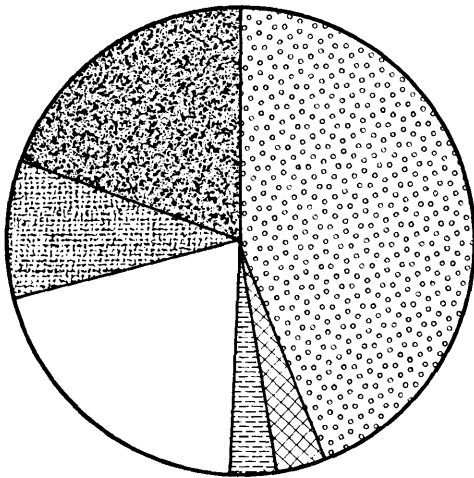
Les niveaux 20 cm et 36 cm sont caractérisés par l'abondance de *Globorotalia scitula*.

Cette carotte a été prélevée dans le secteur des dômes. L'abondance de

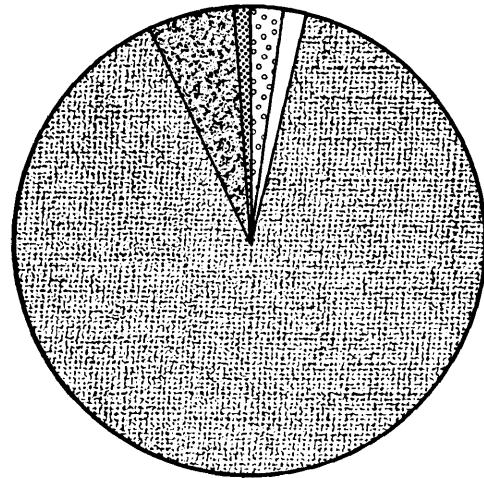
fraction détritique doit être recherchée vraisemblablement dans l'influence des apports provenant du Rhône.

Il apparaît que les sédiments ont été l'objet de remaniements qui sont surtout visibles dans les échantillons provenant de la base de la carotte (niveaux 20 et 36 cm). On ne peut envisager dans ce cas de proposer une interprétation paléoclimatique. Quoiqu'il en soit, les dépôts sont d'âge quaternaire ; toutes les espèces de Foraminifères rencontrées sont décrites dans les sédiments récents de Méditerranée.

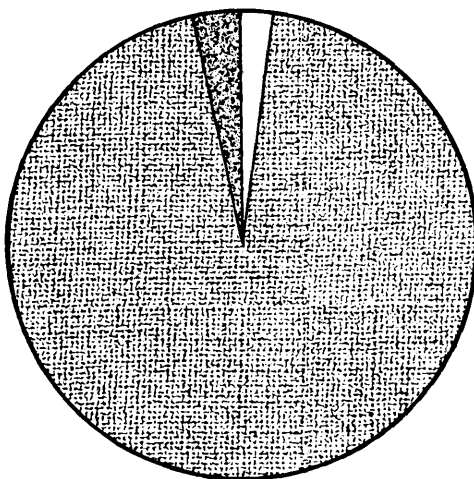
CAROTTE T9



niveau 0



n. 20



n. 36

Diagrammes polaires -
Fréquence des espèces planctoniques de
Foraminifères.

- Globigerinoides trilobus f. sacculifera*
- Globigerinoides trilobus f. typica*
- Hastigerina aequilateralis*
- Globorotalia truncatulinoides*
- Orbulina universa*
- Globigerinoides ruber*
- Globigerinoides elongatus*
- Globorotalia inflata*
- Globorotalia scitula*
- Globigerina pachyderma (forme dextre)*
- Globigerina pachyderma (forme senestre)*

Figure 65

T 9

Liste et abondance des Foraminifères contenus dans chaque échantillon de sédiment

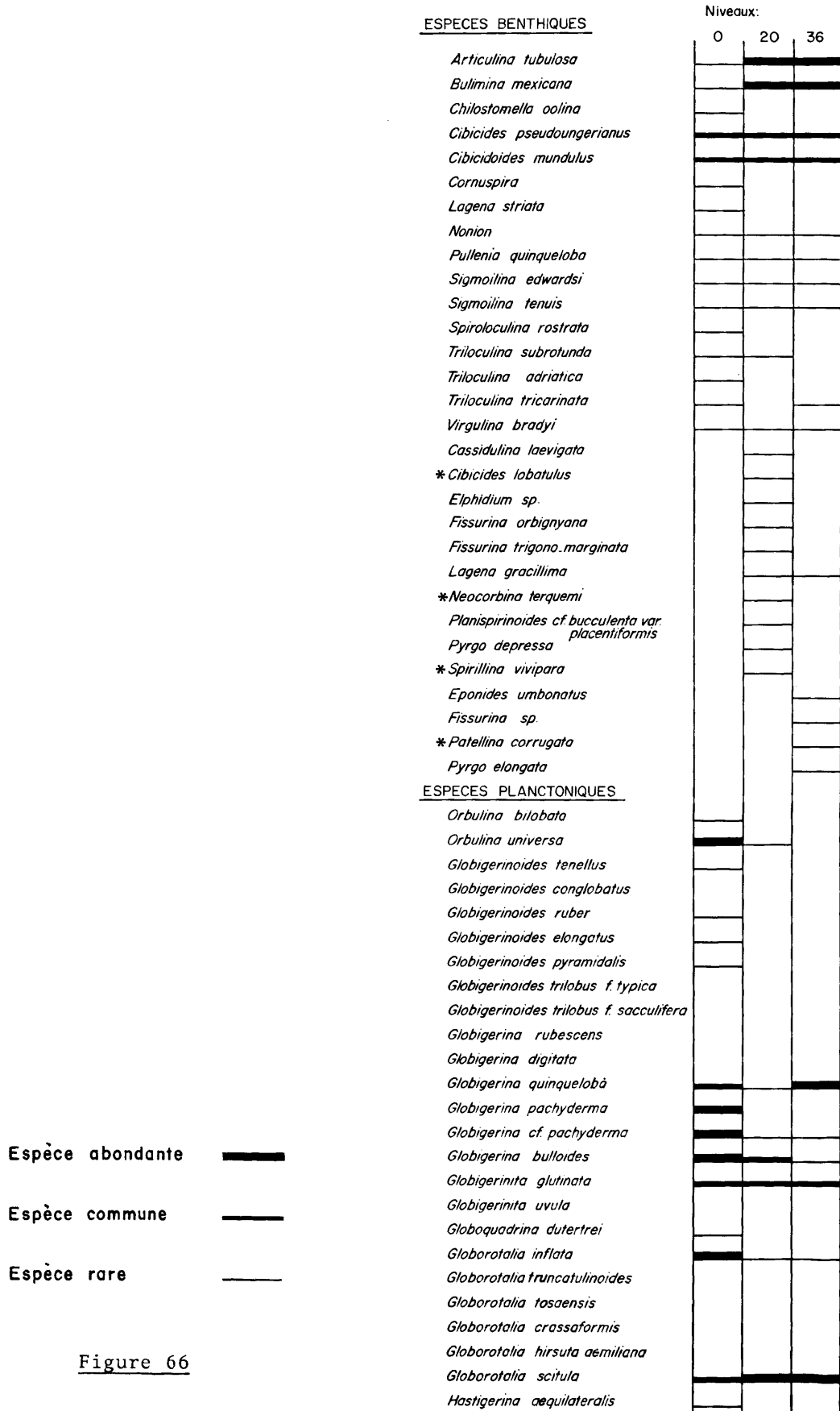


Figure 66

Distribution des Foraminifères planctoniques

| | 0 | | 20 | | 36 | |
|---|------|------|-----|----|-----|-----|
| | Nb | F% | Nb | F% | Nb | F % |
| <i>Hastigerina aequilateralis</i> | 4 | 0,1 | | | | |
| <i>Globigerinoides ruber</i> | 68 | 2,7 | | | | |
| <i>Globigerinoides elongatus</i> | 60 | 2,3 | | | | |
| <i>Orbulina universa</i> | 1096 | 43,6 | 2 | | | |
| <i>Globorotalia inflata</i> | 512 | 20,3 | 1 | | 2 | |
| <i>Globorotalia scitula</i> | 212 | 8,4 | 89 | | 95 | |
| <i>Globigerina pachyderma</i> (f. senestre) | | | 1 | | | |
| <i>Globigerina pachyderma</i> (f. dextre) | 560 | 22,2 | 7 | | 3 | |
| Total | 2512 | | 100 | | 100 | |
| Nombre d'individus comptés | 829 | | | | | |

Remarque : Aux niveaux 20 et 36, il faut noter la très grande abondance de *Globorotalia scitula*, les comptages effectués ont une valeur seulement indicative.

6.2 - Pollens

Les trois spectres polliniques apparaissent homogènes et n'offrent d'un niveau à l'autre que d'infimes variations ; ceci amène à penser qu'un tel dépôt n'a pu se former qu'au cours d'une période de relative stabilité climatique.

Les pins, représentés par deux espèces de signification écologique différente (*Pinus silvestris*, *P. pinea*), restent dans chaque horizon étudié très largement dominants et avoisinent 70 % du total des genres déterminés.

Sapin, Epicéa, Bouleau, Aulne et *Tsuga*, caractéristiques d'un climat tempéré frais, n'apparaissent qu'en faibles quantités.

Les essences thermophiles européennes et exotiques demeurent fort rares et ne sont souvent rencontrées qu'à un seul exemplaire.

Les herbacées (Graminées, Chenopodiacées, Ericacées, Polygonacées, *Hélianthemum*), parmi lesquelles les Armoises jouent un rôle inhabituel, donnent à la forêt un caractère "ouvert".

Tous ces éléments, joints à la présence d'*Ephedra* dans deux niveaux et à la recrudescence du pin sylvestre, témoignent d'un climat relativement sec et peut être froid, en dehors d'un liseret littoral où se développent les essences plus typiquement méditerranéennes.

Les résultats, analogues à ceux obtenus par PAGANELLI (1961), différents de ceux apportés par LONA et FOLLIERI (1957), permettent de dater ces dépôts et de les attribuer à une phase glaciaire très précoce du Riss ou moins vraisemblablement, au Mindel II.

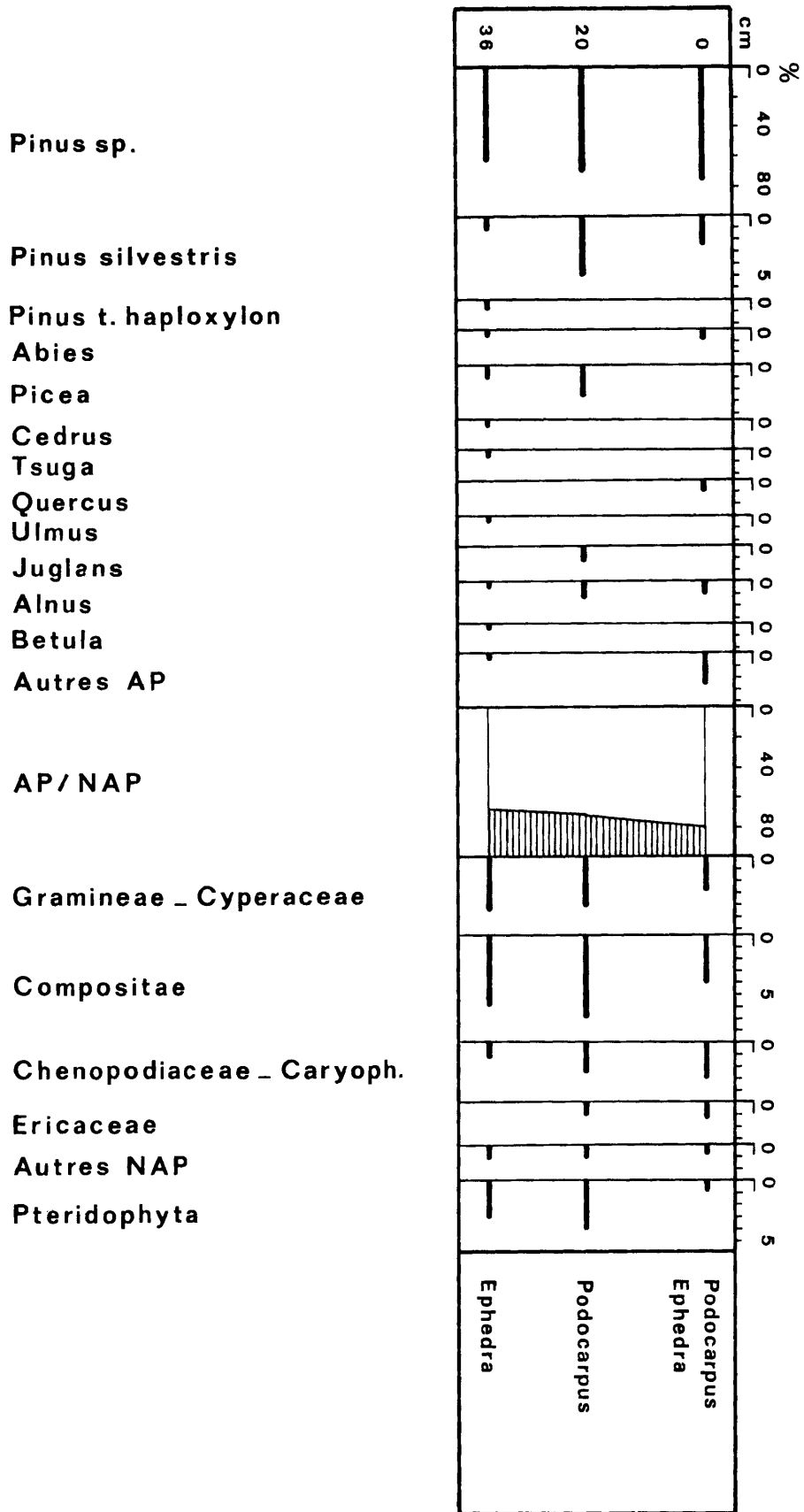
En effet, dans les niveaux 20 et 0 cm, les fréquences extrêmement faibles de l'*Epicea* et du Sapin, l'absence quasi totale d'essences spécifiquement tertiaires comme la nette prédominance du pin sur les autres espèces arborescentes, constituent autant d'arguments en faveur de cette hypothèse.

Toutefois, à 36 cm, la présence de *Tsuga*, *Cedrus*, *Pinus type haploxyton*, plantes mésophiles, indiquerait que la base de la séquence s'est déposée avant les froids rissiens dans une ultime phase de l'interglaciaire Mindel-Riss.

Une réserve, cependant, doit être faite : il n'est pas exclu que durant le Mindel, il y ait eu des épisodes plus secs entraînant la disparition de l'*Epicéa* et de *Tsuga*.

Fréquences relatives des essences et herbacées

| Niveaux en cm | 0 | 20 | 36 |
|------------------------------------|-----|-----|-----|
| <i>Pinus sp.</i> | 76 | 70 | 65 |
| <i>Pinus silvestris</i> | 18 | 38 | 7 |
| <i>Pinus t. haploxyton</i> | - | - | 0,6 |
| <i>Abies</i> | 0,7 | - | 0,5 |
| <i>Picea</i> | - | 2,5 | 1 |
| <i>Cedrus</i> | - | - | 0,5 |
| <i>Tsuga</i> | - | - | 0,5 |
| <i>Carya</i> | - | 1,2 | - |
| <i>Quercus</i> | 0,7 | - | - |
| <i>Ulmus</i> | - | - | 0,5 |
| <i>Juglans</i> | - | 1,3 | - |
| <i>Alnus</i> | 0,7 | 1,3 | 0,5 |
| <i>Betula</i> | - | - | 0,5 |
| Autres AP | 2,7 | - | 0,5 |
| Gramineae - Cyperaceae | 2,7 | 4 | 4,3 |
| Compositae | 4 | 7,7 | 13 |
| <i>Artemisia</i> | 3 | 6 | 9 |
| Chenopodiaceae- Caryophyllaceae | 3,3 | 2,5 | 1 |
| Ericaceae | 1,3 | 1,3 | - |
| Autres NAP | 0,7 | 1,3 | 1,5 |
| Ptéridophyta | 0,7 | 4 | 3 |
| Varia + indéterm. | 7,2 | 17 | 13 |
| AP | 81 | 76 | 70 |
| NAP | 19 | 24 | 30 |
| Σ AP + NAP | 150 | 78 | 185 |



TEREBEL 9 - Diagramme pollinique




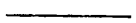


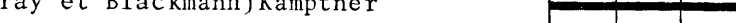


6.3 - Nannoplancton

La carotte T 9, très courte (38 cm), n'a fourni que trois échantillons pour l'étude de la nannoflore calcaire.

Les espèces remaniées sont assez peu nombreuses, elles proviennent du Tertiaire (*Discoaster* sp.) et du Crétacé (*Watznaueria barnesae* et quelques formes non identifiables).

La fraction détritique fine est abondante.

Les nannofossiles calcaires sont peu abondants et comprennent principalement: *Gephyrocapsa oceanica*, *Coccolithus pelagicus*, *Cyclococcolithus leptoporus* et *Helicosphaera carteri*. On note également la présence de *Rhabdosphaera stylifer* (rare) aux niveaux 0 et 36. Là encore, on a un cas difficilement interprétable au point de vue climatologie. On peut penser à un milieu tempéré froid avec présence de rares individus représentatifs de milieu chaud. L'ensemble de cette nannoflore est caractéristique du Quaternaire moyen.

| <u>Carotte T 9</u> | Espèce abondante  | Espèce rare  | | | |
|---|--|---|---|----|----|
| | | | 0 | 20 | 36 |
| | Espèce commune  | Trouvailles isolées  | | | |
| <i>Gephyrocapsa oceanica</i> Kamptner |  | | | | |
| <i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller |  | | | | |
| <i>Cyclococcolithus leptoporus</i> (Murray et Blackmann) Kamptner |  | | | | |
| <i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich) Kamptner |  | | | | |
| <i>Rhabdosphaera stylifer</i> Lohmann | |  | | | |
| <i>Helicosphaera</i> cf. <i>H. wallichi</i> (Lohmann) n. comb. | | | | | |
| <i>Pontosphaera discopora</i> Schiller | | | | | |
| <i>Discolithus japonicus</i> (Takayama) Clocchiatti | | | | | |
| <i>Rhabdosphaera claviger</i> Murray et Blackmann | | | | | |
| *Formes crétacées indéterminables | | | | | |
| * <i>Watznaueria barnesae</i> (Black) Perch-Nielsen | | | | | |
| * <i>Discoaster</i> sp. | | | | | |

7 - GEOCHIMIE

7.1 - Teneurs en éléments majeurs (S.N.P.A.)

- teneurs en éléments majeurs (dosage en fluorescence X) exprimées en % du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O | CaO | Fe ₂ O ₃ | MgO | TiO ₂ | P.F.* |
|--------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|------|--------------------------------|------|------------------|-------|
| 4- 6 | 45,4 | 10,7 | 1,5 | 17,7 | 4,2 | 3,3 | 0,4 | 18,2 |
| 20-22 | 44,4 | 10,7 | 1,6 | 18,2 | 5,7 | 3,0 | 0,4 | 18,5 |
| 28-30 | 44,9 | 10,8 | 1,5 | 17,3 | 5,1 | 2,9 | 0,4 | 18,3 |
| erreur à 95 % de probab. | ±0,8 | ±0 4 | ±0,1 | ±0,3 | ±0,1 | ±0,3 | ±0,05 | ±0,2 |

* P.F. : perte au feu (de 105°C à 900°C)

7.2 - Teneurs en éléments traces

7.2.1 + analyses S.N.P.A.

- teneurs en éléments traces (quantomètre) exprimées en ppm du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|
| 4- 6 | 66 | 93 | 2 | 22 | 76 | 18 | 93 | 37 | 21 | 560 | 349 | 12 | 420 |
| 20-22 | 74 | 79 | 2 | 19 | 72 | 24 | 97 | 33 | 15 | 440 | 331 | 9 | 630 |
| 28-30 | 75 | 96 | 3 | 16 | 74 | 20 | 101 | 35 | 18 | 533 | 352 | 12 | 570 |
| reproductibilité | ±7,0 | ±7,6 | ±1,8 | ±3,0 | ±5,0 | ±2,8 | ±6,0 | ±5,6 | ±5,0 | ±30 | ±20 | ±2,4 | ±35 |

- teneurs en éléments traces (quantomètre) exprimées en ppm de la fraction fine calcinée à 900°C et teneurs en TiO₂ en %. (analyses sur la fraction fine (< 5 μ) et décarbonatée du sédiment total).

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn | TiO ₂ |
|------------------|-----|-----|------|------|------|------|-----|----|----|-----|-----|----|-----|------------------|
| 4- 6 | 210 | 249 | 2 | 9 | 121 | 36 | 227 | 82 | 21 | 155 | 589 | 36 | 200 | 1,28 |
| 20-22 | 208 | 233 | 1 | 19 | 119 | 48 | 217 | 84 | 15 | 136 | 543 | 34 | 220 | 1,30 |
| 28-30 | 202 | 238 | 1 | 12 | 128 | 64 | 226 | 84 | 21 | 137 | 539 | 35 | 240 | 1,22 |
| reproductibilité | ±11 | ±12 | ±0,8 | ±2,5 | ±6,5 | ±4,0 | ±10 | ±8 | ±4 | ±9 | ±25 | ±3 | ±20 | ±0,08 |

7.2.2 + analyses B.R.G.M.

Résultats exprimés en g/t par rapport au sédiment total séché à 105-110°C

| ELEMENTS *limites de dosabi- lité g/t | N° | 9 - 11 | 25 - 29 |
|--|----|--------|---------|
| Be | 3 | 3 | 4 |
| B | 20 | 85 | 91 |
| Sc | 2 | 9 | 10 |
| V | 10 | 74 | 81 |
| Cr | 5 | 86 | 84 |
| Mn | 10 | 654 | 848 |
| Co | 5 | 14 | 14 |
| Ni | 5 | 48 | 48 |
| Cu | 3 | 63 | 37 |
| Zn | 20 | 61 | 76 |
| Ga | 2 | 16 | 18 |
| Ge | 6 | < 6 | < 6 |
| Sr | 5 | 305 | 323 |
| Y | 10 | 18 | 27 |
| Mo | 7 | < 7 | < 7 |
| Ag | 1 | < 1 | < 1 |
| Cd | 6 | < 6 | < 6 |
| Sn | 2 | 4 | 4 |
| Ba | 5 | 275 | 281 |
| Yb | 2 | 3 | 3 |
| Pb | 6 | 123 | 47 |
| Bi | 3 | < 3 | < 3 |

8 - MATIERE ORGANIQUE

8.1 + Analyses S.N.P.A.

- teneurs en carbone organique et soufre (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | C.O. * | S** total | S** élémen- taire | S** des mono- sulfures | S** organique | S** des bi- sulfures | S** des sulfates |
|------------------|--------|--------------|-------------------------|------------------------------|------------------|----------------------------|------------------------|
| 4- 6 | 0,26 | 3400 | 0,3 | 4 | 480 | 620 | 1500 |
| 20-22 | 0,33 | 3300 | 0,3 | 4 | 380 | 720 | 1500 |
| 28-30 | 0,31 | 2400 | 1,0 | 4 | 360 | 740 | 1500 |

* : en % du sédiment étuvé à 105°C (erreur à 95 % de probabilité : ± 6 % relatifs)

** : en ppm du sédiment étuvé à 105°C, erreurs non évaluées.

- teneurs en carbone organique et en soufre exprimées en % de la fraction fine étuvée à 105°C. (analyses sur la fraction fine (< 5 µ) et décarbonatée du sédiment total)

| Cotes (en cm) | C.O. %* | S % |
|------------------|---------|------|
| 4- 6 | 2,08 | 0,27 |
| 20-22 | 1,02 | 0,16 |
| 28-30 | 1,27 | 0,21 |

* : erreur à 95 % de probabilité : 6 % relatifs.

8.2 + analyses B.R.G.M.

Résultats exprimés par rapport au sédiment total séché à 105-110°C

| Cotes (en cm) | S % | C total % | CO ₃ % | C minéral % |
|------------------|--------|-----------------|----------------------|-------------------|
| 9-11 | 0,14 | 3,90 | 19,15 | 3,71 |
| 25-29 | 0,03 | 4,00 | 19,60 | 3,79 |

+ présence de bactéries sulfato-réductrices dans le niveau 30 cm.

SITE T 10

1 - DETERMINATION DU SITE

1.1 - Sismique de la zone (figure 67)

L'objectif du forage est d'*atteindre le prolongement du socle cristallin des Maures* au sud du Banc du Magaud (Bellaïche, 1969). La sismique montre à ce niveau l'envoyage du socle continental qui forme la pente, sous la plaine abyssale ligure. La série sédimentaire de la plaine abyssale vient butter sur le substratum et présente la séquence reconnue sur toute la bordure provençale - ensemble superficiel stratifié, zone transparente et ensemble inférieur fortement réflecteur.

1.2 - Sondeur de vase

Sur le sondeur de vase, on suit l'envoyage du réflecteur dur sous environ 25 m de sédiments meubles.

1.3 - Bathymétrie (figure 68)

Le contact pente continentale - plaine abyssale se situe à une profondeur voisine de 2 600 m. Sur la bathymétrie, on remarque la forte déclivité de la pente sur la bordure sud du Massif des Maures.

2 - OPERATIONS DE FORAGE

2.1 - Chronologie

Le bateau accompagnateur place le Térébel au point où se fait le contact pente-plaine abyssale.

2.2 - Enfoncement (figure 69)

Tout au long du forage, la vitesse de pénétration reste constante et très rapide (60 m/h).

2.3 - Carottage

Le carottier est déclenché sous 43 m de sédiments, et pour maintenir les sédiments apparemment peu compacts dans le tube, on provoque un tassement de la carotte. Ceci explique qu'après son extraction du tube de 1 m, elle a repris une dimension de 130 cm. Les sédiments prélevés sont formés par un sable vaseux très fluide.

N

S

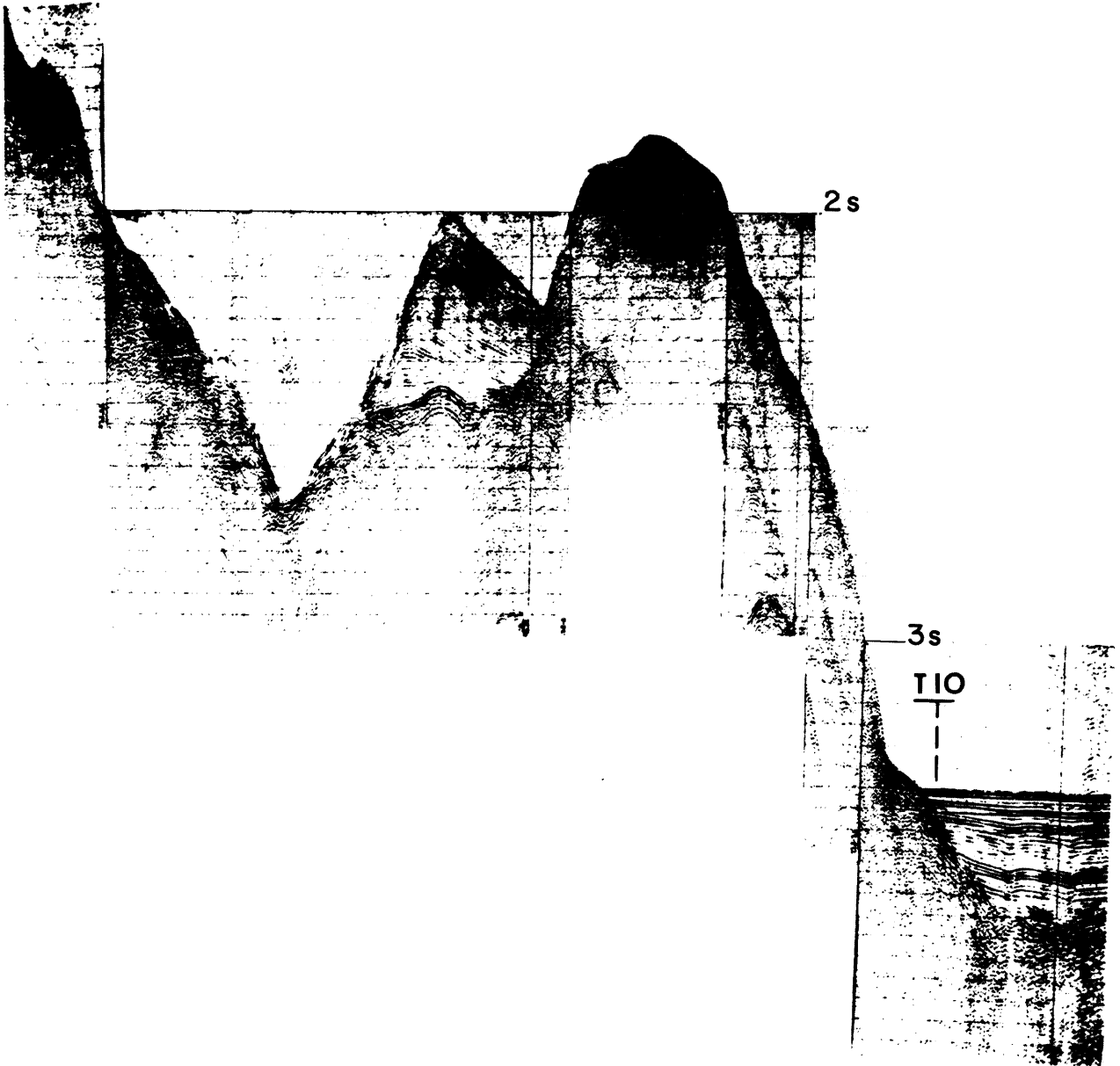


Figure 67

Profil air-gun réalisé avec le B.O. CATHERINE-LAURENCE par G. BELLAICHE
Profil NS sur le prolongement oriental des îles du Levant.

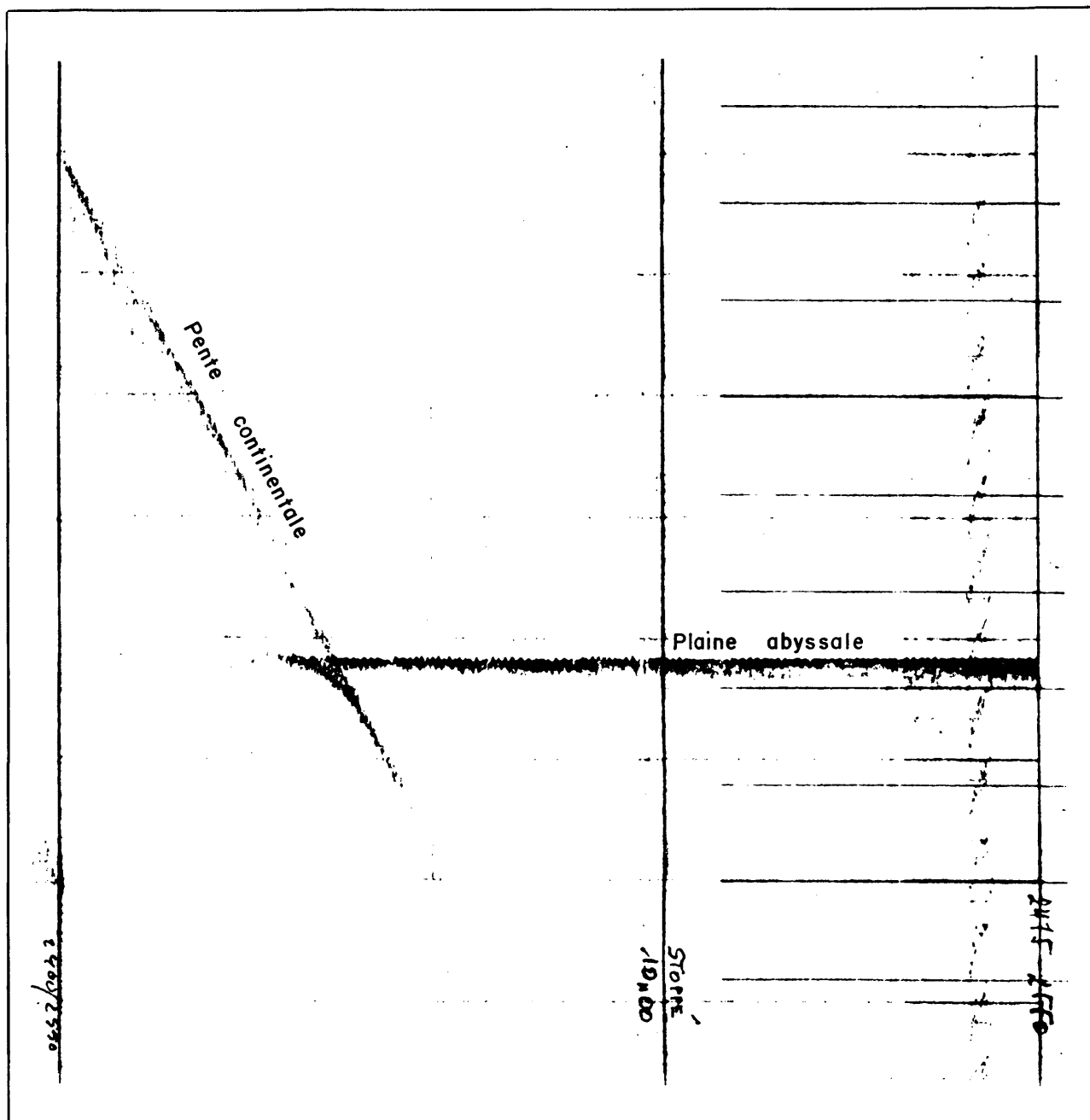


Figure 68

Coupe bathymétrique au bas de la pente continentale avec la position du forage T 10.

Carotte T 10

Profondeur 2663 m.

Prélèvement à 43 m.

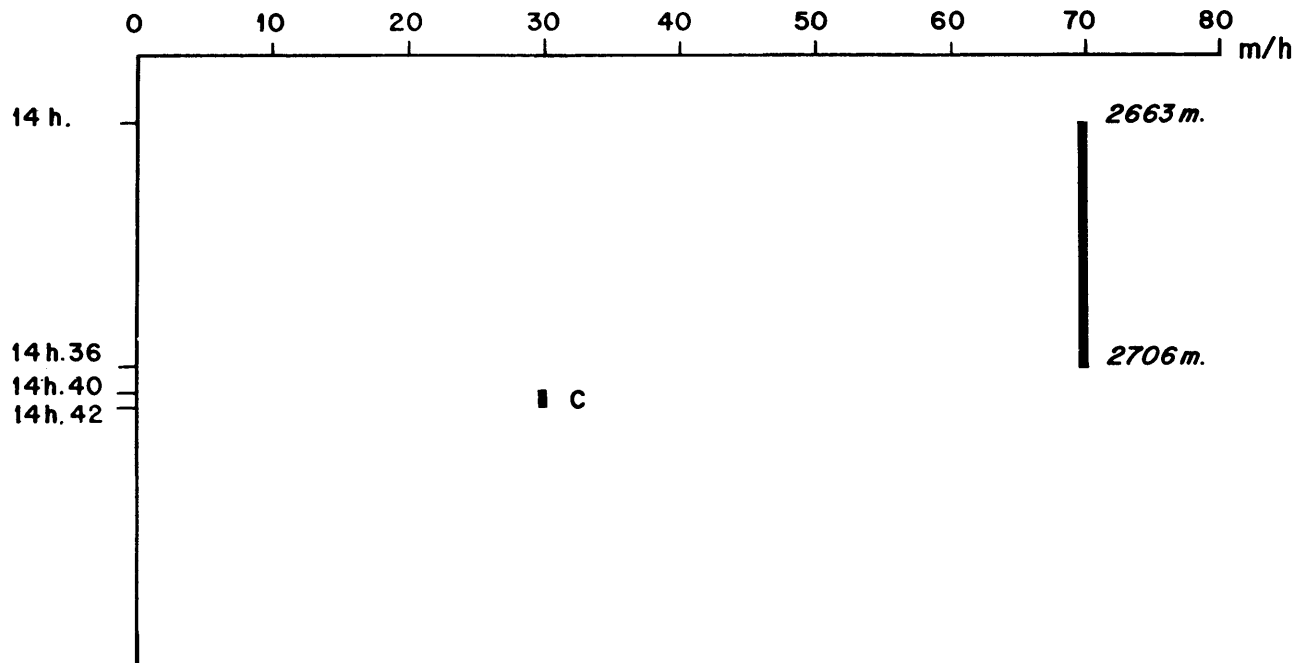
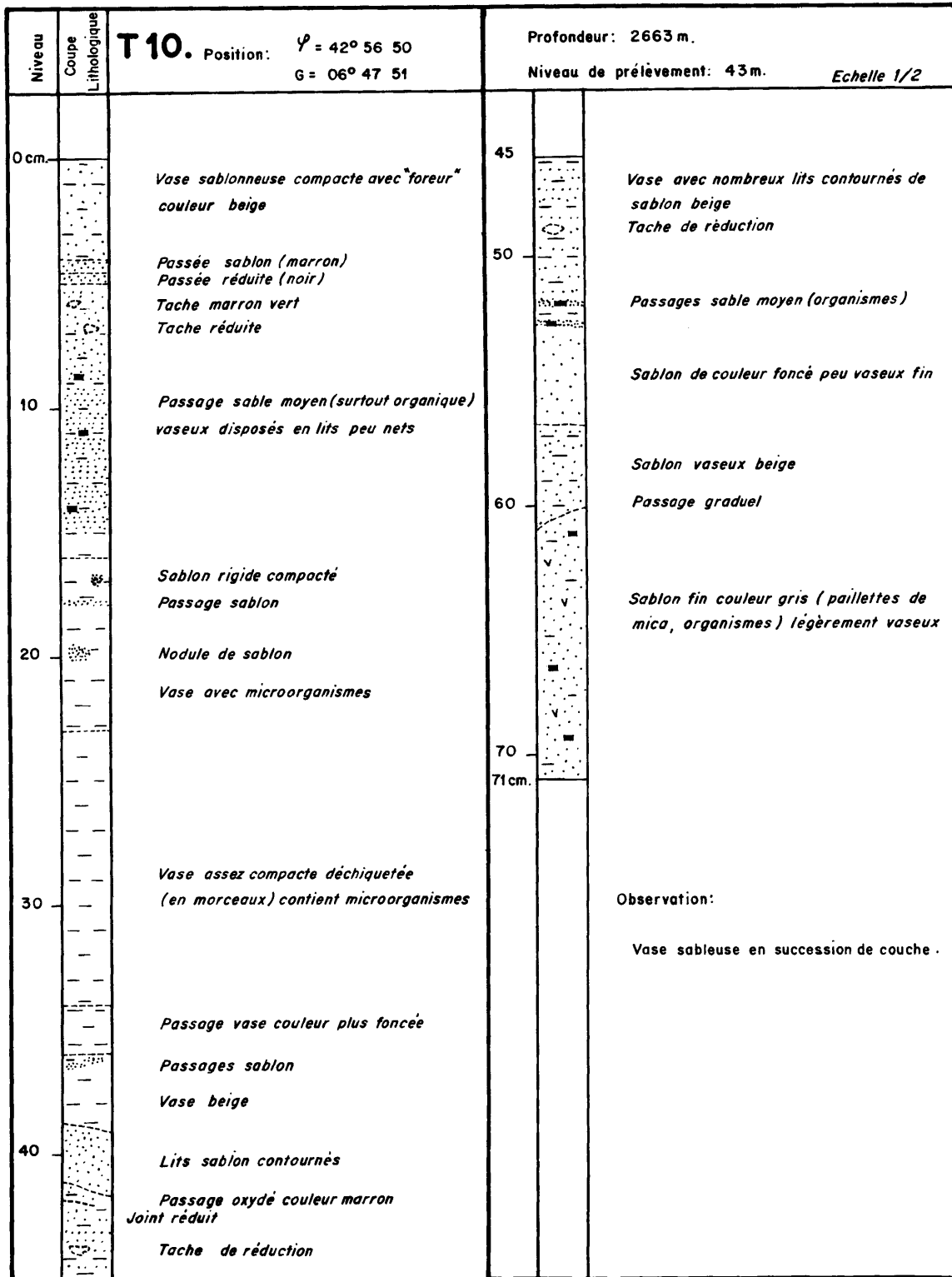
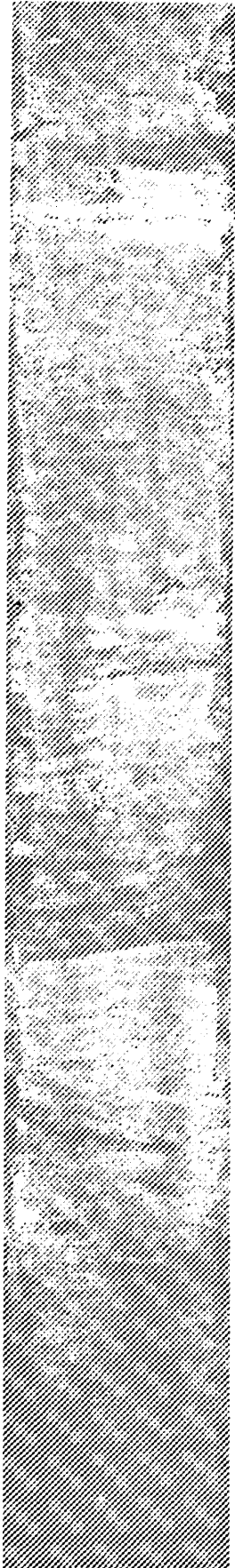


Figure 69

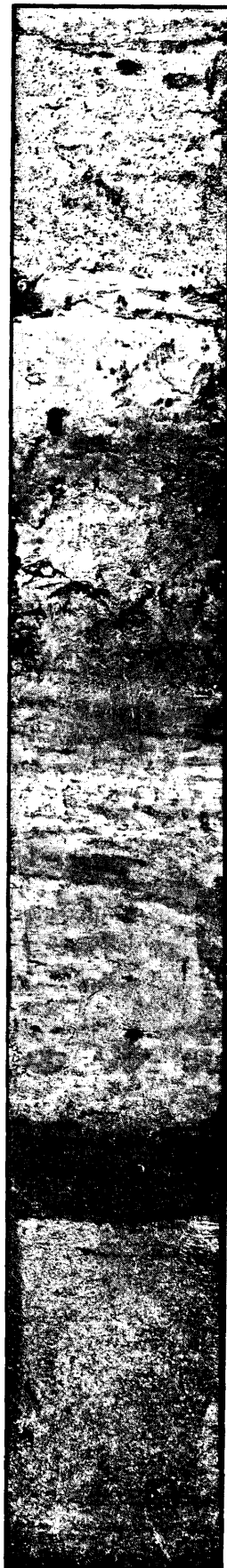
3 - LOG GRAPHIQUE



T4



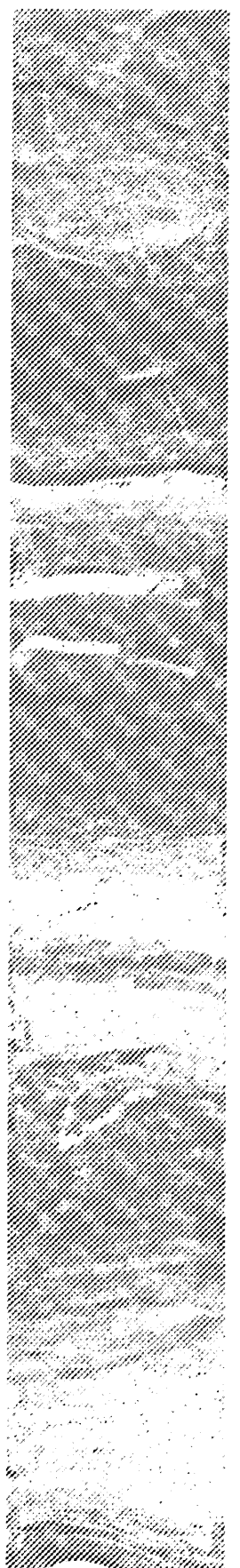
T10



T12



T13



4 - PROPRIETES PHYSIQUES

4.1 - Teneur en eau

| Niveau | H ₂ O % |
|--------|--------------------|
| 5- 8 | 28,30 |
| 21-24 | 31,30 |
| 37-39 | 25,30 |
| 55-58 | 23,90 |
| 64-67 | 20,40 |

4.2 - Pourcentage de la fraction grossière (supérieure à 63 μ)

| Niveau | > 63 μ % |
|--------|----------|
| 0 | 24 |
| 11 | 58,5 |
| 16 | 12,5 |
| 40 | 21 |
| 60 | 45 |
| 70 | 50 |

4.3 - Granulométrie de la fraction fine (inférieure à 20 μ)
(Figure 70)

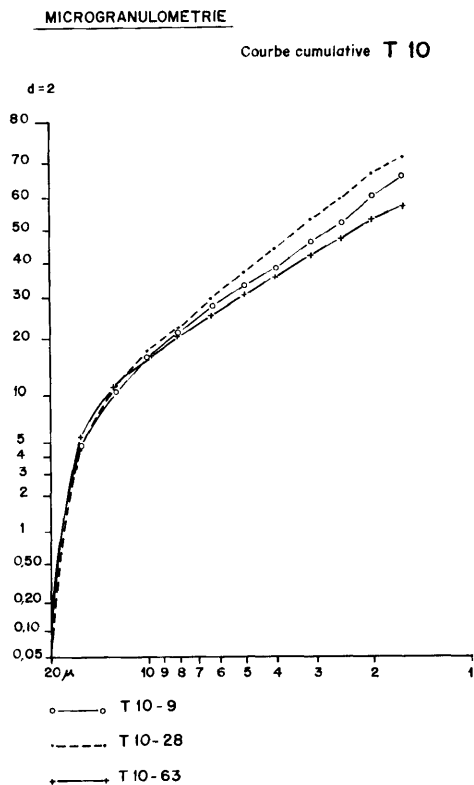


Figure 70

5 - MINERALOGIE

5.1 - Observations effectuées sur la fraction grossière du sédiment ($\emptyset > 63 \mu$)

| <u>Niveaux</u> | <u>Débris d'origine organique</u> | <u>Fraction détritique</u> |
|----------------|---|---|
| 0 cm | Fraction abondante. Bryozoaires abondants, débris de mollusques. Ostracodes. Gastéropodes. Piquants d'oursins. Débris végétaux. Abondance de foram. benthiques d'herbiers. Ptéropodes : <i>Clio pyramidata</i> <i>Limacina retroversa.</i> | Fraction abondante. Quartz abondants : N U très abondants E L abondants R M rares Glauconie et micas rares. |
| 11 cm | Fraction très abondante. Débris émoussés. | Quartz très abondants : N U abondants E L abondants R M rares Petits graviers émoussés. Fragments de micaschiste. Quartz bipyramidés. Pyrite très rare. Micas rares. |
| 16 cm | Débris très abondants, usés. Dents de poissons. Serpulidés. | Idem |
| 40 cm | Débris rares | Micas très abondants. Quartz rares. N U de petite taille, rares E L très rares. Sédiment fin. |
| 60 cm | Bryozoaires, ostracodes, débris d'oursins. | Quartz abondants : N U abondants E L abondants R M rares Micas abondants. Limonite rare. |
| 70 cm | Idem | Idem |

5.2 - Examen des frottis

| Niveau | Sable | Sablon | Poudre |
|--------|-------|--------|--------|
| 10 | 60 | 20 | 20 |
| 16 | 25 | 10 | 65 |
| 45 | 20 | 20 | 60 |
| 60 | 40 | 10 | 50 |

. T 10 - 10 cm

- . terrigène : 60 %
 - quartz : 40
 - fragments rocheux : 5
 - argile : 10
 - muscovite : 5
- . organique : 40 %
 - nannoplancton recristallisé : 40

Traces de spicules siliceux.

C'est un *sable terrigène*.

. T 10 - 16 cm

- . terrigène : 25 %
 - quartz : 20
 - muscovite : 5
 - argile
- . organique : 75 %
 - nannoplancton recristallisé : 75 %.

Quelques tests de Foraminifères en voie de recristallisation.

C'est une *vase terrigène à nannoplancton recristallisé*.

. T 10 - 45 cm

- . terrigène : 35 %
 - muscovite : 20
 - quartz : 15
- . organique : 65 %
 - nannoplancton : 45
 - foraminifères : 20 (grosse taille)

C'est une *vase terrigène à nannoplancton*.

. T 10 - 60 cm

- . terrigène : 50 %
 - quartz anguleux : 40
 - muscovite : 5
 - chlorite : 5

- . organique : 50 %
 - nannoplancton (partiellement recristallisé) : 35
 - foraminifères : 10
 - calcite : 5

Traces de :

- . augite titanifère, plagioclase, hornblende
- . ptéropode, bryzoaire.

C'est un *sable vaseux à gros minéraux non roulés*.

5.4 - Minéralogie de la phase argileuse (S.N.P.A.)

Données analytiques

| Cotes (en cm) | *h1 | h2 | h3 | h4 | h5 | h6 | h7 | h8 | h9 | h10 | h11 | h12 |
|------------------|-----|----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 5- 7 | 36 | 23 | 122 | 82 | 36 | 20 | 19 | 46 | 100 | 28 | 6 | 27 |
| 20-22 | 30 | 18 | 105 | 60 | 30 | 14 | 12 | 25 | 72 | 15 | 4 | 18 |
| 44-46 | 36 | 17 | 93 | 63 | 28 | 11 | 16 | 30 | 63 | 15 | 4 | 16 |
| 66-68 | 25 | 9 | 81 | 51 | 23 | 11 | 12 | 24 | 57 | 10 | 5 | 16 |

*h : hauteurs en mm, mesurées sur diagrammes enregistrés à 2°/mn.

Composition *estimée* de la phase argileuse

| Cotes (en cm) | Inter- strat. Irrégul. I - M | Illite | Chlorite | Kaolinite |
|------------------|---------------------------------------|--------|----------|-----------|
| 5- 7 | 10 | 53 | 26 | 11 |
| 20-22 | 9 | 58 | 23 | 10 |
| 44-46 | 10 | 54 | 24 | 12 |
| 66-68 | 6 | 58 | 24 | 12 |

Paramètres cristallochimiques de l'illite

| Cotes (en cm) | *1 001 | $\frac{002}{001}$ | $\frac{005}{001}$ | $\frac{005}{002}$ |
|------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 5- 7 | 2,8 | 0,30 | 0,22 | 0,75 |
| 20-22 | 2,9 | 0,29 | 0,17 | 0,60 |
| 44-46 | 2,7 | 0,30 | 0,17 | 0,57 |
| 66-68 | 2,6 | 0,28 | 0,20 | 0,70 |

*1 : largeur en mm, à mi-hauteur, mesurée sur diagrammes enregistrés.

5.5 - Relations argiles -climat (niveaux 0 et 70 cm) (H. CHAMLEY)

Les suspensions fines d'échantillon décalcifié ont une couleur beige-rouge caractéristique, non rencontrée dans les autres sondages hormis le T 1 : cette nuance s'explique par la proximité du massif des Maures, recouvert, dans les diverses zones à micaschistes en particulier, par une épaisse couverture rubéfiée d'origine pédologique (à illite, chlorite, complexe gonflant de dégradation, kaolinite). Une telle couverture rubéfiée, plus abondante que dans l'Estérel du fait de la vulnérabilité à l'altération des schistes fréquemment redressés, est le résultat de phases climatiques hydrolysantes successives ; elle était probablement plus importante à l'époque du dépôt des sédiments étudiés qu'actuellement, après les rigoureux froids würmiens. Ceci explique l'abondance du complexe gonflant (3 à 4/10 environ de la phase argileuse) dans les fonds marins situés à proximité des Maures, elles-mêmes constituées essentiellement d'illite et de chlorite.

Le climat exprimé par les argiles est tempéré à assez chaud. La surface du sondage est plus chaude que la base : illite plus ouverte ; chlorite relativement moins abondante et moins bien cristallisée, complexe gonflant nettement plus abondant, kaolinite un peu plus abondante (pic à 3,5 Å davantage vers 3,57 que vers 3,63 Å).

L'abondance du complexe gonflant laisse penser que l'âge des dépôts est assez ancien dans le Quaternaire, ou qu'il correspond à un interglaciaire assez marqué.

6 - MICROPALEONTOLOGIE

6.1 - Foraminifères

Cette carotte présente des caractères qui n'ont pas été rencontrés dans les autres prélèvements. La fraction grossière du sédiment est extrêmement abondante ; elle représente jusqu'à 60 % du poids total.

La fraction détritique est très riche ; elle est composée de quartz qui présentent tous les habitus morphoscopiques, de petits graviers et de micas.

Les débris d'origine organique sont également très abondants. Ils proviennent

de la désagrégation de bryozoaires, ostracodes, gastéropodes, échinodermes le plus souvent.

Abondance relative des Foraminifères (figure 71)

- Foraminifères benthiques

La carotte T 10 a livré une microfaune benthique riche en espèces mais pauvre en individus, excepté toutefois *Cibicides lobatulus* qui malheureusement n'est pas en place.

La fraction détritique du sédiment est très abondante et contient une forte proportion de matériel provenant de la désagrégation des roches cristallines du continent. Elle explique le nombre élevé de Foraminifères transportés, les uns à partir de l'étage infralittoral (*Asterigerinata mamilla*, *Cibicides lobatulus*, les *Elphidium*, *Neocorbina terquemi*, *Planorbulina mediterraneensis*, *Ammonia beccarii*, *Glabratella imperatoria*) les autres de l'étage circalittoral (les *Lenticulina*, *Nodosaria*, *Polymorphina* entre autres) d'autres encore de zones plus profondes (*Höglundina elegans*, *Gyroidina orbicularis*, etc...), car il est peu de Foraminifères calcaires qui vivent encore à la profondeur atteinte par cette carotte. Le transport seul ne peut être incriminé et la position en bas de la pente de cette carotte ne permet pas d'éliminer la possibilité d'un glissement de terrain.

Cette association de Foraminifères, très hétéroclite, contient même des individus d'espèces strictement pliocènes comme *Ammonia ammoniformis* et d'autres qui n'ont jamais été recueillies vivantes ou dans les sédiments quaternaires dans cette région de la Méditerranée occidentale : *Amphistegina lessoni*, *Carpenteria balani-formis*.

Les niveaux les plus superficiels de cette carotte paraissent contenir davantage de microfaune que les niveaux inférieurs ; ceci peut avoir plusieurs causes : intensité plus grande du transport à certaines périodes, dissolutions de certaines coquilles au cours de la sédimentation ou enfouissement des tests par solifluxion dans le sédiment meuble.

- Foraminifères planctoniques

Deux faits sont à souligner :

. d'une part, la dominance des espèces *Orbulina universa*, *Globigerina pachyderma*, *Globigerina bulloides*, *Globorotalia inflata*.


. d'autre part, la présence de *Orbulina suturalis*, *Globigerinoides obliquus extremus*, *Globorotalia tosaensis*, *Globorotalia crassaformis* et *Globorotalia cf. gavalae* Parconig. Ce sont des formes Pliocènes.


Il faut remarquer que l'on trouve à certains niveaux des espèces dont la répartition latitudinale actuelle est opposée (*Globigerinoides trilobus f. typica* et *f. sacculifera*, *Globigerina pachyderma* au niveau 60 cm).

Les caractères sédimentologiques (morphoscopie des grains de quartz en particulier) ainsi que la composition de la microfaune benthique permettent de considérer ces dépôts comme la résultante d'apports importants, plus ou moins rythmiques provenant des niveaux littoraux, infralittoraux et circalittoraux. Ces transports massifs de sédiments quaternaires ont vraisemblablement raviné des formations d'âge

T 10

Liste et abondance des Foraminifères contenus dans chaque échantillon de sédiment.

Espèce abondante 

Espèce commune 


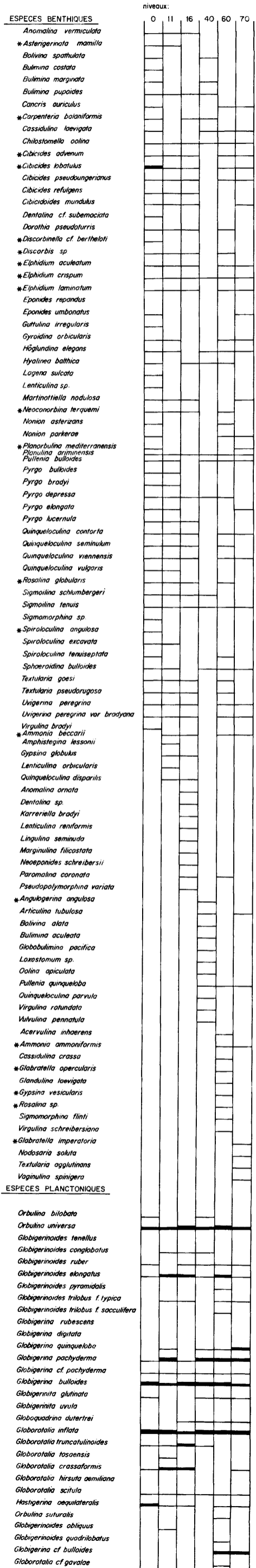
Espèce rare 

fig. 71



pliocène, ce qu'atteste la présence de nombreuses espèces de Foraminifères caractéristiques de cet étage. Ils soulignent l'instabilité du secteur où a été implanté le forage. Compte tenu de l'importance des remaniements, l'estimation de la fréquence des espèces planctoniques n'a pas été envisagée.

6.2 - Pollens

A l'instar de celle de la carotte TEREDEL 9, la flore se révèle très pauvre en essences forestières.

Les Pins (*Pinus pinea*, *P. silvestris*), toujours dominants, forment l'essentiel du couvert végétal.

Le sapin apparaît secondairement avec des pourcentages plus importants et particulièrement dans les spectres du sommet de la carotte où il atteint une fréquence de 7 %.

Parmi les feuillus thermophiles se comptent Chêne (*Quercus sessiliflora*), Orme, Charme, Erable auxquels se joignent quelques arbres de climat plus frais : Hêtre, Bouleau, Aulne, Saule et Coudrier. Rencontrés séparément dans la plupart des spectres, ils n'entrent que pour une très faible part dans la composition de la strate arborescente.

En outre, notons la présence, en pourcentages réduits, d'éléments exotiques tels *Tsuga*, *Carya*, *Liquidambar*, *Podocarpus* et *Pinus type haploxyton*, seul pollen existant dans tous les niveaux.

Les herbacées, peu diversifiées, n'excèdent pas 35 % et se composent principalement de Graminées, Armoises, Caryophyllacées, Chénopodiacées, Ericacées, Ombellifères, *Plantago* et *Ephedra*.

L'ensemble de ces spectres semble correspondre à une végétation généralement moins froide et moins sèche sauf au milieu de la séquence (40 cm) où regresse le Sapin et augmentent les Armoises. Mais la persistance du Pin pignon, à ce niveau, indique que ce léger refroidissement n'a pas affecté la zone littorale.

Du point de vue stratigraphique, il est difficile de situer ces dépôts dans l'échelle chronologique. Toutefois, la faible proportion qualitative et quantitative de reliques tertiaires amène à conclure à un âge Quaternaire moyen.

La flore très appauvrie, à Pin dominant, pourrait être celle d'un stade glaciaire ou celle d'un interstade mindélien.

La présence de *Cedrus*, genre prétendument disparu d'Europe à la fin de cette glaciation, constitue un argument supplémentaire en faveur de cette hypothèse.

6.3 - Nannoplancton

Cette carotte est la plus pauvre en nannofossiles calcaires (pauvre en espèces et pauvre en individus) parmi toutes celles qui ont été examinées. La proportion de la fraction détritique fine y est très élevée. Les espèces remaniées du Crétacé sont également fréquentes (principalement *Watznaueria barnesae* et quelques formes empâtées indéterminables) et présentes à tous les niveaux.

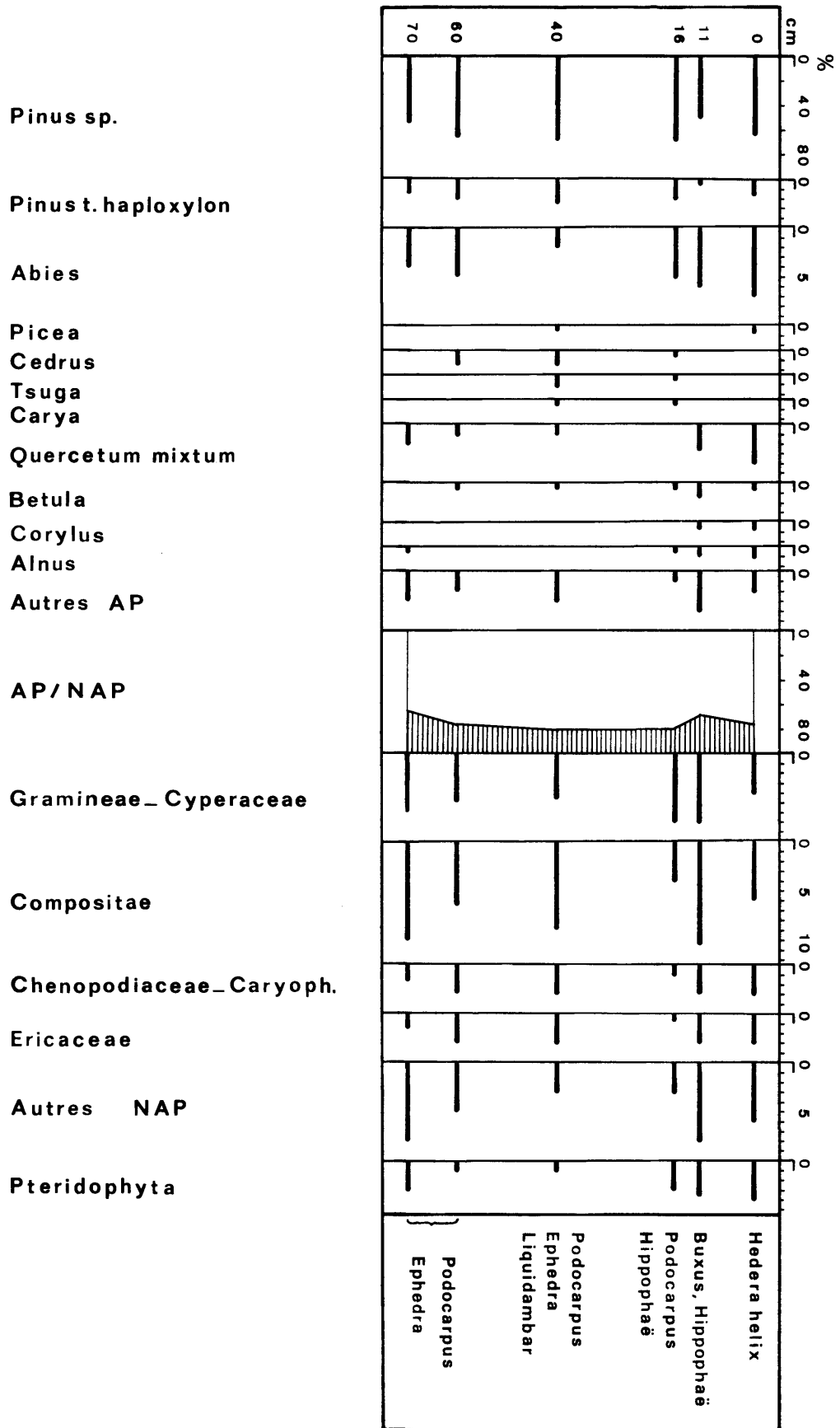
Tous les échantillons sont du Quaternaire moyen. Ils contiennent : *Gephyrocapsa oceanica* et *Helicosphaera carteri*. La proportion de *Cyclococcolithus leptoporus* augmente du bas vers le haut de la carotte. *Coccolithus pelagicus* est fréquent dans les niveaux 11 et 16 et absent par ailleurs. Dans les deux échantillons

immédiatement supérieur (0) et inférieur (40), il y a présence de rares individus de *Rhabdosphaera stylifer*.

Les variations observées dans cette carotte sont difficiles à interpréter surtout si l'on considère en même temps la pauvreté de la nannoflore.

Fréquences relatives des essences et herbacées












| Niveaux en cm | 0 | 20 | 30 | 40 | 60 | 70 |
|-------------------------------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| <i>Pinus sp.</i> | 62 | 51 | 68 | 68 | 66 | 53 |
| <i>Pinus t. haploxyton</i> | 1,5 | 0,5 | 2 | 2 | 2 | 1,5 |
| <i>Abies</i> | 7 | 6 | 5 | 1 | 5 | 4 |
| <i>Picea</i> | 0,5 | - | - | 0,5 | - | - |
| <i>Cedrus</i> | - | - | - | 1,4 | 0,6 | - |
| <i>Tsuga</i> | - | - | 0,5 | 1 | - | - |
| <i>Carya</i> | - | - | 0,5 | 0,5 | - | - |
| <i>Quercus</i> | 2,5 | 1 | - | - | - | 1 |
| <i>Ulmus</i> | 1,5 | - | - | - | 0,6 | - |
| <i>Carpinus</i> | - | - | - | - | - | 1 |
| <i>Acer</i> | - | 0,5 | - | 0,5 | - | - |
| <i>Fagus</i> | - | 1 | - | - | - | - |
| <i>Betula</i> | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | - |
| <i>Corylus</i> | 0,5 | 0,5 | - | - | - | - |
| <i>Salix</i> | - | 2 | - | - | - | - |
| <i>Aulus</i> | 1 | 1 | 0,5 | - | - | 0,5 |
| Autres AP | 2 | 4 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| Gramineae - Cyperaceae | 4 | 7 | 7 | 4 | 5 | 6 |
| Compositae | 6 | 10,5 | 4 | 8 | 6,5 | 10 |
| <i>Artemisia</i> | 4,5 | 8 | 4 | 6 | 4 | 7 |
| Chenopodiaceae - Caryophyllaceae | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 1,5 |
| Ericaceae | 3 | 2,4 | 0,5 | - | 2,4 | 1 |
| Autres NAP | 6 | 8 | 3 | 3 | 5 | 8 |
| Ptéridophyta | 4 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 |
| Varia + indéterm. | 11 | 13 | 7 | 5 | 10 | 7 |
| AP | 77 | 68 | 80 | 80 | 78 | 65 |
| NAP | 23 | 32 | 20 | 20 | 22 | 35 |
| Σ AP + NAP | 203 | 211 | 166 | 221 | 170 | 193 |



TEREBEL 10 - Diagramme pollinique

Espèce abondante  Espèce rare 
 Espèce commune  Trouvailles isolées 

Carotte T 10

| | 0 | 11 | 16 | 40 | 60 | 70 |
|--|---|----|----|----|----|----|
| <i>Gephyrocapsa oceanica</i> Kamptner |  | | | | | |
| <i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich) Kamptner |  | | | | | |
| <i>Pontosphaera discopora</i> Schiller |  | | | | | |
| <i>Rhabdosphaera claviger</i> Murray et Blackmann |  | | | | | |
| <i>Cyclococcolithus leptoporus</i> (Murray et Blackmann) Kamptner |  | | | | | |
| <i>Rhabdosphaera stylifer</i> Lohmann |  | | | | | |
| <i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller |  | | | | | |
| <i>Coccolithus</i> sp. |  | | | | | |
| <i>Scyphosphaera</i> cf. <i>S. apsteinii</i> Lohmann |  | | | | | |
| * <i>Watznaueria barnesae</i> (Black) Perch-Nielsen |  | | | | | |
| *Formes crétacées indéterminables |  | | | | | |

7 - GEOCHIMIE

7.1 - Teneurs en éléments majeurs (S.N.P.A.)

- Teneurs en éléments majeurs (dosage en fluorescence X) exprimées en % du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total)

| Cotes (en cm) | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O | CaO | Fe ₂ O ₃ | MgO | TiO ₂ | P.F.* |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------|-------|
| 5- 7 | 37,0 | 8,4 | 0,8 | 24,4 | 3,6 | 2,9 | 0,3 | 23,7 |
| 20-22 | 38,9 | 8,7 | 1,1 | 25,0 | 3,5 | 3,1 | 0,4 | 21,8 |
| 44-46 | 39,8 | 9,1 | 0,9 | 22,9 | 3,5 | 2,9 | 0,4 | 22,8 |
| 66-68 | 47,4 | 8,8 | 1,2 | 19,2 | 4,0 | 2,3 | 0,4 | 18,5 |
| erreur à 95 % de probab. | ± 0,8 | ± 0,4 | ± 0,1 | ± 0,3 | ± 0,1 | ± 0,3 | ± 0,05 | ± 0,2 |

* P.F. : perte au feu (de 105°C à 900°C)

7.2 - Teneurs en éléments-traces

7.2.1 + analyses S.N.P.A.

- Teneurs en éléments-traces (quantomètre) exprimées en ppm du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|
| 5- 7 | 63 | 68 | 5 | 8 | 65 | 16 | 93 | 40 | 31 | 900 | 332 | 10 | 370 |
| 20-22 | 60 | 79 | 4 | 12 | 74 | 28 | 90 | 32 | 28 | 776 | 434 | 11 | 360 |
| 44-46 | 63 | 62 | 3 | 8 | 62 | 13 | 88 | 29 | 26 | 656 | 486 | 8 | 420 |
| 66-68 | 52 | 63 | 8 | 8 | 59 | 10 | 94 | 43 | 12 | 626 | 302 | 7 | 270 |
| reproduc- tibilité | ±7,0 | ±7,6 | ±1,8 | ±3,0 | ±5,0 | ±2,8 | ±6,0 | ±5,6 | ±5,0 | ±30 | ±20 | ±2,4 | ±35 |

- teneurs en éléments-traces (quantomètre) exprimées en ppm de la fraction fine calcinée à 900°C et teneurs en TiO₂ en %. (analyses sur la fraction fine (< 5 µ) et décarbonatée du sédiment total).

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn | TiO ₂ |
|-----------------------|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|----|-----|------|----|------|------------------|
| 5- 7 | 221 | 198 | n.d. | 11 | 120 | 62 | 195 | 86 | 12 | 86 | 336 | 30 | 160 | 0,99 |
| 20-22 | 210 | 219 | n.d. | 8 | 115 | 60 | 221 | 77 | 19 | 108 | 464 | 32 | 160 | 1,08 |
| 44-46 | 234 | 226 | n.d. | 6 | 114 | 61 | 223 | 81 | 12 | 102 | 439 | 34 | 170 | 1,09 |
| 66-68 | 201 | 215 | 2 | 10 | 110 | 62 | 223 | 79 | 16 | 100 | 391 | 32 | 170 | 1,13 |
| reproduc- tibilité | ±11 | ±12 | ±0,8 | ±2,5 | ±6,5 | ±4,0 | ±10 | ± 8 | ±4 | ± 9 | ± 25 | ±3 | ± 20 | ±0,08 |

n.d. : non détecté.

7.2.2 + analyses B.R.G.M.

Résultats exprimés en g/t par rapport au sédiment total séché à 105-110°C.

| ELEMENTS *limites de dosa- bilité g/t | N° | 5-8 | 21-24 | 37-39 | 55-58 | 64-67 |
|---|----|------|-------|-------|-------|-------|
| Be | 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 |
| B | 20 | 48 | 70 | 63 | 51 | 52 |
| Sc | 2 | 4 | 8 | 7 | 4 | 5 |
| Va | 10 | 54 | 76 | 64 | 68 | 53 |
| Cr | 5 | 73 | 86 | 86 | 90 | 61 |
| Mn | 10 | 336 | 402 | 365 | 309 | 355 |
| Co | 5 | 8 | 10 | 12 | 6 | 8 |
| Ni | 5 | 38 | 46 | 39 | 41 | 32 |
| Cu | 3 | 19 | 38 | 19 | 15 | 37 |
| Zn | 20 | 47 | 61 | 53 | 33 | 51 |
| Ga | 2 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 |
| Ge | 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 |
| Sr | 5 | 850 | 485 | 400 | 420 | 485 |
| Y | 10 | < 10 | 19 | 20 | < 10 | 12 |
| Mo | 7 | < 7 | - | - | - | - |
| Ag | 1 | < 1 | - | - | - | - |
| Cd | 6 | < 6 | - | - | - | - |
| Sn | 2 | < 2 | 3 | < 2 | < 2 | < 2 |
| Ba | 5 | 225 | 374 | 308 | 318 | 302 |
| Yb | 2 | 2 | 3 | 3 | < 2 | < 2 |
| Pb | 6 | 22 | 21 | 29 | 13 | 13 |
| Bi | 3 | < 3 | - | - | - | - |

8 - MATIERE ORGANIQUE

8.1 + Analyses S.P.N.A.

Teneurs en carbone et en soufre (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | C.O.* | S** total | S** élémen- taire | S** des mono- sulfures | S** orga- nique | S** des bi- sulfures | S** des sulfates |
|------------------|-------|--------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|
| 5- 7 | 0,30 | 2600 | 0,2 | 0,5 | 340 | 1800 | 1000 |
| 20-22 | 0,18 | 1400 | 0,1 | 0,5 | 190 | 710 | 1200 |
| 44-46 | 0,32 | 2800 | 0,5 | 2,0 | 560 | 1200 | 1500 |
| 66-68 | 0,18 | 2500 | 0,2 | 1,0 | 520 | 1200 | 1100 |

* : en % du sédiment étuvé à 105°C (erreur à 95 % de probabilité : ± 6 % relatifs)

** : en ppm du sédiment étuvé à 105°C, erreurs non évaluées.

Teneurs en carbone organique et en soufre exprimées en % de la fraction fine étuvée à 105°C (analyses sur la fraction fine (< 5µ) et décarbonatée du sédiment total).

| cotes (en cm) | C.O. %* | S % |
|------------------|---------|------|
| 5 - 7 | 1,34 | 0,40 |
| 20-22 | 0,84 | 0,20 |
| 44-46 | 1,32 | 0,35 |
| 66-68 | 1,60 | 0,46 |

* Erreur à 95 % de probabilité : ± 6 % relatifs

8.2 + Analyses B.R.G.M.

Résultats exprimés en % sur sédiment total séché à 105-110°C.

| Cotes (en cm) | S | C total | CO ₃ | C minéral |
|------------------|------|------------|-----------------|--------------|
| 5- 8 | 0,19 | 5,10 | 25,85 | 5,00 |
| 21-24 | 0,11 | 4,40 | 22,55 | 4,37 |
| 37-39 | 0,07 | 4,40 | 22,15 | 4,29 |
| 55-58 | 0,10 | 4,10 | 20,85 | 4,04 |
| 64-67 | 0,10 | 4,50 | 22,55 | 4,37 |

SITE T 11

1 - DETERMINATION DU SITE

L'objectif est le même que pour le forage T 9 : forer le sommet du dôme SH.

2 - OPERATIONS DE FORAGE

2.1 - Chronologie

Le bateau foreur est positionné exactement sur le sommet du dôme SH.

2.2 - Enfoncement (figure 72)

La vitesse de pénétration décroît régulièrement de la surface (60 m/h) jusqu'à 37 m de fond où un brusque arrêt de l'électroforeuse suggère que nous avons touché un niveau dur. Puis la vitesse d'enfoncement augmente de nouveau jusqu'à 20 m/h.

CAROTTE T. 11

Profondeur 2418 m.

Prélèvement à 44 m.

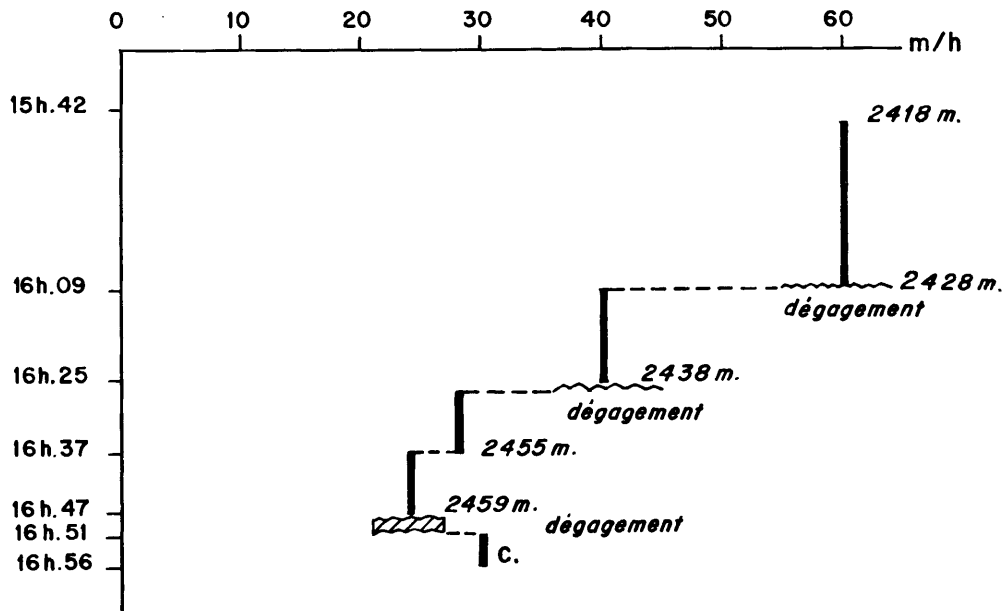


Figure 72

2.3 - Carottage

Le carottage est fait entre 43 et 45 m sous le fond. Encore une fois, la carotte est tassée pour maintenir le sédiment dans le tube. L'ogive est bouchée par une vase grise sableuse. Au-dessus le tube carottier contient du sable très fluide. L'épaisseur du banc de sable traversé (3,8 m) peut être déterminée par la marque d'usure sur la paroi extérieure de l'électroforeuse.

3 - MINERALOGIE

3.1 - Examen des frottis

. T 11 (2) niveau vaseux

- . granulométrie : sable 5 %
 sablon 60 %
 poudre 35 %
- . composition : terrigène 50 %
 quartz
 micas
 amphiboles
 opaques
 épidote
 organique 50 %
 nannoplancton 95 %
 spicules 5 %

Le sédiment est un *sablon à nannoplancton*.

. T 11 (2) niveau sableux

- . granulométrie : sable 10 %
 sablon 60 %
 poudre 30 %
- . composition : terrigène 70 %
 quartz
 micas
 amphiboles
 opaques
 organogène 30 %
 nannoplancton 95 %
 spicules 5 %

Le sédiment est également un *sablon à nannoplancton*.

3.2 - Minéraux lourds

Sur la fraction de 0,50 à 0,050 mm, nous avons la détermination suivante :

| | |
|----------------------|----|
| chlorite verte | M |
| épidote | M |
| amphibole | PA |
| (trémolite-actinote) | |

| | |
|---------------------|---|
| biotite | R |
| pyrite | R |
| carbonates | R |
| altérites | R |
| muscovite | d |
| hornblende verte | d |
| hornblende brune | d |
| glaucophane | d |
| grenat | d |
| tourmaline | d |
| zircon | d |
| sphène | d |
| magnétite | d |
| pyritosphères | d |
| oxydes de fer | d |
| (hématite-limonite) | |

Il faut noter encore dans la fraction inférieure à 0,050 mm la présence de leucoxène, ilménite, billes ferromagnétiques.

4 - MICROPALÉONTOLOGIE

La fraction du sédiment supérieure à 63 μ est un sable détritique très riche en quartz anguleux luisants, micas biotite, muscovite et chlorite. Les quartz limonitisés ainsi que les fragments de micaschistes sont fréquents. Quelques quartz émoussés ont été rencontrés. D'une façon générale, les grains sont bien triés.

La fraction d'origine organique de ce sable est extrêmement rare. Seuls ont été rencontrés en très faible quantité :

- des fragments de mollusques et Echinodermes
- des Foraminifères benthiques, dont le plus souvent le test est brisé :

| | | |
|---------------------------|---|---------------------------------------|
| <i>Ammonia beccarii</i> | } | Foraminifères circalittoraux déplacés |
| <i>Cibicides sp.</i> | | |
| <i>Nonion sp.</i> | | |
| <i>Cassidulina sp.</i> | | |
| <i>Gyroldina sp.</i> | | |
| <i>Pullenia bulloides</i> | | |

- des Foraminifères planctoniques

Globigerina bulloides
Globigerina pachyderma
Globorotalia inflata
Globigerinoides ruber
Globigerinoides elongatus

Remarque : Il faut souligner que les Foraminifères planctoniques et benthiques sont très rares. Les espèces rencontrées sont représentées par quelques individus seulement.

SITE T 12

1 - DETERMINATION DU FORAGE

Forage sur le flanc du dôme SH.

2 - OPERATIONS DE FORAGE

2.1 - Chronologie

Le navire foreur est placé sur le flanc du dôme SH à une profondeur de 48 m supérieure à celle de T 11 afin d'éviter le banc de sable déjà reconnu.

2.2 - Enfoncement (figure 74)

La vitesse de pénétration est rapide : 60 m/h, puis 35 m/h après le début de forage sous tension constante. Une panne de 15 mn interrompt les opérations.

2.3 - Carottage

Le carottage est effectué à 45 m sous le fond. Les sédiments prélevés sont constitués par une vase compacte verte.

CAROTTE T. 12

Profondeur 2467m.

Prélèvement à 45m.

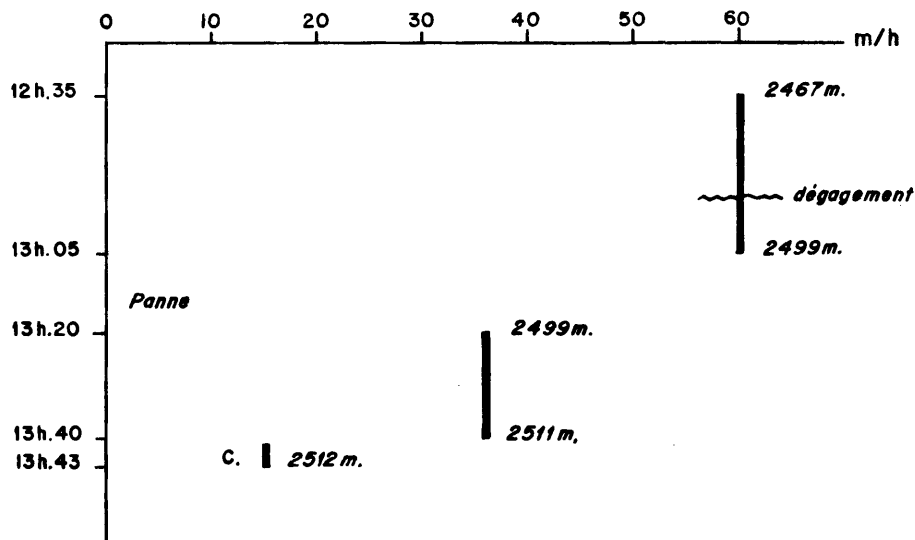


Figure 74

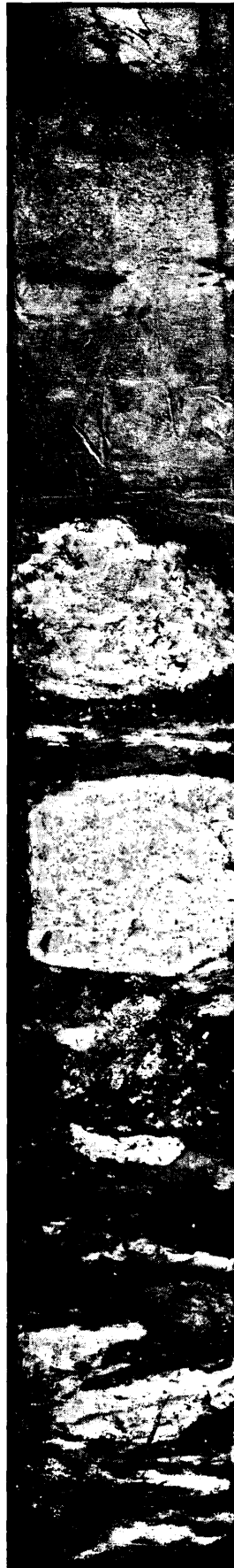
T 4



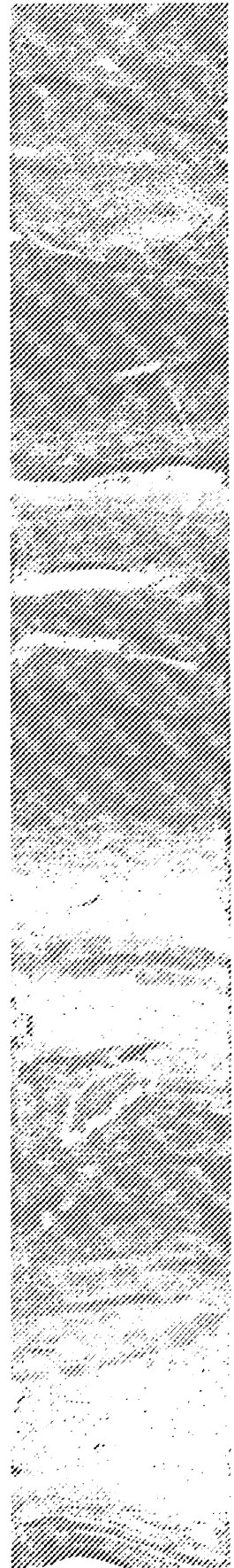
T 10



T 12



T 13



4 - PROPRIETES PHYSIQUES

4.1 - Teneur en eau

| Niveau | H ₂ O % |
|--------|--------------------|
| 2- 5 | 28,30 |
| 16-19 | 27,40 |
| 21-24 | 24,80 |
| 29-33 | 37,10 |
| 37-40 | 27,00 |
| 45-48 | 28,20 |
| 55-58 | 29,90 |
| 62-64 | 23,80 |
| 68-70 | 22,70 |

4.2 - Pourcentage de la fraction grossière (supérieure à 63 μ)

| Niveau | < 63 μ % |
|--------|----------|
| 0 | 9 |
| 20 | 5 |
| 27 | 11 |
| 40 | 10 |
| 48 | 9 |
| 63 | 13 |
| 70 | 11,5 |

4.3 - Granulométrie de la fraction fine (inférieure à 20 μ)
(figure 75)

MICROGRANULOMETRIE

Courbe cumulative T 12

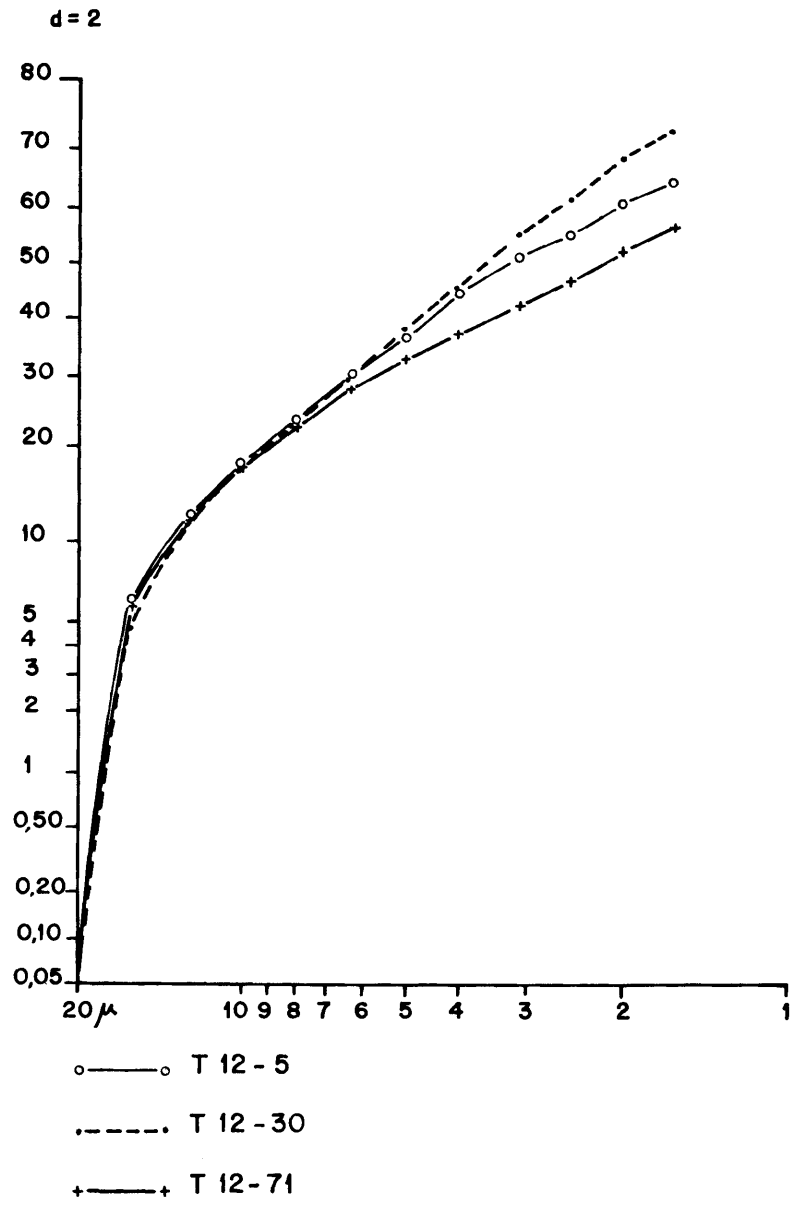


Figure 75

5 - MINERALOGIE

5.1 - Observations effectuées sur la fraction grossière du sédiment ($\emptyset > 63 \mu$)

| <u>Niveaux</u> | <u>Débris d'origine organique</u> | <u>Fraction détritique</u> |
|----------------|--|---|
| 0 cm | Débris rares, quelques piquants d'oursins. | Quartz de petite taille, anguleux et luisants, abondants. Micas abondants. Présence de limonite, pyrite, glauconie. |
| 20 cm | Débris rares, quelques piquants d'oursins. Petits mollusques bivalves. Ostracodes. | Micas très abondants. Petits quartz anguleux abondants. Présence de limonite et pyrite |
| 27 cm | Bryozoaires. Piquants d'oursins. Débris de gros mollusques. Ptéropodes présents : <i>Creseis virgula constricta</i> <i>Clio pyramidata</i> <i>Limacina retroversa.</i> | Quartz anguleux, luisants et micas très abondants. Petits graviers très émoussés, quelques uns sont limonitisés. Fragments de grès. Pyrite. |
| 40 cm | Débris rares, piquants d'oursins. Petits mollusques, ostracodes. | Fraction peu abondante. Mica, pyrite et quartz sont très rares. Petits graviers émoussés. |
| 48 cm | Présence de vertèbres et écailles de poisson. Débris de gastéropodes, mollusques, bryozoaires, végétaux. Ptéropodes présents : <i>Clio cuspidata</i> <i>Limacina retroversa.</i> | Fraction abondante. Quartz émoussés luisants assez gros. Quartz non usés luisants de petite taille. Bâtonnets pyriteux. Glauconie. Pyrite abondante. Présence de malachite (?). |
| 63 cm | Débris grossiers abondants. Gastéropodes, mollusques. Débris de bois. Ptéropodes : <i>Creseis virgula constricta</i> <i>Clio pyramidata</i> <i>Diacria trispinosa.</i> | Quartz grosse taille émoussés luisants. Débris "biogènes" également émoussés. Petits graviers émoussés, luisants. Glauconie mamelonnée. Pyrite et bâtonnets pyriteux. |
| 70 cm | Ptéropodes : <i>Creseis virgula constricta</i> <i>Limacina retroversa</i> abondant. | Micas abondants. Quartz petite taille abondants. Petits graviers noirs et verts émoussés et piquetés. Bâtonnets pyriteux. Glauconie mamelonnée. |

5.2 - Examen des frottis

Granulométrie

| Niveau | Sable | Sablon | Poudre |
|--------|-------|--------|--------|
| 15 | 15 | 20 | 65 |
| 30 | 40 | 20 | 40 |
| 40 | 40 | 30 | 30 |
| 64 | 30 | 20 | 50 |

. T 12 - 15 cm

. terrigène : 35 %
 quartz : 20
 muscovite : 15

. organique : 65 %
 nannoplancton : 65

Traces de pyrite, de spicules siliceux et de Foraminifères.
C'est une *vase terrigène à nannoplancton*.

. T 12 - 30 cm

. terrigène : 35 %
 quartz : 15
 muscovite : 10
 argile : 10

. organique : 65 %
 Foraminifères : 25 (grosse taille)
 nannoplancton : 40

Traces de :

. plagioclase, dolomite
. bryozoaires, pointes de ptéropodes, branches de *Braarudosphaera*.
C'est un *sable vaseux à Foraminifères*.

. T 12 - 40 cm

. terrigène : 30 %
 muscovite : 20
 quartz : 10

. organique : 70 %
 Foraminifères et débris organogènes : 40
 nannoplancton : 30

Traces de pyrite, de dolomite, quelques Discoasters.
C'est un *sable à Foraminifères et débris organogènes*.

. T 12 - 64 cm

. terrigène : 30 %

quartz : 25

muscovite : 5

. organique : 70 %

nannoplancton : 50

Foraminifères et débris organogènes : 20

Le fond du sédiment est argileux avec des grains d'hématite et des fragments rocheux.

C'est une vase sableuse et argileuse à débris organogènes.

5.4 - Minéralogie de la phase argileuse (S.N.P.A.)

- Données analytiques

| Cotes (en cm) | *h1 | h2 | h3 | h4 | h5 | h6 | h7 | h8 | h9 | h10 | h11 | h12 |
|------------------|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 7- 9 | 35 | 8 | 153 | 101 | 48 | 28 | 10 | 47 | 106 | 25 | 8 | 32 |
| 15-17 | 28 | 10 | 137 | 79 | 47 | 16 | 13 | 32 | 91 | 15 | 6 | 26 |
| 37-39 | 26 | 13 | 90 | 61 | 28 | 17 | 11 | 36 | 75 | 15 | 5 | 20 |
| 58-60 | 33 | 16 | 122 | 91 | 39 | 20 | 15 | 44 | 89 | 20 | 5 | 24 |

* h : hauteurs en mm, mesurées sur diagrammes enregistrés à 2°/mn.

- Composition *estimée* de la phase argileuse

| Cotes (en cm) | Interstrat. irrégul. I - M | Illite | Chlorite | Kaolinite |
|------------------|----------------------------------|--------|----------|-----------|
| 7- 9 | 2 | 59 | 33 | 6 |
| 15-17 | 5 | 60 | 25 | 10 |
| 37-39 | 8 | 55 | 28 | 9 |
| 58-60 | 7 | 53 | 30 | 10 |

- Paramètres cristallochimiques de l'illite

| Cotes (en cm) | * 1 001 | $\frac{002}{001}$ | $\frac{005}{001}$ | $\frac{005}{002}$ |
|------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 7- 9 | 2,2 | 0,31 | 0,21 | 0,67 |
| 15-17 | 2,4 | 0,34 | 0,19 | 0,55 |
| 37-39 | 2,6 | 0,31 | 0,22 | 0,71 |
| 58-60 | 2,7 | 0,32 | 0,20 | 0,62 |

* 1 : largeur en mm, à mi-hauteur, mesurée sur diagrammes enregistrés à 8°/mn.

5.5 - Relations argiles - climat (H. CHAMLEY)

(niveaux 0 - 20 - 27 - 40 - 48 - 63 - 70 cm)

Cette carotte, constituée essentiellement de vase, présente des variations plus importantes que les autres sondages. Le climat *y varie* en effet *du frais au chaud*. Ces variations sont attestées par l'ensemble des critères chromatiques, minéralogiques et morphologiques. Dans les niveaux de tendance beige, et par rapport aux niveaux gris, l'illite acquiert un pic large, cependant que la réflexion à 4,7 Å de la chlorite diminue et s'étale, que celle à 18 Å (essai glycolé) du complexe gonflant augmente, et que le doublet à 3,5 Å se déplace vers le pôle kaolinite (figure 76). Parallèlement, les phyllites, observées en microscopie électronique, présentent dans ces niveaux un état de fragmentation plus grand et des contours plus diffus que dans les niveaux gris à illite fermée (figure 76). Ces différents caractères sont ceux que l'on relève actuellement dans des sols de climat chaud-humide en milieu lessivé. Les phyllites des niveaux gris évoquent au contraire des sols de climat froid.

La suite paléoclimatique traduite par les argiles est celle-ci : (planche 7).

- 0 cm : tempéré
- 20 cm : frais
- 27 cm : tempéré frais
- 40 cm : chaud
- 48 cm : tempéré chaud
- 63 cm : tempéré frais
- 70 cm : frais.

L'abondance du complexe gonflant à 40 cm (environ 3/10 de l'argile), jointe au mauvais état des phyllites primaires, illite et chlorite, suggère un *épisode interglaciaire marqué*, dans le secteur largement soumis aux influences rhodaniennes que représentent les fonds au large du cap Sicié. Cet épisode est limité, à la base et au sommet du sondage, par deux périodes fraîches à tempérées. A titre d'hypothèse, l'assemblage argileux pourrait caractériser des dépôts d'âge quaternaire moyen (Mindel-Riss, interstadiaire du Riss,...), voire tyrrhénien (Riss-Würm).

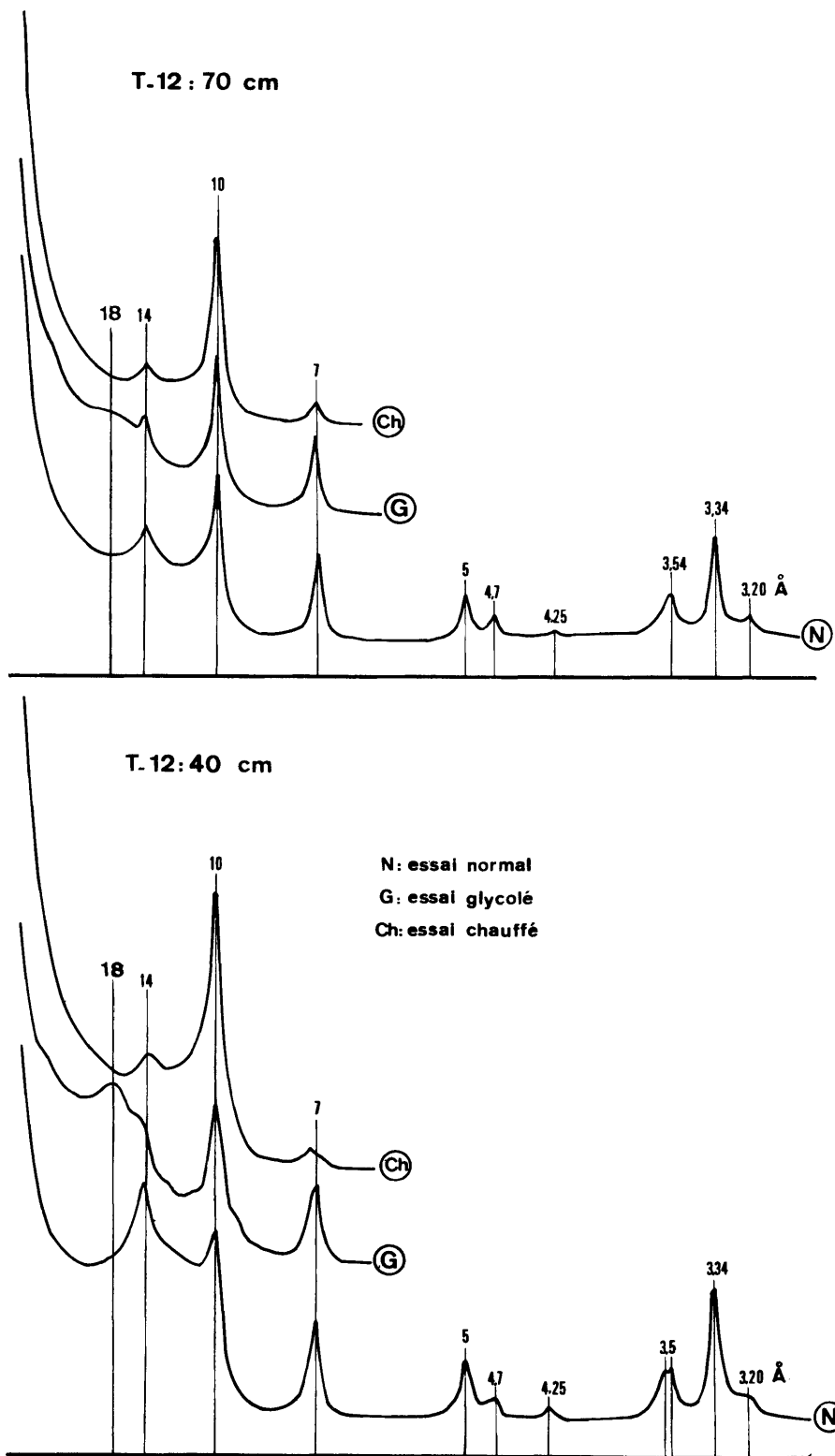
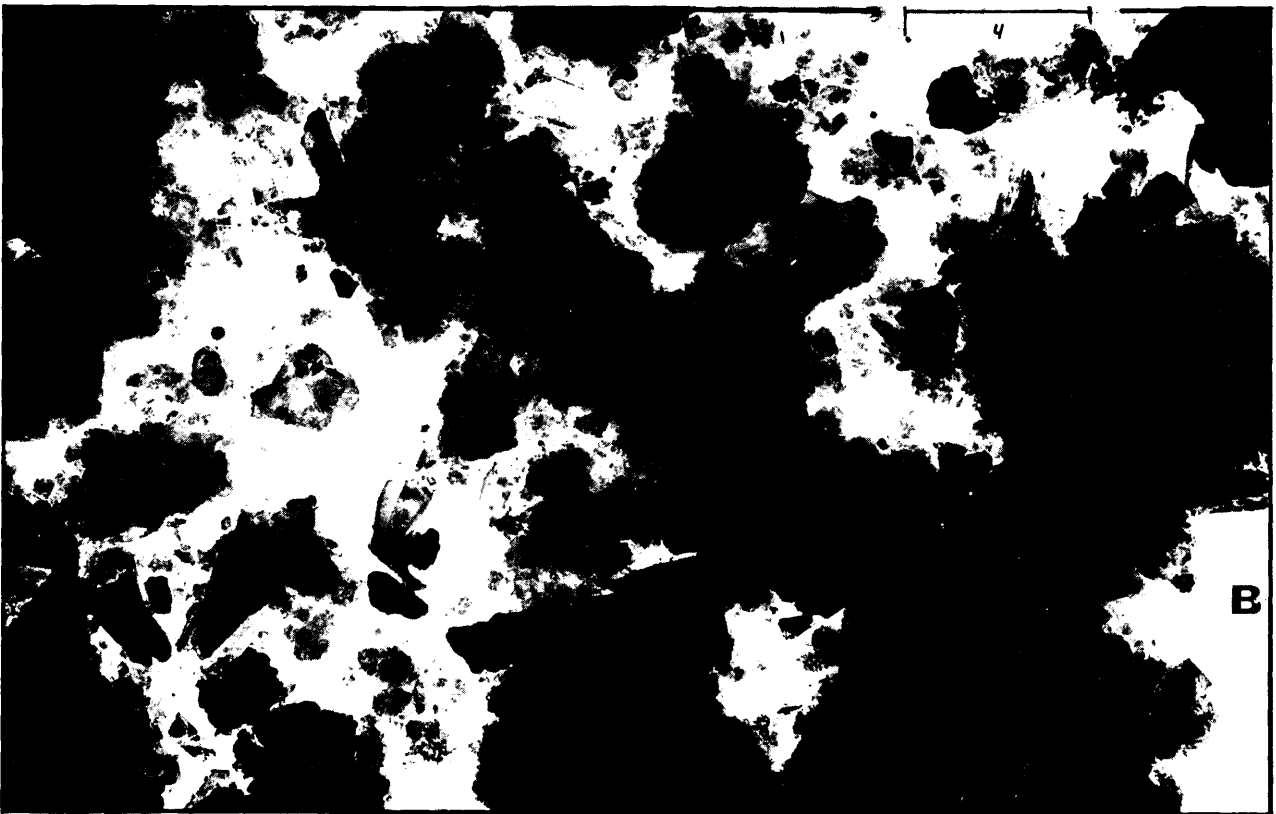


Figure 76

Planche 7

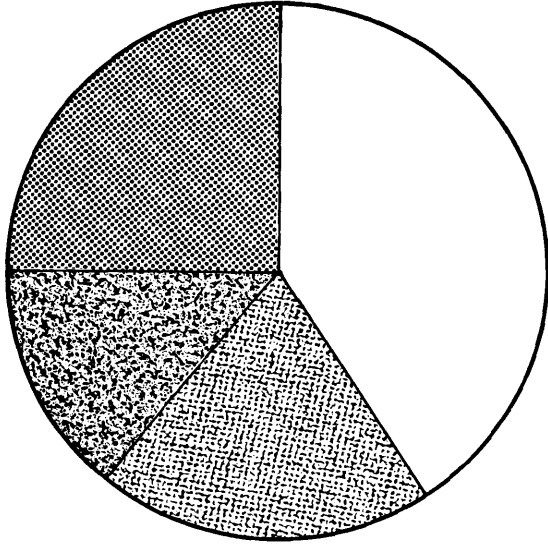


- Carotte T 12. Micrographies électroniques

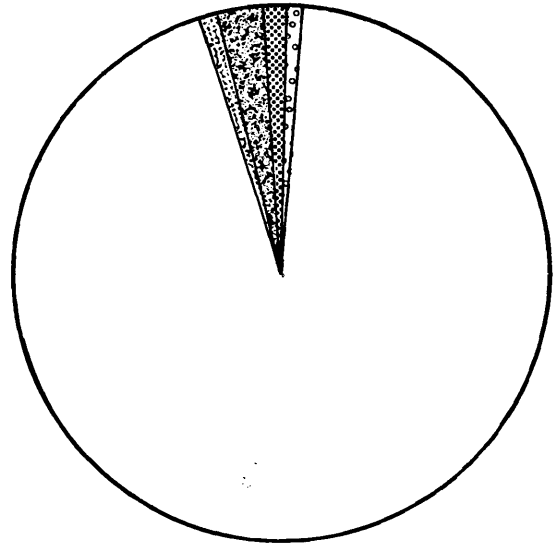
A : 20 cm faciès froid. x 20 000

B : 40 cm faciès chaud. x 20 000

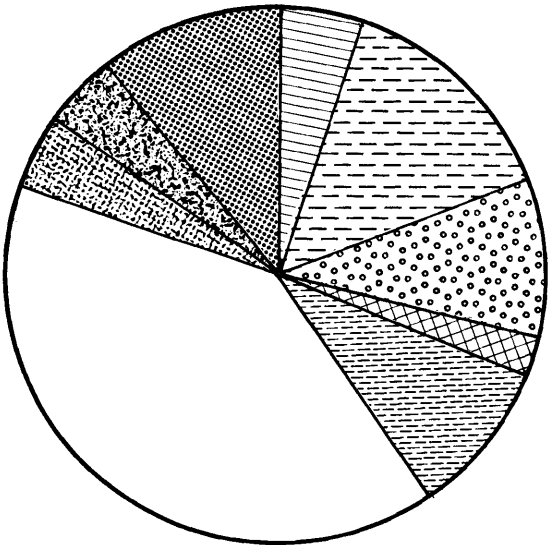
CAROTTE T 12



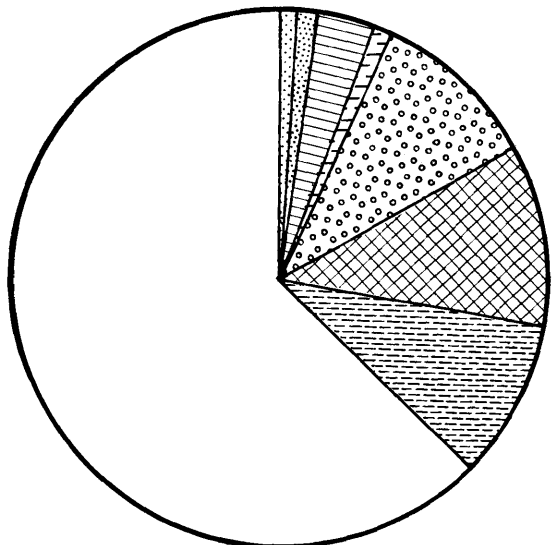
niveau 0



n. 20



n. 27

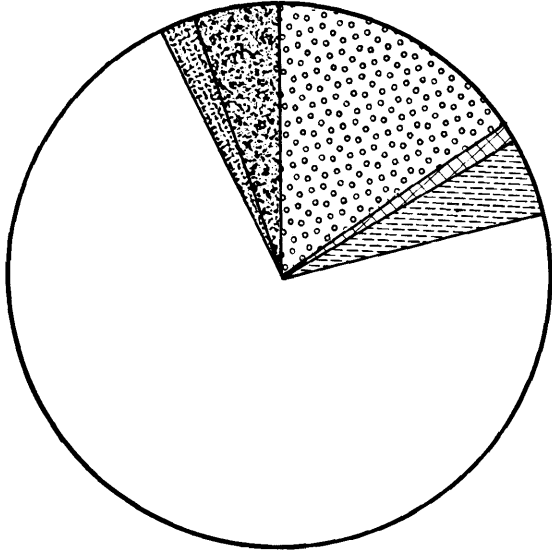


n. 40

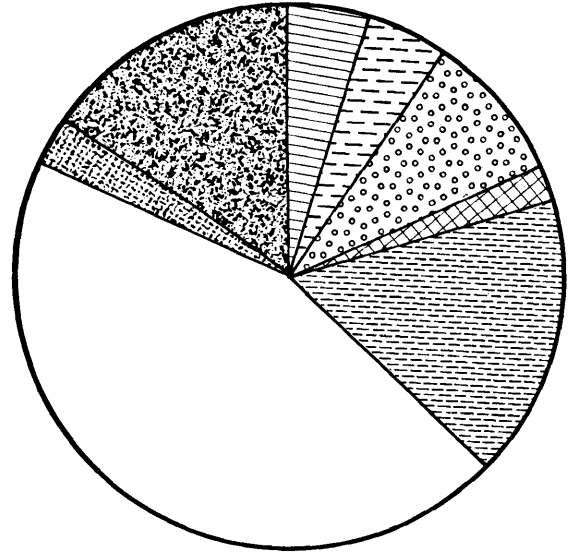
Diagrammes polaires
Fréquence des espèces planctoniques de foraminifères

Figure 77

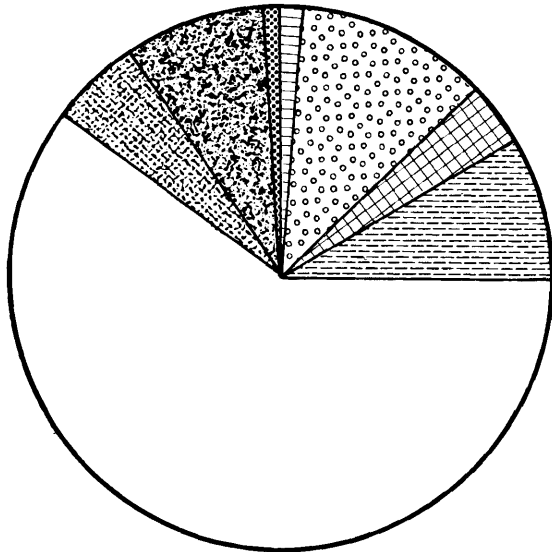
CAROTTE T 12



niveau 48



n. 63



n. 70

Diagrammes polaires.
Fréquence des espèces planctoniques de
Foraminifères.












-  *Globigerinoides trilobus f. sacculifera*
-  *Globigerinoides trilobus f. typica*
-  *Hastigerina aequilateralis*
-  *Globorotalia truncatulinoides*
-  *Orbulina universa*
-  *Globigerinoides ruber*
-  *Globigerinoides elongatus*
-  *Globorotalia inflata*
-  *Globorotalia scitula*
-  *Globigerina pachyderma (forme dextre)*
-  *Globigerina pachyderma (forme senestre)*

Figure 77 bis

6 - MICROPALÉONTOLOGIE

6.1 - Foraminifères

Le sédiment prélevé à différents niveaux de la carotte T 12 contient une fraction détritique abondante, constituée surtout de quartz de petite taille et de micas. La pyrite est assez abondante. Les débris d'origine organique sont généralement rares, sauf au niveau 63 cm.

Des Ptéropodes ont été rencontrés à certains niveaux ; ils sont rares ; ce sont : *Creseis virgula constricta*, *Clio cuspidata*, *Clio pyramidata*, *Diacria trispinosa* et *Limacina retroversa*.

Il faut remarquer la différence de composition du niveau 40 cm. Dans celui-ci, la fraction détritique, ainsi que les débris organiques, sont rares, le sédiment est très riche en Foraminifères planctoniques.

Abondance relative des Foraminifères (figure 78)

- Foraminifères benthiques

La carotte T 12 est beaucoup plus riche en Foraminifères benthiques que la carotte T 9. Cependant, si le nombre des espèces est relativement élevé, celui des individus reste en général faible et leur fréquence aussi bien que leur répartition varient suivant les niveaux étudiés.

Au niveau 0, on note l'abondance de *Chilostomella oolina* et celle un peu moins grande de *Bulimina pupoides* et *Pyrgo depressa* ; toutes les autres espèces sont rares et quelques unes, *Angulogerina angulosa*, *Cibicides lobatulus*, *Fissurina orbignyana*, *Elphidium laminatum*, témoignent d'un transport. *E. laminatum* est de plus une espèce pliocène et provient très probablement des formations de cet âge qui existent sur le continent.

De cette association, huit espèces seulement existaient déjà à 20 cm où *Chilostomella oolina* et *Pyrgo depressa* avaient une moindre fréquence et où parmi un certain nombre de formes nouvellement apparues *Ammonia beccarii* n'était certainement pas en place.

A 27 cm, *Bulimina pupoides* garde toujours sa même fréquence alors que *Chilostomella oolina* est plus rares. Quant à *Pyrgo depressa*, il n'a pas été rencontré à ce niveau, et ici encore, la présence d'*Elphidium crispum* est due à un transport.

Le niveau 40 est extrêmement pauvre en Foraminifères et cette rareté est en relation avec le sédiment dans lequel la fraction détritique très rare indique une diminution de l'importance du transport. Par contre, il faut noter l'abondance des Foraminifères planctoniques.

Les niveaux 48, 63, 70 cm contiennent encore un certain nombre d'espèces mais sont pauvres en individus ; quelques formes disparues dans les niveaux 20, 27 et 40 cm sont présentes.

En conclusion, on peut dire qu'une grande partie des Foraminifères benthiques de la carotte T 12 provient d'une thanatocoenose puisque lorsque l'apport détritique diminue, le nombre des espèces décroît. La position même de cette carotte sur le flanc du dôme SH est favorable à une accumulation de coquilles dont l'origine se situe à un niveau supérieur à celui dans lequel elles ont été récoltées.

T 12

Liste et abondance des Foraminifères contenus dans chaque échantillon de sédiment

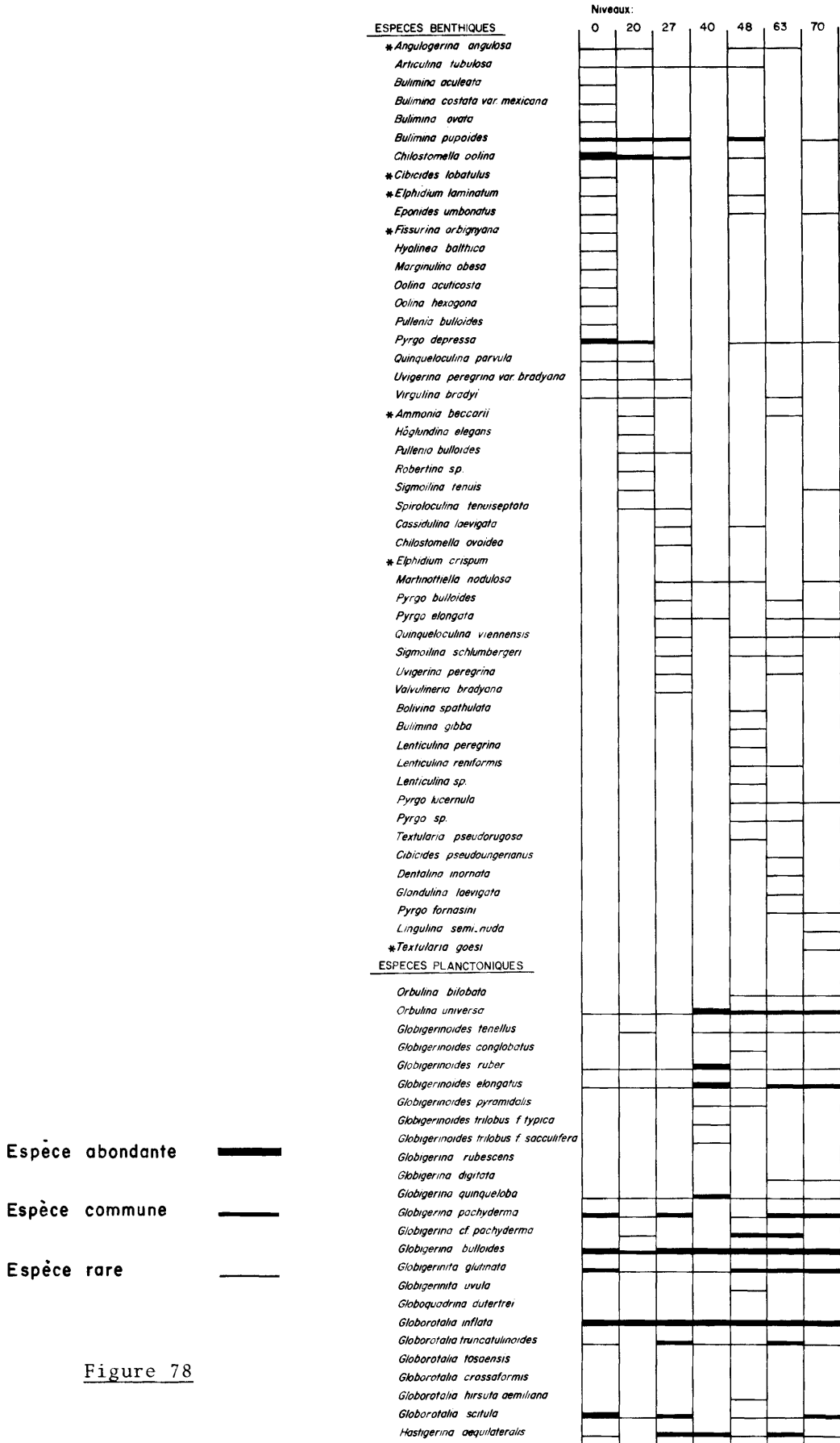


Figure 78

- Foraminifères planctoniques

Globorotalia inflata et *Globigerina bulloides* sont dominantes à tous les niveaux. Le niveau 40 cm a une composition microfaunistique particulière :

. *Orbulina universa*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides elongatus* et *Globigerina quinqueloba* sont fréquentes :

. *Globigerinoides trilobus* f. *typica* et f. *sacculifera* sont assez bien représentées.

. *Globigerina pachyderma* est absente.

Quelques remarques sont à formuler :

. à 40 cm, des spécimens de *Globigerinoides ruber* ont une couleur brune à rose atténué.

. *Globigerinoides ruber* et *G. elongatus* présentent quelquefois sur l'ouverture principale une sorte de loge supplémentaire (bullae).

. Quelques formes trouvées à 48 cm pourraient être rapprochées de *Globigerina globorotaloidea* Colom et de *Globorotalia bonionensis* Dondi.

. Enfin, *Globigerina pachyderma incompta* Cifelli a été rencontrée à 63 cm.

Fréquence des Foraminifères planctoniques (niveaux 0 - 20 - 27 - 40 - 48 - 63 - 70 cm ; figure 77 et 77 bis).

Les diagrammes polaires mettent en évidence les variations de la microfaune planctonique. Il y a une nette opposition entre les sédiments prélevés à 0 et 40 cm et à la base de la carotte (n. 48, 63, 70).

Le groupe de Foraminifères d'eau froide tout d'abord largement dominant, diminue, puis disparaît à 40 cm, enfin réapparaît progressivement dans les niveaux inférieurs. Au contraire, le groupe des espèces d'eau chaude d'abord absent apparaît à 27 cm, devient abondant à 40 cm, puis présente des fluctuations.

Il faut remarquer :

. le comportement de *Globigerina pachyderma* senestre,

. *Orbulina universa* apparaît à 20 cm, elle présente ensuite des fréquences à peu près constantes,

. *Globorotalia truncatulinoides* est fréquente à 27 cm et 63 cm, surtout sous sa forme senestogyre.

Les déplacements sédimentaires ont sans doute joué un rôle non négligeable dans la mise en place de ces dépôts. Ils doivent être en relation avec le lieu d'implantation du site de forage. Il faut se montrer extrêmement prudent dans l'interprétation. Il apparaît toutefois que les sédiments sont d'âge quaternaire.

On constate du haut vers le bas de la carotte des fluctuations dans la composition de la microfaune planctonique. Celles-ci pourraient être imputables à des modifications paléoclimatiques.

Il semble que l'on puisse proposer la succession suivante :

- . niveau 0 cm : climat froid
- . niveau 20 cm : climat tempéré
- . niveau 27 cm : climat tempéré
- . niveau 40 cm : climat chaud
- . niveau 48 cm : climat tempéré

- . niveau 63 cm : climat tempéré chaud
- . niveau 70 cm : climat tempéré frais.

Les espèces rencontrées à 40 cm et plus particulièrement *Globigerinoides trilobus* f. *typica* et f. *sacculifer* dont la répartition actuelle est tropicale, autorise à rapprocher à titre d'hypothèse cet épisode de réchauffement d'une période interglaciaire difficile à préciser.

Distribution des Foraminifères planctoniques

CAROTTE T 12

| | 0 | | 20 | | 27 | | 40 | | 48 | | 63 | | 70 | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Nb | F % | Nb | F % | Nb | F % | Nb | F % | Nb | F % | Nb | F % | Nb | F % |
| <i>Hastigerina aequilateralis</i> | 1 | | | | 69 | 4,8 | 83 | 3,7 | 8 | 0,1 | 157 | 5,4 | 37 | 1,5 |
| <i>Globigerinoides trilobus</i> f. <i>typica</i> | | | | | | | 20 | 0,9 | | | | | | |
| <i>Globigerinoides trilobus</i> f. <i>sacculifera</i> | | | | | | | 13 | 0,5 | | | | | | |
| <i>Globigeronoides ruber</i> | 6 | 0,1 | 16 | 0,3 | 32 | 2,2 | 261 | 11,7 | 40 | 0,8 | 51 | 1,7 | 68 | 2,7 |
| <i>Globigerinoides elongatus</i> | 6 | 0,1 | 16 | 0,3 | 115 | 8,0 | 238 | 10,6 | 226 | 4,7 | 440 | 15,2 | 180 | 7,2 |
| <i>Orbulina universa</i> | 5 | 0,1 | 64 | 1,3 | 118 | 8,2 | 256 | 11,5 | 796 | 16,8 | 252 | 8,7 | 292 | 11,6 |
| <i>Globorotalia truncatulinoides</i> (f. senestre) | 1 | | | | 187 | 13,1 | 18 | 0,8 | 4 | 0,05 | 160 | 5,5 | 1 | 0,04 |
| <i>Globorotalia truncatulinoides</i> (f. dextre) | | | | | 18 | 1,2 | 2 | 0,1 | | | 13 | 0,4 | | |
| <i>Globorotalia inflata</i> | 1846 | 40,2 | 4336 | 93,6 | 569 | 40,0 | 1336 | 60,0 | 3264 | 69,1 | 1271 | 44,0 | 1593 | 63,7 |
| <i>Globorotalia scitula</i> | 975 | 21,2 | 30 | 0,6 | 68 | 4,7 | | | 72 | 1,5 | 64 | 2,2 | 124 | 5,0 |
| <i>Globigerina pachyderma</i> (f. senestre) | 1123 | 24,4 | 48 | 1,0 | 168 | 11,8 | | | 16 | 0,3 | | | 20 | 0,8 |
| <i>Globigerina pachyderma</i> (f. dextre) | 624 | 13,6 | 104 | 2,2 | 30 | 5,6 | | | 272 | 5,7 | 480 | 16,6 | 180 | 7,2 |
| Total | 4587 | | 4614 | | 1424 | | 2227 | | 4698 | | 2988 | | 2495 | |
| Nombre d'individus comptés | 871 | | 803 | | 614 | | 883 | | 676 | | 571 | | 800 | |

6.2 - Pollens

A l'encontre de ceux décrits précédemment, les spectres polliniques semblent ici, du moins pour les niveaux inférieurs, plus équilibrés et plus riches d'éléments thermophiles. Mais seul *Carya* dans le niveau de base représente les exotiques parmi ces derniers.

Chêne et Orme, surtout caractéristiques de climat tempéré, se développent plus qu'à l'accoutumée (jusqu'à 12 % du total) et aux dépens du Pin. Celui-ci avec *Pinus pinea* très dominant et quelques grains de *Pinus silvestris* oscille autour d'une valeur moyenne de 45 %.

Abies et *Picea*, à l'exception du niveau 48 cm où ils atteignent 8 %, jouent un rôle nettement subordonné.

Aulne et Saule apparaissent, de même que le Bouleau, dont le maximum correspond à celui du *Quercetum mixtum*.

Les herbacées plutôt que de s'accroître se diversifient et parmi elles se comptent, outre les anémophiles et héliophiles, Ericacées, Renonculacées, Rosacées, Labiées, Umbellifères, Crucifères, *Plantago*, *Valeriana* et *Linum*.

Les types de transition tertiaire-quaternaire sont alors peu nombreux.

Les spectres polliniques du sommet de la carotte montrent un net appauvrissement de la végétation : les pollens des essences caducifoliées et des types archaïques (*Podocarpus*, *Celtis*, *Liquidambar*) regressent nettement avant de disparaître tandis que la fréquence des pollens de Pin augmente.

Cette variation du pourcentage des genres arborescents semble traduire la succession de deux phases climatiques :

- l'une tempérée, relativement humide, de 70 à 27 cm à la faveur de laquelle s'étend la Chênaie-mixte qui succède à une phase à *Carietum*, probablement plus chaude que l'actuelle ;

- l'autre plus froide et sèche, de 27 cm à 0 cm, où le retour à des conditions climatiques plus sévères entraîne une plus large diffusion des Pins et la disparition des arbres à tendance hygrophile (*Abies*, *Picea*, *Alnus*) et des Ptéridophytes, seul subsistant avec des pourcentages de 0,5 à 0,8, le Chêne-rouvre.

Les fluctuations de la végétation et du climat pourraient être rapprochées de celles observées dans les tourbes lacustres de la Vallée du Pô (PAGANELLI, 1961), datées du Mindel-Riss.

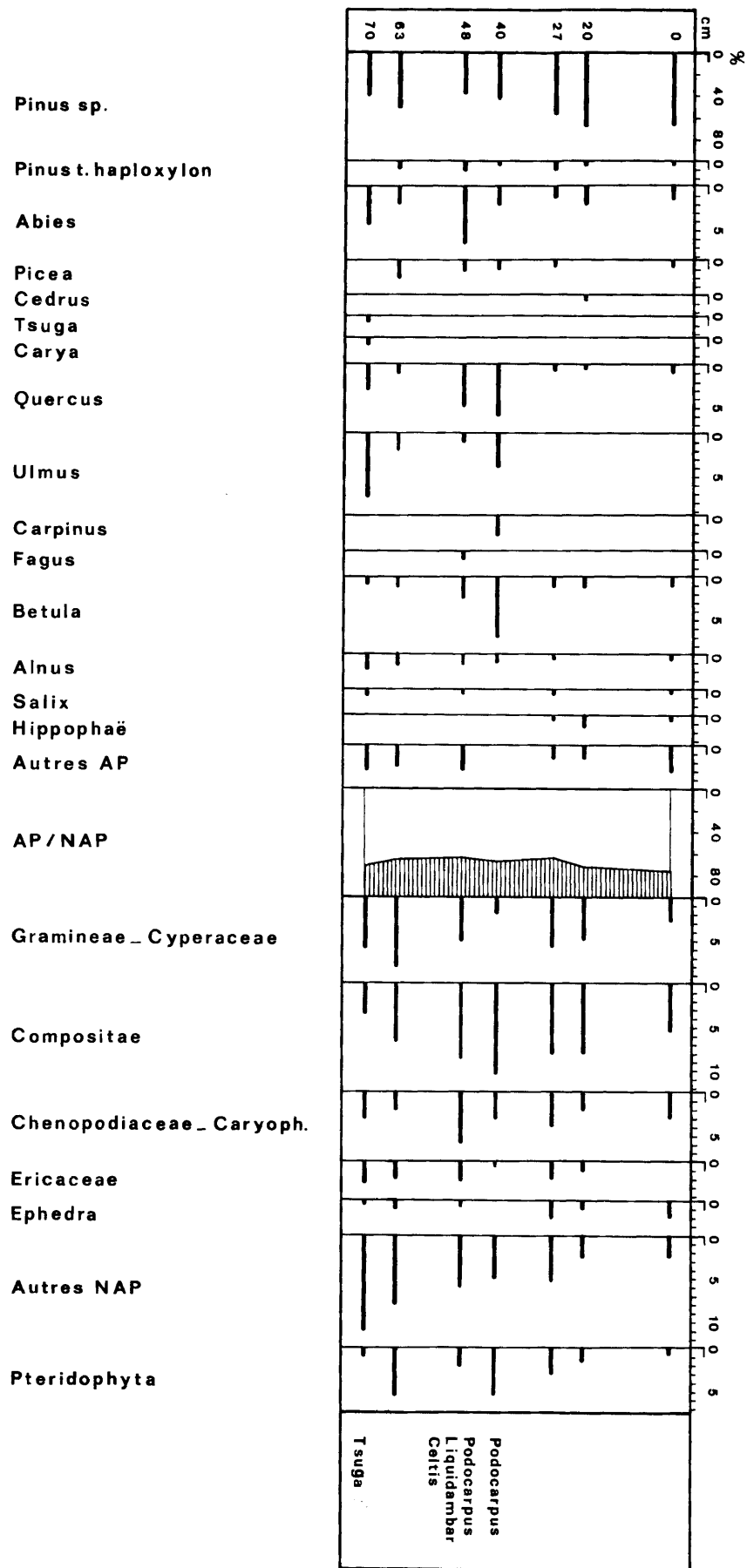
En effet, on observe dans la série italienne, le passage d'une forêt à Chênes et *Carya* dominants à une forêt à Pin et *Quercetum mixtum* avant que se développent les Conifères annonçant un Riss précoce.

Remarque : La présence de *Fagus* signalée durant cette interglaciaire dans les aires très restreintes : en Italie (FOLLIERI, 1967), en Pologne (ŚRODOŃ, 1957) et à Biarritz (OLDFIELD, 1960) confirmerait cette datation.

En outre, on observe un pollen de *Celtis* classiquement rattaché au Mindel, abondant dans les gisements mindéliens du sud-est de la France (BONIFAY, 1968) mais aussi rencontrés dans les niveaux Mindel-Riss de Lunel-Viel (PONS, comm. verb.).

Fréquences relatives des essences et herbabées

| Niveaux en cm | 0 | 20 | 27 | 40 | 48 | 63 | 70 |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>Pinus sp.</i> | 71 | 67 | 59 | 45 | 41 | 55 | 43 |
| <i>Pinus t. haploxyton</i> | 0,5 | 0,5 | 1 | 0,5 | 1 | 1,2 | - |
| <i>Abies</i> | 1,3 | 1,8 | 1 | 1,8 | 7 | 1,8 | 4 |
| <i>Picea</i> | 0,5 | - | 0,5 | 0,6 | 1 | 1,8 | - |
| <i>Cedrus</i> | - | 0,5 | - | - | - | - | - |
| <i>Tsuga</i> | - | - | - | - | - | - | 0,5 |
| <i>Carya</i> | - | - | - | - | - | - | 6 |
| <i>Quercus</i> | 0,8 | 0,5 | 0,5 | 6 | 5 | 1 | 3 |
| <i>Ulmus</i> | - | - | - | 4 | 1 | 1,8 | 7,5 |
| <i>Carpinus</i> | - | - | - | 2,4 | - | - | - |
| <i>Fagus</i> | - | - | - | - | 0,6 | - | - |
| <i>Betula</i> | 0,8 | 1 | 1 | 7 | 2 | 0,6 | 0,5 |
| <i>Alnus</i> | 0,3 | - | 0,5 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 2 |
| <i>Salix</i> | 0,3 | - | 0,5 | - | 0,3 | - | 0,5 |
| <i>Hippophaë</i> | 0,3 | 1 | 0,5 | - | - | - | - |
| Autres AP | 3 | 1,4 | 1,6 | - | 3 | 2,4 | 3 |
| Gramineae- Cyperaceae | 3 | 5 | 6 | 2 | 5 | 8 | 6 |
| Compositae | 11 | 16 | 16 | 21 | 16 | 13 | 6 |
| <i>Artemisia</i> | 10 | 14 | 14 | 20 | 15 | 10 | 6 |
| Chenopodiaceae- Caryophyllaceae | 3 | 2 | 4 | 3 | 6 | 2 | 3 |
| Ericaceae | - | 1 | 2 | 0,6 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Ephedra</i> | 2 | 1 | 2 | - | 0,3 | 0,6 | 0,5 |
| Autres NAP | 2 | 2 | 5 | 5 | 6 | 8 | 11 |
| Ptéridophyta | 0,5 | 1,5 | 3 | 5,5 | 2 | 5,5 | 1 |
| Varia + indéterm. | 3 | 5 | 10 | 11 | 13 | 6 | 11 |
| AP | 78 | 73 | 66 | 68 | 63 | 66 | 70 |
| NAP | 22 | 27 | 34 | 32 | 36 | 34 | 30 |
| Σ AP + NAP | 384 | 221 | 187 | 165 | 315 | 166 | 214 |



TEREBEL 12 - Diagramme pollinique

6.3 - Nannoplancton

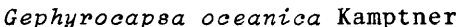
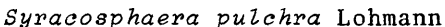
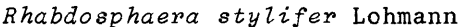
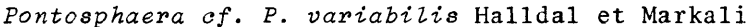
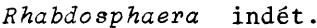
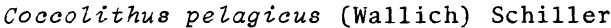
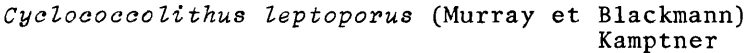
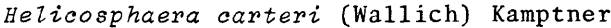
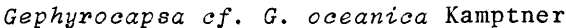
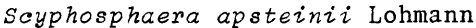
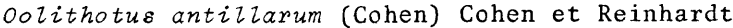
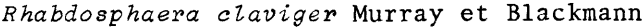
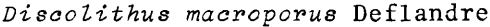
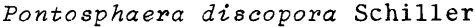
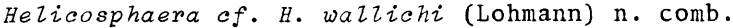

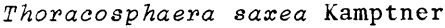
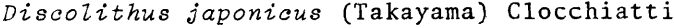
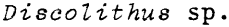
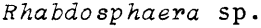
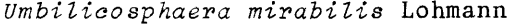
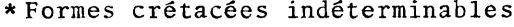
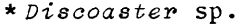
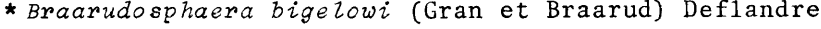
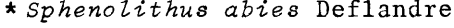
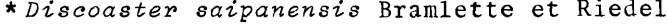
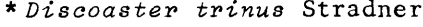
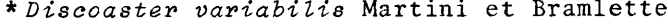
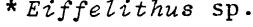
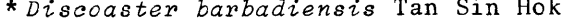
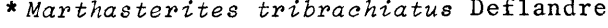
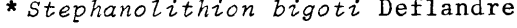
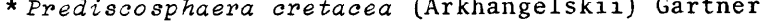
La carotte T 12 est la plus riche en nannofossiles calcaires (espèces et individus).

Les individus remaniés sont peu nombreux, ils n'excèdent jamais 5 %. Ce sont des espèces appartenant au Tertiaire (*Braarudosphaera bigelowi*, *Discoaster barbadensis*, *Discoaster saipanensis*, *Discoaster trinus*, *Discoaster variabilis*, *Discoaster* sp., *Marthasterites tribrachiatus* et *Sphenolithus abies*), au Crétacé (*Eiffelithus* sp., *Prediscosphaera cretacea* et diverses formes non identifiables) et même au Jurassique (*Stephanolithion bigoti* dans le niveau 63).

Les nannofossiles calcaires rencontrés dans cette carotte permettent de la rapporter au Quaternaire moyen. Ce sont principalement : *Gephyrocapsa oceanica*, *Cyclococcolithus leptoporus* et *Helicosphaera carteri*. Les spécimens de *Rhabdosphaera stylifer* et *Coccolithus pelagicus* sont plus rares. On a donc un assemblage assez fréquent dans les carottes étudiées, caractéristique d'un milieu tempéré, mais cette carotte se distingue des autres par la présence à certains niveaux de formes indicatrices de milieu chaud incontestables et souvent en assez grandes quantités : *Syracosphaera pulchra* (échantillons 0, 40, 63, 70), *Oolithotus antillarum* (échantillons 20 et 27), *Cyclolithella annula* (échantillons 40 et 63), *Umbilicosphaera mirabilis* (échantillon 63). On peut donc préciser que le milieu était tempéré-chaud.

Carotte T 12

Espèce abondante  Espèce rare 
 Espèce commune  Trouvailles isolées 

| | 0 | 20 | 27 | 40 | 48 | 63 | 70 |
|---|---|----|----|----|----|----|----|
| <i>Gephyrocapsa oceanica</i> Kamptner |  | | | | | | |
| <i>Syracosphaera pulchra</i> Lohmann |  | | | | | | |
| <i>Rhabdosphaera stylifer</i> Lohmann |  | | | | | | |
| <i>Pontosphaera</i> cf. <i>P. variabilis</i> Halldal et Markali |  | | | | | | |
| <i>Rhabdosphaera</i> indét. |  | | | | | | |
| <i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller |  | | | | | | |
| <i>Cyclococcolithus leptoporus</i> (Murray et Blackmann) Kamptner |  | | | | | | |
| <i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich) Kamptner |  | | | | | | |
| <i>Gephyrocapsa</i> cf. <i>G. oceanica</i> Kamptner |  | | | | | | |
| <i>Scyphosphaera apsteinii</i> Lohmann |  | | | | | | |
| <i>Oolithotus antillarum</i> (Cohen) Cohen et Reinhardt |  | | | | | | |
| <i>Rhabdosphaera claviger</i> Murray et Blackmann |  | | | | | | |
| <i>Discolithus macroporus</i> Deflandre |  | | | | | | |
| <i>Pontosphaera discopora</i> Schiller |  | | | | | | |
| <i>Helicosphaera</i> cf. <i>H. wallichi</i> (Lohmann) n. comb. |  | | | | | | |
| <i>Cyclolithella annula</i> (Cohen) Boudreaux et Hay |  | | | | | | |
| <i>Thoracosphaera saxeae</i> Kamptner |  | | | | | | |
| <i>Discolithus japonicus</i> (Takayama) Clocchiatti |  | | | | | | |
| <i>Discolithus</i> sp. |  | | | | | | |
| <i>Rhabdosphaera</i> sp. |  | | | | | | |
| <i>Umbilicosphaera mirabilis</i> Lohmann |  | | | | | | |
| * Formes crétacées indéterminables |  | | | | | | |
| * <i>Discoaster</i> sp. |  | | | | | | |
| * <i>Braarudosphaera bigelowi</i> (Gran et Braarud) Deflandre |  | | | | | | |
| * <i>Sphenolithus abies</i> Deflandre |  | | | | | | |
| * <i>Discoaster saipanensis</i> Bramlette et Riedel |  | | | | | | |
| * <i>Discoaster trinus</i> Stradner |  | | | | | | |
| * <i>Discoaster variabilis</i> Martini et Bramlette |  | | | | | | |
| * <i>Eiffelithus</i> sp. |  | | | | | | |
| * <i>Discoaster barbadiensis</i> Tan Sin Hok |  | | | | | | |
| * <i>Marthasterites tribrachiatus</i> Deflandre |  | | | | | | |
| * <i>Stephanolithion bigoti</i> Deflandre |  | | | | | | |
| * <i>Prediscosphaera cretacea</i> (Arkhangelskii) Gartner |  | | | | | | |

7 - GEOCHIMIE

7.1 - Teneurs en éléments majeurs (S.N.P.A.)

- teneurs en éléments majeurs (dosage en fluorescence X) exprimées en % du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total)

| Cotes (en cm) | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O | CaO | Fe ₂ O ₃ | MgO | TiO ₂ | *P.F. |
|----------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|------|--------------------------------|------|------------------|-------|
| 7- 9 | 44,4 | 10,5 | 1,2 | 18,6 | 4,9 | 2,9 | 0,4 | 19,2 |
| 15-17 | 41,5 | 10,4 | 1,2 | 19,3 | 4,2 | 3,0 | 0,4 | 19,8 |
| 37-39 | 38,5 | 8,6 | 1,2 | 21,1 | 6,3 | 3,0 | 0,3 | 19,3 |
| 58-60 | 39,0 | 9,1 | 1,3 | 19,8 | 5,8 | 2,7 | 0,4 | 19,5 |
| erreur à 95 % de probabil. | ±0,8 | ±0,4 | ±0,1 | ±0,3 | ±0,1 | ±0,3 | ±0,05 | ±0,2 |

* P.F. : perte au feu (de 105°C à 900°C)

7.2 - Teneurs en éléments-traces

7.2.1. + analyses S.N.P.A.

- teneurs en éléments-traces (quantomètre) exprimées en ppm du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|
| 7- 9 | 77 | 72 | 2 | 4 | 70 | 18 | 87 | 53 | 19 | 496 | 350 | 9 | 430 |
| 15-17 | 66 | 87 | 4 | 20 | 81 | 17 | 96 | 37 | 24 | 700 | 360 | 12 | 420 |
| 37-39 | 104 | 85 | 5 | 19 | 84 | 26 | 104 | 72 | 35 | 840 | 908 | 15 | 700 |
| 58-60 | 70 | 101 | 8 | 64 | 116 | 25 | 101 | 53 | 28 | 773 | 414 | 12 | 690 |
| reproduc- tibilité | ±7,0 | ±7,6 | ±1,8 | ±3,0 | ±5,0 | ±2,8 | ±6,0 | ±5,6 | ±5,0 | ±30 | ±20 | ±2,4 | ±35 |

- teneurs en éléments-traces (quantomètre) exprimées en ppm de la fraction fine calcinée à 900°C et teneurs en TiO₂ % (analyses sur la fraction fine (< 5 µ) et décarbonatée du sédiment total).

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn | TiO ₂ |
|-----------------------|-----|-----|------|------|------|------|-----|----|----|-----|-----|----|-----|------------------|
| 7- 9 | 208 | 194 | n.d. | 5 | 114 | 78 | 182 | 77 | 16 | 121 | 418 | 28 | 190 | 1,17 |
| 15-17 | 207 | 221 | n.d. | 8 | 124 | 51 | 224 | 85 | 17 | 128 | 473 | 33 | 200 | 1,23 |
| 37-39 | 246 | 235 | 1 | 7 | 110 | 54 | 213 | 86 | 16 | 116 | 388 | 36 | 170 | 1,11 |
| 58-60 | 216 | 229 | 3 | 5 | 102 | 54 | 215 | 83 | 18 | 117 | 436 | 31 | 150 | 1,09 |
| reproduc- tibilité | ±11 | ±12 | ±0,8 | ±2,5 | ±6,5 | ±4,0 | ±10 | ±8 | ±4 | ±9 | ±25 | ±3 | ±20 | ±0,08 |

n.d. : non détecté.

7.2.2 + analyses B.R.G.M.

Résultats exprimés en g/t par rapport au sédiment total séché à 105-110°C

| ELEMENTS *limites de dosabi- lité g/t | N° | 2-5 | 16-19 | 21-24 | 29-33 | 37-40 | 45-48 | 55-58 | 62-64 | 68-70 |
|--|----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Be | 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 |
| B | 20 | 48 | 87 | 61 | 78 | 59 | 70 | 78 | 67 | 90 |
| Sc | 2 | 2 | 10 | 5 | 8 | 4 | 6 | 7 | 7 | 10 |
| V | 10 | 69 | 88 | 73 | 74 | 73 | 81 | 87 | 88 | 97 |
| Cr | 5 | 71 | 99 | 77 | 84 | 81 | 96 | 104 | 96 | 100 |
| Mn | 10 | 358 | 480 | 455 | 484 | 420 | 512 | 1017 | 645 | 673 |
| Co | 5 | 5 | 12 | 6 | 12 | 13 | 16 | 16 | 17 | 23 |
| Ni | 5 | 38 | 52 | 39 | 50 | 58 | 70 | 70 | 70 | 76 |
| Cu | 3 | 17 | 27 | 16 | 21 | 26 | 40 | 31 | 24 | 42 |
| Zn | 20 | 40 | 78 | 53 | 83 | 51 | 73 | 65 | 63 | 83 |
| Ga | 2 | 12 | 17 | 12 | 15 | 12 | 13 | 15 | 14 | 17 |
| Ge | 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 | < 6 | - |
| Sr | 5 | 387 | 480 | 385 | 525 | 440 | 446 | 455 | 365 | 410 |
| Y | 10 | <10 | 21 | <10 | 26 | <10 | <10 | <10 | <10 | 22 |
| Mo | 7 | - | - | - | - | - | - | - | < 7 | - |
| Ag | 1 | - | - | - | - | - | - | - | < 1 | - |
| Cd | 6 | - | - | - | - | - | - | - | < 6 | - |
| Sn | 2 | 3 | < 2 | 3 | < 2 | < 2 | < 2 | 3 | < 2 | 5 |
| Ba | 5 | 272 | 340 | 320 | 204 | 365 | 410 | 335 | 260 | 307 |
| Yb | 2 | < 2 | 3 | < 2 | 3 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | 3 |
| Pb | 6 | 14 | 27 | 28 | 30 | 14 | 16 | 48 | 20 | 26 |
| Bi | 3 | - | - | - | - | - | - | - | < 3 | - |

8 - MATIERE ORGANIQUE

8.1 + analyses S.N.P.A.

- teneurs en carbone organique et soufre (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | C.O.* | S** total | S** élémen- taire | S** des mono- sulfures | S** organique | S** des bi- sulfures | S** des sulfates |
|------------------|-------|--------------|-------------------------|------------------------------|------------------|----------------------------|------------------------|
| 7- 9 | 0,30 | 2800 | 0,1 | 2,0 | 560 | 1000 | 1700 |
| 15-17 | 0,29 | 4300 | 0,1 | 0,5 | 320 | 1400 | 1200 |
| 37-39 | 0,37 | 25900 | 10,0 | 4,0 | 350 | 23400 | 1500 |
| 58-60 | 0,47 | 11000 | 1,5 | 10,0 | 340 | 8700 | 1600 |

* : en % du sédiment étuvé à 105°C (erreur à 95 % de probabilité : ± 6% relatifs)

** : en ppm du sédiment étuvé à 105°C, erreurs non évaluées.

- teneurs en carbone organique et en soufre exprimées en % de la fraction fine étuvée à 105°C.

| Cotes (en cm) | C.O. *% | S % |
|------------------|---------|------|
| 7- 9 | 1,31 | 0,73 |
| 15-17 | 1,02 | 0,02 |
| 37-39 | 1,50 | 0,52 |
| 58-60 | 1,40 | 1,15 |

* : erreur à 95 % de probabilité : ± 6 % relatifs

8.2 + analyses B.R.G.M.

Résultats exprimés en % sur sédiment total séché à 105-110°C

| Cotes (en cm) | S | C total | CO ₃ | C minéral |
|------------------|------|------------|-----------------|--------------|
| 2- 5 | 0,17 | 4,20 | 21,25 | 4,11 |
| 16-19 | 0,07 | 4,10 | 19,95 | 3,86 |
| 21-24 | 0,10 | 3,95 | 19,35 | 3,75 |
| 29-33 | 0,15 | 4,65 | 23,95 | 4,64 |
| 37-40 | 1,11 | 4,80 | 24,60 | 4,76 |
| 45-48 | 1,68 | 4,55 | 23,30 | 4,51 |
| 55-58 | 0,87 | 4,45 | 21,85 | 4,23 |
| 62-64 | 1,15 | 4,30 | 20,55 | 3,98 |
| 68-70 | 1,40 | 4,45 | 23,00 | 4,45 |

SITE T 13

1 - DETERMINATION DU SITE

1.1 - Sismique de la zone

Forage sur un dôme annexe du dôme SH. (le dôme CL)

1.2 - Sondeur de vase

Sur le sondeur de vase, le dôme Catherine-Laurence apparaît comme un bombement unique. Il est difficile de distinguer sur les enregistrements divers niveaux réflecteurs.

1.3 - Bathymétrie

Le dôme CL est situé au sud du dôme SH. Il perce au-dessus de la plaine abyssale d'une hauteur voisine de 80 m. Son sommet est à une profondeur d'environ 2 340 m.

2 - OPERATIONS DE FORAGE

2.1 - Chronologie

Le navire foreur vient se placer sur le dôme CL grâce à une bouée repère mouillée par le navire accompagnateur.

2.2 - Enfoncement (figure 79)

La vitesse de pénétration est très rapide (60 m/h) jusqu'au passage au forage sous tension constante (30 m/h).

2.3 - Carottage

Le carottier est déclenché à 45 m sous le fond. La carotte de 1 m est formée par une vase beige clair dont la partie inférieure est sableuse. Il faut noter le tassement des sédiments occasionné pour assurer leur maintien dans le tube.

Carotte T 13

Profondeur 2541 m.

Prélèvement à 45 m.

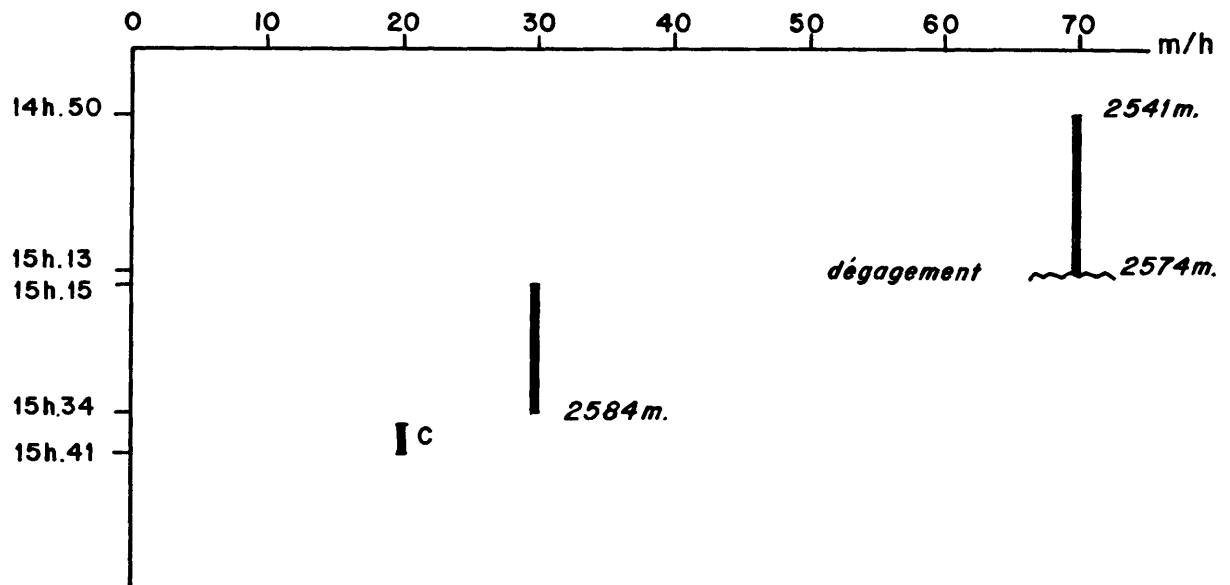
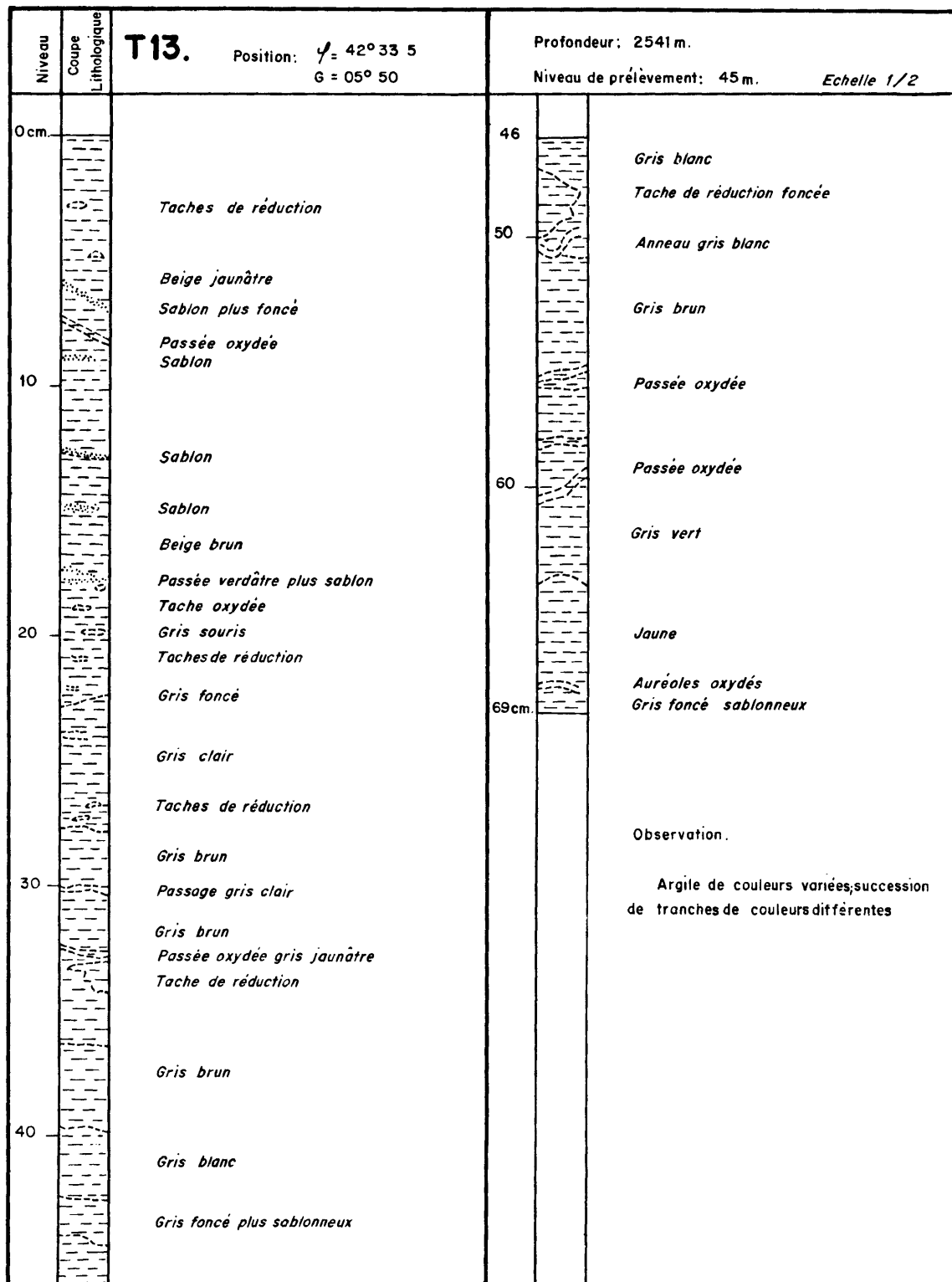
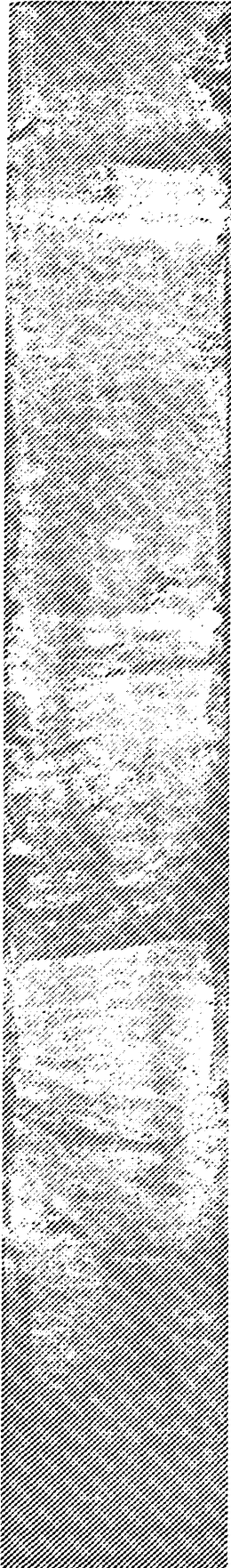


Figure 79

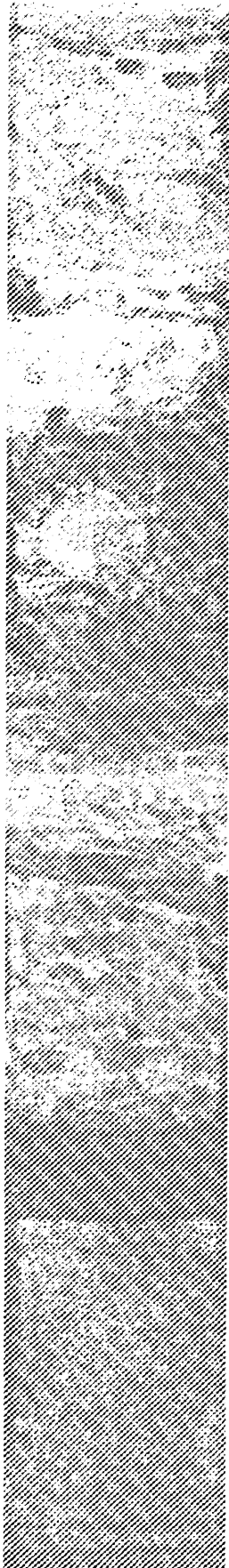
3 - LOG GRAPHIQUE



T 4



T 10



T 12



T 13



4 - PROPRIETES PHYSIQUES

4.1 - Teneur en eau

| Niveau | H ₂ O % |
|---------|--------------------|
| 4- 7 | 27,00 |
| 18-20 | 23,30 |
| 23-25 | 24,10 |
| 36-39 | 25,90 |
| 42-44 | 27,00 |
| 56-59 | 29,30 |
| 63-65,5 | 30,20 |

4.2 - Pourcentage de la fraction grossière (supérieure à 63 μ)

| Niveau | < 63 μ % |
|--------|----------|
| 0 | 6 |
| 20 | 5 |
| 39 | 10 |
| 53 | 6 |
| 66 | 15 |

4.3 - Granulométrie de la fraction fine (inférieure à 20 μ) (figure 80)

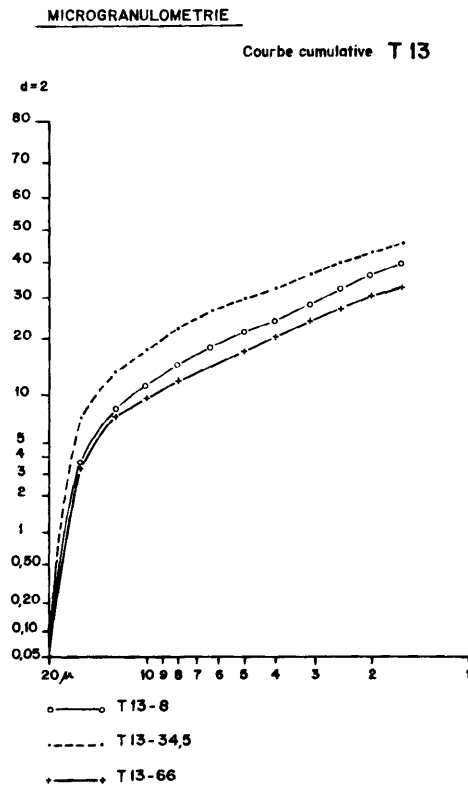


Figure 80

5 - MINERALOGIE

5.1 - Observations effectuées sur la fraction grossière du sédiment ($\emptyset < 63 \mu$)

| <u>Niveaux</u> | <u>Débris d'origine organique</u> | <u>Fraction détritique</u> |
|----------------|--|--|
| 0 cm | Débris rares. Piquants d'oursins et ostracodes. Ptéropodes : <i>Creseis acicula</i> | Fraction peu abondante, fine. Micas, limonite. Quelques quartz anguleux luisants présentant parfois des enduits de limonite. |
| 20 cm | Idem | Quartz anguleux luisants très abondants. Micas abondants. Fraction abondante, fine. |
| 39 cm | Débris très rares. | Rares micas et quartz. Fraction peu abondante, fine. |
| 53 cm | Idem | Fraction abondante, fine. |
| 66 cm | Idem | Fraction abondante. Quartz de petite taille, anguleux, mats ou luisants, abondants Micas abondants. Limonite peu abondante. |

5.2 - Examen des frottis

Granulométrie

| Niveau | Sable | Sablon | Poudre |
|--------|-------|--------|--------|
| 10 | 15 | 10 | 75 |
| 20 | 15 | 25 | 60 |
| 65 | 10 | 10 | 80 |

. T 13 - 10 cm

- . terrigène : 20 %
 - quartz : 15
 - muscovite : 5
- . organique : 80 %
 - nannoplancton : 70
 - Foraminifères : 10

Traces d'hématite, de dolomite, de verre volcanique sombre et de fragments organogènes.

C'est une vase calcaire.

. T 13 - 20 cm

- . terrigène : 70 %
 - quartz : 40
 - muscovite : 30
- . organique : 30 %
 - nannoplancton : 30

Traces de débris organogènes, grains de magnétite, hématite, verre volcanique sombre.

C'est une vase sablonneuse quartzreuse.

. T 13 - 65 cm

- . terrigène : 25 %
 - muscovite : 15
 - quartz : 10
- . organique : 75 %
 - nannoplancton : 70
 - Foraminifères : 5

Traces de débris organogènes et minéraux colorés.

C'est une vase calcaire.

5.4 - Minéralogie de la phase argileuse (S.N.P.A.)

Données analytiques

| Cotes (en cm) | *h1 | h2 | h3 | h4 | h5 | h6 | h7 | h8 | h9 | h10 | h11 | h12 |
|------------------|-----|----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 8-10 | 22 | 12 | 98 | 50 | 27 | 12 | 15 | 30 | 75 | 16 | 4 | 21 |
| 16-18 | 28 | 15 | 123 | 72 | 41 | 20 | 20 | 43 | 112 | 35 | 7 | 28 |
| 32-34 | 27 | 10 | 119 | 70 | 40 | 16 | 14 | 40 | 101 | 24 | 6 | 28 |
| 51-53 | 29 | 12 | 140 | 70 | 45 | 22 | 17 | 40 | 111 | 25 | 7 | 30 |
| 59-61 | 34 | 15 | 145 | 82 | 45 | 21 | 24 | 42 | 108 | 31 | 7 | 28 |

* h : hauteur en mm, mesurée sur diagrammes enregistrés à 2°/mn.

Composition *estimée* de la phase argileuse

| Cotes (en cm) | Interstrat. irrégul. I-M | Illite | Chlorite | Kaolinite |
|------------------|--------------------------------|--------|----------|-----------|
| 8-10 | 7 | 62 | 21 | 10 |
| 16-18 | 8 | 58 | 23 | 11 |
| 32-34 | 5 | 60 | 26 | 9 |
| 51-53 | 5 | 63 | 22 | 10 |
| 59-61 | 6 | 60 | 22 | 12 |

Paramètres cristallochimiques de l'illite

| Cotes (en cm) | *1 001 | $\frac{002}{001}$ | $\frac{005}{001}$ | $\frac{005}{002}$ |
|------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 8-10 | 2,3 | 0,28 | 0,21 | 0,78 |
| 16-18 | 2,9 | 0,33 | 0,23 | 0,68 |
| 32-34 | 2,5 | 0,34 | 0,24 | 0,70 |
| 51-53 | 2,5 | 0,32 | 0,21 | 0,67 |
| 59-61 | 2,5 | 0,31 | 0,19 | 0,62 |

* 1 : largeur en mm, à mi-hauteur, mesurée sur diagrammes enregistrés à 8°/mn.

5.5 - Relations argiles-climats (H. CHAMLEY)

(niveaux 0 - 20 - 39 - 53 - 66 cm)

Les deux tiers supérieurs de la carotte ont une illite dont le degré d'ouverture est voisin de celui des sédiments actuels du même secteur ($3/10^\circ \theta$). Comme les autres critères examinés sont également proches de ceux des sédiments de surface, il en résulte que les actions diagénétiques sur les argiles paraissent faibles sur l'ensemble des sédiments étudiés. *La portion supérieure de la carotte a donc un caractère tempéré. Vers la base, le climat est assez chaud* (largeur du pic de l'illite : $4/10^\circ \theta$; complexe gonflant relativement abondant et mal défini).

Cette association argileuse pourrait désigner une période interglaciaire ou interstadaire modérée du Quaternaire moyen ou supérieur ancien, passant progressivement à une période moins chaude.

6 - MICROPALÉONTOLOGIE

6.1 - Foraminifères

Le sédiment est constitué en général d'une fraction détritique abondante : quartz, micas, plus rarement limonite. Les débris d'origine organique au contraire sont rares. Quelques Ptéropodes ont été rencontrés, ils appartiennent à l'espèce *Creseis acicula*.

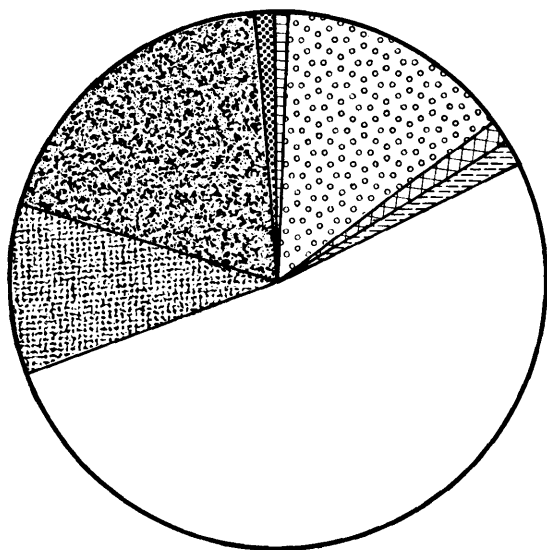
Abondance relative des Foraminifères (figure 82)

- Foraminifères benthiques

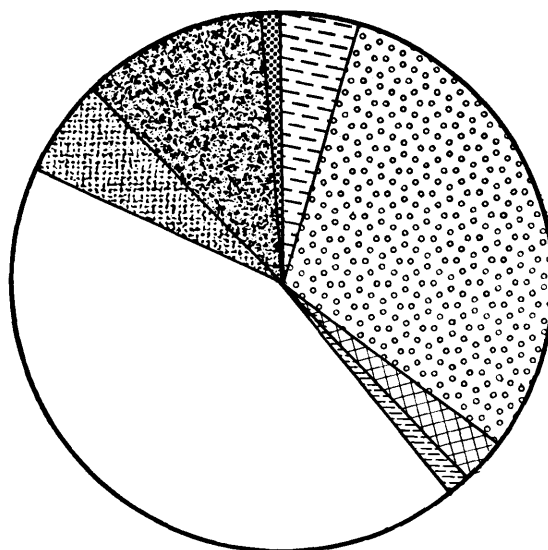
On peut appliquer à la carotte T 13 les remarques auxquelles nous avons abouti pour la carotte T 12. En effet, seuls les niveaux 0 et 66 renferment une association de Foraminifères benthiques assez importante et ce sont ceux où l'apport détritique est le plus grand ou le plus fin. Les niveaux 20, 39, 53 cm sont pauvres tant en espèces qu'en individus et certaines formes telles que *Neocorbina terquemii*, *Angulogerina angulosa* ont manifestement été déplacées.

Il est donc à peu près certain qu'ici aussi on se trouve en présence d'une thanatocoenose et que les individus récoltés n'ont pas vécu à l'endroit où ils ont été recueillis. Un granoclassement s'est produit au cours du transport et rares

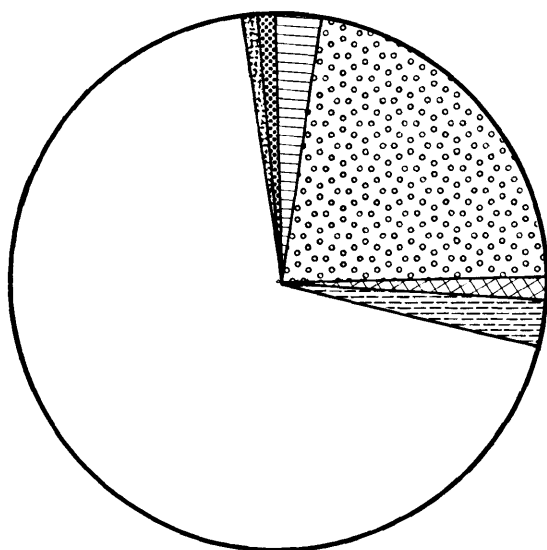
CAROTTE T 13



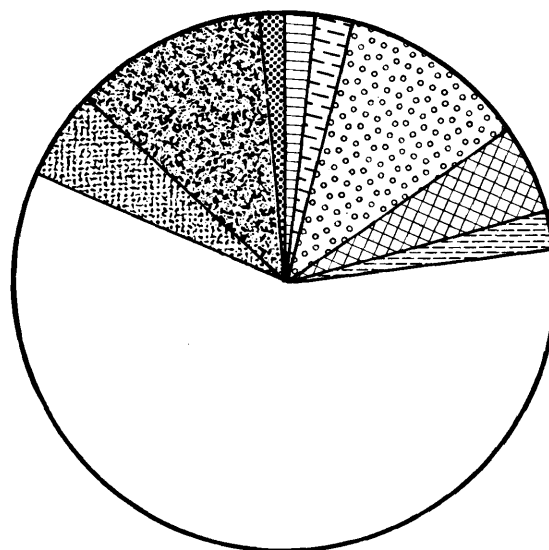
niveau 0



n. 20



n. 39



n. 66

Diagrammes polaires
Fréquence des espèces planctoniques de foraminifères

Légende : cf. figure 12 p.47

Figure 81

T 13

Liste et abondance des Foraminifères contenus dans chaque échantillon de sédiment.

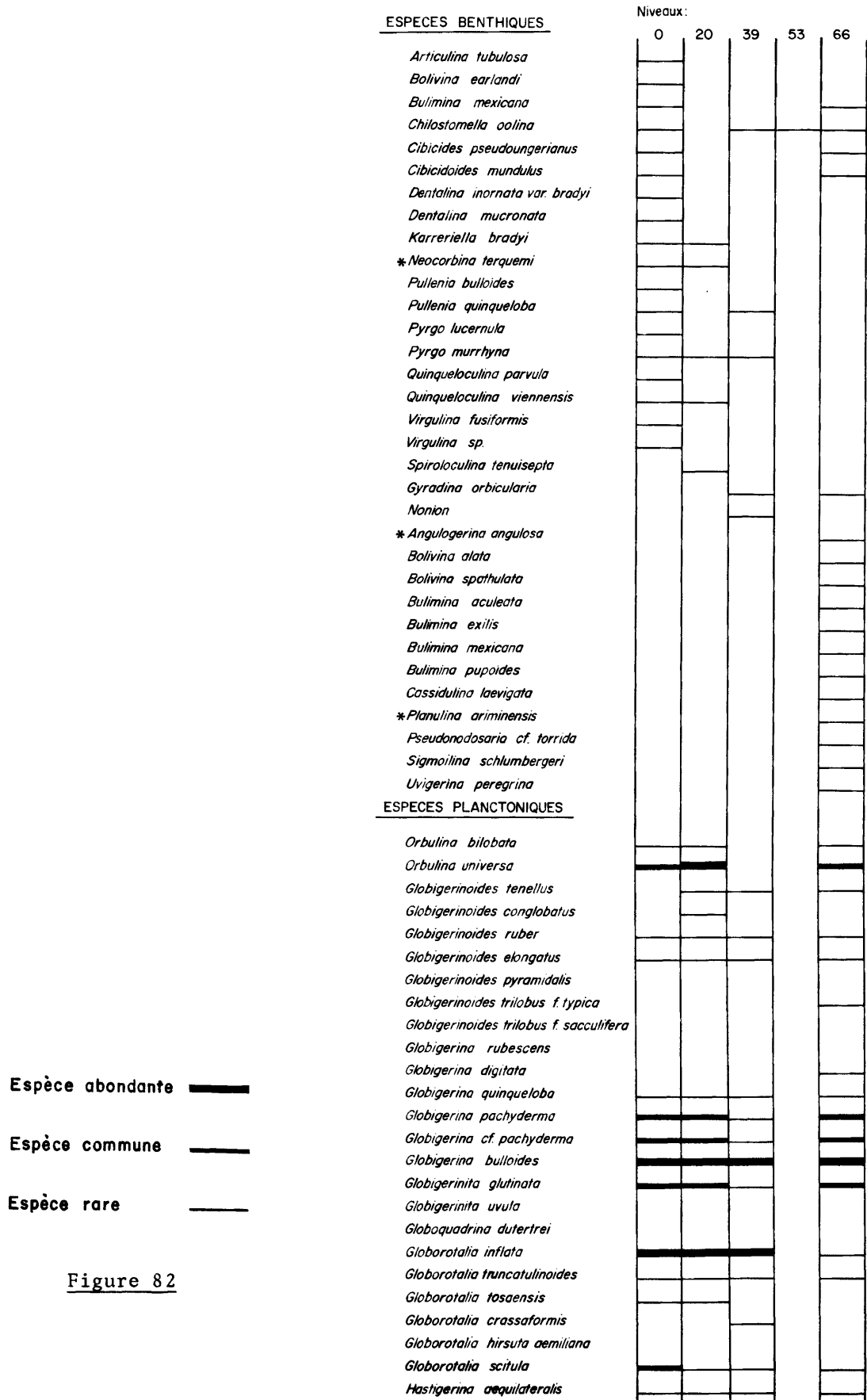


Figure 82

sont les coquilles parvenues à la profondeur de 2 392 m atteinte par le forage.

- Foraminifères planctoniques

Les espèces les plus fréquentes sont *Globigerina bulloides* et *Globorotalia inflata* alors que *Orbulina universa*, *Globigerina pachyderma*, *Globigerinita glutinata* sont communes. Quelques spécimens de *Globigerinoides trilobus* f. *typica* (66 cm) *Globorotalia tosaensis* (0 cm, 20 cm) et *Globorotalia crassaformis* (39 cm) ont été trouvés.

Globorotalia truncatulinoides est rare.

Fréquence des Foraminifères planctoniques (niveaux 0 - 20 - 39 - 66 cm; figure 81)

L'examen des diagrammes permet de constater que l'espèce typique d'eau froide de *Globigerina pachyderma* senestre et d'eau chaude *Hastigerina aequilateralis* se retrouvent côte-à-côte à tous les niveaux.

On peut remarquer en outre que les espèces d'eau froide sont plus abondantes au niveau 0 cm alors que celles d'eau chaude le sont au niveau 39 cm.

Il est incontestable que les sédiments sont d'âge Quaternaire. Quelques espèces de Foraminifères benthiques et planctoniques sont remaniées du Pliocène.

Le fait que l'on retrouve à certains niveaux des formes planctoniques dont les exigences écologiques sont opposées pourrait être en relation avec des déplacements de sédiments mis en évidence par l'analyse de la microfaune benthique. Cette carotte a été prélevée dans la zone des dômes, il n'est pas exclu que des glissements se soient produits sur les flancs de ces formations.

En conséquence, il est difficile de proposer une interprétation paléoclimatique. Il apparaît toutefois certaines similitudes dans la composition microfaunistique avec la carotte précédente. Dans une certaine mesure, on note un réchauffement à la base de la carotte.

Distribution des Foraminifères planctoniques

| | 0 | | 20 | | 39 | | 66 | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Nb | F % | Nb | F % | Nb | F % | Nb | F % |
| <i>Hastigerina aequilateralis</i> | 25 | 0,7 | 5 | 0,1 | 88 | 2,2 | 44 | 1,6 |
| <i>Globigerinoides trilobus</i> f. <i>typica</i> | | | | | | | 6 | 0,2 |
| <i>Globigerinoides ruber</i> | 36 | 1,1 | 85 | 2,4 | 36 | 1,0 | 126 | 4,6 |
| <i>Globigerinoides elongatus</i> | 40 | 1,2 | 49 | 1,4 | 100 | 2,5 | 58 | 2,1 |
| <i>Orbulina universa</i> | 438 | 13,5 | 979 | 28,2 | 872 | 22,4 | 299 | 11,0 |
| <i>Globorotalia truncatulinoides</i> (f. senestre) | 6 | 0,1 | 206 | 6,0 | | | 47 | 1,7 |
| <i>Globorotalia truncatulinoides</i> (f. dextre) | | | 4 | 0,1 | | | 15 | 0,5 |
| <i>Globorotalia inflata</i> | 1714 | 53,1 | 1537 | 44,3 | 2748 | 70,6 | 1605 | 59,5 |
| <i>Globorotalia scitula</i> | 308 | 9,5 | 190 | 5,5 | 16 | 0,4 | 140 | 5,1 |
| <i>Globigerina pachyderma</i> (f. senestre) | 36 | 1,1 | 25 | 0,7 | 28 | 0,7 | 40 | 1,4 |
| <i>Globigerina pachyderma</i> (f. dextre) | 620 | 19,2 | 370 | 10,6 | | | 312 | 11,5 |
| Total | 3223 | | 3450 | | 3880 | | 2692 | |
| Nombre d'individus comptés | 1186 | | 768 | | 970 | | 1408 | |

6.2 - Pollens

A l'égal de la carotte T 7, les sédiments se sont révélés stériles.

6.3 - Nannoplancton

La nannoflore des cinq échantillons de la carotte T 13 étudiés est pauvre en individus, mais les espèces représentées sont assez nombreuses.





Le pourcentage d'éléments détritiques fins est important.

Les remaniements de formes tertiaires (*Discoaster* sp., *Discoaster barbadiensis* et *Discolithus multiporus*) et crétacées (*Watznaueria barnesae* et des formes empâtées indéterminables) sont assez importants, ils constituent en fait 5 à 10 % du total de la nannoflore.

Il y a également présence de nombreux spécimens (comparables à des placolithes car on distingue les deux disques) recristallisés et absolument indéterminables. Il est de plus impossible de reconnaître si ces formes sont secondaires ou tertiaires.

Parmi les espèces de nannofossiles calcaires représentées, on trouve : *Gephyrocapsa oceanica*, *Coccolithus pelagicus*, *Cyclcoccolithus leptoporus* et *Helicosphaera carteri* fréquents dans tous les échantillons, ce qui indique un âge quaternaire moyen pour l'ensemble de cette carotte. Des individus de *Rhabdosphaera stylifer* sont fréquents dans les niveaux 20 et 39 et rares dans l'échantillon 53. Enfin des exemplaires de *Cyclolithella annula* considérés comme indicateurs de milieu chaud sont présents mais rares dans les niveaux 39 et 66. L'interprétation de ces résultats est délicate du fait de la coexistence dans tous les échantillons de *Coccolithus pelagicus* (indicateur de milieu froid) et *Helicosphaera carteri* (indicateur de milieu chaud) et la présence à certains niveaux seulement de *Rhabdosphaera stylifer* et *Cyclolithella annula*. On peut toutefois supposer que cette carotte témoigne d'un milieu tempéré plus froid dans le bas que dans le haut de la carotte.

Cette carotte se distingue de toutes les autres examinées dans le cadre de ce travail par la présence à tous les niveaux de rares spécimens de *Gephyrocapsa* b.d.c. semblables à ceux de *Gephyrocapsa oceanica* mais dont le pont central est constitué de plusieurs éléments. Cette espèce n'a, à ma connaissance, jamais été figurée, il s'agit peut-être d'une variété de *Gephyrocapsa oceanica* ou d'une espèce distincte. Ce point reste à élucider de même que sa présence dans cette seule carotte.

Espèce abondante  Espèce rare 
 Espèce commune  Trouvailles isolées 

Carotte T 13

| | 0 | 20 | 39 | 53 | 66 |
|---|---|----|----|----|----|
| <i>Gephyrocapsa oceanica</i> Kamptner | | | | | |
| <i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller | | | | | |
| <i>Cyclococcolithus leptoporus</i> (Murray et Blackmann) Kamptner | | | | | |
| <i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich) Kamptner | | | | | |
| <i>Gephyrocapsa</i> sp. | | | | | |
| <i>Pontosphaera discopora</i> Schiller | | | | | |
| <i>Discolithus japonicus</i> (Takayama) Clocchiatti | | | | | |
| <i>Pontosphaera</i> cf. <i>P. discopora</i> Schiller | | | | | |
| <i>Thoracosphaera saxea</i> Kamptner | | | | | |
| <i>Rhabdosphaera stylifer</i> Lohmann | | | | | |
| <i>Rhabdosphaera claviger</i> Murray et Blackmann | | | | | |
| <i>Cyclolithella annula</i> (Cohen) Boudreaux et Hay | | | | | |
| * Formes crétacées indéterminables | | | | | |
| * <i>Discoaster</i> sp. | | | | | |
| * <i>Watznaueria barnesae</i> (Black) Perch-Nielsen | | | | | |
| * <i>Discoaster bardadiensis</i> Tan Sin Hok | | | | | |
| * <i>Discolithus multiporus</i> Kamptner | | | | | |

7 - GEOCHIMIE

7.1 - Teneurs en éléments majeurs (S.N.P.A.)

- teneurs en éléments majeurs (dosage en fluorescence X) exprimées en % du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O | CaO | Fe ₂ O ₃ | MgO | TiO ₂ | *P.F. |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|------|--------------------------------|------|------------------|-------|
| 8-10 | 40,8 | 10,5 | 1,2 | 21,3 | 4,8 | 3,4 | 0,5 | 21,3 |
| 16-18 | 44,9 | 10,5 | 1,4 | 16,9 | 4,8 | 3,1 | 0,5 | 18,3 |
| 32-34 | 44,8 | 10,1 | 1,2 | 17,9 | 4,0 | 3,0 | 0,4 | 18,5 |
| 51-53 | 43,7 | 10,6 | 1,3 | 17,7 | 4,6 | 3,2 | 0,5 | 19,1 |
| 59-61 | 38,9 | 10,0 | 1,0 | 21,9 | 4,2 | 3,2 | 0,4 | 21,2 |
| Erreur à 95 % de probab. | ±0,8 | ±0,4 | ±0,1 | ±0,3 | ±0,1 | ±0,3 | ±0,05 | ±0,2 |

* P.F. : perte au feu (de 105°C à 900°C).

7.2 - Teneurs en éléments-traces

7.2.1 + analyses S.N.P.A.

- teneurs en éléments-traces (quantomètre) exprimées en ppm du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|
| 8-10 | 69 | 71 | 4 | 25 | 77 | 15 | 105 | 46 | 29 | 656 | 347 | 11 | 540 |
| 16-18 | 75 | 89 | 2 | 43 | 74 | 15 | 98 | 38 | 17 | 545 | 294 | 10 | 380 |
| 32-34 | 68 | 76 | 1 | 47 | 65 | 13 | 92 | 33 | 16 | 470 | 279 | 9 | 460 |
| 51-53 | 59 | 82 | 3 | 19 | 68 | 14 | 90 | 37 | 22 | 646 | 309 | 10 | 420 |
| 59-61 | 68 | 71 | 3 | 7 | 68 | 16 | 99 | 38 | 27 | 715 | 318 | 10 | 440 |
| reproduc- tibilité | ±7,0 | ±7,6 | ±1,8 | ±3,0 | ±5,0 | ±2,8 | ±6,0 | ±5,6 | ±5,0 | ±30 | ±20 | ±2,4 | ±35 |

- teneurs en éléments-traces (quantomètre) exprimées en ppm de la fraction fine calcinée à 900°C et teneurs en TiO₂ en %. (analyses sur la fraction fine (< 5 µ) et décarbonatée du sédiment total).

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn | TiO ₂ |
|-----------------------|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|------------------|
| 8-10 | 205 | 200 | 2 | 13 | 130 | 88 | 225 | 100 | 20 | 114 | 380 | 33 | 310 | 1,15 |
| 16-18 | 195 | 223 | 2 | 15 | 156 | 58 | 218 | 98 | 24 | 136 | 441 | 35 | 270 | 1,19 |
| 32-34 | 204 | 210 | 3 | 13 | 134 | 75 | 200 | 91 | 17 | 113 | 439 | 34 | 290 | 1,23 |
| 51-53 | 195 | 206 | 3 | 12 | 142 | 62 | 208 | 87 | 21 | 118 | 430 | 34 | 270 | 1,23 |
| 59-61 | 208 | 216 | 1 | 8 | 141 | 54 | 232 | 100 | 21 | 113 | 380 | 35 | 230 | 1,14 |
| reproduc- tibilité | ±11 | ±12 | ±0,8 | ±2,5 | ±6,5 | ±4,0 | ±10 | ±8 | ±4 | ±9 | ±25 | ±3 | ±20 | ±0,08 |

7.2.2 + analyses B.R.G.M.

Résultats exprimés en g/t par rapport au sédiment total séché à 105-110°C.

| N° | | | | | | | | |
|----------------------------|----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| ELEMENTS | | 4-7 | 18-20 | 23-25 | 36-39 | 42-44 | 56-59 | 63-65,5 |
| *limites de dosabilité g/t | | | | | | | | |
| Be | 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 |
| B | 20 | 77 | 77 | 71 | 71 | 42 | 63 | 69 |
| Sc | 2 | 11 | 10 | 9 | 9 | 7 | 6 | 8 |
| V | 10 | 98 | 112 | 85 | 79 | 65 | 75 | 102 |
| Cr | 5 | 112 | 104 | 92 | 88 | 100 | 97 | 103 |
| Mn | 10 | 605 | 593 | 626 | 550 | 648 | 504 | 657 |
| Co | 5 | 20 | 16 | 13 | 13 | 12 | 12 | 13 |
| Ni | 5 | 68 | 61 | 53 | 51 | 63 | 60 | 53 |
| Cu | 3 | 27 | 46 | 29 | 17 | 16 | 17 | 30 |
| Zn | 20 | 77 | 68 | 63 | 67 | 51 | 58 | 64 |
| Ga | 2 | 17 | 15 | 16 | 16 | 13 | 15 | 21 |
| Ge | 6 | - | - | - | - | - | - | - |
| Sr | 5 | 407 | 360 | 475 | 452 | 540 | 446 | 295 |
| Y | 10 | 18 | 14 | < 10 | 16 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Mo | 7 | - | - | - | - | - | - | - |
| Ag | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| Cd | 6 | - | - | - | - | - | - | - |
| Sn | 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 |
| Ba | 5 | 268 | 280 | 233 | 235 | 197 | 266 | 340 |
| Yb | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | < 2 | < 2 |
| Pb | 6 | 25 | 33 | 25 | 25 | 10 | 19 | 26 |
| Bi | 3 | - | - | - | - | - | - | - |

7.3 - Chimie de l'eau interstitielle

| | 23-25 cm | 56-59 cm |
|-----------------|----------|----------|
| | mg/l | mg/l |
| Ca | 352,0 | 328,0 |
| Mg | 1276,8 | 1272,0 |
| Na | 14319,0 | 14541,0 |
| K | 469,8 | 469,8 |
| Cl | 25773,0 | 25986,0 |
| SO ₄ | 1409,7 | 1430,3 |

8 - MATIERE ORGANIQUE

8.1 + analyses S.N.P.A.

- teneurs en carbone organique et soufre (analyses sur le sédiment total).

| Cotes (en cm) | C.O.* | S** total | S** élémentaire | S** des mono-sulfures | S** organique | S** des bi-sulfures | S** des sulfates |
|---------------|-------|-----------|-----------------|-----------------------|---------------|---------------------|------------------|
| 8-10 | 0,18 | 1700 | 0,2 | 6,0 | 430 | 270 | 600 |
| 16-18 | 0,23 | 1800 | 0,7 | 10,0 | 400 | 800 | 800 |
| 32-34 | 0,18 | 1900 | 0,2 | 0,5 | 360 | 440 | 600 |
| 51-53 | 0,16 | 1800 | 50 | 150 | 380 | 620 | 700 |
| 59-61 | 0,13 | 2100 | 1,0 | 3,0 | 230 | 670 | 900 |

* : en % du sédiment étuvé à 105°C (erreur à 95 % de probabilité : ± 6 % relatifs)

** : en ppm du sédiment étuvé à 105°C, erreurs non évaluées.

- teneurs en carbone organique et en soufre exprimées en % de la fraction fine étuvée à 105°C.

| Cotes (en cm) | C.O.* % | S % |
|---------------|---------|------|
| 8-10 | 1,24 | 0,04 |
| 16-18 | 0,73 | 0,04 |
| 32-34 | 1,05 | 0,08 |
| 51-53 | 1,04 | 0,08 |
| 59-61 | 0,83 | 0,11 |

* : erreur à 95 % de probabilité : ± 6 % relatifs.

8.2 + analyses B.R.G.M.

Résultats exprimés en % du sédiment total séché à 105-110°C.

| Niveaux | S | C total | CO ₃ | C minéral |
|---------|------|---------|-----------------|-----------|
| 4- 7 | 0,02 | 3,85 | 19,70 | 3,81 |
| 18-20 | 0,01 | 3,65 | 18,20 | 3,52 |
| 23-25 | 0,04 | 4,60 | 23,45 | 4,54 |
| 36-39 | 0,02 | 4,55 | 22,80 | 4,41 |
| 42-44 | 0,04 | 5,20 | 22,45 | 4,35 |
| 56-59 | 0,02 | 4,35 | 22,45 | 4,35 |
| 63-65,5 | 0,03 | 4,05 | 18,50 | 3,58 |

SITE T 14

1 - DETERMINATION DU SITE

1.1 - Sismique (figures 83 - 84)

Dôme T. Ce dôme avait été foré par l'I.F.P. au cours de l'essai de l'appareillage.

1.2 - Sondeur de vase (figure 85 - 86)

Le dôme T apparaît formé par deux bombements contigus séparés par une légère dépression. Sur les sommets de ces pointements, il n'est pas possible de définir des niveaux réflecteurs. Par contre, sur le flanc sud du dôme T, on note la présence d'un horizon à 20 m environ sous la surface.

1.3 - Bathymétrie (figures 87, 88, 89, 90)

Le dôme T forme une colline surélevée d'environ 100 m au-dessus de la plaine abyssale. Le sommet du dôme est à environ 2 350 m de profondeur (profondeur donnée par la carte qui diffère de celle donnée par notre sondeur et par la longueur du câble filé). Au nord, la plaine abyssale est à 2 450 m et au sud à 2 600 m.

2 - OPERATIONS DE FORAGE

2.1 - Chronologie

Le navire foreur se place exactement sur le sommet du dôme T, qui a déjà fait l'objet du forage T 0 (I.F.P.), au moyen d'une bouée mouillée par le bateau accompagnateur.

2.2 - Enfoncement (figure 91)

La vitesse de pénétration est rapide (30 m/h) est régulière jusqu'à 20 m de profondeur. Ensuite, elle varie en fonction des passées de compaction différente rencontrées.

2.3 - Carottage

Le carottage est déclenché à 45 m sous le fond. La carotte remontée ne mesure que 60 cm en raison du tassement. Il s'agit d'une vase beige très homogène.

SE

NW

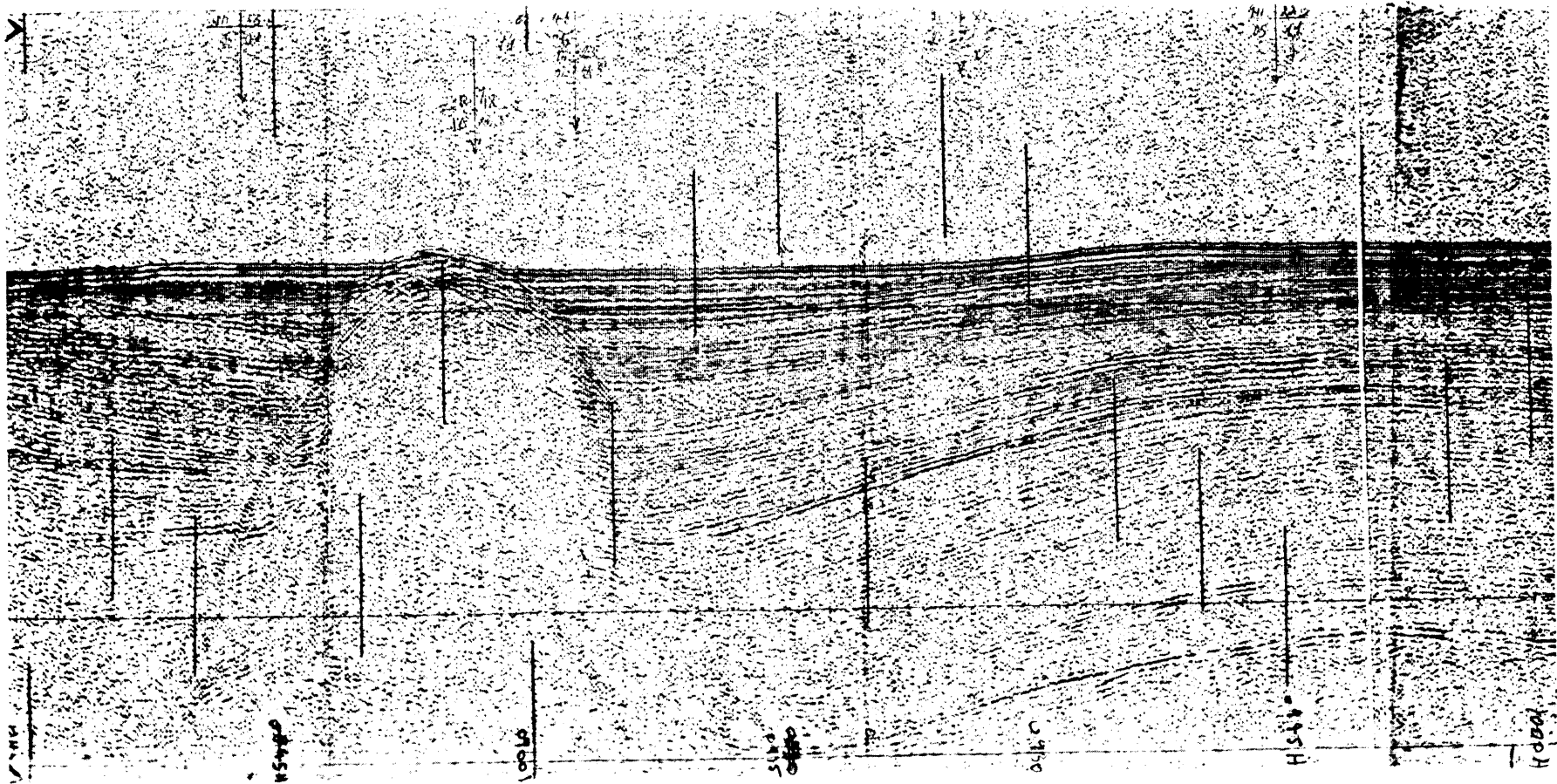


Figure 83

Profil Sparker du M.O.M. d'orientation SE-NW passant à proximité du
sommet du dôme T. (profil 9 M 7 B de 8 h 30 à 10 h 00)
L'espace entre les deux traits horizontaux représente 1 seconde t.d.

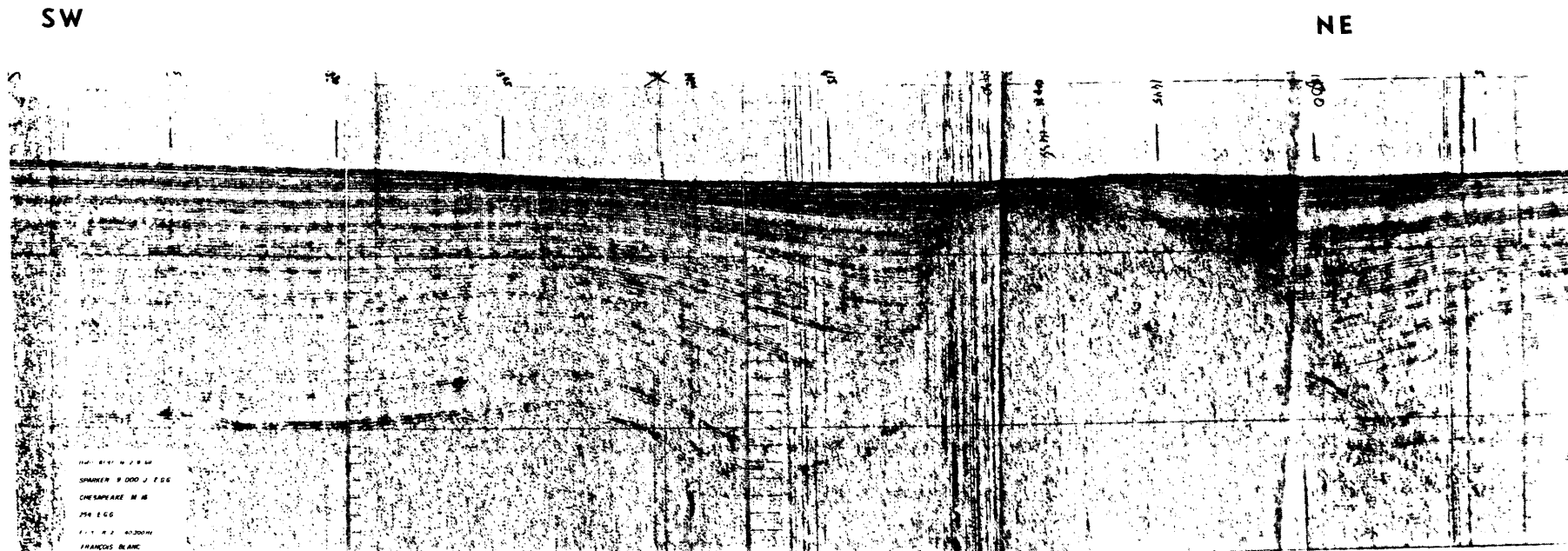


Figure 84

Profil Sparker du M.O.M. (9000 J) (Profil 8 F 47 de 13 h 00 à 15 h 25)
 Cette coupe est orientée SW-NE et elle passe sur le flanc du dôme.
 La hauteur totale d'enregistrement représente 2,5 secondes t.d.



Figure 85

Sondeur de sédiment

Photographie d'un profil NS sur le dôme. On remarque un fort réflecteur à 25 ms sous le fond.

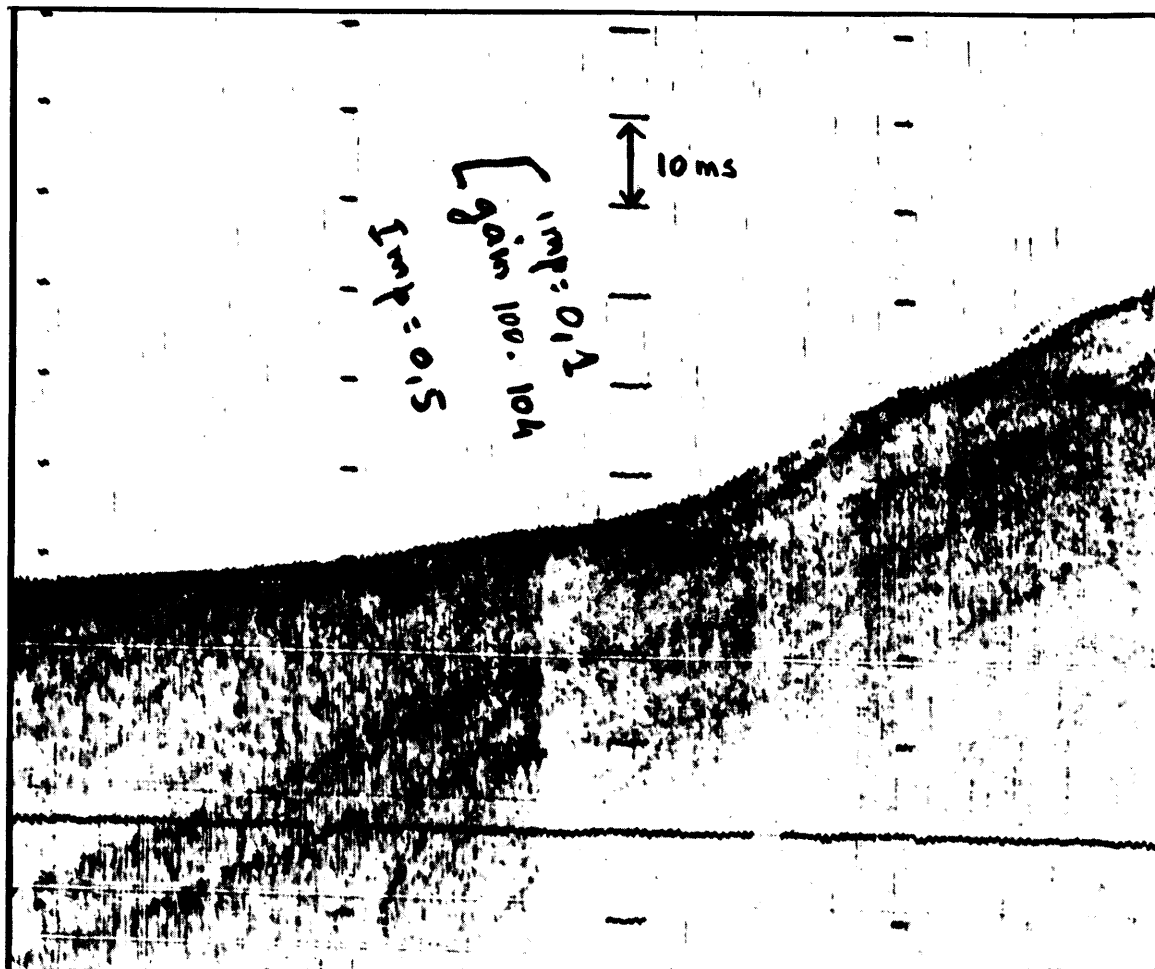


Figure 86

Sondeur de sédiment

Profil sur la paroi NW du dôme à proximité du lieu de forage T 0.
On observe un réflecteur à 15 ms et un autre à 25 ms.

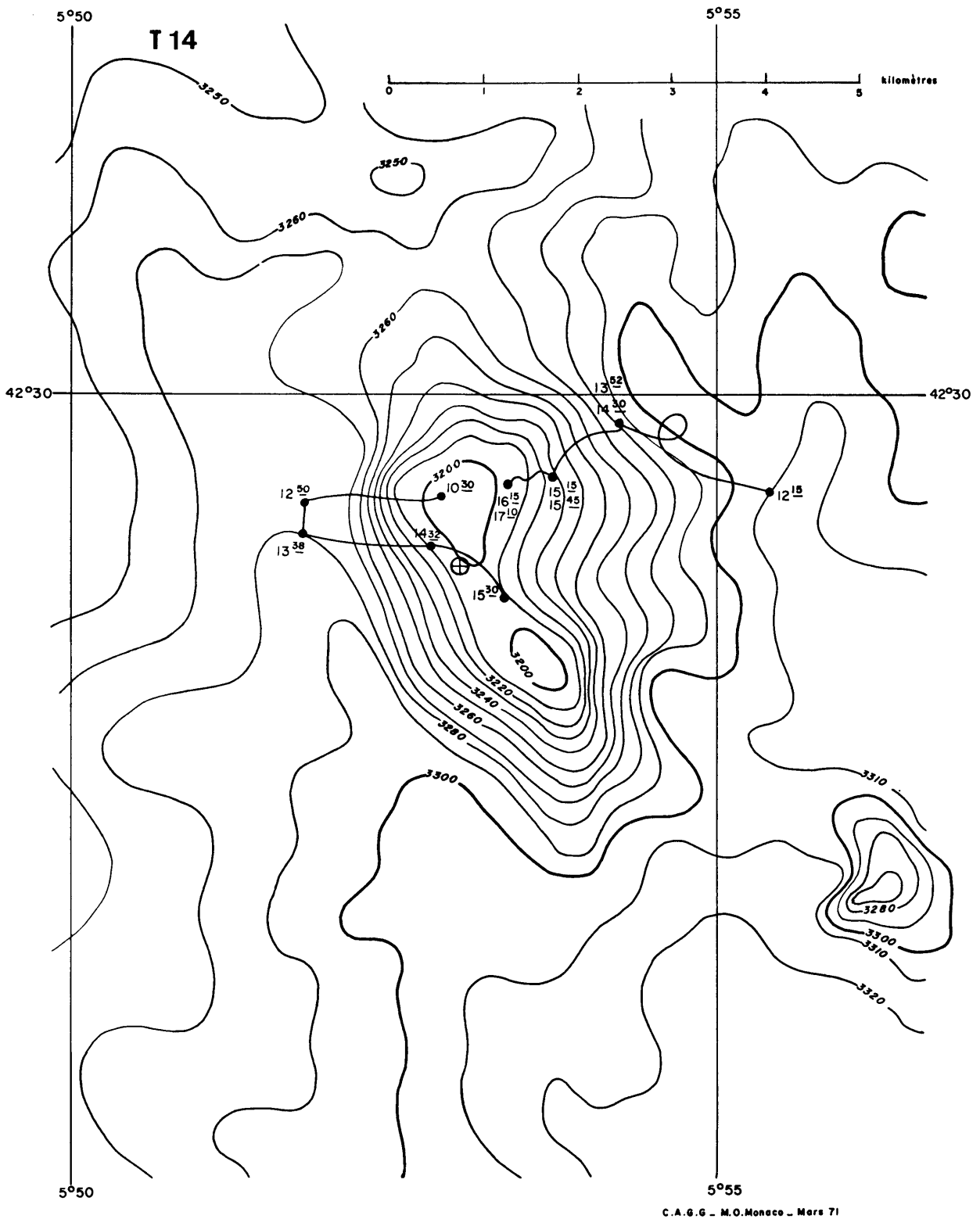


Figure 87 - Bathymétrie

Extrait de la carte bathymétrique du M.O.M. au 1/50 000 e. Les isobathes représentent des valeurs en millisecondes.

On a représenté les routes suivies par le bathyscaphe (plongées T 21 et T 22). Position du forage.

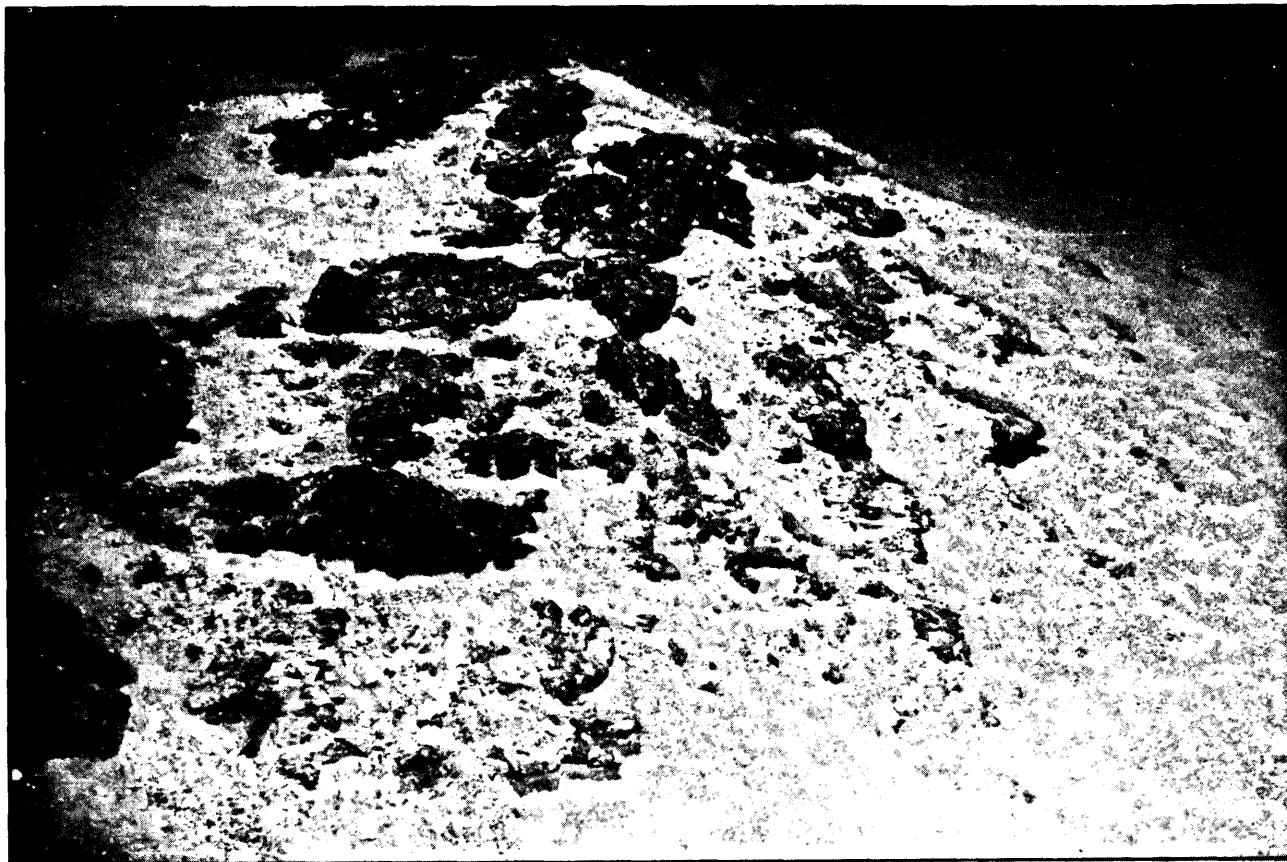


Figure 88

Photographie de la pente NE du sommet principal du dôme T.

Photographie réalisée à bord du bathyscaphe ARCHIMEDE par O. LEENHARDT.
Ces plaques recouvertes d'une patine de manganèse ont été interprêtées
par cet auteur comme le cap-rock d'un dôme de sel.

Aucun échantillon n'a encore pu être prélevé.

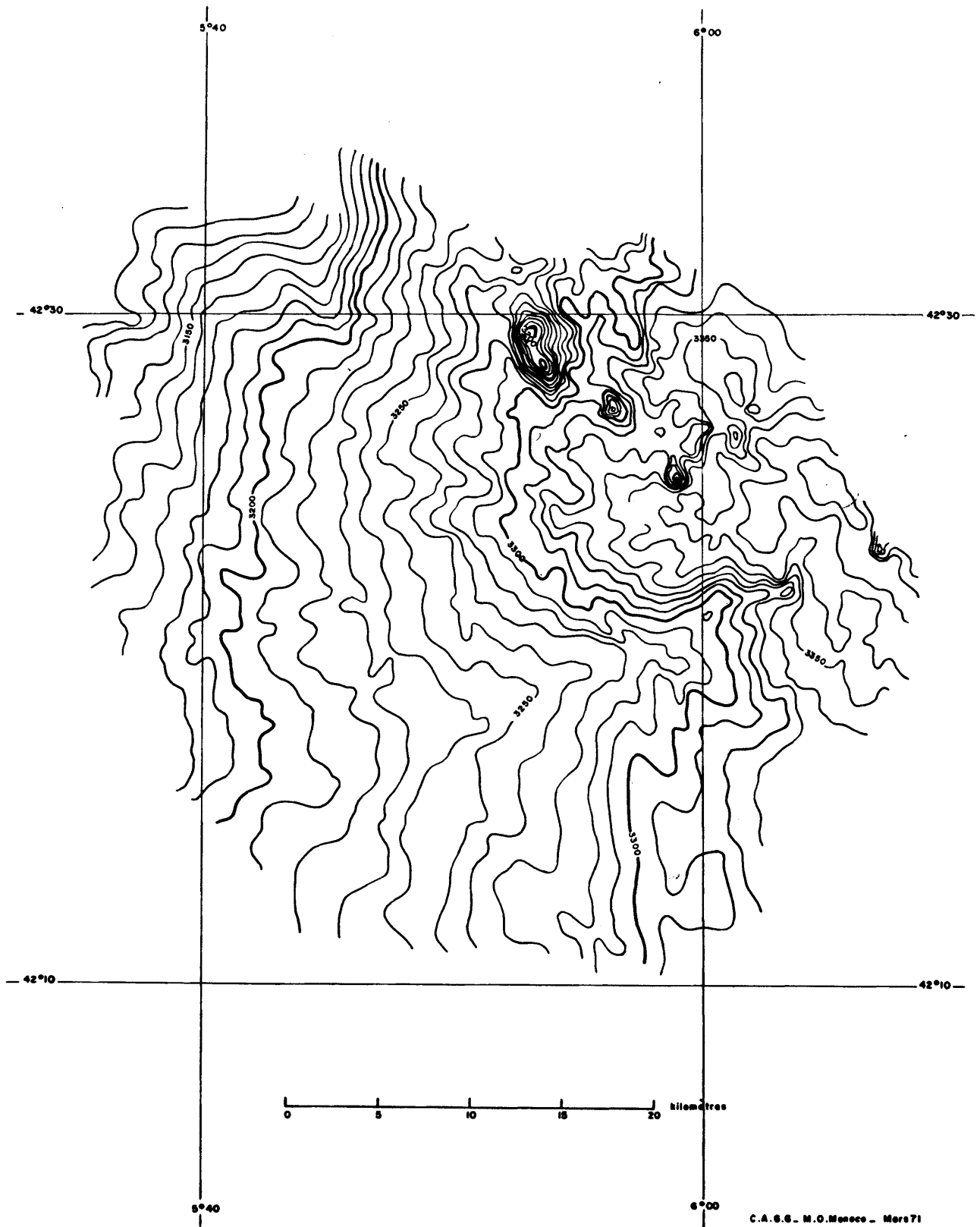


Figure 89

Carte bathymétrique de la région des dômes au sud de Toulon.
Carte réalisée par le Musée Océanographique de Monaco (G. ALLA).

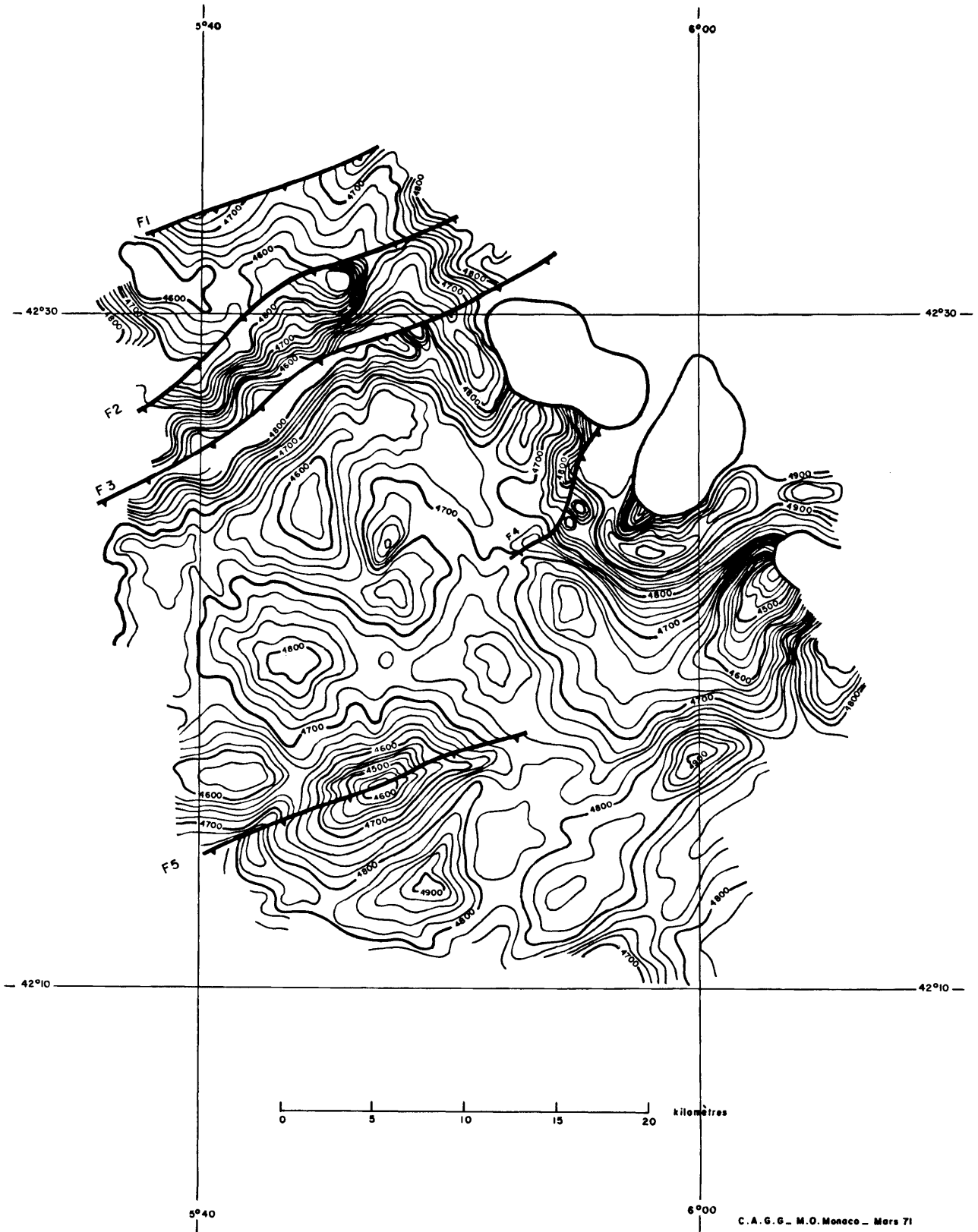


Figure 90

Carte des isochrones du réflecteur K (toit du sel) dans la région des dômes au sud de Toulon.

Carte réalisée par le Musée Océanographique de Monaco (G. ALLA).

Carotte T 14

Profondeur 2515 m.

Prélèvement à 45 m.

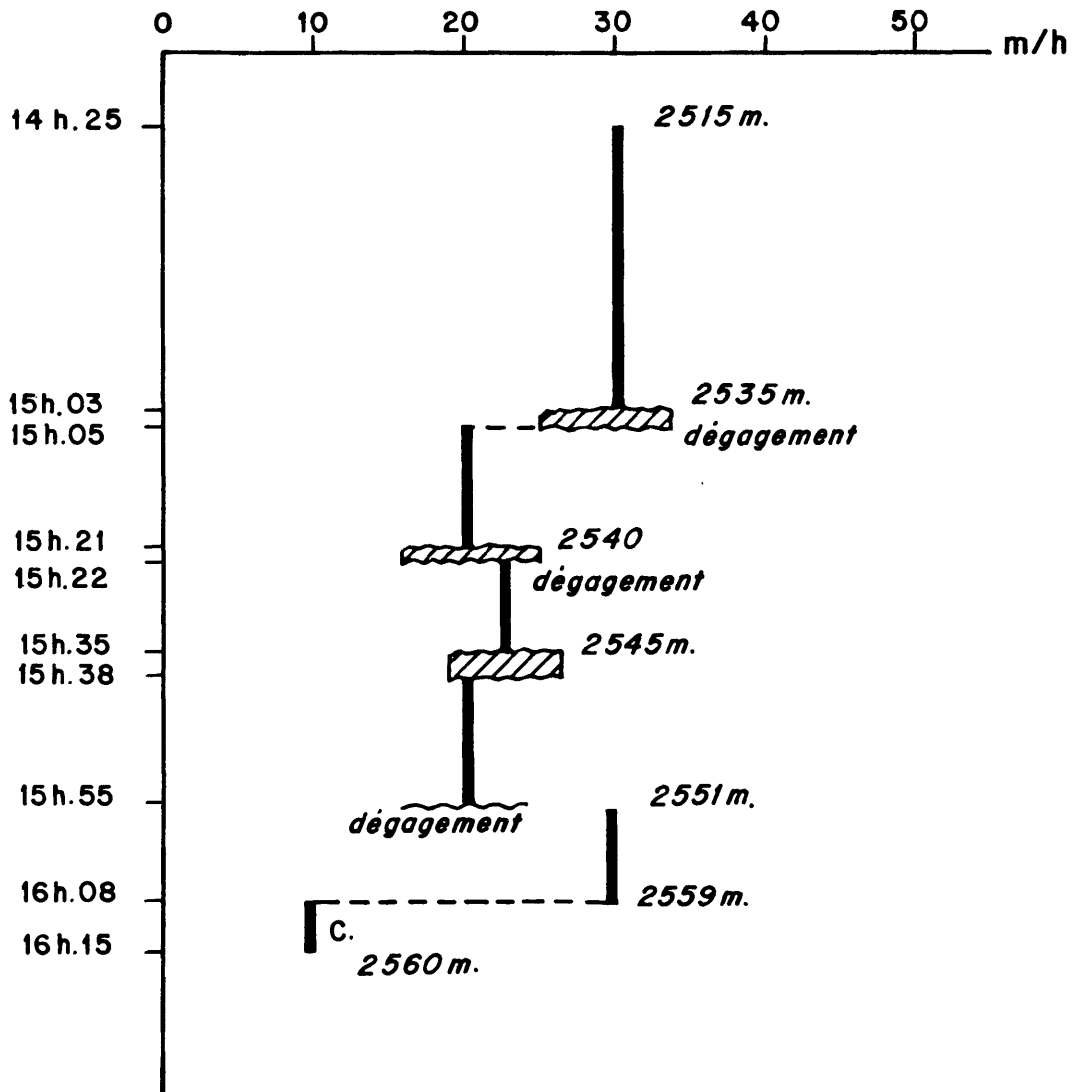


Figure 91

4 - PROPRIETES PHYSIQUES

4.1 - Teneur en eau

| Niveau | H ₂ O % |
|---------|--------------------|
| 3- 6 cm | 24,10 |
| 15-18 | 21,25 |
| 28-31 | 23,20 |

4.2 - Pourcentage de la fraction grossière

| Niveau | < 63 μ % |
|--------|----------|
| 0 cm | 0,5 |
| 20 | 0,5 |
| 32 | 0,2 |

5 - MINERALOGIE

5.1 - Observations effectuées sur la fraction grossière du sédiment (Ø > 63 μ)

| <u>Niveaux</u> | <u>Débris d'origine organique</u> | <u>Fraction détritique</u> |
|----------------|---------------------------------------|--|
| 0 cm | Fraction rare. | Quartz anguleux luisants très abondants, émoussés abondants. Glauconie et pyrite rares. Fraction minérale très abondante. Micas très abondants. Matériel usé. |
| 20 cm | Fraction très rare. | Fraction très abondante. Remarques analogues |
| 32 cm | Idem Présence de fibres végétales. | Idem |

Remarque : A tous les niveaux, la fraction grossière du sédiment est très rare.

5.2 - Examen des frottis

| Niveau | Sable | Sablon | Poudre |
|--------|-------|--------|--------|
| 20 cm | 5 | 10 | 85 |

. terrigène : 40 %
 muscovite : 25
 quartz : 10
 pyrite : 5

. organique : 60 %

nannoplancton : 60

Les gros éléments sont surtout terrigènes, présence de minéraux sombres.
C'est une vase terrigène à nannoplancton.

5.3 - Minéralogie de la phase argileuse (S.N.P.A.)

Données analytiques

| Cotes (en cm) | *h1 | h2 | h3 | h4 | h5 | h6 | h7 | h8 | h9 | h10 | h11 | h12 |
|------------------|-----|----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 8-10 | 58 | 24 | 265 | 184 | 104 | 50 | - | 108 | 228 | 45 | 15 | 71 |
| 21-23 | 42 | 11 | 212 | 152 | 70 | 38 | - | 77 | 163 | 26 | 12 | 47 |
| 25-27 | 46 | 12 | 235 | 157 | 80 | 38 | - | 80 | 185 | 28 | 12 | 56 |

*h : hauteurs en mm, mesurées sur diagrammes enregistrés à 2°/mn

Composition *estimée* de la phase argileuse

| Cotes (en cm) | Interstrat. irrégul. I - M | Illite | Chlorite | Kaolinite |
|------------------|----------------------------------|--------|----------|-----------|
| 8-10 | 5 | 56 | 39 | tr. |
| 21-23 | 3 | 57 | 40 | tr. |
| 25-27 | 4 | 58 | 38 | tr. |

Paramètres cristallographiques de l'illite

| Cotes (en cm) | *l 001 | $\frac{002}{001}$ | $\frac{005}{001}$ | $\frac{005}{002}$ |
|------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 8-10 | 3,0 | 0,39 | 0,27 | 0,68 |
| 21-23 | 2,4 | 0,33 | 0,22 | 0,67 |
| 25-27 | 2,5 | 0,34 | 0,24 | 0,70 |

*l : largeur en mm, à mi-hauteur, mesurée sur diagrammes enregistrés à 8°/mn.

5.4 - Relations argiles - climats (H. CHAMLEY)

(niveaux 0, 20, 32 cm)

Les argiles ont un caractère typiquement froid tout au long de la carotte : l'étroitesse du pic à 10 Å de l'illite (2 à 2,5/10° θ), la rareté du complexe gonflant, l'abondance relative et la très bonne cristallinité de la chlorite, l'absence totale de kaolinite, la présence notable de feldspath sont des traits que l'on peut trouver dans les sols peu évolués de climat froid et sec. Ils vont de pair avec la couleur grise du sédiment, témoignant de l'absence de rubéfections, donc de la faiblesse des hydrolyses. Le sommet du sondage présente un léger rafraîchissement.

L'âge de ces dépôts est typiquement glaciaire. Il pourrait s'agir de Würm inférieur ou moyen, voire de Riss. Le faciès n'est en tous les cas pas celui de dépôts quaternaires anciens.

6 - MICROPALÉONTOLOGIE

6.1 - Foraminifères

Les sédiments prélevés dans cette carotte sont tout à fait remarquables. Tout d'abord, la fraction grossière des dépôts est rare (> 1 %). Ensuite, elle est composée pour une large part d'éléments détritiques dont l'aspect est usé : quartz et micas. Enfin, les débris d'origine organique ainsi que les Foraminifères sont extrêmement rares. Il faut remarquer que le niveau 32 cm renferme des fibres végétales.

Abondance relative des Foraminifères (Figure 93)

- Foraminifères benthiques

La carotte T 14 est extrêmement pauvre en Foraminifères benthiques à l'exception de *Chilostomella oolina*. Le niveau 0 ne contient que 2 ou 3 individus de *Biloculinella globosa* ; à 20 cm, on trouvait encore huit espèces, dominées par la fréquence des *Chilostomella oolina* et à 32 cm cette espèce très abondante constituait à peu près seule la microfaune de ce niveau.

Or *Chilostomella oolina* est déjà connue au Pliocène en particulier dans certains horizons. On est donc en droit de se demander si la carotte T 14, en raison de sa richesse en *C. oolina* et de l'aspect particulier du sédiment constitué par un matériel usé, n'a pas atteint une formation plus ancienne que les autres (Quaternaire ancien ou même déjà Pliocène ?).

- Foraminifères planctoniques

Les espèces les plus fréquentes sont *Globigerina pachyderma*, *Globorotalia inflata*, *Globorotalia scitula* et à un degré moindre *Globigerina bulloides* et *Globigerina quinqueloba*.

A tous les niveaux, les Foraminifères sont de petite taille. A 0 cm, certains individus ont un enduit de limonite.

Fréquence des Foraminifères planctoniques (Niveaux 0, 20, 32 cm ; figure 92)

Les espèces d'eau froide sont bien représentées à 0 cm, dominantes à 20 cm

et 32 cm. Il est important de remarquer que cette dominance est due à l'augmentation de fréquence de *Globorotalia scitula*.

Les espèces rencontrées sont toutes d'âge quaternaire. Compte-tenu de la rareté des formes planctoniques aux niveaux 0 et 32 cm, il est impossible de présenter une interprétation paléoclimatique. On peut constater toutefois que ces dépôts contiennent une microfaune d'eau froide.

CAROTTE T14

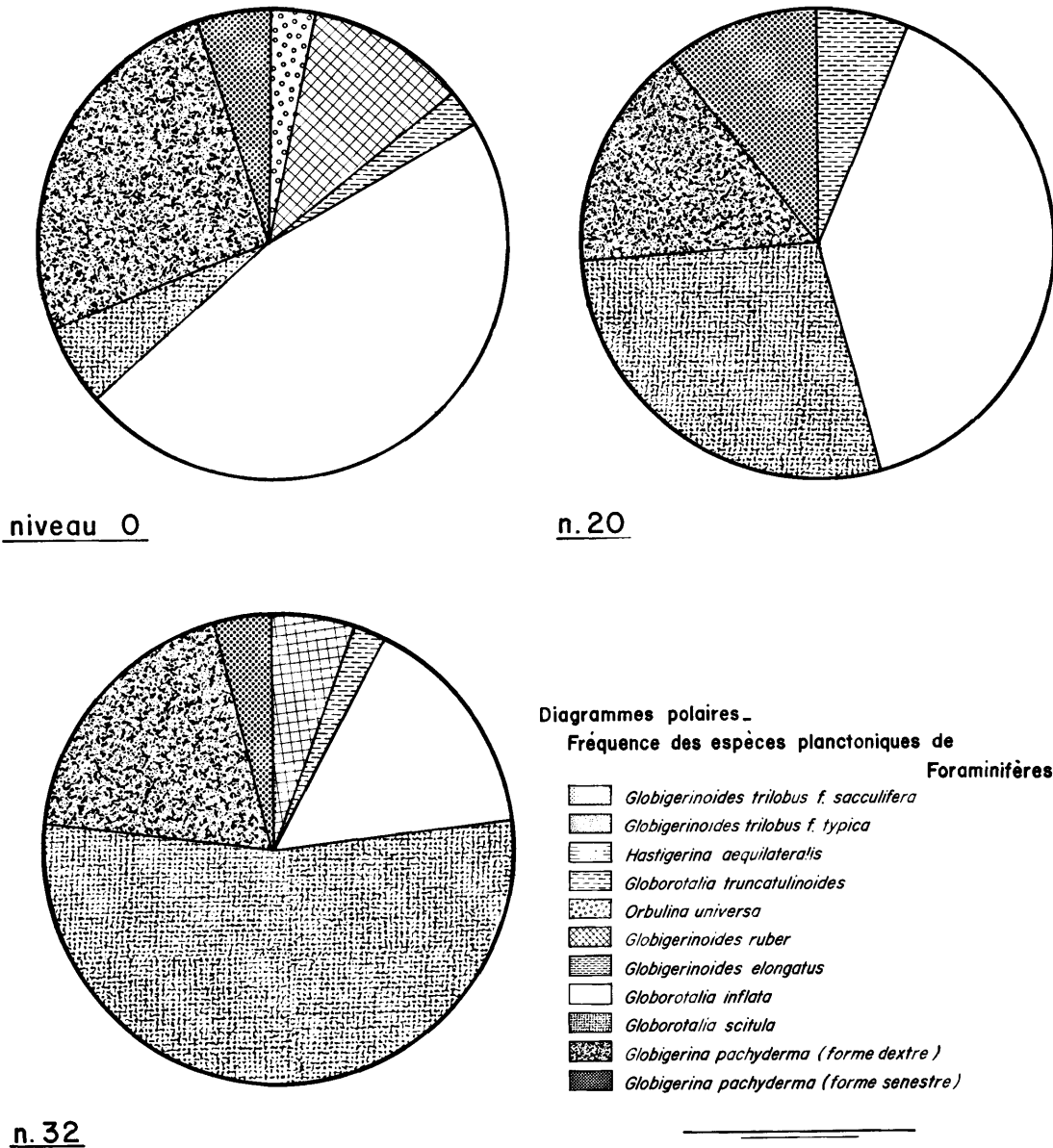


Figure 92

La faible quantité de matériel grossier ainsi que l'abondance des espèces de Foraminifères planctoniques de petite taille amènent à penser que ce sédiment aurait été l'objet d'un tri granulométrique. La carotte a été prélevée sur le sommet d'un dôme. On peut envisager dans ce cas que les particules sédimentaires aient été soumises à une certaine ségrégation ; ce qui semble corroboré par la rareté des Foraminifères benthiques.

T.14

Liste et abondance des Foraminifères contenus dans chaque échantillon de sédiment.

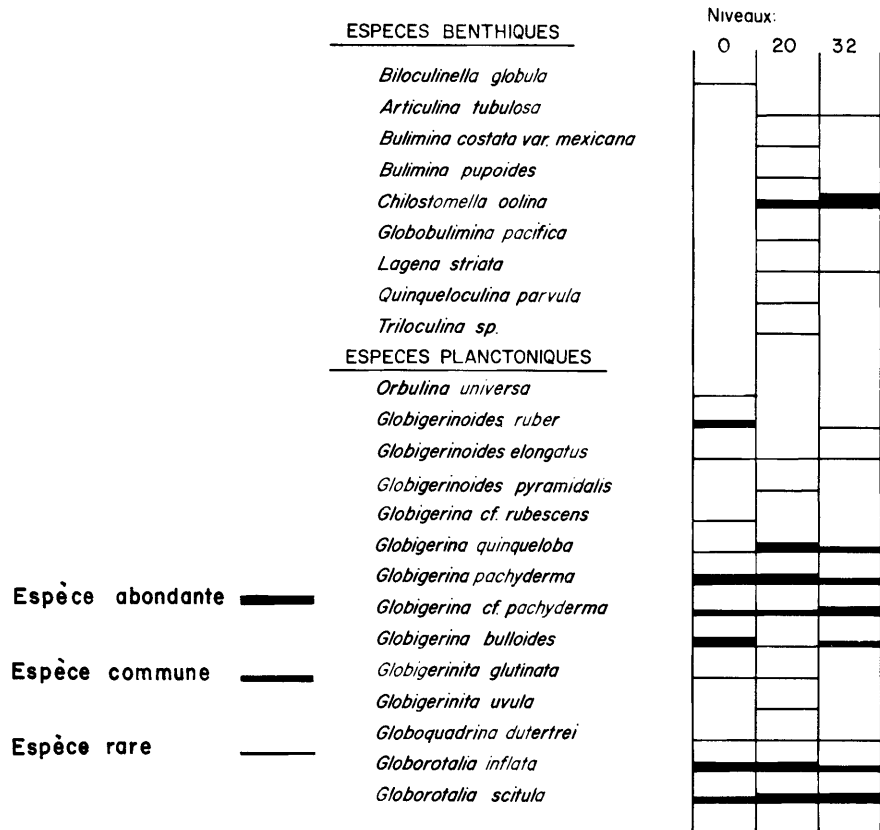


Figure 93

Distribution des Foraminifères planctoniques

| | 0 | | 20 | | 32 | |
|---|-----|------|------|------|-----|------|
| | Nb | F % | Nb | F % | Nb | F % |
| <i>Globigerinoides ruber</i> | 20 | 12,8 | | | 48 | 5,6 |
| <i>Globigerinoides elongatus</i> | 4 | 2,5 | 8 | 6,1 | 16 | 1,8 |
| <i>Orbulina universa</i> | 4 | 2,5 | | | | |
| <i>Globorotalia inflata</i> | 78 | 46,1 | 540 | 41,6 | 144 | 17,0 |
| <i>Globorotalia scitula</i> | 8 | 5,1 | 396 | 30,5 | 456 | 53,7 |
| <i>Globigerina pachyderma</i> (f. senestre) | 8 | 5,1 | 148 | 11,4 | 32 | 5,7 |
| <i>Globigerina pachyderma</i> (f. dextre) | 40 | 25,6 | 204 | 15,7 | 152 | 18,0 |
| Total | 156 | | 1296 | | 848 | |
| Nombre d'individus comptés | 39 | | 324 | | 106 | |

Remarques :- Absence de fraction granulométrique supérieure à 0,4 mm
 - Aux niveaux 0 et 32, les comptages ont été effectués sur la totalité des Foraminifères planctoniques.

6.2 - Pollens

L'analyse palynologique a été effectuée sur trop peu de niveaux pour qu'il soit possible de situer cette séquence avec certitude dans l'échelle stratigraphique et d'y déceler des variations significatives de changements climatiques.

Exception faite du niveau 0 cm (cf. pp. 284, 285), la flore semble fortement appauvrie et les Pins (Pins méditerranéens et quelques Pins silvestres) constituent l'essentiel du couvert forestier. Les accompagnent Sapin, Epicéa, Bouleau, en pourcentages minimes, et plantes de la strate herbacée dont les Graminées forment la majorité.

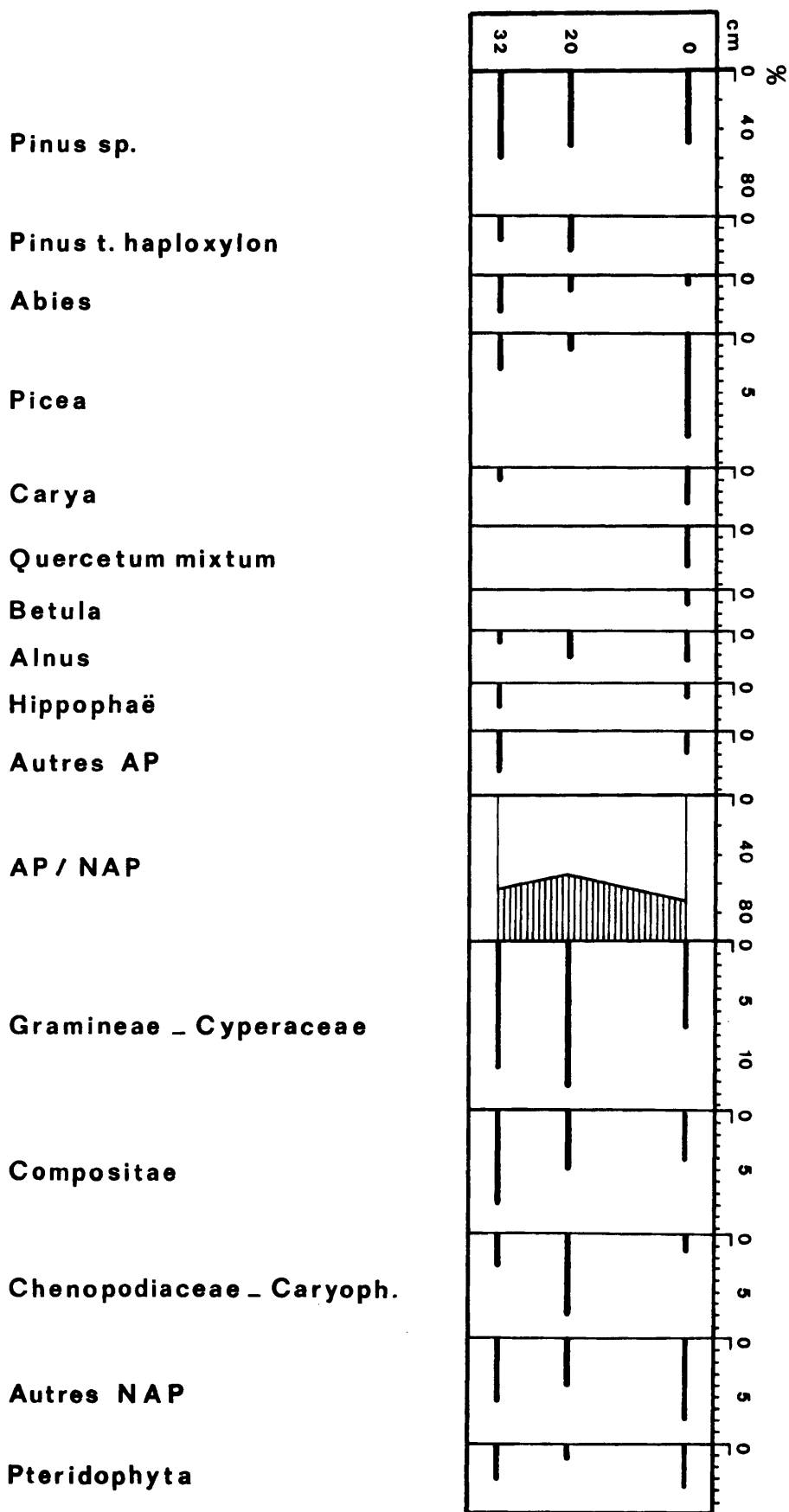
Au contraire au sommet de la séquence, deux types de plantes d'exigences climatiques différentes se développent simultanément, d'une part, l'Epicéa, qui atteint 9 %, d'autre part les Feuillus thermophiles de l'Europe tempérée (*Quercus pubescens*, *Ulmus*, *Carpinus*), auxquels se mêle un seul exotique *Carya*.

Cet ensemble de faits, un peu contradictoires, semble évoquer une période à climats peu différenciés ou plus ou moins téléscopés, telle que celle d'un finiglaciaire ou d'un début d'inter-stadiaire, l'éventualité d'un remaniement des dépôts au sommet de la carotte n'étant pas à exclure.

Néanmoins, la présence de reliques tertiaires que ne semblent pas avoir survécu aux froids rissiens, et l'absence des Sapins et Charmes, signalés en Europe en forts pourcentages au Mindel-Riss, autoriseraient à dater cette séquence du Quaternaire moyen et peut-être de la fin du Mindel II, les genres *Picea* et *Tsuga* étant peu abondants et inexistantes.

Fréquences relatives des essences et herbacées

| Niveaux en cm | 0 | 20 | 32 |
|------------------------------------|------|-----|-----|
| <i>Pinus sp.</i> | 48,5 | 49 | 54 |
| <i>Pinus t. haploxyton</i> | - | 3 | 2 |
| <i>Abies</i> | 0,6 | 1,3 | 2 |
| <i>Picea</i> | 9 | 1,3 | 3,3 |
| <i>Carya</i> | 3 | - | 0,6 |
| <i>Quercus</i> | 1,3 | - | - |
| <i>Ulmus</i> | 0,6 | - | - |
| <i>Carpinus</i> | 1,3 | - | - |
| <i>Betula</i> | 1,3 | - | 1,3 |
| <i>Alnus</i> | 2,5 | 2,5 | 1,3 |
| <i>Hippophaë</i> | 1,3 | - | 2 |
| Autres AP | 2 | - | 3,5 |
| Gramineae - Cyperaceae | 15 | 25 | 11 |
| Compositae | 4 | 5 | 8 |
| <i>Artemisia</i> | 2 | 4 | 6 |
| Chenopodiaceae- Caryophyllaceae | 1,3 | 7 | 3 |
| Autres NAP | 7 | 4 | 5,5 |
| Ptéridophyta | 4 | 1 | 3 |
| Varia + indéterm. | 9 | 13 | 12 |
| AP | 72 | 56 | 68 |
| NAP | 29 | 44 | 32 |
| Σ AP + NAP | 160 | 75 | 152 |



TEREBEL 14 - Diagramme pollinique

6.3 - Nannoplancton

La carotte T 14 est très courte (34 cm) et l'examen des trois échantillons qu'elle a fournis a montré dans l'ensemble une nannoflore assez pauvre tant en espèces qu'en individus.





Il faut noter que cette carotte contient également une proportion assez élevée d'éléments détritiques fins.












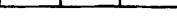






Les espèces remaniées appartiennent uniquement au Crétacé (*Watznaueria barnesae* et quelques formes indéterminables). Elles constituent environ 5 à 10 % du total de la nannoflore tout au long de la carotte.

Comme dans la carotte T 13, il y a présence d'assez nombreuses (10 à 15 %) formes recristallisées comparables à des placolithes et absolument indéterminables.

Les nannofossiles calcaires rencontrés le plus fréquemment dans les trois niveaux sont : *Gephyrocapsa oceanica* et *Cyclococcolithus leptoporus*, cela situe donc cette carotte dans le Quaternaire moyen. On trouve aussi mais plus rarement *Discolithus japonicus*. Dans les deux niveaux inférieurs (20 et 32 cm), on rencontre de rares individus de *Coccolithus pelagicus* (indicateur de milieu froid) et des spécimens plus fréquents de *Helicosphaera carteri* (indicateur de milieu chaud). Toute tentative d'explication climatologique de ces trois échantillons semble hasardeuse du fait même de leur nombre limité.

Carotte T 14

Espèce abondante  Espèce rare 
 Espèce commune  Trouvailles isolées 

| | 0 | 20 | 32 |
|---|---|---|---|
| <i>Gephyrocapsa oceanica</i> Kamptner |  |  |  |
| <i>Cyclococcolithus leptoporus</i> (Murray et Blackmann) Kamptner |  |  |  |
| <i>Discolithus japonicus</i> (Takayama) Clocchiatti |  |  |  |
| <i>Rhabdosphaera</i> sp. |  |  |  |
| <i>Pontosphaera discopora</i> Schiller |  |  |  |
| <i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller |  |  |  |
| <i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich) Kamptner | | | |
| <i>Helicosphaera</i> cf. <i>H. wallichi</i> (Lohmann) n. comb. | | | |
| <i>Scyphosphaera aspteinii</i> Lohmann | | | |
| * <i>Watznaueria barnesae</i> (Black) Perch-Nielsen | | | |
| *Formes crétacées indéterminables | | | |

7 - GEOCHIMIE

7.1 - Teneurs en éléments majeurs (S.N.P.A.)

- teneurs en éléments majeurs (dosage en fluorescence X) exprimées en % du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O | CaO | Fe ₂ O ₃ | MgO | TiO ₂ | *P.F. |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------|-------|
| 8-10 | 43,7 | 13,5 | 2,3 | 15,5 | 4,8 | 3,5 | 0,5 | 17,5 |
| 21-23 | 41,7 | 13,1 | 2,1 | 17,0 | 5,0 | 3,7 | 0,5 | 18,8 |
| 25-27 | 42,9 | 12,7 | 2,1 | 16,8 | 4,8 | 3,5 | 0,4 | 18,1 |
| erreur à 95 % de probab. | ± 0,8 | ± 0,4 | ± 0,1 | ± 0,3 | ± 0,1 | ± 0,3 | ± 0,05 | ± 0,2 |

* P.F. : perte au feu (de 105°C à 900°C)

7.2 - Teneurs en éléments-traces

7.2.1 + analyses S.N.P.A.

- teneurs en éléments-traces (quantomètre) exprimées en ppm du sédiment étuvé à 105°C (analyses sur sédiment total).

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|
| 8-10 | 84 | 113 | 2 | 18 | 87 | 24 | 113 | 42 | 17 | 523 | 464 | 15 | 530 |
| 21-23 | 92 | 97 | 1 | 13 | 84 | 22 | 108 | 34 | 14 | 429 | 388 | 13 | 640 |
| 25-27 | 90 | 117 | 4 | 24 | 85 | 24 | 122 | 41 | 24 | 600 | 443 | 17 | 510 |
| reproduc- tibilité | ±7,0 | ±7,6 | ±1,8 | ±3,0 | ±5,0 | ±2,8 | ±6,0 | ±5,6 | ±5,0 | ±30 | ±20 | ±2,4 | ±35 |

- teneurs en éléments-traces (quantomètre) exprimées en ppm de la fraction fine calcinée à 900°C et teneurs en TiO₂ en % (analyses sur la fraction fine (< 5μ) et décarbonatée du sédiment total)

| Cotes (en cm) | B | V | Mo | Pb | Zn | Cu | Cr | Ni | Co | Sr | Ba | Ga | Mn | TiO ₂ |
|-----------------------|-----|-----|------|------|------|------|-----|----|----|-----|-----|----|-----|------------------|
| 8-10 | 206 | 241 | 1 | 5 | 106 | 48 | 229 | 74 | 18 | 156 | 660 | 39 | 220 | 1,37 |
| 21-23 | 223 | 237 | 1 | 3 | 103 | 51 | 218 | 68 | 9 | 141 | 586 | 37 | 190 | 1,30 |
| 25-27 | 220 | 248 | n.d. | 3 | 104 | 57 | 228 | 71 | 17 | 154 | 623 | 38 | 180 | 1,35 |
| reproduc- tibilité | ±11 | ±12 | ±0,8 | ±2,5 | ±6,5 | ±4,0 | ±10 | ±8 | ±4 | ±9 | ±25 | ±3 | ±20 | ±0,08 |

n.d. : non détecté.

7.2.2 + analyses B.R.G.M.

Résultats exprimés en g/t par rapport au sédiment total séché à 105-110°C.

| ELEMENTS N° | | | | |
|----------------------------|----|-----|-------|-------|
| *limites de dosabilité g/t | | 3-6 | 15-18 | 28-31 |
| Be | 3 | < 3 | 4 | 4 |
| B | 20 | 60 | 107 | 106 |
| Sc | 2 | 9 | 11 | 13 |
| V | 10 | 77 | 110 | 120 |
| Cr | 5 | 95 | 108 | 122 |
| Mn | 10 | 575 | 774 | 680 |
| Co | 5 | 23 | 15 | 17 |
| Ni | 5 | 59 | 59 | 66 |
| Cu | 3 | 21 | 31 | 32 |
| Zn | 20 | 53 | 105 | 96 |
| Ga | 2 | 15 | 23 | 22 |
| Ge | 6 | - | - | - |
| Sr | 5 | 555 | 325 | 368 |
| Y | 10 | 14 | < 10 | 19 |
| Mo | 7 | - | - | - |
| Ag | 1 | - | - | - |
| Cd | 6 | - | - | - |
| Sn | 2 | < 2 | < 2 | 4 |
| Ba | 5 | 292 | 374 | 346 |
| Yb | 2 | 3 | < 2 | 3 |
| Pb | 6 | 22 | 34 | 32 |
| Bi | 3 | - | - | - |

8 - MATIERE ORGANIQUE

8.1 + analyses S.N.P.A.

- teneurs en carbone organique et soufre
(analyses sur sédiment total)

| Cotes (en cm) | C.O.* | S** total | S** élémen- taire | S** des mono- sulfures | S** organique | S** des bi- sulfures | S** des sulfates |
|------------------|-------|--------------|-------------------------|------------------------------|------------------|----------------------------|------------------------|
| 8-10 | 0,40 | 1800 | 2,0 | 12 | 320 | 1100 | 500 |
| 21-23 | 0,48 | 2500 | 1,5 | 8 | 570 | 830 | 1200 |
| 25-27 | 0,48 | 1300 | 2,0 | 25 | 460 | 340 | 400 |

* : en % du sédiment étuvé à 105°C (erreur à 95 % de probabilité : ± 6 % relatifs)

** : en ppm du sédiment étuvé à 105°C, erreurs non évaluées.

- teneurs en carbone organique et soufre exprimées en % de la fraction fine étuvée à 105°C.

| Cotes (en cm) | C.O. % | S % |
|------------------|--------|------|
| 8-10 | 1,21 | 0,02 |
| 21-23 | 1,22 | 0,12 |
| 25-27 | 1,72 | 0,39 |

8.2 + analyses B.R.G.M.

exprimées en % par rapport au sédiment total séché à 105°C-110°C.

| Niveau | S | C total | CO ₃ | C minéral |
|--------|------|------------|-----------------|--------------|
| 3- 6cm | 0,02 | 5,35 | 27,50 | 5,32 |
| 15-18 | 0,04 | 3,95 | 18,65 | 3,61 |
| 28-31 | 0,04 | 4,15 | 19,25 | 3,73 |

SITE T 0

Cette carotte a été prélevée par l'équipe de l'Institut Français du Pétrole au cours de l'essai préliminaire du système.

L'objectif retenu était un dôme de la plaine abyssale (dôme T) au sud de Toulon. Le prélèvement a été fait par 2 500 mètres de profondeur après une pénétration de 35 m dans le fond sous-marin.

La carotte (longueur 90 cm) est constituée par une vase pélagique, sans turbidites. Le dépôt est gris-bleu, légèrement micacé. Il contient 38 % de $\text{CO}_3 \text{Ca}$ et 0,4 % de C organique. Le sédiment est très compacté, la teneur en eau ne dépasse pas 20 %.

Les analyses concernant cette carotte ont été réalisées par des spécialistes contactés par l'I.F.P.

Monsieur J. DEBYSER nous a permis de présenter ces résultats dans ce livre à titre comparatif.

1 - TENEUR EN EAU (I.F.P.)

| Niveau | H ₂ O % |
|--------|--------------------|
| 10 | 21,05 |
| 20 | 20,01 |
| 30 | 21,27 |
| 40 | 21,68 |
| 50 | 19,57 |
| 60 | 19,60 |
| 70 | 18,45 |

2 - MINERALOGIE

2.1 - Examen d'un frottis (C.O.B.)

Niveau 50 cm : sable 20 %
 sablon 20 %

. terrigène : 40 %
 quartz anguleux parfois bipyramidés : 20
 muscovite : 20

. organique : 60 %
 nannoplancton : 35
 calcite : 20
 foraminifères : 5

Des traces de :

. chlorite, hématite, plagioclase, dolomite, pyrite
. calcaire organique.

Appellation : *Vase terrigène à nannoplancton.*

2.2 - Minéralogie de la phase argileuse

(par G. DUNOYER DE SEGONZAC. Laboratoire de Géologie et de Paléontologie-
Université de Strasbourg).

Echantillon A : 65 à 75 cm au-dessus du pied de la carotte.

Echantillon B : 5 à 20 cm au-dessus du pied de la carotte.

1° - Fraction < 2 μ décarbonatée. Diffractogramme ci-joint (échantillon A)
Illite et chlorite très bien cristallisées dominantes.

Un peu de montmorillonite (< 10 %).

Traces de quartz.

L'échantillon B présente un diffractogramme très voisin avec encore un peu moins de montmorillonite.

Largeur du pic à 10 Å à mi-hauteur : 5,0 (échantillon A) - 6,0 (échantillon B). Cette largeur très faible est celle qu'on observe dans les séries fortement diagénétisées à la limite de l'anchizone (5,5). Ici ce n'est pas du tout de cela qu'il s'agit. Il s'agit de minéraux micacés très peu altérés qui ont gardé leur bonne cristallinité. De telles argiles parviennent aux bassins dans des conditions périglaciaires où les hydrolyses sont pratiquement nulles dans les profils d'altération continentale.

Il n'est pas douteux qu'il s'agisse d'une des périodes froides du Quaternaire supérieur. En admettant un taux de sédimentation minimal de 10 cm/1 000 ans, ces échantillons auraient 340 000 ans, ce qui les relierait à la première glaciation du Gunz. Mais les taux de sédimentation peuvent être beaucoup plus élevés dans cette partie de la Méditerranée, de sorte que d'autres glaciations, plus récentes, peuvent être en cause.

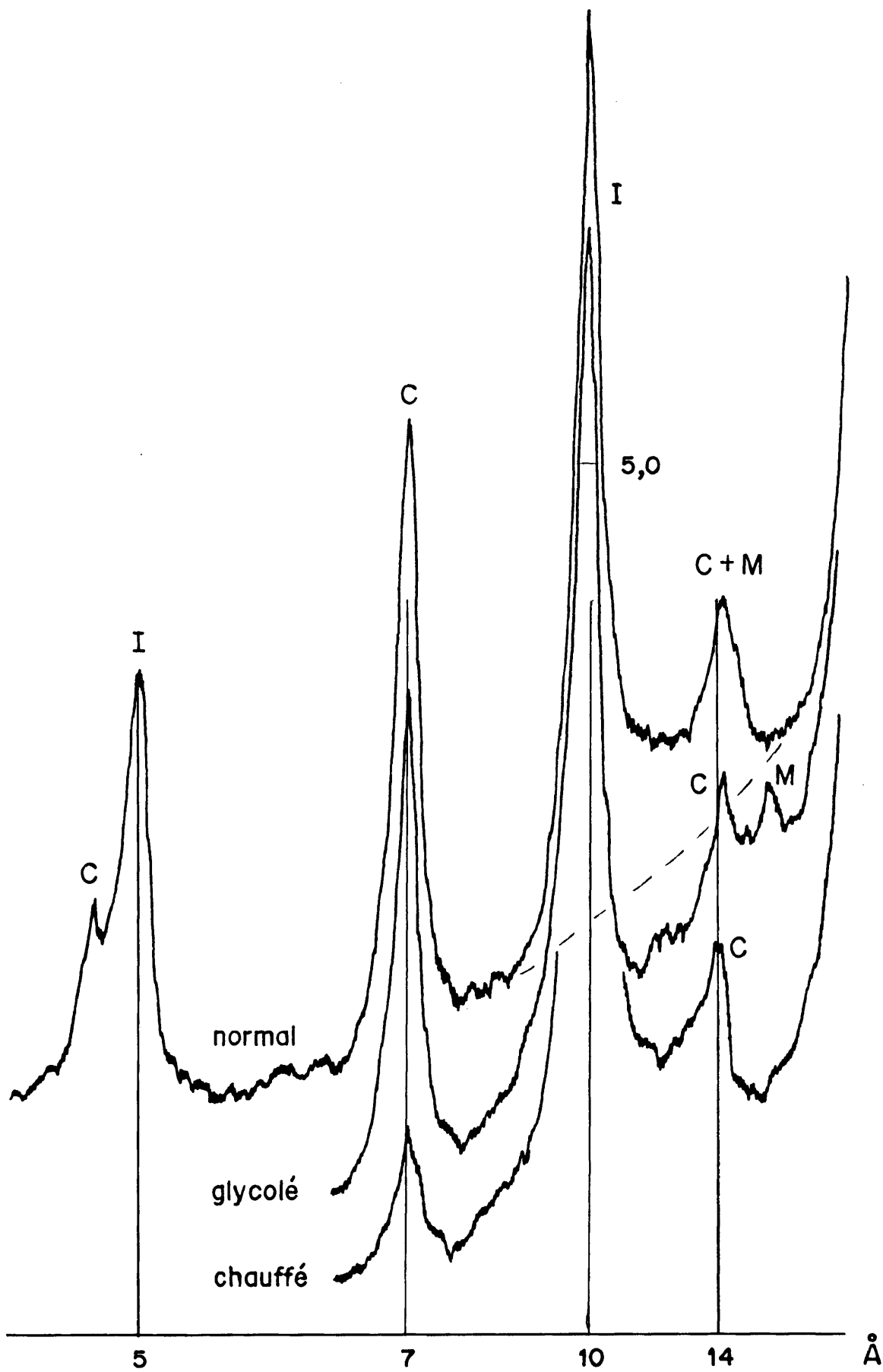
2° - Fraction grossière > 63 μ

La faune n'a pas été étudiée, mais les minéraux détritiques (micas et ferromagnésiens en particulier) sont dans un état de fraîcheur qui confirme la faiblesse des altérations continentales, donc des conditions climatiques périglaciaires.

3° - Concentration des solutions interstitielles en Na⁺, K⁺ et Mg²⁺

Des mesures ont été faites pour mettre au point une méthode de reconstitution des solutions interstitielles par dilution.

Echantillon A : 45,5 g de sédiment sec dans 800 ml d'eau distillée.



Diffractogramme de l'échantillon A

Teneur en Na_2O : 0,23 ‰ soit en Na^+ : 0,1706 g/l
 K_2O : 0,012 ‰ soit en K^+ : 0,01 g/l
 Mg^{2+} : 0,0095 ‰ soit en Mg^{2+} : 0,0095 g/l

Pour une teneur en eau de 40 % on arrive à une solution interstitielle de concentration :

Na^+ : 7,49 g/l
 K^+ : 0,439 g/l
 Mg^{++} : 0,417 g/l

$\text{K/Na} = 0,059$ $\text{Mg/Na} = 0,056$ $\text{Mg/K} = 0,95$

Echantillon_B : 50,60 g de sédiment sec dans 800 ml d'eau distillée.

Teneur en Na_2O : 0,28 ‰ soit en Na^+ : 0,2077 g/l
 K_2O : 0,0156 ‰ soit en K^+ : 0,01296 g/l
 Mg^{2+} : 0,0127 ‰ soit en Mg^{2+} : 0,0127 g/l

Pour une teneur en eau de 40 % on arrive à une solution interstitielle de concentration :

Na^+ : 0,211 g/l
 K^+ : 0,513 g/l
 Mg^{2+} : 0,502 g/l

$\text{K/Na} = 0,063$ $\text{Mg/Na} = 0,061$ $\text{Mg/K} = 0,98$

Ces données sont en bon accord avec celles de la littérature par exemple celles de CAUWET et GADEL (Bull. B.R.G.M. 1970, IV, 4, p.5-17), qui dans des eaux interstitielles extraites par pressage à 15 kg/cm^2 dans un échantillon à 19 m sous l'interface trouvent des rapports pondéraux.

$\text{K/Na} = 0,094$ $\text{Mg/Na} = 0,091$ $\text{Mg/K} = 0,97$

3 - MICROPALÉONTOLOGIE

3.1 - Foraminifères

(par G. BIZON, Institut Français du Pétrole) *)

3.1.1 - Méthode d'étude

Sept échantillons ont été prélevés sur la carotte aux cotes suivantes :
35,05 m, 35,10 m, 35,25 m, 35,42 m, 35,55 m, 35,70 m, 35,75 m.

Sur chaque échantillon, on a effectué une prise de trois grammes de sédiment sec. Le nombre de Foraminifères recueillis après lavage et tamisage (maille supérieure à 0,08 mm) s'élève à 1 200 - 1 500 individus.

Les pourcentages d'espèces ont été calculés en pratiquant la méthode du quart, sur un total de 100 à 150 spécimens.

Un deuxième essai a été réalisé en lavant 5 grammes de sédiment sec avec une maille de tamis supérieure à 0,140 mm. Le nombre total d'individus recueillis

*) Cet article sera publié dans la Revue de Micropaléontologie.

s'élève alors à 300 - 500. Les pourcentages restent sensiblement identiques. On observe seulement une diminution de l'espèce *Turborotalia quinqueloba*, de petite taille.

3.1.2 - Analyse des échantillons

Dans les sept échantillons examinés, les Foraminifères planctoniques constituent la majeure partie de la microfaune avec 99 % du total de la population. Les Foraminifères benthoniques sont seulement présents dans la proportion de 1 %.

A - Plancton

Cinq espèces constituent 90 à 95 % du total des espèces planctoniques. On les retrouve régulièrement dans les sept échantillons ; il s'agit de :

Globorotalia inflata (d'Orbigny)
Globigerina pachyderma (Ehrenberg)
Globigerina bulloides (d'Orbigny)
Turborotalia quinqueloba (Natland)
Globorotalia scitula (Brady)

Les 5 à 10 % du plancton restant sont constitués par : *Orbulina universa* et *Orbulina sp.*, *Globorotalia oscitans*, *Globigerinita glutinata*, *Globigerinita uvula*, *Globigerinoïdes cf. ruber* (forme à paroi épaisse).

Enfin, dans la proportion de 1 500 du total de la microfaune de Foraminifères, on trouve : *Globigerina eggeri*, *Globigerinoïdes ruber* (blanche), *Globigerinoïdes cf. ruber* (forme à spire très allongée), *Globorotalia cf. crassaformis*, *Hastigerina aequilateralis*, *Globorotalia cf. obesa*.

Distribution des Foraminifères planctoniques

(pourcentages calculés sur 3 grammes de sédiment sec, tamis > 0,08 mm).

| | 35,05 m | | 35,10 m | | 35,25 m | | 35,42 m | | 35,55 m | | 35,70 m | | 35,75 m | |
|----------------------------------|---------|------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | Nb | % | Nb | % | Nb | % | Nb | % | Nb | % | Nb | % | Nb | % |
| <i>Globorotalia inflata</i> | 23 | 18,4 | 25 | 26,31 | 21 | 18,58 | 23 | 16,91 | 23 | 21,49 | 21 | 14,28 | 34 | 21,79 |
| <i>Globigerina bulloides</i> | 12 | 9,6 | 4 | 4,21 | 3 | 2,65 | 1 | 0,73 | 12 | 11,21 | 3 | 2,04 | 7 | 4,48 |
| <i>Globigerina pachyderma</i> | 11 | 8,8 | 12 | 12,63 | 16 | 14,15 | 29 | 21,32 | 9 | 8,41 | 77 | 52,38 | 60 | 38,46 |
| <i>Turborotalita quinqueloba</i> | 60 | 48 | 35 | 36,84 | 35 | 30,97 | 42 | 30,88 | 47 | 43,92 | 33 | 22,44 | 47 | 30,12 |
| <i>Globorotalia scitula</i> | 13 | 10,4 | 13 | 13,68 | 30 | 26,54 | 35 | 25,73 | 6 | 5,6 | 10 | 6,8 | 5 | 3,2 |
| Autres espèces | 6 | 4,8 | 6 | 6,31 | 8 | 7,07 | 6 | 4,41 | 10 | 9,34 | 3 | 2,04 | 3 | 1,92 |
| TOTAL | 125 | | 95 | | 113 | | 136 | | 107 | | 147 | | 156 | |

Globorotalia inflata

Bien caractérisée par sa paroi épaisse et son enroulement senestogyre constant, elle présente au moins trois variations morphologiques, depuis les formes à 3 loges au dernier tour et ouverture étroite, jusqu'aux formes à 5 loges au dernier tour, à ouverture élargie. Tous ces types morphologiques se rencontrent aussi bien dans la zone à *Globorotalia inflata* du Pliocène supérieur méditerranéen que dans les formations actuelles de mer Méditerranée. Ils ne semblent pas constituer un repère valable en stratigraphie, si on les sépare.

La paroi est lisse ou granuleuse, les deux types peuvent se retrouver sur un même individu. Les pores sont présents même sur la dernière loge. R. HERB a noté ces variations sur des spécimens recueillis dans le passage du Drake, au sud de la Terre de Feu (1968).

Globigerina bulloides

Relativement peu abondante (1 à 9 %), cette espèce n'a pas fait l'objet d'une étude particulière.

Globigerina pachyderma

De 35,05 à 35,55m, cette espèce est présente dans la proportion de 10 à 21 % du total de la population de planctoniques. Vers la base de la carotte (35,70 m, 35,75 m), elle augmente sensiblement jusqu'à constituer plus de 50 % du total des Foraminifères planctoniques.

Dans les niveaux supérieurs, on observe, à côté de *Globigerina pachyderma* dextrogyre avec 4 loges 1/2 à 5 loges au dernier tour, des formes de passage à l'espèce *Globigerina incompta* Cifelli. L'épaississement de la paroi est généralement peu accentué. Le nombre de pores, calculé sur la face interne de l'avant-dernière loge s'élève de 8 à 13, pour une surface de $0,25 \mu \times 0,25 \mu$. Ce nombre décroît de loge en loge en allant vers l'embryon.

A partir de 35,70 m, *Globigerina pachyderma* devient sénestre. La paroi est plus épaisse. Le nombre de pores ne paraît pas varier par comparaison avec les formes trouvées plus haut. Le dernier tour de spire comporte le plus souvent 4 loges à 4 loges 1/2.

Quelques spécimens ont été traités à l'acide fluorhydrique. Les embryons mesurés vont de 10μ à 17μ . Ils sont suivis généralement de 5 loges augmentant rapidement en hauteur. Aux deuxième et troisième tours de spire, les loges croissent moins rapidement en hauteur. La dernière loge est toujours de taille réduite.

Turborotalia quinqueloba

Cette petite espèce constitue 22 à 48 % du total des Foraminifères planctoniques. Elle s'enroule indifféremment à gauche ou à droite. La languette ombilicale est plus ou moins bien développée. Quelques formes, très rares, présentent des excroissances ou allongements de la dernière et avant-dernière loge. Les loges embryonnaires sont voisines de celles de *Globigerina pachyderma*, à l'exception d'une paroi plus épaisse chez *Turborotalia quinqueloba* que chez *Globigerina pachyderma*.

Globorotalia scitula

Peu fréquente, on peut différencier deux types morphologiques. L'un avec 4 loges à 4 loges 1/2 au dernier tour de spire, l'autre comportant 5 à 6 loges. Les deux formes sont toujours dextrogyres.

B - Benthos

Les genres suivants sont représentés dans tous les échantillons dans la proportion de 1 ou 2 exemplaires pour 100 formes planctoniques : *Cassidulina*, *Bulimina*, *Gyroïdina*, *Pyrgo*, *Quinqueloculina*.

L'espèce *Hyalinea balthica* a été récoltée à la cote 35, 75 m. Très rare (4 exemplaires pour 5 grammes de sédiment sec), elle est de petite taille (0,32 mm). L'embryon observé sur un individu mesure 0,5 μ . Il est suivi d'un premier tour de 4 loges étroites, allongées latéralement. Les loges suivantes s'accroissent ensuite régulièrement.

3.1.3 - Conclusions

L'analyse de ces échantillons permet de dégager ou de préciser un certain nombre de renseignements, tant stratigraphiques que écologiques.

A - Stratigraphiques

La présence de *Hyalinea balthica* indique pour le domaine méditerranéen, au moins le Calabrien. Cette espèce vit actuellement en mer Méditerranée dans les vases bathyales, mais on la trouve également dans les vases côtières actuelles (L. Blanc-Vernet, 1967). Il s'agit donc de Quaternaire et, dans ce domaine, les renseignements que nous possédons sont trop incomplets pour dater cette série avec plus de précisions. Les travaux consultés concernent généralement la période comprise entre le Würmien III et l'Acutel. Ruggieri (1961), Selli (1967) se sont penchés sur les problèmes du Quaternaire en Italie. En Sicile et Lucanie, Wezel (1968) a étudié les Foraminifères du Calabrien et du Sicilien. Dans le Calabrien, il trouve l'association *Hyalinea balthica*, *Globigerina pachyderma* dextrogyre *Globigerinoïdes ruber*, *G. sacculifer*, etc... Cette population n'est pas tout à fait identique à celle que nous avons observée (*Hyalinea balthica*, *Globigerina pachyderma* senestrogyre, absence du genre *Globigerinoïdes*).

B - Ecologiques

La rareté des espèces de Foraminifères benthoniques indique des dépôts à assez grande profondeur d'eau. Un échantillon récent, prélevé à des fins de comparaison, au large de Toulon, et à 2 000 m de profondeur d'eau, montrait déjà le même rapport plancton/benthos : 90 %. La plancton comportait une association ayant vécu en eaux chaudes : *Globigerinoïdes ruber*, *Globorotalia truncatulinoides*, *Globigerina pachyderma* dextrogyre.

L'absence, dans la carotte, de représentants du genre *Globigerinoïdes*, à l'exception de rares formes à paroi épaissie du groupe *ruber*, l'absence de l'espèce *Globorotalia truncatulinoides*, indiquent des dépôts en eaux relativement froides. Ce refroidissement s'accroît vers la base de la carotte où *Globigerina pachyderma*

devient senestrogyre. Tous les renseignements bibliographiques convergent pour faire de *G. pachyderma* un excellent représentant de paléoclimats (Bandy, 1967, Be, 1970, 1967, Kennet, 1968, Herb, 1968, etc...). L'espèce est dextrogyre en eaux tempérées chaudes, senestrogyres en eaux froides.

En conclusion, on peut annoncer qu'il s'agit, pour ce sédiment, de dépôts d'âge Quaternaire, sédimentés à assez grande profondeur et en eaux relativement froides.

3.2 - Nannoplancton

(par A. MAC INTYRE, Lamont Doherty Geological Observatory of Columbia University, New York).

Les échantillons des niveaux 0 à 5 cm et 75 à 77 cm contiennent deux séries de coccolithes. La première est dominante et elle est constituée par une flore quaternaire présentant un nombre limité d'espèces. La deuxième série correspond à une contamination par du matériel plus ancien. Cette dernière fraction est peu importante et éparse.

L'échantillon de 0 à 5 cm contient en pourcentage :

| | |
|----------------------------------|----|
| <i>Syracosphaera tuberculata</i> | 1 |
| <i>Coccolithus huxleyi</i> | 23 |
| <i>Gephyrocapsa protohuxleyi</i> | 40 |
| <i>Gephyrocapsa caribbeanica</i> | 34 |
| <i>Helicosphaera carteri</i> | 1 |

L'échantillon de 75 à 77 cm contient :

| | |
|----------------------------------|----|
| <i>Syracosphaera tuberculata</i> | 1 |
| <i>Rhabdosphaera clavigera</i> | 1 |
| <i>Coccolithus huxleyi</i> | 21 |
| <i>Gephyrocapsa protohuxleyi</i> | 54 |
| <i>Gephyrocapsa caribbeanica</i> | 22 |

Le fait surprenant est la présence à un taux élevé de *Gephyrocapsa protohuxleyi* qui dans l'Atlantique représentent la période de 0,095 à 1,20 X 10⁶ années B.P. Mais cette espèce est encore présente dans le Pacifique quoique très rare. Nous avons toujours cru que la flore méditerranéenne était différente de celle de l'Atlantique et il se peut que cette espèce vive encore actuellement dans cet océan. En tout cas, la présence de *Coccolithus huxleyi* signifie que l'échantillon doit être plus jeune que 240 000 ans B.P. et sa grande abondance donnerait un âge maximal de 127 000 ans B.P. Les espèces de *Coccolithus huxleyi* présentes sont toutes de type chaud. Ceci combiné avec la présence de *Gephyrocapsa protohuxleyi* ferait attribuer un âge compris entre 95 000 et 127 000 ans B.P. si et seulement si *Gephyrocapsa protohuxleyi* ne vit plus actuellement en Méditerranée.

4 - GEOCHIMIE

+ Chimie de l'eau interstitielle (I.F.P.)

| Niveaux | Eau interstitielle g/l | |
|---------|---------------------------|-----------------|
| | Cl ⁻ | SO ₄ |
| 10 | 25,38 | 4,48 |
| 20 | 26,56 | 4,53 |
| 30 | 23,60 | 3,96 |
| 40 | 25,46 | 4,50 |
| 50 | 29,54 | 5,21 |
| 60 | 10,89 | 2,06 |
| 70 | 21,45 | 4,37 |

5 - MATIERE ORGANIQUE (I.F.P.)

| Niveaux | % C | % C |
|---------|---------|-----------|
| | minéral | organique |
| 10 | 4,57 | 0,41 |
| 20 | 4,63 | 0,41 |
| 30 | 4,71 | 0,42 |
| 40 | 4,29 | 0,40 |
| 50 | 4,46 | 0,42 |
| 60 | 4,49 | 0,40 |
| 70 | 4,14 | 0,38 |

Composition minéralogique et carbone organique

Quartz, calcite, argiles (illite, kaolinite)
 Carbone minéral : 4,57 % (soit 38 % de calcite)
 Carbone organique : 0,40 %.

Matière organique extractible (extraction chloroforme)

| | <u>1er prélèvement</u> | <u>2ème prélèvement</u> |
|--|------------------------|-------------------------|
| Extrait/C organique (avant désulfuration) | 1,8 % | 1,25 % |
| Extrait/C organique (après désulfuration) | | 1,1 % |

Composition de l'extrait :

hydrocarbures : 24 %
 résines : 35,5 %
 asphaltènes : 17 %
 pertes : 23,5 %

Fractionnement des hydrocarbures : saturés 95 % ; aromatiques 5 %

Traces de CH₄

Rien de C₂ à C₁₀

Traces de C₁₁ à C₁₆

Dosable de C₁₇ à C₃₁ (voir chromatogramme)

avec prédominance des hydrocarbures de rang impair en C₂₇, C₂₉, C₃₁.

Composition des hydrocarbures saturés (% volume)

| | <u>1er essai</u> | <u>2ème essai</u> |
|----------------------|------------------|-------------------|
| Paraffines | 41,55 | 43,98 |
| Naphtènes à 1 noyau | 10,83 | 11,46 |
| Naphtènes à 2 noyaux | 12,23 | 12,94 |
| Naphtènes à 3 noyaux | 11,67 | 12,35 |
| Naphtènes à 4 noyaux | 12,16 | 12,87 |
| Naphtènes à 5 noyaux | 4,45 | 4,71 |
| Naphtènes à 6 noyaux | 1,55 | 1,69 |

Traces de CO₂

NH₄⁺ non détecté.

Conclusion

Teneur en carbone organique faible, rapports extrait/C organique et hydrocarbures/C organique également faible. Composition des hydrocarbures classiques dans les sédiments récents.

S Y N T H E S E S

ETUDE DES COURBES MICROGRANULOMETRIQUES

Par G.A. AUFFRET *)

1° - Le compteur Coulter permet de tracer des courbes microgranulométriques dont le paramètre est le diamètre nominal de la particule, c'est-à-dire le diamètre d'une particule sphérique qui aurait même volume. Ce diamètre nominal est notablement différent du diamètre de la sphère équivalente (ou de même vitesse de chute) obtenue lorsqu'on utilise les méthodes par sédimentation (pipette ou densimètre).

2° - Pour interpréter les courbes obtenues, nous avons considéré les paramètres suivants :

a) médiane

b) premier quartile

c) la différence de ces deux valeurs qui est un paramètre lié au classement des particules ; plus elle est élevée, moins bien les particules sont classées. Nous avons utilisé cette valeur car le troisième quartile ne figure pas le plus souvent dans les valeurs obtenues, ce qui empêche de calculer l'indice de Trask

$$\sqrt{\frac{Q_{75}}{Q_{25}}}$$

d) teneurs en fraction $< 2 \mu$. (argile granulométrique : cette teneur peut dans une certaine mesure être corrélée avec la proportion d'argile minéralogique).

Nous avons reporté ces valeurs sur deux graphiques montrant leurs variations en fonction des différents niveaux étudiés ; ceci pour l'ensemble des échantillons prélevés au bas de la pente continentale, et pour l'ensemble de ceux prélevés au sommet des dômes.

RESULTATS (figures 95 - 95 bis)

- Echantillons du bas de la pente continentale

Les médianes des 14 échantillons étudiés sont comprises entre 1,9 et 3,5 μ . Les teneurs en fraction argileuse ont une valeur moyenne de 40 % environ et sont peu dispersées. En conclusion, ces prélèvements au pied de la pente continentale révèlent à l'échelle du décimètre (intervalle moyen entre les prélèvements) une sédimentation relativement homogène.

*) Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes.

- Echantillons prélevés au sommet des dômes

Les résultats obtenus pour ces 8 échantillons sont beaucoup moins homogènes que les précédents. La fraction inférieure à 2μ est nettement plus importante dans l'échantillon T 13. Les médianes sont comprises entre $0,7$ et $4,9 \mu$. Les valeurs de l'indice de classement varient entre $2,15$ et $7,15\mu$.

Si l'on considère l'ensemble des carottes, on peut noter que T 13, par sa teneur importante en fraction inférieure à 2μ et T 9, par ses médianes plus élevées, diffèrent notablement des échantillons prélevés en bas de pente. T 12 par contre en est plus proche et ressemble beaucoup à l'échantillon T 10 (médiane, indice de classement, et pourcentage de la fraction inférieure à 2μ).

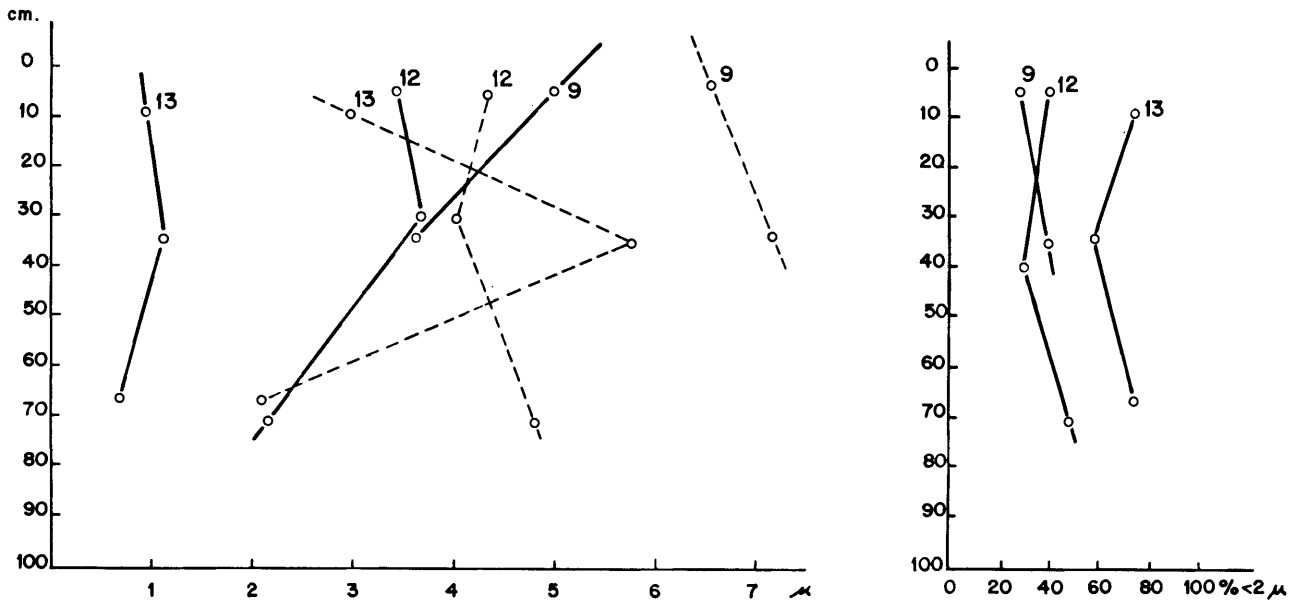


Figure 95 - Echantillons du sommet des dômes

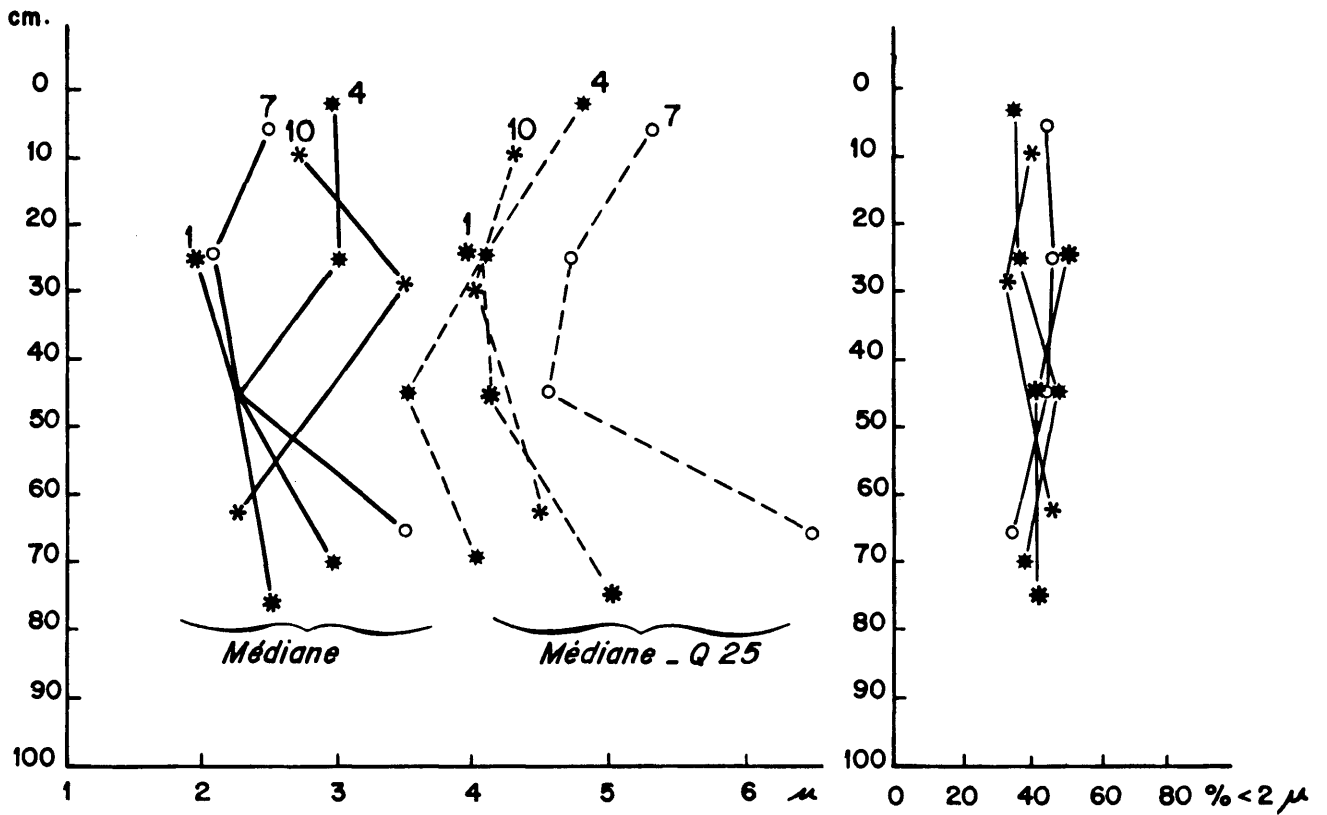


Figure 95 bis - Echantillons du bas de la pente continentale.

CONCLUSIONS SUR LES DONNEES PALEOCLIMATIQUES DES ARGILES

Par H. CHAMLEY *)

1 - DIAGENESE ET PALEOCLIMATS

a) - Les sédiments recueillis au large de la Provence, à des profondeurs d'enfouissement comprises entre 38 et 45 m, ont une composition argileuse très semblable à celle des sédiments superficiels du même secteur (CHAMLEY, 1968 a) : l'illite domine l'assemblage, suivie par la chlorite ; le complexe gonflant (montmorillonite, interstratifiés irréguliers ($10 - 14_M$) et ($14_C - 14_M$) et la kaolinite, subordonnés, sont plus abondants au large du Var qu'au large du Rhône. Les cristallinités sont de même ordre aux deux groupes de profondeurs.

Par ailleurs, comme dans les sédiments superficiels, des modifications de détail apparaissent au long des sondages dans l'association argileuse : elles concernent l'abondance relative et la "cristallinité" des différentes espèces, voire leur nature (présence ou absence de la kaolinite). Ces modifications ne présentent pas de polarité vers le bas des carottes. Par contre, elles s'observent dans les mêmes niveaux pour les différents critères, particulièrement pour ceux qui sont les plus significatifs : largeur du pic de l'illite, abondance relative du complexe gonflant ou de la chlorite, aspect des phyllites observées au microscope électronique. De plus, ces modifications s'effectuent toujours dans le même sens les unes par rapport aux autres, et sont en accord avec un modèle climatique d'argiles lors de la pédogenèse, et un simple héritage depuis le continent : dans les sédiments dont la teinte plus ou moins beige évoque des rubéfections déterminées par des hydrolyses, les minéraux détritiques primaires (illite, chlorite, feldspath) sont mal cristallisés et relativement rares, cependant que les minéraux issus de l'altération (complexe gonflant de dégradation, kaolinite) sont relativement abondants ; ces minéraux désignent un climat plus ou moins chaud et humide. L'inverse s'observe dans les niveaux gris, qui désignent pour leur part un climat plus ou moins froid et sec.

Il résulte de cela que *vers 40 mètres sous la surface des sédiments de Méditerranée nord-occidentale, l'effet de la diagenèse sur les argiles demeure aussi tenu que dans les sédiments plus superficiels. L'utilisation des minéraux argileux comme indicateurs des paléoclimats continentaux y garde donc toute sa valeur.*

*)

Faculté des Sciences de Marseille-Luminy

b) - Les tranches sédimentaires étudiées correspondent à des climats variés, qui s'échelonnent du froid au chaud. Il n'est pas rencontré de dépôt de climat très froid, tels ceux du Würm III ou IV ; Les carottes T 9 et T 14 sont respectivement de type frais et froid. Par contre il y a passablement de sédiments de type tempéré à assez chaud ; c'est le cas pour les sondages T 1, T 4, T 7, T 10, T 13. La carotte T 12, qui représente les plus grandes fluctuations, est aussi celle qui montre le réchauffement le plus important : à 40 cm le climat y apparaît nettement chaud, et désigne un interglaciaire marqué.

Les climats exprimés par les sédiments prélevés dans la zone d'influence du Var (T 4, T 7) et au bas de la pente continentale des Maures (T 1) sont tous tempérés à tempérés chauds. La région des dômes au sud du Cap Sicié, soumise à une influence rhodanienne nette mais lointaine, montre une diversité beaucoup plus grande dans les climats. Cela est particulièrement frappant pour les sondages T 9 et T 12, prélevés à proximité immédiate l'un de l'autre sur le dôme SH (2 450 m environ), à des profondeurs respectives de 41 et 45 m sous la surface du sédiment : le premier indique un climat frais constant, le second un climat successivement frais (70 cm), chaud (40 cm), frais (20 cm) et tempéré (0 cm).

2 - TURBIDITES ET PALEOCLIMATS

La plupart des carottes étudiées contiennent des lits sableux ou sablonneux, qui représentent sans doute des turbidites. Celles-ci sont attestées par l'existence fréquente d'une microfaune à très petits individus, voire à organismes littoraux (cf. Foraminifères, Y. LE CALVEZ et L. PASTOURET). Dans ces niveaux d'origine allochtone, l'argile donne comme ailleurs une indication paléoclimatique : mais elle ne présente qu'un intérêt limité, car elle est relative à des sédiments rapportés, nécessairement plus anciens et moins profonds que les sédiments pélagodétritiques autochtones. C'est notamment le cas pour les sondages T 7, T 9, T 14. Il faut donc a priori être très prudent dans l'interprétation historique de ces données paléoclimatiques. Les carottes T 12, T 13 et T 4, de nature relativement homogène, paraissent les mieux susceptibles de fournir des indications valables sur les climats continentaux contemporains des dépôts. En particulier la carotte T 12 est essentiellement vaseuse, ce qui explique la concentration dans l'espace de ses successions climatiques, opposée à la monotonie de la carotte T 9, proche mais très sableuse.

3 - INDICATIONS CHRONOLOGIQUES

Les associations argileuses rencontrées, proches de celles des sédiments récents, sont très certainement d'âge quaternaire. Elles ne sont jamais semblables à celles que l'on connaît dans le Pliocène continental ou sous-marin de Provence. Elles évoquent le *Quaternaire moyen* ou le *début du Quaternaire supérieur* (du Mindel-Riss à la base de Würm environ). La fréquence des climats tempérés à tempérés chauds laisse penser que les sondages ont recoupé surtout des épisodes doux et humides de type interglaciaire ou interstadiaire.

On sait que la vitesse de dépôt des sédiments argileux pélagodétritiques dans la plaine baléarique est voisine de 10 cm/1 000 ans (DELIBRIAS et al., 1964; CHAMLEY, 1968 b ; BLANC-VERNET et al., 1969). Il est donc théoriquement possible

d'atteindre, vers 40 mètres de profondeur sous la surface, des dépôts anciens d'environ 400 000 ans. Or, les carottes étudiées comprennent toutes des lits sableux plus ou moins importants, qui déterminent très généralement une augmentation de la vitesse de sédimentation (OLSSON et KILICCI, 1964 ;...). Il en résulte que les sédiments carottés ici sont a priori au plus d'âge rissien inférieur, et très certainement plus récent. Ceci est en accord avec les informations que peuvent apporter les minéraux argileux.

BIBLIOGRAPHIE

sur les données paléoclimatiques des argiles

BLANC-VERNET L., CHAMLEY H., FROGET C.

Analyse paléoclimatique d'une carotte de Méditerranée nord-occidentale. Comparaison entre les résultats de trois études : Foraminifères, Ptéropodes, fraction sédimentaire issue du continent.

Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology, 1969, 6, 3, 215-235.

CHAMLEY H.

La sédimentation argileuse actuelle en Méditerranée nord-occidentale. Données préliminaires sur la diagenèse supercificielle.

Bull. Soc. Geol. France, 1968 a, 7, X, 75-88.

CHAMLEY H.

Sur le rôle de la fraction sédimentaire issue du continent comme indicateur climatique durant le Quaternaire.

C.r. Acad. Sc., Paris, 1968 b, 267, 1262-1265.

CHAMLEY H.

Intérêt paléoclimatique de l'étude morphologique d'argiles méditerranéennes.

Tethys, 1969 a, 1, 3, 923-926.

CHAMLEY H.

Intérêt de l'étude chiffrée des minéraux argileux par diffraction des rayons X, pour la connaissance des paléoclimats. Exemple des sédiments de Méditerranée nord-nord-occidentale.

1er coll. Méth. anal. Ray. X, CGR, Montpellier 1969 b, 99-106.

DELIBRIAS G., GUILLIER M.T., LABEYRIE J.

Saclay natural radiocarbon measurements.

Radiocarbon, 1964, 6, 233-250.

FRANCAVILLA F., TOMADIN L.

Quelques observations sur la sédimentation des argiles et des pollens d'une carotte de la mer Tyrhénienne.

Rés. Comm. XXII Congr. C.I.E.S.M.M., Rome 1970.

LUCAS J.

La transformation des minéraux argileux dans la sédimentation. Etudes sur les argiles du Trias.

Mém. Serv. Carte Als.-Lorr., 1962, n° 23, p. 202.

MILLOT G.

Géologie des Argiles.

Masson Edit., Paris, 1964, p. 499.

OLSSON I., KILICCI S.

Uppsala Natural radiocarbon measurements.

Radiocarbon, 1964, 6, 292-293.

PEDRO G.

Distribution des principaux types d'altération chimique à la surface du globe. Présentation d'une esquisse géographique.

Rev. Géogr. Phys. et Géol. dyn., 1968, X, 5, 457-470.

CONCLUSIONS SUR LA DETERMINATION DE LA MICROFAUNE

par Y. LE CALVEZ *) - L. PASTOURET **)

Abstract

The analysis of cores taken during the drilling operation of the Terebel's cruise in the northwestern Mediterranean Sea has put into evidence some reworked sediments. However, the occurrence of *Globigerina pachyderma*, *Globorotalia truncatulinoides* and *Hyalinea balthica* gives a quaternary age to these deposits (not older than Sicilian). The microfauna variations in some cores are related to paleoclimatological changes. Some of the sedimentary levels were deposited during a warming interglacial period.

*) Muséum d'Histoire Naturelle - PARIS

***) Centre Océanologique de Bretagne - BREST

IMPORTANCE DES REMANIEMENTS

L'analyse sédimentaire et l'étude de la microfaune des carottes recueillies lors de la campagne Térébel mettent en évidence :

- d'une part, l'abondance de la fraction détritique et la rareté de la fraction supérieure à 63 μ du sédiment ; en moyenne celle-ci ne constitue que 5 % du poids total de l'échantillon sauf pour les carottes T 10, T 12 et T 13.

- d'autre part, les phénomènes de remaniements qui se traduisent le plus souvent par un mélange de microfaunes appartenant à des biocoenoses, des biotopes et des zones stratigraphiques différentes. Ils sont imputables aux positions des sites de forage. En effet, les prélèvements ont été effectués dans des secteurs particuliers :

. sur des rides sédimentaires formées de l'accumulation et du façonnement par les courants d'apports détritiques d'origine fluviale : carottes T 4 et T 7,

. sur une paroi du canyon : T 1,

. au contact de la pente continentale assez abrupte et de la plaine abyssale : T 10,

. enfin, sur le sommet ou les flancs des structures diapiriques : T 9, T 12, T 13 et T 14.

AGE

Il se dégage de cette étude malgré les phénomènes de remaniements sédimentaires une certaine uniformité dans la composition de la microfaune planctonique.

En se référant aux travaux accomplis sur le Quaternaire marin émergé en Italie (SELLI, 1967 ; COLALONGO, 1968 ; WEZEL, 1968 ; GRADSTEIN, 1970), il est possible de dater ces dépôts ; ils seraient au plus d'âge Sicilien. Les arguments qui nous ont conduits à cette interprétation sont les suivants :

- l'abondance de *Globorotalia inflata*, *Globigerina pachyderma*, et *Globorotalia scitula*, ainsi que la rareté du genre *Globigerinoides* et la présence de *Hyalinea balthica* indiquent un âge Quaternaire certain.

- le fait que *Globorotalia truncatulinoides* a été trouvée implique un âge Sicilien.

Il faut remarquer que dans les carottes T 7, T 9, et T 14 dans lesquelles un certain tri granulométrique a été mis en évidence *Globorotalia truncatulinoides* et *Hyalinea balthica* sont absentes.

Les travaux effectués sur les sédiments marins pleistocènes en Méditerranée (PARKER, 1958 ; TODD, 1958 ; BLANC-VERNET, 1969 ; PASTOURET, 1970) ne permettent pas d'apporter plus de précisions d'ordre chronologique car ils englobent une période de temps trop courte.

Les modifications de composition de la microfaune planctonique mises en évidence dans quelques carottes (T 1, T 4, T 12) traduisent des fluctuations paléoclimatiques. Certains sédiments se seraient déposés lors de période de réchauffement interstadiaire ou interglaciaire (T 4 et T 12). (planches 8 - 9).

BIBLIOGRAPHIE

BANNER F.T., BLOW W.H.

Some primary types of species belonging to the superfamily Globigerinaceae.
Contr. Cushman Found. Foram. Res., 1960, XI, 1, 1-41, pls 1-8.

BE A.W.H.

Foraminifera, Families : Globigerinidae and Globorotaliidae
Fiches identif. zooplankton, Cons. int. Explor. Mer, 1967, 108.

BE A.W.H.

Microstructural evidence of the close affinity of *Globigerinella* Cushman to
Hastigerina Thomson.
Proc. 1st Conf. Plank. Microf., Geneva 1967, Ed. Brönniman et Renz, 1969, I,
89-91, pl I - IV.

BE A.W.H., HAMLIN W.H.

Ecology of recent planktonic Foraminifera. Part 3 : Distribution in the North
Atlantic during the summer of 1962.
Micropaleontology, 1967, 13, 1, 87-106.

BIZON G.

Premiers résultats stratigraphiques du carottage du Térébel.
11 pages dactylo, 5 pls., 1970.

BLANC-VERNET L.

Contribution à l'étude des Foraminifères de Méditerranée. Relations entre la micro-
faune et le sédiment. Biocoenoses actuelles, thanatocoenoses pliocènes et quater-
naires.
Rec. trav. sta. mar. Endoume, 1969, (64-48), 1-281, pls 1-17.

BLANC-VERNET L., PASTOURET L.

Précisions sur la valeur du Foraminifère *Globorotalia inflata* (d'Orbigny) comme
critère climatique en Méditerranée.
Téthys, 1969, 1, 2, 535-538.

BLOW W.H.

Late middle Eocene to recent planktonic foraminiferal biostratigraphy.
Proc. 1st Conf. Plank. Microf., Geneva 1967, Ed. Brönniman et Renz, 1969, I,
199-422, pls 1-54.

BOLTOVSKOY E.

Living planktonic Foraminifera of the eastern part of the tropical Atlantic.
Rev. Micropal., Paris, 1968, 11, 2, 85-98, pls 1-2.

BRADY N.B.

Report on the Foraminifera dredged by H.M.S. CHALLENGER during the years 1873-1876
Zoology, 1884, vol. IX.

CATI F. et al.

Biostratigrafia del Neogene mediterraneo basata sui Foraminiferi planctonici.
Boll. Soc. Geol. It., 1968, 87, 491-503, 2 tabb.

CHEN C.

Pleistocene Pteropods in pelagic sediments.
Nature, 1968, 219, 1145, 1149.

CHEN C., BE A.W.H.

Seasonal distributions of Euthecosomatous Pteropods in the surface waters of five
stations in the Western North Atlantic.
Bull. Mar. Sc. Gulf and Caribbean, 1964, 14, 2, 185-220, fig. 1-12.

CIFELLI R.

Planktonic Foraminifera from the Western North Atlantic.
Smithsonian Misc. coll., 1965, 148, 4, 1-36, pls 1-9.

COLALONGO M.L.

Cenozone a Foraminiferi ed Ostracodi nel Pliocene e basso Pleistocene della serie
del Santerno e dell'Appennino Romagnolo.
Comm. Medit. Neogene Strati., Bologna 1967. *Giorn. Geol.*, 1968, (2) XXXV, II, 29-61,
fig. 1-2, tabs I-III.

COLALONGO M.L.

Appunti biostratigrafici sul Messiniano.
Giorn. Geol., 1970, 2, XXXVI, 515-542, tabs. I-II.

DONDI L., PAPETTI I.

Biostratigraphical zones of Pô Valley Pliocene.
Comm. Medit. Neogene Strati., Bologna 1967. *Giorn. Geol.*, 1968, 2, XXXV, III,
63-98, fig. 1-3, pls III-V.

D'ONOFRIO S.

I Foraminiferi del neostatotipo del Messiniano .

Giorn. Geol., 1964, 2, XXXII, II, 409-461, tb 1, tar 1-5 .

FROGET C., PASTOURET L.

Les Ptéropodes moyens d'étude de la chronoclimatologie quaternaire.

Comparaison entre les bassins occidental et oriental de la Méditerranée.

Comm. int. Explor. Sci. mer Médit., Monaco 1968 (à l'impression) 1969.

GENNESSEAUX M., LE CALVEZ Y.

Affleurement sous-marin de vases pliocènes dans la baie des Anges (Nice).

C.R. Acad. Sc., Paris, 1960, t. 251, 2064-2066.

GRADSTEIN F.M.

Foraminifera from the type Sicilian at Ficarazzi, Sicily (Lower Pleistocene) I

Proc. Koninkl. Nederl. Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, 1970, 8, 73, 4,

305-333, pl. 1.

KENNETT J.P.

Latitudinal variation in *Globigerina pachyderma* (Ehrenberg) in surface sediments of the southwest Pacific Ocean.

Micropaleontology, 1968, 14, 3, 305-318, pl. 1.

LECLAIRE L., LE CALVEZ Y.

Sur la présence probable de Quaternaire ancien dans l'un des grands canyons du

Précontinent Nord-Africain. Mise en évidence d'une lacune stratigraphique dans la série pléistocène.

C.R. Acad. Sc. Paris, 268, 1252-1254.

PARKER F.L.

Eastern mediterranean Foraminifera.

Rep. Swed. Deep-Sea Exp., VIII, 1958, 2, 219-283, tab 1-20, pls 1-6.

PASTOURET L.

Etude sédimentologique et paléoclimatique de carottes prélevées en Méditerranée orientale.

Téthys, 1970, 2, 1, 227-266, pls 1-3.

PERCONIG E.

Biostratigrafia della sezione di Carmona (Andalusia, Spagna) in base di Foraminiferi planctonici.

Comm. Medit. Neogene Strati., Bologna 1967 - *Giorn. Geol.*, 1968, 2, XXXV, III, 191-218, fig. 1-8, tabs 1-5.

RAMPAL J.

Les Ptéropodes Thécosonnes en Méditerranée.

Comm. int. explor. mer Méditer., Monaco 1968, (à l'impression), 1969.

ROSENBERG-HERMAN Y.

Etude des sédiments quaternaires de la mer Rouge.

Ann. Inst. Oceanogr., 1965, 42, 3, 339-415, pl. 1-12.

SELLI R.

The Plio-Pleistocene boundary in Italian Marine Sections and its relationship to continental stratigraphy.

Progr. in Oceanography, Pergamon Press, 1967, 4, 67, 86.

TESCH J.J.

Pteropoda

Das Tierreich, R. Friedländer und Sohn, édit., Berlin, 1913, 36, p. 154.

TODD R.

Foraminifera from Western Mediterranean deep-sea cores.

Rep. Swed. Deep-Sea Exp., 1958, VIII, 2, 169-215, tb 1-19, pls 1-3.

WEZEL F.C.

Le Cenozone del Pliocene superiore - Pleistocene inferiore in Sicilia e Lucania

Comm. Medit. Neogene Strati., Bologne 1967, *Giorn. Geol.*, 1968, 2, XXXV, III, 437-448, tb 1.

PLANCHE 8

- Clichés 1, 2 : *Hastigerina aequilateralis* (Brady), X 60, carotte T 13, niveau 39 cm. 1 face spirale, 2 face latérale.
- Cliché 3 : *Globigerinoides trilobus* (Reuss) forma *typica*, X 70, carotte T 12, niveau 40 cm, face ombilicale.
- Cliché 4 : *Globigerinoides trilobus* (Reuss) forma *sacculifera* (Brady), X 55, carotte T 12, niveau 40 cm, face spirale.
- Clichés 5, 6 : *Globigerina pachyderma* (Ehrenberg), X 200, carotte T 12, niveau 0 cm. 5 face ombilicale, 6 face spirale, enroulement senestre.
- Clichés 7, 8 : *Globigerina pachyderma* (Ehrenberg), X 120, carotte T 13, niveau 20 cm. 7 face ombilicale, 8 face spirale, enroulement dextre, forme à cinq loges.
- Cliché 9 : *Globigerinoides elongatus* (d'Orbigny), X 80, carotte T 12, niveau 40 cm, face ombilicale.
- Cliché 10 : *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny), X 75, carotte T 12, niveau 40 cm, face spirale.
- Cliché 11 : *Globorotalia scitula* (Brady), X 140, carotte T 12, niveau 0 cm, face spirale.

PLANCHE 9

- Clichés 1, 2 : *Globorotalia hirsuta aemiliana* Colalongo et Sartoni, X 120, carotte T 10, niveau 0 cm, 1 face latérale, 2 face ombilicale.
- Clichés 3, 4 : *Globorotalia crassaformis* (Galloway et Wissler), X 60, carotte T 10, niveau 0 cm, 3 face latérale, 4 face ombilicale.
- Clichés 5, 6 : *Globorotalia inflata* (d'Orbigny), X 80, carotte T 13, niveau 20 cm, 5 face ombilicale, 6 face spirale.
- Clichés 7, 8 : *Globorotalia hirsuta* (d'Orbigny), X 120, carotte T 3, 7 face spirale, 8 face ombilicale.

Les clichés ont été réalisés à l'aide du microscope électronique à balayage Stéréoscan du Laboratoire de Géologie, Muséum National d'Histoire Naturelle.

PLANCHE 8

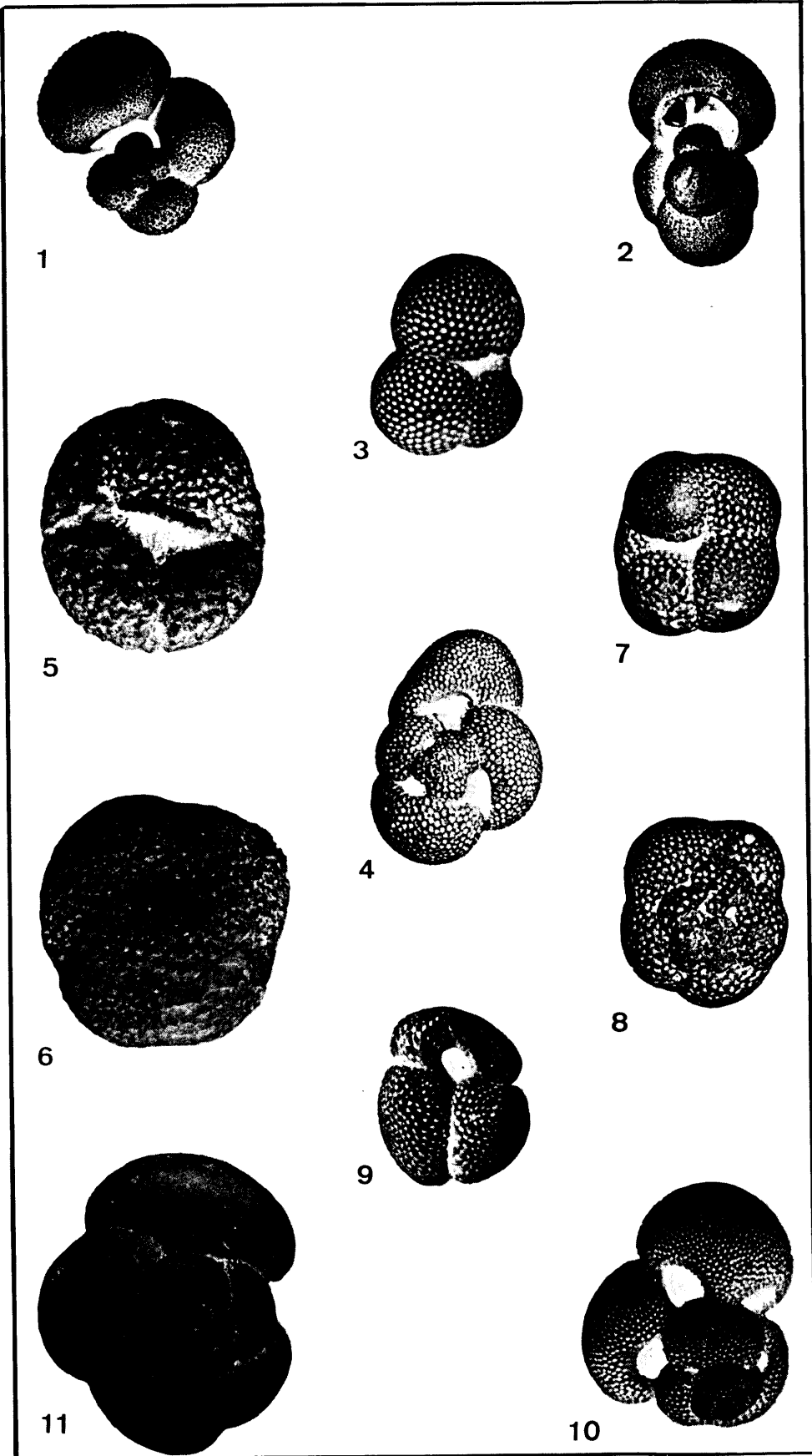
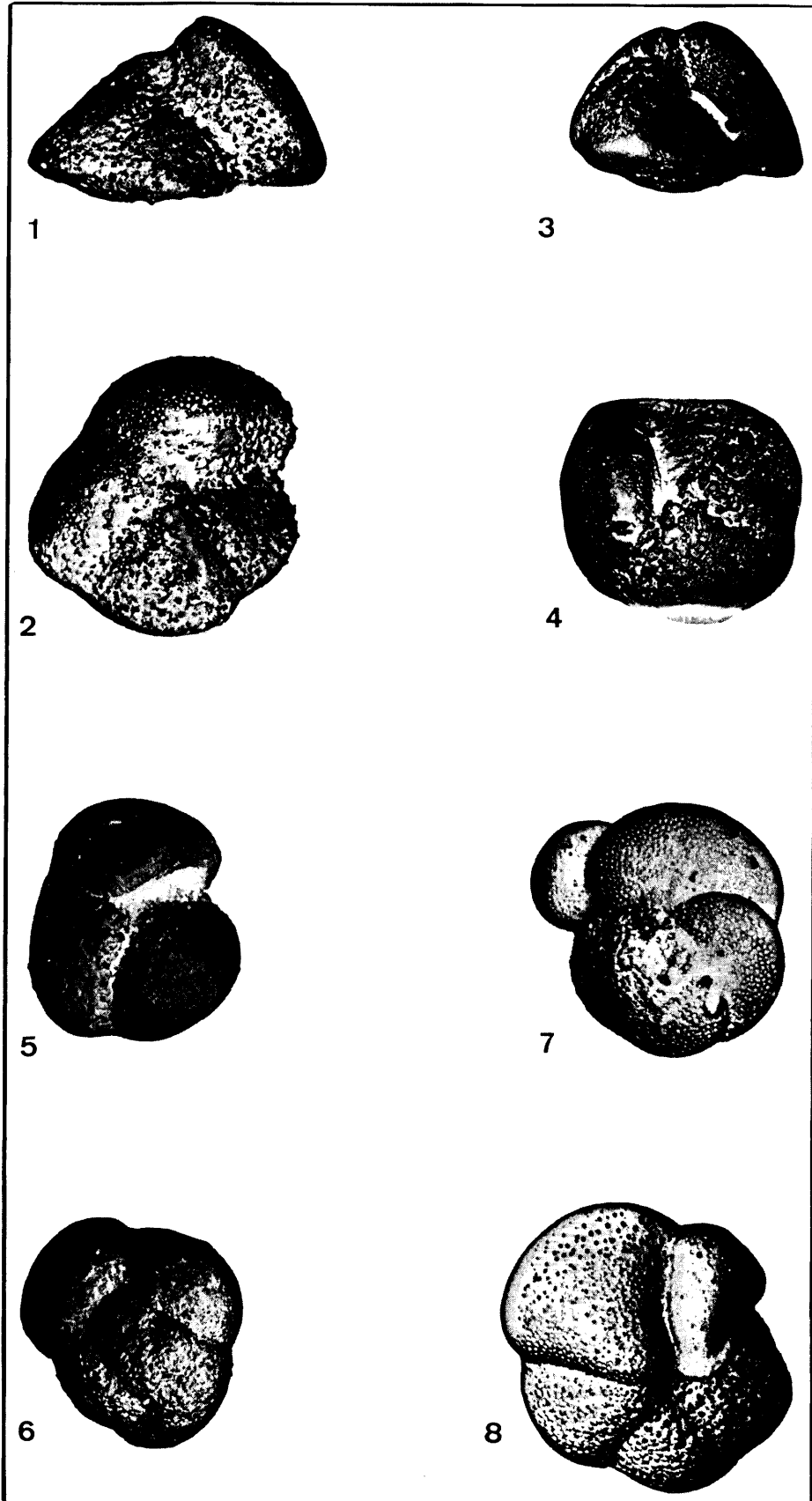


PLANCHE 9



RESULTATS DE L'ETUDE DES POLLENS DES CAROTTES DU TEREDEL

par I. GAUDRY *)

Abstract

The pollen analysis, of cores sampled in the Western Mediterranean, has allowed to clarify the floristic and climatic evolution in its main lines in the extreme Southeastern France and in the meridional Alps during the middle Quaternary.

Two groups of species of trees characterise the flora of this period : on one hand thermophilous leafy trees and Conifera of present Europe, on the other hand exotic trees, and tertiary relics (*Carya*, *Tsuga*, *Pinus type haploxylon*).

The climates of that time appear to be temperate to cold, and more or less humid.

Two important facts result from this study :

- Pine trees prevail in the pollinic spectra
- Since the end of the Günz-Mindel, the flora became gradually poorer in thermophilous trees and in tertiary relics.

The fact that the last ones have subsisted during the phases of glaciation shows that the climate has never been really cold during the Mindel in the South-Alpine zones.

*) Station de Géodynamique sous-marine. Villefranche sur Mer.

L'analyse palynologique des sédiments prélevés lors de la mission Térébel a permis d'approcher dans ses grandes lignes l'évolution floristique et climatique dans l'extrême Sud-Est de la France et les Alpes méridionales durant le Quaternaire moyen.

Trois groupes d'essences d'écologie aujourd'hui différente sont représentés dans nos spectres. Leurs variations qualitatives et quantitatives conduisent à mettre en évidence des fluctuations climatiques.

En confrontant les résultats obtenus nous tenterons de reconstituer quelques uns des paysages végétaux du Pléistocène moyen.

De la végétation d'alors nous ne pouvons donner qu'une image partielle. En effet, les séquences sont trop courtes et n'ont pas été situées avec certitude dans l'échelle stratigraphique. En outre, elles ne fournissent pas une série continue. Pour ces raisons ne pouvait être analysée dans le détail l'influence éventuelle d'une proximité plus ou moins grande des zones d'altitude des Alpes maritimes, les fluctuations des fréquences des pollens susceptibles d'en provenir (*Abies*, *Pinus*, *Tsuga*) n'étant pas assez manifestes pour que soient précisés les rôles respectifs de cette distance aux Alpes maritimes ou de l'évolution climatique en cours.

D'une manière générale, la flore apparaît riche en types arborescents et les herbacées ne jouent qu'un faible rôle.

Au cours des périodes de refroidissement, la flore, pauvre en espèces, est constituée pour l'essentiel de Pins (Pins méditerranéens et Pins silvestres, bien représentés) qu'accompagnent Sapin, Epicéa, Bouleau, Aulne et Saule.

Durant les phases tempérées, les Feuillus européens et en particulier ceux de la Chênaie-mixte se développent. S'y associent parfois des arbres thermophiles (*Carya*, *Liquidambar*, *Celtis*, *Sciadopitys*) qui ne sont plus actuellement indigènes en Europe.

En outre, la présence de certains genres tels *Tsuga*, *Pinus silvestris* et *Ephedra*, liée à l'hygrométrie, permet d'introduire quelques nuances supplémentaires quant au climat.

D'autre part, afin d'établir la succession de ces types de flore, nous ferons appel au raisonnement suivant : certaines essences tertiaires telles *Tsuga* et *Carya* subsistent au Quaternaire moyen mais sont en voie d'extinction ; le sédiment sera considéré comme d'autant plus ancien qu'elles seront plus abondantes.

Ainsi, à une époque que nous avons datée du fini-Günz-Mindel, le paysage végétal était celui d'une forêt de Pins (*Pinus pinea*, *P. halepensis*), encore peu développés (32 à 48 %), auxquels se mêlaient Feuillus thermophiles européens et exotiques (15 %) : Chêne, Orme, Tilleul, Erable, Charme et *Carya*. Sur les pentes montagneuses croissaient alors quelques Epicéa, Sapins, Bouleaux.

Cette association pollinique évoque un climat tempéré, peut-être légèrement plus chaud que l'actuel (*Carya*), devenant plus frais et plus humide lorsque, en fin de phase, *Tsuga* augmente et que regresse les arbres thermophiles (carotte N° 4, 3 niveaux de base).

Durant l'interstade mindélien, les Pins deviennent plus nettement dominants (jusqu'à 64 %) et la Chênaie-mixte semble moins développée et moins diversifiée (*Tilia* et *Acer* ne sont que fort peu représentés) ; quelques éléments exotiques tels *Carya* et *Sciadopitys* subsistent encore. Plus en altitude, ce type de forêt fait place aux Bouleaux puis aux Sapins et Epicéas (carotte N° 1, 3 niveaux de base ;

N° 14, niveau 0 cm).

Dans les phases attribuées au Mindel-Riss, l'abaissement progressif de la température annonçant les premiers froids rissiens entraîne la disparition des éléments tertiaires et l'appauvrissement de la Chênaie-mixte réduite alors aux Chênes et Ormes. D'autre part, les Pins (dont *Pinus silvestris*) se développent (jusqu'à 70 %) tandis qu'apparaissent quelques rares Hêtres caractéristiques de cet interglaciaire dans le reste de l'Europe (carotte N° 9, niveaux 36 et 20 cm ; N° 12, 4 niveaux de base).

Contrairement aux phases tempérées, la flore des périodes glaciaires se caractérise par une grande pauvreté en genres arborescents.

Les Pins (Pins méditerranéens, Pins sylvestres et *Pinus type haploxydon*) accusent une nette prédominance sur toutes autres essences. Se joignent à eux Sapins, Epicéas, Bouleaux et Aulnes en pourcentages modestes alors que Chênes et Ormes ne subsistent que très sporadiquement. Les paysages forestiers sont alors plus "ouverts" comme l'indique la présence d'*Hippophaë* et d'*Ephedra* (carottes N° 1, 4, 9, 12, niveaux 0 et 20 cm ; N° 10, 4 niveaux de base ; N° 14, niveaux 20 et 32 cm).

Si, *Tsuga*, *Cedrus*, *Pinus type haploxydon*, plantes mésophiles, et Pins méditerranéens se sont maintenus durant de telles phases glaciaires, ils montrent que le climat n'a pas pu devenir franchement froid du moins dans les zones littorales.

Parfois interviennent de courts épisodes plus secs entraînant la régression des *Tsuga*, Sapins et Epicéas et le brusque développement des Pins sylvestres (carottes N° 4 et 9, niveaux 20 cm).

De ces associations floristiques deux grands traits se dégagent :

1° - le fait le plus marquant est la dominance continue des Pins dans tous les spectres polliniques. Déjà mis en évidence au Tardiglaciaire et au Post-glaciaire dans les Alpes méridionales par BECKER (1952) et COUTEAU (1962), il a pu constituer dans ces régions un caractère constant de la végétation depuis des temps plus anciens (cf. BELLAICHE, GAUDRY et VERGNAUD-GRAZZINI, 1971).

2° - depuis le fini-Günz-Mindel et jusqu'aux premiers froids rissiens, la flore s'est appauvrie progressivement en essences thermophiles et en reliques tertiaires. Que ces dernières aient subsisté dans les régions méditerranéennes jusqu'au début du Riss alors qu'elles avaient disparu du reste de l'Europe à la fin du Quaternaire ancien, montre que le climat n'a jamais été franchement glaciaire dans les zones sud-alpines durant le Mindel.

En effet, ces reliques tertiaires n'ont jamais été retrouvées dans les rares gisements étudiés en France et datés de cette période (PAQUEREAU et SCHOELLER, 1959, gisement du Gurg - Gironde ; ALIMEN et SAUVAGE, 1961 - Pyrénées centrales).

Nos résultats sont surtout proches de ceux obtenus en Italie en raison de la présence dans les deux cas d'éléments de transition plio-pléistocènes. Cependant, dans les dépôts de cette région, la flore apparaît plus diversifiée en genres tertiaires (*Pterocarya*, *Zelkova*) et les Conifères tels *Abies*, *Picea* et *Tsuga* y figurent en pourcentages plus importants. Cette différence peut s'expliquer par la proximité plus grande des Alpes bergamasques d'altitude plus élevée que celle des Alpes méridionales françaises et par le fait que, située au pied des montagnes, la région de Bergame a joui de conditions climatiques plus favorables au développement d'une végétation luxuriante (pluviosité plus importante notamment).

Alors que les travaux effectués en Italie du Nord concernaient des séries continentales, les nôtres portent sur des sédiments marins prélevés loin des côtes où il est facile d'admettre que les spectres polliniques donnent des flores une image déformée, certains groupes de sporomorphes, peu mobiles ou trop fragiles, étant sous-représentés.

Mais la conclusion la plus importante de cette étude portant sur des prélèvements relativement modestes et épars, réside dans le fait qu'elle démontre la fécondité de l'analyse pollinique des sédiments marins. En effet, il apparaît nettement que l'étude d'une séquence continue telle que seuls des sondages de sédiments marins à grande profondeur peuvent en fournir, est un moyen suffisant pour reconstituer l'évolution végétale et climatique du Bassin méditerranéen depuis le Pliocène jusqu'à l'Actuel.

BIBLIOGRAPHIE

ALIMEN H., SAUVAGE J.

Première étude palynologique de sédiments (Mindel à Würm III) des Pyrénées centrales françaises.

Report of the VIth Int. Congr. on Quaternary. WARSAW, 1961, Vol. II, 351-358 - Lodz.

BECKER J.

Sur l'existence et la limite de deux domaines paléosilvatiques postglaciaires, septentrional et méridional, dans les Alpes françaises.

C.R. Ac. Sci., 1950, 231, ser. D, 1331-1333.

BECKER J.

Etude palynologique des tourbes flamandaises des Alpes françaises.

Mem. Serv. Carte Géol. d'Als. et de Lorr. Strasbourg, 1952.

BELLAICHE G., GAUDRY I., VERGNAUD-GRAZZINI C.

Paléogéographie quaternaire du Golfe de Fréjus (Var).

Quaternaria, (Sous-presse), 1971.

BONIFAY E.

Aperçu sur le Quaternaire de Grenoble à Marseille.

Bull. Ass. Fr. Et. Quat., (1968 - 1), t. 14, 3-18.

COÛTEAU M.

Analyse pollinique d'une tourbière des Alpes méridionales françaises : Alpe de Venosc, 1 644 m. Pollen et Spores.

1962, vol. IV, n° 1, 111-120.

FOLLIERI M.

Vegetational features of some Mindel-Riss and Riss-Würm deposits in Italy and remaining Europe.

Rev. Paleobotan. Palyn., 1967, 2, 261-266.

LONA F.

Contributi alla storia della vegetazione e del clima nella Val padana.
Analisi pollinica del giacimento villafranchiano di Leffe (Bergamo).
Atti della Soc. Ital. Scienze Nat., 1950, 89, 123-178.

LONA F., FOLLIERI M.

Successione pollinica della serie superiore (Günz-Mindel) di Leffe (Bergamo).
"Verhandlungen der vierten Internationalen Tagung der Quatärbotaniker 1957".
Verlag Hans Huber, Bern et Stuttgart, 1957, 86-98.

MANTEN A.A.

Marine palynology in progress.
Marine Geol., 1966, 4, n° 6, 385-386.

MORZADÉC-KERFOURN M.T.

La végétation en France de la fin du Villafranchien au début du Würm.
Suppl. Bull. de l'A.F.E.Q., VIIIème Congr. Int. INQUA, Paris, 1969, 98-102.

OLDFIELD F.

Three pollen analyses from an interglacial mudbed on the shore near Biarritz,
southwest France.
Bull. Centre Etudes Rech. Sci. Biarritz, 1960, 3, 53-62.

PAGANELLI A.

Ricerche sul Quaternario della pianura padana.
II - Analisi polliniche di sedimenti torbo-lacustri di Ca Marcozzi (Delta padano).
Rend. Ist. Sci. Camerino, 1961, 2, 83-96.

PAQUEREAU M.M., SCHOELLER M.

Quaternaire et Pliocène du Garp (Gironde).
Bull. Soc. Géol. Fr., 1959, t. 1, 79-83.

PONS A.

Contribution palynologique à l'étude de la flore et de la végétation pliocènes de
la région rhodanienne.
Ann. Sci. Nat. 12ème ser., t.V., fasc. 3, 1964, 501-713, 3 pl.

ŚRODŃ A.

Flora interglacialna z Gościcina Kolo Koźla.
Biul. Inst. Geol., 1957, 118, 7-60.

ZAGWIJN W.H.

Vegetation, climate and time correlations in the early Pleistocene of Europe.
Geol. en Mijnbouw, Nw. S. 19ème Jaargang, 1957, n° 7, 233-244.

ZAGWIJN W.H.

Time correlations based on vegetation and climatic change in the early Pleistocene
of Europe. INQUA V, Résumés des Communications, 204-205, Madrid-Barcelona, 1957.

RESULTATS DE L'ETUDE DES NANNOFOSSILES CALCAIRES DES CAROTTES DU TEREDEL

par M. CLOCCIATTI *)

Abstract

The results of this calcareous nannofossils study are mainly stratigraphic and petrographic.

On the basis of previous works in the Antillean-Caribbean area because there is no work of that kind in the Mediterranean Sea (W. W. Hay *et al.* [3], J.E. Boudreaux and W.W. Hay [1]), the detailed investigation of 41 samples (eight cores) has allowed the localisation of all these cores in the middle Quaternary (*Gephyrocapsa oceanica* zone). Some climatologic interpretations are given, but they are limited because the earlier studies (K.R. Geitzenauer [2], A. Mc Intyre [4, 5], A. Mc Intyre and A.W.H. Bé [6, 7]) on that subject are not numerous and only affect Atlantic and Pacific subantarctic Oceans. The reworked forms are jurassic, cretaceous, early and late tertiary, so we can compute the origin of some fine detritic constituents.

*) Muséum d'Histoire Naturelle - Paris.

Les résultats obtenus grâce à l'étude des nannofossiles calcaires des carottes T 1, T 4, T 7, T 9, T 10, T 12, T 13, T 14, peuvent être considérés du double point de vue stratigraphique et pétrographique.

1° - Au point de vue stratigraphique, il n'existe aucune étude sur la nannoflore de Méditerranée. L'interprétation des résultats ne peut donc se faire que grâce aux travaux existants, travaux effectués dans la mer des Caraïbes et des Antilles par W.W. Hay et *al.* [3] et J.E. Boudreaux et W.W. Hay [1]. La zonation actuelle du Quaternaire par les nannofossiles calcaires dans cette aire comprend trois zones. Ce sont, de la base du Quaternaire vers le sommet (récent) :

- la zone à *Gephyrocapsa caribbeanica* créée par J.E. Boudreaux et W.W. Hay [3] qui correspond à peu près au Quaternaire inférieur ;

- la zone à *Gephyrocapsa oceanica* créée par les mêmes auteurs [3] qui constitue approximativement le Quaternaire moyen avec comme espèces communes outre *Gephyrocapsa oceanica* : *Helicosphaera carteri*, *Umbilicosphaera mirabilis*, *Cyclococcolithus leptoporus*, *Oolithotus antillarum*, *Syracosphaera pulchra* et *Cyclolithella annula* ;

- enfin la zone à *Emiliana huxleyi* également due à J.E. Boudreaux et W.W. Hay [3] et qui concerne la période récente.

Pour l'ensemble des huit carottes étudiées, qu'elles proviennent de la marge continentale (T 1, T 4, T 7 et T 10) ou des dômes (T 9, T 12, T 13 et T 14) et bien que la nannoflore en soit généralement pauvre en individus et parfois en espèces (sauf dans le cas de T 12) les résultats sont semblables *).

On note :

- la présence de très nombreux spécimens de *Gephyrocapsa oceanica* (*s.l.*) (au moins 50 % de la nannoflore calcaire et jusqu'à 75-80 % dans certains niveaux de T 12) ;

- l'absence de *Emiliana huxleyi* (un seul spécimen a été observé dans la carotte T 12, niveau 40, provenant vraisemblablement de pollution). Ces deux faits nous incitent donc à placer l'ensemble des carottes examinées dans la zone à *Gephyrocapsa oceanica*. Le sommet de cette zone est défini par l'apparition de *Emiliana huxleyi* située à environ 250-300 000 ans [5], ce qui correspondrait à la base du Paléotyrrhénien. Il faut toutefois remarquer que *Gephyrocapsa caribbeanica* (espèce caractérisant le Quaternaire inférieur dans la mer des Caraïbes et des Antilles) n'a absolument pas été retrouvée ici, alors qu'on pouvait penser l'observer au moins sous forme remaniée. Peut-être cette espèce n'existe-t-elle pas en Méditerranée ?

*)

Les résultats de l'étude de tous les échantillons sont portés sur les tableaux récapitulatifs. Quatre symboles ont été utilisés pour indiquer la fréquence des espèces rencontrées : très fréquent (plus de 50 %), fréquent 10 à 50 %), rare (moins de 10 %), trouvaille isolée.

Les résultats climatologiques obtenus grâce à l'étude des nannofossiles calcaires sont variés et parfois difficilement interprétables comme dans le cas de T 10 et T 14.

Parmi les carottes dont la nannoflore et le nombre d'échantillons ont permis de proposer une hypothèse, il y a :

- T 1, climat tempéré-chaud dans le bas devenant tempéré-froid dans le haut de la carotte ;
- T 4, climat tempéré chaud ;
- T 7, climat tempéré avec des formes indicatrices de milieu chaud et de milieu froid ;
- T 9, climat tempéré-froid avec présence de rares espèces chaudes ;
- T 12, climat tempéré-chaud ;
- T 13, climat tempéré plus froid dans le bas que dans le haut de la carotte.

Il est souhaitable que des études climatologiques ultérieures plus nombreuses, plus complètes et concernant plus particulièrement la Méditerranée viennent compléter ces conclusions.

2° - Au point de vue pétrographique, l'étude de la nannoflore calcaire a permis de préciser l'origine des apports du moins pour la fraction fine des sédiments examinés grâce aux espèces remaniées. Ces apports peuvent être datés du :

- Tertiaire supérieur dans les carottes T 1, T 4, T 9, T 12 et T 13 ;
- Tertiaire inférieur dans les carottes T 1, T 4, T 7, T 12 et T 13 ;
- Crétacé dans T 1, T 4, T 7, T 9, T 10, T 12, T 13 et T 14 ;
- Jurassique dans T 12.

Les niveaux précis où se rencontrent ces formes remaniées sont indiqués dans les tableaux récapitulatifs.

En résumé, il existe des remaniements d'espèces crétacées dans toutes les carottes, les formes tertiaires sont présentes seulement dans trois des carottes de la marge continentale et trois des carottes provenant des dômes, enfin le Jurassique se rencontre seulement dans la carotte T 12 (dôme). La proportion de spécimens remaniés est généralement faible (moins de 5 %), mais dans quelques cas (T 4, T 12, T 13), elle est plus importante et peut atteindre 10 %.

Toutes les carottes contiennent un pourcentage plus ou moins élevé d'éléments détritiques fins. Dans toutes les carottes sauf T 12, ce pourcentage est relativement constant du bas vers le haut. Dans les échantillons de T 12 examinés, la proportion de constituants détritiques fins diminue du bas vers le haut de la carotte. Il peut y avoir deux explications à cela :

- il existe une diminution de l'apport détritique du bas vers le haut de cette carotte, ou bien
- la dilution de cet apport est plus importante dans le haut de T 12 que dans le bas.

En conclusion, l'examen détaillé des espèces de nannofossiles calcaires contenus dans les échantillons des huit carottes a permis, sur la base des études antérieures dans la mer des Antilles et des Caraïbes, une localisation dans le Quaternaire moyen (zone à *Gephyrocapsa oceanica* de J.E. Boüdreux et W.W. Hay), un certain nombre d'interprétations climatologiques de portée encore restreinte en

raison du petit nombre de travaux traitant ce sujet et enfin une identification stratigraphique d'une partie des apports détritiques fins.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BOUDREAUX J.E., HAY W.W.
Calcareous nannoplankton and biostratigraphy of the late Pliocene-Pleistocene-Recent sediments in the Submarex cores.
Rev. Esp. Micropal., 1969, vol. 1, n°3, 249-292, pl. I-X.
- [2] GEITZENAUER K.R.
Coccoliths as late Quaternary paleoclimatic indicators in the Subantarctic Pacific Ocean.
Nature, 1969, vol. 233, n° 5202, 170-172.
- [3] HAY W.W., MOHLER H.P., ROTH P.H., SCHMIDT R.R., BOUDREAUX J.E.
Calcareous nannoplankton zonation of the Cenozoic of the Gulf Coast and Caribbean-Antillean area, and transoceanic correlation.
Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc., 1967, vol. 17, 428-480, pl. 1-13.
- [4] Mc INTYRE A.
Coccoliths as paleoclimatic indicators of Pleistocene glaciation.
Science, 1967, vol. 158, n° 3806, 1314-1317, 3 figs.
- [5] Mc INTYRE A.
Gephyrocapsa protohuxleyi sp. n. a possible phyletic link and index fossil for the Pleistocene.
Deep-sea Research, 1970, vol. 17, 187-190, fig. 1a-g.
- [6] Mc INTYRE A., BE A.W.H.
Coccolithophorids as ecologic indicators in oceanic sediments.
Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 1966, vol. 50, 624-625.
- [7] Mc INTYRE A., BE A.W.H.
Modern Coccolithophoridae of the Atlantic Ocean. I-Placoliths and cyrtoliths.
Deep-sea Research, 1967, vol. 14, 651-597, pl. 1-12, Fig. 1-17.

PLANCHE 10

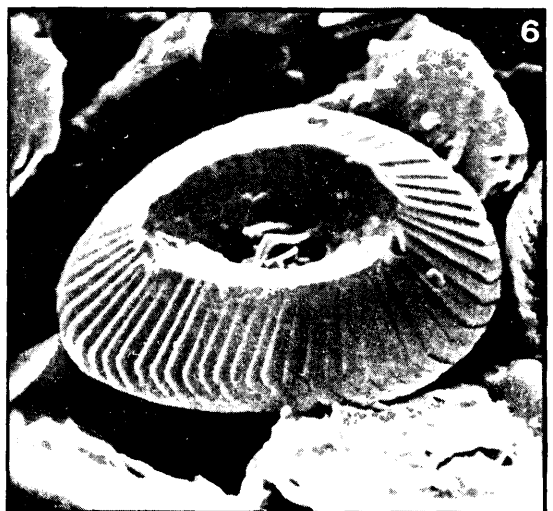
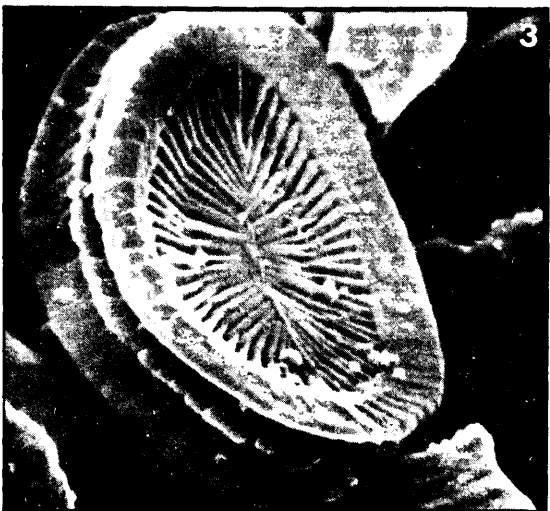
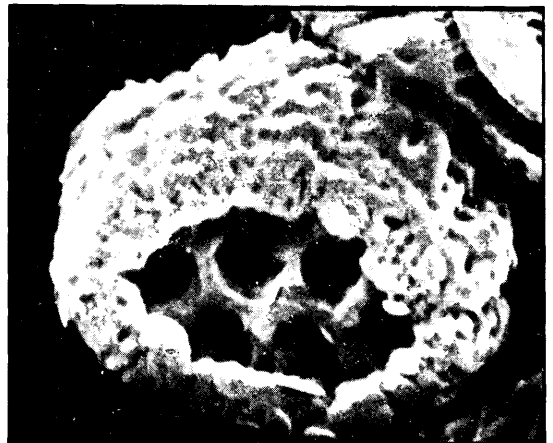
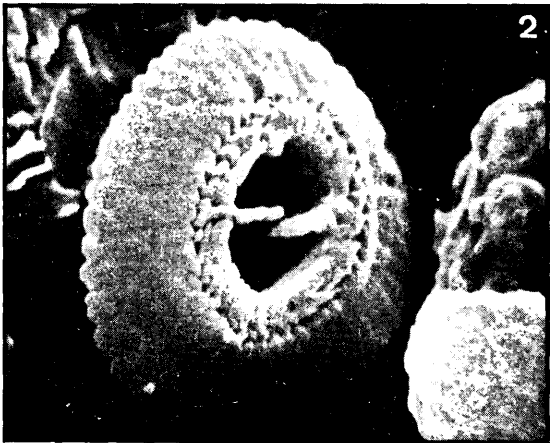
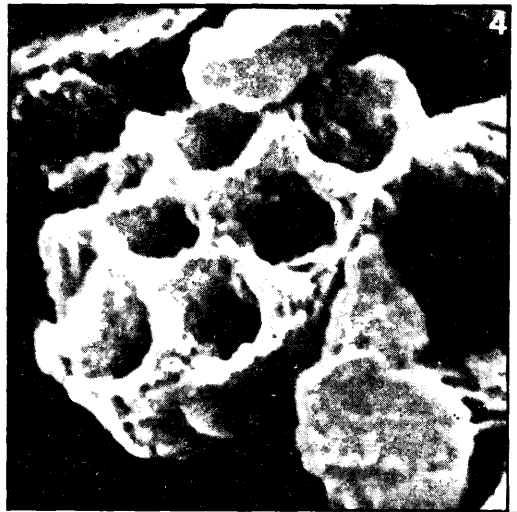
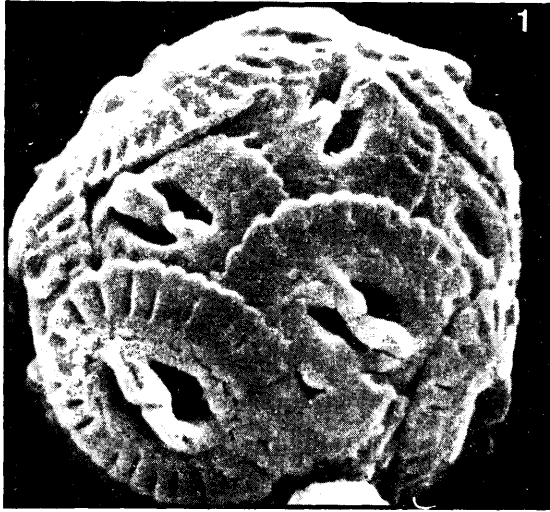


PLANCHE 10

- Figure 1 : Coccosphère de *Gephyrocapsa oceanica* Kamptner
Coccosphere of *Gephyrocapsa oceanica* Kamptner
x 15 000. Echantillon T1-20. Cliché n° 1879.
- Figure 2 : Placolithe isolé de *Gephyrocapsa oceanica* Kamptner en vue distale.
Le pont est particulièrement fin et le réticule central est légèrement visible.
Single placolith of *Gephyrocapsa oceanica* Kamptner in distal view.
The bridge is particularly thin and the central reticulum is slightly visible.
x 10 000. Echantillon T1-40. Cliché n° 1907.
- Figure 3 : *Syracosphaera pulchra* Lohmann en vue proximale.
Proximal view of *Syracosphaera pulchra* Lohmann.
x 15 500. Echantillon T12-40. Cliché n° 2 061.
- Figure 4 : *Discolithus macroporus* Deflandre, vue distale.
Distal view of *Discolithus macroporus* Deflandre.
x 20 000. Echantillon T12-63. Cliché n° 1 783.
- Figure 5 : *Discolithus macroporus* Deflandre en vue proximale.
Proximal view of *Discolithus macroporus* Deflandre.
x 20 000. Echantillon T 12-63. Cliché n° 1 825.
- Figure 6 : Placolithe isolé de *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller en vue distale.
Distal view of a single placolith of *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller.
x 5 000. Echantillon T 13-66. Cliché n° 1 695.

PLANCHE 11

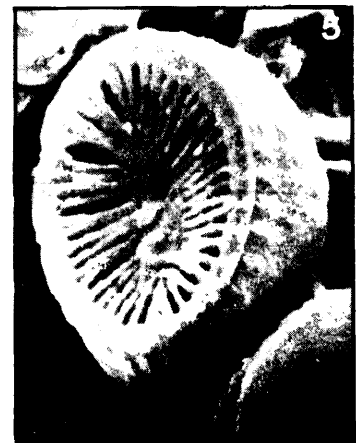
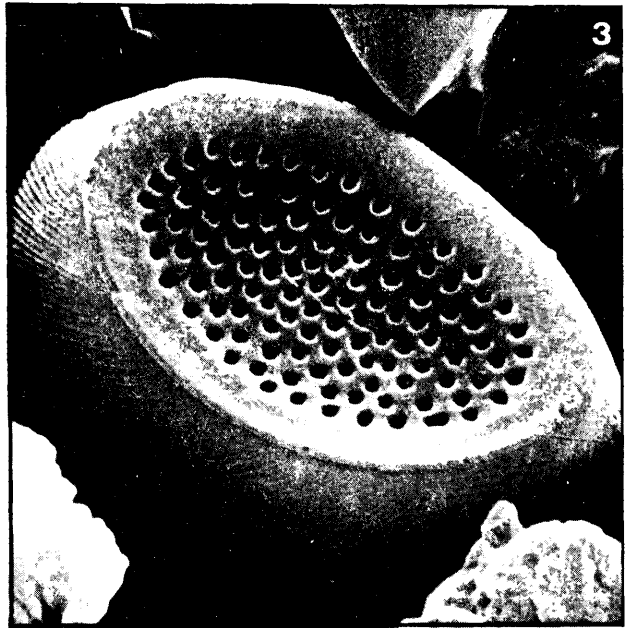


PLANCHE 11

- Figure 1 : Rhabdolithes isolé de *Rhabdosphaera stylifer* Lohmann en vue latérale et *Gephyrocapsa oceanica* Kamptner.
Single rhabdolith of *Rhabdosphaera stylifer* Lohmann in lateral view and *Gephyrocapsa oceanica* Kamptner
x 10 000. Echantillon T 7-0. Cliché n° 1 987.
- Figure 2 : Aspect d'un échantillon particulièrement riche.
Sight of a particularly rich sample.
x 2 000. Echantillon T 12-0. Cliché n° 2 092.
- Figure 3 : Vue proximale de *Pontosphaera discopora* Schiller.
Proximal view of *Pontosphaera discopora* Schiller.
x 9 000. Echantillon T 1-20. Cliché n° 1 876.
- Figure 4 : *Discolithus* sp. en vue distale.
Distal view of *Discolithus* sp.
x 6 000. Echantillon T 1-80. Cliché n° 1 997.
- Figure 5 : Vue proximale de *Pontosphaera* cf. *P. variabilis* Halldal et Markali.
Proximal view of *Pontosphaera* cf. *P. variabilis* Halldal and Markali.
x 16 000. Echantillon T 12-27. Cliché n° 2 177.

ESSAI DE SYNTHÈSE PALEOCLIMATIQUE
par L. PASTOURET*) - H. CHAMLEY**) - I. GAUDRY***)

Les carottages effectués au cours de la mission Térébel offrent certains caractères originaux. Tout d'abord les échantillons ont été prélevés dans la couverture sédimentaire à une profondeur importante, voisine de 40 m, jamais atteinte par les carottages classiques dans ce secteur de la Méditerranée ; ensuite, ils ont fait l'objet d'une étude concertée regroupant diverses disciplines.

Il nous a paru intéressant de rassembler dans un chapitre synthétique les résultats d'ordre paléoclimatique fournis par la palynologie, l'étude des minéraux argileux et des Foraminifères planctoniques.

Compte-tenu d'une part de la longueur restreinte des carottes ainsi que de la faible densité des prélèvements réalisés sur celles-ci, et, d'autre part, de l'absence de niveau de référence bien daté, nous avons été amenés à être extrêmement prudents dans les interprétations.

*) Centre Océanologique de Bretagne - Brest

**) Faculté des Sciences de Marseille - Luminy

***) Station de Géodynamique sous-marine - Villefranche sur Mer

CAROTTE T 1

ANALYSE POLLINIQUE (niveaux : 0, 20, 40, 60, 80 cm)

Dans l'ensemble, le climat est de type tempéré-froid-humide, avec une accentuation du "froid" au niveau 40 cm où la Chênaie-mixte est un peu plus effacée.

MINERAUX ARGILEUX (niveaux : 0, 40, 80 cm)

Le degré d'"ouverture" de l'illite traduit dans l'ensemble un climat de type tempéré qui devient plus frais au niveau 40 cm. L'interprétation climatique est la suivante :

- 0 cm : tempéré chaud
- 40 cm : tempéré frais
- 80 cm : tempéré chaud.

FORAMINIFERES PLANCTONIQUES (niveaux : 0, 40, 80 cm)

La microfaune est dans l'ensemble de type tempéré. On note une légère tendance au réchauffement au niveau 40 cm (apparition d'espèces subtropicales). L'interprétation climatique est la suivante :

- 0 cm : tempéré froid
- 40 cm : tempéré chaud
- 80 cm : tempéré froid.

Les différentes méthodes d'analyse soulignent le caractère tempéré des dépôts. Il faut remarquer la bonne concordance entre la flore et la fraction détritique issue des continents. Les Foraminifères planctoniques reflètent un certain décalage dont il est difficile de préciser le sens.

CAROTTE T 4

ANALYSE POLLINIQUE (niveaux : 0, 20, 30, 40, 60, 70 cm)

Au sommet de la séquence (0, 20, 30 cm) un changement sensible de la végétation (disparition des essences thermophiles) est consécutif à une modification climatique allant dans le sens d'un assèchement plutôt que d'un refroidissement (*Tsuga* est encore présent).

Dans les trois niveaux inférieurs, la flore (pins, thermophiles européens et exotiques) témoigne d'un climat tempéré plus humide que l'actuel et peut-être légèrement plus chaud.

MINÉRAUX ARGILEUX (niveaux : 0, 20, 30, 40, 60, 70 cm)

Dans l'ensemble, le climat est de type tempéré chaud (illite passablement "ouverte", chlorite mal définie).

Le sommet de la carotte apparaîtrait légèrement plus chaud, mais tous les critères minéralogiques ne sont pas concordants.

FORAMINIFÈRES PLANCTONIQUES (niveaux : 0, 30, 70 cm)

Les espèces d'eau chaude sont dominantes tout au long de la carotte. Le niveau 70 cm serait le témoin d'un réchauffement assez net avec apparition d'espèces tropicales. L'interprétation climatique est la suivante :

- 0 cm : tempéré chaud
- 30 cm : tempéré chaud
- 70 cm : chaud.

Les informations recueillies par les trois méthodes d'analyse sont concordantes. Il est incontestable que l'on se trouve en présence de sédiments qui se sont déposés lors de phases climatiques tempérées chaudes à chaudes.

Il faut noter en outre que les résultats fournis par les pollens et la microfaune sont cohérents, en particulier pour les niveaux inférieurs. Du bas vers le haut de la carotte s'observe une légère dégradation des conditions climatiques qui se traduit sur le continent par une tendance à l'assèchement. La fraction minérale ne semble pas refléter ces modifications.

CAROTTE T 7

ANALYSE POLLINIQUE (niveaux : 0, 20, 35, 40, 60, 65 cm)

Tous les niveaux se sont révélés presque entièrement stériles. A 65 cm cependant, la flore, très appauvrie en genres arborescents et où domine le pin, se serait développée sous un climat relativement froid.

MINÉRAUX ARGILEUX (niveaux : 0, 20, 35, 40, 60, 65 cm)

Dans l'ensemble, le climat est de type tempéré à tempéré chaud sauf à la base (65 cm) où l'illite est bien "fermée" caractérisant un certain rafraîchissement. L'interprétation est la suivante :

- 0 et 20 cm : tempéré chaud
- 35 cm : tempéré
- 40 cm : tempéré chaud
- 60 cm : tempéré
- 65 cm : assez froid.

FORAMINIFÈRES PLANCTONIQUES (niveaux : 0, 20, 40, 60 cm)

Une interprétation paléoclimatique est difficile à proposer car les variations microfaunistiques semblent obliérées par des phénomènes de remaniements sédimentaires. Cependant, la microfaune est de type froid. On pourrait noter une tendance au réchauffement à 0 cm et 40 cm.

Les analyses polliniques et microfaunistiques ne permettent pas de proposer une interprétation paléoclimatique. Le fait que les dépôts se soient révélés stériles en pollens pourrait être en relation avec les phénomènes planctoniques. Dans ce cas, les minéraux argileux donneraient des indications paléoclimatiques sur des sédiments allochtones d'âge antérieur aux remaniements. Remarquons tout de même la tendance au réchauffement des niveaux 0 cm et 40 cm révélée à la fois par les minéraux argileux et la microfaune, ainsi que le caractère froid des trois critères à la base du sondage.

CAROTTE T 9

ANALYSE POLLINIQUE (niveaux : 0, 20, 36 cm)

L'homogénéité des spectres polliniques qui caractérise les trois niveaux autorise à penser que les sédiments se sont déposés lors d'une période de stabilité climatique.

Toutefois, il est possible de noter quelques variations minimales. Les niveaux de surface (0, 20 cm) révèlent un climat relativement sec et peut-être froid ; à la base (36 cm), il serait frais et légèrement plus humide.

MINÉRAUX ARGILEUX (niveaux : 0, 20, 36 cm)

Le climat est de type frais tout au long de la carotte.

FORAMINIFÈRES PLANCTONIQUES (niveaux : 0, 20, 36 cm)

La composition microfaunistique varie entre le niveau supérieur et ceux de la base.

Dans le premier, l'association est hétéroclite, l'on trouve côte-à-côte des espèces d'eau chaude et d'eau froide, *Hastigerina aequilateralis* et *Globigerina pachyderma* senestre ; dans les seconds, on note l'abondance des formes de petite taille et plus particulièrement de *Globorotalia scitula* qui est considérée comme une espèce profonde. Ceci est la conséquence, vraisemblablement, de remaniements sédimentaires.

Il apparaît difficile de proposer des corrélations entre les différentes analyses car les dépôts ont été l'objet de remaniements sédimentaires mis en évidence par l'étude de la microfaune benthique et planctonique. On peut remarquer toutefois que les investigations effectuées sur la fraction fine du sédiment (pollens et minéraux argileux) donnent des résultats cohérents.

CAROTTE T 10

ANALYSE POLLINIQUE (niveaux : 0, 20, 30, 40, 60, 70 cm)

D'une façon générale, les types de végétation retrouvés témoignent d'un climat frais à froid.

Des variations apparaissent cependant : d'une part à 40 cm, où se situe un épisode plus sec, d'autre part au sommet de la carotte où le climat semble évoluer vers une phase tempérée.

MINERAUX ARGILEUX (niveaux : 0, 70 cm)

Le climat est dans l'ensemble de type tempéré à assez chaud, le réchauffement s'affirmant dans les niveaux supérieurs.

Il faut remarquer que les suspensions fines ont une couleur beige-rouge caractéristique qui dénote l'existence sur le continent d'une couverture rubéifiée dont la genèse fait appel à des phases climatiques hydrolysantes. L'érosion continue d'une telle couverture au cours du temps peut donner aux niveaux argileux l'apparence de climats plus chaud-humides que les climats contemporains réels.

FORAMINIFERES PLANCTONIQUES

La composition de la microfaune, pour un niveau donné, est très hétérogène ; on rencontre aussi bien des espèces d'âge quaternaire ou pliocène que des formes quaternaires d'eau chaude ou d'eau froide. Ceci traduit l'existence de remaniements sédimentaires.

Il paraît difficile d'établir des corrélations entre les différentes méthodes d'analyse à cause des mélanges de sédiment mis en évidence lors de l'étude de la microfaune benthique et planctonique. Il faut remarquer en outre que les résultats fournis par le matériel issu du continent sont divergents. Peut-être faut-il voir là la conséquence d'un remaniement de grande importance.

CAROTTE T 12

ANALYSE POLLINIQUE (niveaux : 0, 20, 27, 40, 48, 63, 70 cm)

Les spectres polliniques mettent en évidence la superposition de deux phases climatiques ;

- l'une assez froide et sèche traduit une dégradation climatique avec appauvrissement de la végétation (0 à 27 cm) qui se manifeste par une plus large diffusion des pins et la disparition des arbres à tendance hygrophile,

- l'autre tempérée humide, probablement plus chaude que la phase actuelle, voit l'extension de la chênaie mixte (27 à 70 cm).

MINERAUX ARGILEUX (niveaux : 0, 20, 27, 40, 48, 63, 70 cm)

Cette carotte présente des variations paléoclimatiques importantes ; le climat oscille en effet entre une phase fraîche et une phase chaude. Cette dernière est caractérisée par la largeur du pic à 10 Å de l'illite, l'état de fragmentation et le contour diffus des phyllites.

La succession paléoclimatique est la suivante :

- 0 cm : tempéré
- 20 cm : frais
- 27 cm : tempéré frais
- 40 cm : chaud
- 48 cm : tempéré chaud
- 63 cm : tempéré frais
- 70 cm : frais.

FORAMINIFERES PLANCTONIQUES (niveaux : 0, 20, 27, 40, 48, 63, 70 cm)

Les diagrammes polaires soulignent l'importance des variations paléoclimatiques. La microfaune a subi tout au long de la carotte de profondes modifications. On passe en effet d'une association typique d'eau froide à une association typique d'eau chaude avec apparition d'espèces subtropicales et tropicales.

La succession paléoclimatique est la suivante :

- 0 cm : froid
- 20 cm : tempéré
- 27 cm : tempéré
- 40 cm : chaud
- 48 cm : tempéré
- 63 cm : tempéré chaud
- 70 cm : tempéré frais

Il faut noter la bonne concordance des résultats que fournissent les différentes méthodes d'analyse. Elles soulignent l'opposition existant entre les niveaux supérieurs (0, 27 cm) et ceux de la base (27, 40 cm). A partir de 27 cm, le climat se dégrade et évolue vers l'installation de conditions rigoureuses plus accusées,

semble-t-il, par la flore et la microfaune que par les argiles. On peut remarquer également que l'épisode de réchauffement au niveau 40 cm est bien marqué à la fois par la fraction minérale et les Foraminifères planctoniques. Il faut signaler enfin que les corrélations climatiques niveau à niveau pour ces deux dernières méthodes ne sont pas rigoureuses : on constate qu'il existe un certain décalage ou télescopage des phases climatiques par rapport au niveau 40 cm pris comme référence. Les minéraux argileux réagiraient plus rapidement aux variations climatiques que les Foraminifères.

CAROTTE T 13

ANALYSE POLLINIQUE (niveaux 0, 20, 39, 53, 66 cm)

Les sédiments se révèlent stériles.

MINÉRAUX ARGILEUX (niveaux 0, 20, 39, 53, 66 cm)

Les dépôts de la portion supérieure de la carotte traduisent un climat de type tempéré (0 à 39 cm). Vers la base, on note une tendance nette vers un réchauffement (53-66 cm).

FORAMINIFÈRES PLANCTONIQUES (niveaux 0, 20, 39, 66 cm)

On peut remarquer tout au long de ce prélèvement un certain mélange entre les espèces d'eau froide et d'eau chaude. Dans ces conditions, il est difficile de proposer une interprétation paléoclimatique. Toutefois, il est intéressant de noter que les formes "froides" sont plus abondantes à 0 cm et les formes "chaudes" à 39 cm. Des espèces tropicales sont présentes à 66 cm.

Les remaniements sédimentaires mis en évidence par la microfaune planctoniques semblent corroborés par la palynologie. Des corrélations entre les différentes analyses sont difficiles à établir. Toutefois, il faut remarquer une certaine correspondance entre la fraction sédimentaire issue du continent et les Foraminifères planctoniques.

CAROTTE T 14

ANALYSE POLLINIQUE (niveaux : 0, 20, 32 cm)

Au sommet de la séquence (0 cm), la végétation formée d'essences aux exigences climatiques différentes, évoque une période à climats plus ou moins téléscopés ; ce fait pourrait être lié à un remaniement des dépôts.

Dans les deux niveaux inférieurs, la flore, pauvre en genres arborescents, où le pin constitue l'essentiel du couvert forestier, témoigne d'un climat frais à froid.

MINÉRAUX ARGILEUX (niveaux : 0, 20, 32 cm)

Les critères minéralogiques s'accordent pour souligner tout au long du prélèvement le caractère typiquement froid du climat.

FORAMINIFÈRES PLANCTONIQUES (niveaux : 0, 20, 32 cm)

Ces dépôts sont extrêmement pauvres en Foraminifères planctoniques ; il est donc hasardeux de présenter une interprétation paléoclimatique. On peut remarquer toutefois que les espèces d'eau froide sont abondantes à tous les niveaux.

Les échantillons étudiés sont caractérisés par la rareté de la fraction granulométrique supérieure à 63 μ et des Foraminifères. Ils ont probablement été l'objet de remaniements.

Il est toutefois intéressant de noter que les analyses paléoclimatiques désignent toutes un climat froid.

CONCLUSION

La comparaison des résultats paléoclimatologiques obtenus à l'aide des pollens, des minéraux argileux et des Foraminifères planctoniques nous amène à formuler un certain nombre de remarques. On peut noter plusieurs degrés de concordance dans les résultats acquis.

Les trois méthodes d'analyse sont en bonne concordance pour les carottes T 1, T 4, T 12 et T 14, avec une petite restriction pour cette dernière.

Le prélèvement T 9 offre des corrélations paléoclimatiques satisfaisantes seulement pour les pollens et les argiles, qui représentent la fraction issue du continent. Les Foraminifères traduisent des remaniements sédimentaires.

Enfin, les résultats sont incohérents pour T 7, T 10 et T 13. Ce sont des carottes dans lesquelles l'analyse sédimentologique d'une part et la microfaune d'autre part ont révélé des remaniements plus ou moins importants.

Il faut signaler en outre que la stérilité pollinique correspond toujours à un mélange au sein de la microfaune planctonique. On peut envisager à titre d'hypothèse qu'il existe une relation entre les deux phénomènes. Les reprises de sédiments amèneraient une nouvelle phase de sédimentation pendant laquelle les pollens placés dans de nouvelles conditions défavorables seraient détruits.

COMPARAISON GEOCHIMIQUE ET MINERALOGIQUE
ENTRE LA ZONE DES DÔMES ET LA MARGE CONTINENTALE

par G. PAUTOT *), R. HEKINIAN *) et H. BOUGAULT *)

Nous avons reporté les valeurs des dosages en éléments-traces et les pourcentages en argiles pour essayer de dégager des éléments de comparaison entre la zone des dômes et le domaine de la marge continentale.

Très schématiquement, nous avons effectué la division géographique suivante:

- T 9, T 13, T 14 : dômes salifères ?
- T 1, T 10 : bas de pente
- T 4, T 7 : ride sédimentaire.

1 - ELEMENTS-TRACES

Les valeurs des concentrations en éléments-traces ont été portées sur un graphe et l'on a établi une moyenne pour chaque carotte.

La conclusion la plus importante est, comme le dit J.L. RUMEAU par ailleurs, la remarquable homogénéité régionale des teneurs en éléments-traces. On ne note pas de variations importantes sur les dômes.

Les seuls éléments qui présentent des variations significatives sont :

- le manganèse
- le strontium
- le baryum.

. Le manganèse

Le manganèse est dominant dans la fraction grossière (fraction carbonatée). Le manganèse de la fraction fine est lié aux argiles.

Il est deux fois plus abondant sur les dômes que dans les autres zones.

Il est difficile de faire appel à une origine endogène pour expliquer cette haute teneur en manganèse. La précipitation du manganèse étant liée souvent à des conditions oxydantes, on peut penser à une accélération du courant sur les dômes au moment du dépôt.

Le cuivre, cobalt et nickel ne présentent pas ici de changements de concentration.

*)
Centre Océanologique de Bretagne - BREST

. Le strontium

Le strontium est plus abondant dans la fraction carbonatée, comme le manganèse.

Si les teneurs en strontium dans la fraction grossière sont comparables, il semble que dans la fraction fine associée aux argiles, le strontium est plus abondant sur les dômes.

Le maximum (900 ppm sur le sédiment brut) est observé en bas de pente (T10). Cette haute teneur peut être associée à une accumulation d'organismes ou à une augmentation de la productivité liée aux "courants de contour".

. Le baryum

Dans nos analyses, le baryum est plus concentré dans la fraction fine (< 5 μ) et il est plus abondant sur les dômes.

Sur les dômes, on note également une augmentation de la chlorite. Il n'est pas exclu que le baryum soit en partie liée à cette chlorite (riche en manganèse).

En conclusion, les éléments-traces montrent peu de variations dans la région étudiée.

Eléments-traces

| Zone | Forage | Mn | Sr | Ba |
|-------------|--------|-------|----------------|-------|
| Dôme T | T 14 | 200 + | 150 + 400 0 | 350 0 |
| | | 700 0 | | 625 + |
| Dôme CL | T 13 | 280 + | 110 + 450 0 | 250 0 |
| | | 620 0 | | 420 + |
| Dôme SH | T 9 | 225 + | 150 + 300 0 | 275 0 |
| | | 620 0 | | 550 0 |
| Ride sédim. | T 7 | 175 + | 100 + 350 0 | 300 0 |
| | | 600 0 | | 425 + |
| Ride sédim. | T 4 | 120 + | 100 + 400 0 | 300 0 |
| | | 350 0 | | 450 + |
| Bas pente | T 10 | 160 + | 100 + 500 0 | 300 0 |
| | | 350 0 | | 450 + |
| Canyon | T 1 | 175 + | 100 + 350 0 | 260 0 |
| | | 420 0 | | 400 + |

0 : sédiment brut (B.R.G.M.)

+ : sédiment fin (<5 μ) (S.N.P.A.)

Seuls le manganèse, le strontium et le baryum marquent une augmentation sensible sur les dômes. Il ne semble pas que cette augmentation de ces éléments-traces provienne d'une migration des ions depuis l'intérieur du dôme (gypse par exemple) car la teneur en Ca^{++} dans l'eau interstitielle est plus faible que dans l'eau de mer.

2 - ARGILES

Le pourcentage en illite est remarquablement constant (55 %).

Les autres constituants montrent des variations significatives entre la zone des dômes et la marge continentale.

Sur les dômes :

- . augmentation de la chlorite
- . diminution de la kaolinite
- . diminution du complexe illite + montmorillonite.

Cette augmentation de la chlorite peut être liée aux apports des Maures, car les chlorites sont des minéraux typiques du métamorphisme des Maures. Le courant portant vers l'ouest, on trouve peu de chlorite à l'est des Maures.

La kaolinite est souvent liée aux sols qui ont subi un lessivage intense ou à la décomposition des roches acides riches en feldspaths. Le Var est la source la plus importante de cette argile d'où la concentration sur la dorsale sédimentaire du cap d'Antibes et l'appauvrissement vers les dômes.

ARGILES (moyennes)

| Zone | Forage | Illite % | Chlorite % | Kaolinite % | Illi+Montm. % |
|-------------|--------|----------|------------|-------------|---------------|
| Dôme T | T 14 | 55 | 40 | 0 | 4 |
| Dôme CL | T 13 | 60 | 20 | 10 | 8 |
| Dôme SH | T 12 | 55 | 30 | 8 | 5 |
| Dôme SH | T 9 | 55 | 40 | 3 | 2 |
| Ride sédim. | T 7 | 55 | 25 | 12 | 6 |
| Ride sédim. | T 4 | 55 | 25 | 10 | 10 |
| bas pente | T 10 | 55 | 25 | 10 | 10 |
| Canyon | T 1 | 55 | 22 | 10 | 12 |

3 - L'EAU INTERSTITIELLE

Nous présentons ici une analyse comparative des teneurs ioniques d'eau interstitielle prélevée dans les sédiments des dômes à des niveaux différents.

La carotte CAL-2 est une carotte à piston prélevée par "La Calypso" et étudiée à Villefranche-sur-Mer par G. PAUTOT et G. BELLAICHE. Cette carotte provient d'un autre dôme de la plaine abyssale ligure "la structure A".

G. PAUTOT, dans sa thèse, après l'analyse de la carotte CAL-2, parvenait à la conclusion que la teneur élevée en chlorure vers la base et l'enrichissement en magnésium et potassium de l'eau interstitielle pouvait provenir de la diffusion de ces ions à partir du dôme de sel. En effet, ces concentrations ne sont pas habituellement observées dans les sédiments marins (B. KULLENBERG).

Sur la carotte T 13, le B.R.G.M. a effectué la même analyse, et l'I.F.P. a donné la concentration en Cl^- et SO_4^{--} de la carotte T 0.

Ces trois carottes ont été prélevées sur des dômes différents et à des profondeurs différentes, on peut donc discuter la validité de cet essai comparatif.

On peut comparer les valeurs obtenues avec l'eau méditerranéenne type profonde dans cette région. Les concentrations de cette eau type ont été calculées par F. MADELAIN en partant d'une salinité de 38,405 ‰ d'où une chlorinité de 21,259 ‰. Les valeurs rapportées à cette chlorinité sont présentées à titre comparatif. Il est bien évident que l'on ne connaît pas exactement les lois de l'équilibre thermodynamique entre la concentration des ions dans l'eau interstitielle et la concentration des ions dans l'eau de mer. Cependant, les analyses effectuées par divers auteurs ont permis d'en tirer quelques lois empiriques.

- Les chlorures

B. KULLENBERG a relevé des valeurs en Cl^- dans l'eau interstitielle comparables à celles de l'eau de mer. Ici, les valeurs sont très nettement supérieures.

On note également une stratification avec des variations brutales.

- Le sodium

Dans la partie la plus profonde, on note un accroissement sensible de la teneur en sodium.

- Les sulfates

Dans la carotte superficielle, on note un accroissement graduel de la concentration en sulfates vers la base.

Sur le dôme T (carotte T 0), les valeurs en sulfates sont nettement plus importantes.

Par contre, sur le dôme CL (carotte T 13), on note un déficit bien marqué.

- Le magnésium

On note habituellement un déficit constant en magnésium dans les eaux interstitielles.

C'est ce que l'on remarque sur le dôme CL mais sur le dôme A il y a augmentation. G. MICHARD sur ce même dôme a retrouvé cette augmentation de la teneur en magnésium (communication orale).

- Le calcium

D'après SHISHKINA (1957), l'eau interstitielle est appauvrie en calcium. C'est ce que l'on remarque ici. Cependant, sur le dôme A, une carotte prélevée au cours de la mission Polymède et analysée par G. MICHARD montre une concentration en calcium vers la base.

- Le potassium

Sur la structure A, augmentation de la teneur en potassium. Il est possible que cette augmentation soit due à une interaction avec des composants riches en potassium.

Quelles conclusions pouvons-nous tirer de ces analyses ?

L'augmentation sensible de Cl^- et de Na^+ sur le dôme CL et l'appauvrissement en sulfates suggère qu'il y a diffusion dans le sédiment à partir d'halite. Par contre, sur les deux autres structures, l'augmentation des sulfates peut laisser supposer que la partie supérieure du cap-rock est formée de gypse ou d'anhydrite (sulfate de calcium) ?

Eau interstitielle

| | Cl^- | Na^+ | SO_4^{--} | Mg^{++} | Ca^{++} | K^+ |
|---------------------|--------|--------|-------------|-----------|-----------|-------|
| eau méditerranéenne | 21,236 | 11,811 | 2,963 | 1,423 | 0,448 | 0,425 |
| C 2 (dôme A) | | | | | | |
| 0,15 - 0,20 | 24,960 | 10,750 | 2,20 | 1,760 | 0,357 | 0,660 |
| 1,00 - 1,05 | 24,960 | 10,750 | | 1,720 | 0,360 | 0,720 |
| 3,00 - 3,05 | 21,060 | 8,600 | 3,32 | 1,450 | 0,307 | 0,570 |
| 5,00 - 5,05 | 25,480 | 11,800 | | 1,760 | 0,368 | 0,740 |
| 6,40 - 6,45 | 22,100 | 9,100 | 3,42 | 1,520 | 0,325 | 0,600 |
| 7,70 - 7,75 | 23,900 | 10,400 | | 1,640 | 0,346 | 0,680 |
| 8,00 - 8,05 | 26,000 | 10,750 | 4,00 | 1,770 | 0,371 | 0,740 |
| T 0 (dôme T) | | | | | | |
| 35,10 | 25,38 | | 4,48 | | | |
| 35,20 | 26,56 | | 4,53 | | | |
| 35,30 | 23,60 | | 3,96 | | | |
| 35,40 | 25,46 | | 4,50 | | | |
| 35,50 | 29,54 | | 5,21 | | | |
| 35,60 | 10,89 | | 2,06 | | | |
| 35,70 | 21,45 | | 4,37 | | | |
| T 13 (dôme CL) | | | | | | |
| 45,23 - 45,25 | 25,773 | 14,319 | 1,410 | 1,277 | 0,352 | 0,470 |
| 45,56 - 45,59 | 25,986 | 14,541 | 1,430 | 1,272 | 0,328 | 0,470 |

OBSERVATIONS SUR LES ANALYSES GEOCHIMIQUES DU B.R.G.M.

par J. GREFFARD *)

EAU INTERSTITIELLE

La salinité de l'eau interstitielle (voir les résultats donnés à titre d'exemple pour deux échantillons) très élevée, indique la raison des faibles teneurs en eau (déshydratation possible des carottes au cours de leur conservation.

Néanmoins, si nous essayons d'utiliser les rapports de chacun des éléments par rapport au C 1, on note que les rapports Na/Cl, K/Cl sont identiques à la moyenne des valeurs admises pour les eaux océaniques.

Par contre, les rapports Mg/Cl, Ca/Cl, Cl/SO₄⁻⁻ sont modifiés très nettement.

Si l'on élimine l'hypothèse de cristallisation fractionnée, liée à la déshydratation des carottes, on note un abaissement des teneurs en magnésium, phénomène habituel en général dans les eaux interstitielles.

Les concentrations en calcium et en sulfate sont faibles, cela peut-être en relation :

- soit avec l'activité bactérienne, formation de SH₂ à partir des sulfates, et formation de CO₃Ca,
- soit par dépôt de gypse (Kullenberg, 1952) qui a trouvé du gypse néoformé dans des vases méditerranéennes.

ELEMENTS TRACES

Le dosage des éléments-traces a été effectué par spectrométrie d'émission.

1° - Examen échantillon par échantillon

Les éléments apportés par cette étude ne permettent que peu d'observations étant donné les faibles variations des éléments dosés et l'absence de lien entre l'échantillon et le lieu de prélèvement de la carotte.

2° - Si nous comparons les valeurs moyennes données par chaque carotte en fonction de la position du prélèvement et de l'éloignement de la côte, nous pouvons faire les observations suivantes :

Carottes T 9- T 12 - T 13, même zone de prélèvement.

*) Bureau de Recherches Géologiques et Minières - ORLEANS

La carotte T 9 est plus riche en B, Pb, Cu, Mn, plus faible en Sr.

T 12 - T 13 sont des caractéristiques identiques, sauf pour le baryum.

Si l'on compare T 4 et T 7, T 4 est plus riche en métaux lourds et alcalino terreux, plus faible en Mn, T 7 se rapprocherait plus de T 12 et T 13 que de T 4.

T 1 se rapprocherait elle-même de T 12 et T 13 sauf pour le Mn et le Sr.

T 10 et T 14 apparaissent elles-mêmes assez isolées.

Ces comparaisons n'apportent donc pas beaucoup d'éléments par elles-mêmes, seuls les examens minéralogiques comparés et les études hydrodynamiques pourraient peut être éclairer d'une lumière plus intéressante ces résultats.

EXAMEN BACTERIOLOGIQUE

Les prélèvements systématiques effectués sur chacune des carottes ont permis de mettre en évidence des bactéries sulfato-réductrices dans la carotte T 9 (niveau 30 cm).

COMMENTAIRES SUR LES RESULTATS GEOCHIMIQUES DE LA S.N.P.A.

par J.L. RUMEAU *)

Un premier examen des résultats d'analyse sur sédiment total révèle la parenté entre les 32 prélèvements étudiés. A l'exception du soufre total et du soufre des bisulfures, les dispersions des teneurs sont relativement faibles. En particulier, les carottages effectués sur les dômes ne se distinguent pas des sédiments plus proches de la base du talus, du moins sur la base de nos résultats d'analyses géochimiques.

Les teneurs sur fraction fine et la minéralogie de la phase argileuse sont également homogènes. Nous manquons d'éléments de référence relatifs à des sédiments méditerranéens de même âge, mais, par rapport à des sédiments récents ou anciens de lithologie comparable, *la plupart des teneurs en éléments-traces sont tout à fait banales* (on peut noter toutefois les faibles concentrations en Pb et Co). La phase argileuse est caractérisée par des *illites et chlorites très bien cristallisées*. La kaolinite et les interstratifiés sont toujours subordonnés.

Il apparaît donc nécessaire de procéder à des examens plus approfondis des résultats analytiques dans l'espoir de révéler soit des différences significatives entre prélèvements soit l'origine autochtone ou héritée de certaines concentrations. La méthode en usage au Centre de Recherches S.N.P.A. est l'analyse factorielle en mode R (SPENCER *et al.*, 1967, KULBICKI *et al.*, 1968, RUMEAU et VANNEY, 1969).

A - RECHERCHE DES FACTEURS GOUVERNANT LA DISTRIBUTION DES ELEMENTS MAJEURS, DES ELEMENTS-TRACES DU CARBONE ORGANIQUE ET DU SOUFRE SUR SEDIMENT TOTAL

Dans le but de faire apparaître les facteurs qui régissent la répartition des éléments sur sédiment total, une analyse factorielle a été effectuée en retenant, pour les 32 échantillons, les 22 variables suivantes :

- SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO
- Carbone organique
- Soufre total, soufre organique, soufre des bisulfures, soufre des sulfates
- B, V, Mo, Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, Co, Sr, Ba, Ga, Mn

*) Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine - Centre de Recherche de PAU.

La matrice factorielle du tableau 1 extrait 81,5 % de la variance totale du système formé par les 704 (32 x 22) valeurs introduites. Six facteurs sont individualisés :

FACTEUR 1

Il exprime près de 20 % de la variance totale et groupe les éléments lithophiles traditionnels Al_2O_3 , Ga, Cr, V. Le bore et le zinc y figurent avec un poids plus faible et CaO est faiblement opposé. Ce facteur représente la phase argileuse du sédiment. A noter que le carbone organique lui est faiblement associé en raison probablement, d'une meilleure conservation de la matière organique dans les sédiments les plus argileux.

FACTEUR 2

Représentant un peu plus de 20 % de la variance totale, ce facteur traduit l'opposition entre la phase carbonatée (CaO) et les phases détritiques : quartz, intervenant dans les teneurs en SiO_2 total, et phase argileuse figurée ici par Al_2O_3 . Il faut remarquer que strontium et cobalt sont fortement liés aux carbonates et molybdène un peu moins fortement. La présence des deux premiers métaux dans ce facteur suggère que les carbonates n'ont encore subi qu'assez peu de recristallisations. L'association du molybdène pourrait avoir une cause analytique.

Le baryum, lithophile habituel, est curieusement associé, d'ailleurs avec un poids faible, aux éléments des carbonates. L'explication doit être recherchée probablement dans la teneur anormale (900 ppm) de l'échantillon T 12, 37-39 qui présente aussi des enrichissements en CaO, Co, Sr. Pour examiner cette hypothèse, on a procédé à un traitement multivariable en retirant l'échantillon T 12, 37-39. Le poids du baryum dans le facteur 1 devient alors 0,487 (au lieu de 0,299 pour l'ensemble des prélèvements) c'est-à-dire que le baryum se partage presque également entre lithophiles et carbonates.

Les facteurs 1 et 2, dont la variance cumulée dépasse 40 %, soit près de la moitié de la variance totale extraite, traduisent la dépendance lithologique des éléments. Le quartz détritique restant à peu près inerte vis-à-vis des autres éléments, les facteurs 1 et 2 départagent les éléments entre phase argileuse et phase carbonatée.

FACTEUR 3

Le soufre total, le soufre des bisulfures, le soufre des sulfates se groupent dans ce facteur (près de 16 % de la variance totale) associés au carbone organique. L'absence presque totale des éléments métalliques, à l'exception du baryum, montre que le carbone et le soufre ne sont pas responsables des concentrations en métaux ; le carbone est presque entièrement détritique. Le comportement du soufre sera examiné plus loin.

Une liaison bore-carbone organique-bisulfures s'observe assez souvent sur des sédiments relativement jeunes. A noter que l'examen des corrélations entre éléments pris deux à deux révèle que la liaison bore-sulfates est très faible (coef. de corrélation = 0,2). La présence du baryum dans ce facteur est due à l'échantillon T 12, 37-39 qui présente les plus fortes teneurs en soufre et en baryum, mais

Tableau I

Analyse factorielle sur sédiment total - Matrice Varimax à 6 facteurs

| VARIABLES | FACT. 1 | FACT. 2 | FACT. 3 | FACT. 4 | FACT. 5 | FACT. 6 | COMMUNALITES |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------|
| B | 0,567 | 0,158 | -0,543 | 0,128 | 0,110 | -0,211 | 0,714 |
| V | 0,918 | 0,082 | -0,021 | 0,099 | 0,096 | 0,022 | 0,870 |
| Mo | -0,043 | -0,796 | 0,128 | -0,109 | 0,194 | -0,004 | 0,702 |
| Pb | 0,104 | 0,044 | 0,277 | 0,732 | 0,055 | -0,153 | 0,652 |
| Zn | 0,657 | -0,084 | -0,144 | 0,468 | 0,292 | 0,101 | 0,775 |
| Cu | 0,391 | 0,033 | -0,305 | 0,726 | -0,094 | 0,238 | 0,839 |
| Cr | 0,777 | 0,163 | -0,112 | 0,120 | 0,095 | -0,013 | 0,667 |
| Ni | 0,169 | -0,244 | -0,184 | 0,131 | 0,823 | -0,072 | 0,822 |
| Co | 0,018 | -0,924 | -0,070 | 0,044 | 0,050 | 0,118 | 0,878 |
| Sr | -0,049 | -0,936 | -0,049 | -0,213 | 0,105 | 0,138 | 0,956 |
| Ba | 0,299 | -0,581 | -0,415 | 0,157 | 0,251 | -0,048 | 0,690 |
| Ga | 0,900 | -0,275 | -0,040 | 0,131 | 0,111 | 0,042 | 0,918 |
| Mn | 0,119 | -0,033 | 0,184 | 0,799 | 0,330 | 0,040 | 0,798 |
| SiO ₂ | 0,002 | 0,707 | 0,229 | -0,311 | 0,244 | -0,025 | 0,709 |
| Al ₂ O ₃ | 0,691 | 0,589 | 0,222 | 0,059 | -0,074 | -0,83 | 0,890 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,281 | 0,237 | -0,259 | 0,434 | 0,663 | 0,075 | 0,836 |
| CaO | -0,464 | -0,752 | -0,204 | -0,052 | -0,251 | 0,065 | 0,892 |
| S. TOTAL | 0,111 | -0,201 | -0,864 | -0,071 | 0,318 | -0,072 | 0,911 |
| S. ORG. | -0,057 | 0,186 | -0,092 | -0,062 | 0,054 | -0,934 | 0,925 |
| S. BISULF. | 0,173 | -0,196 | -0,850 | -0,124 | 0,229 | -0,023 | 0,860 |
| S. SO ₄ | -0,231 | -0,076 | -0,818 | -0,135 | 0,093 | 0,044 | 0,757 |
| C.O. | 0,413 | 0,070 | -0,617 | 0,206 | 0,234 | 0,479 | 0,882 |
| 0/0 VARIANCE | 19,79 | 20,45 | 15,91 | 11,16 | 8,31 | 5,94 | |
| 0/0 VARIANCE CUMULEE | 19,79 | 40,23 | 56,15 | 67,31 | 75,62 | 81,55 | |

la corrélation n'est pas générale. Lorsqu'on retire l'échantillon T 12, 37-39 de l'analyse multi-variable, le poids du baryum dans le facteur 3 est ramené à -0.206.

On observe que le fer est faiblement lié au facteur 1 (argiles), au facteur 2 (carbonates) et naturellement au facteur 3 par les bisulfures.

FACTEUR 4

La présence du fer, du manganèse et du plomb dans ce facteur (11 % de la variance totale) nous le fait interpréter comme représentant les hydroxydes. On remarque que le cuivre, qui figure dans ce facteur avec un poids élevé, n'est que très faiblement lié au carbone organique (voir également facteur 3).

On ne trouve donc pas l'association cuivre-matière organique, caractéristique des milieux où la matière organique autochtone est en proportions notables par rapport à la matière organique détritique. Ici, le cuivre se partage entre argiles, sulfures, hydroxydes et matière organique.

Le zinc est présent dans ce facteur avec un poids assez faible, son comportement étant principalement celui d'un lithophile (facteur 1).

FACTEUR 5

Ce facteur, qui représente un peu plus de 8 % de la variance totale, exprime une certaine liaison nickel-fer-(manganèse-soufre). Toutefois, l'apparition de ce facteur est due partiellement à l'échantillon "anomalique" T 12, 37-39 qui présente à la fois le maximum des teneurs en fer (6,3 %), nickel (72 ppm), soufre (2,6 %), manganèse (700 ppm). L'échantillon suivant (T 12, 52-60) contribue d'ailleurs à renforcer cette corrélation, avec 5,8 % de fer, 53 ppm de nickel, 1,1 % de soufre, 690 ppm de manganèse. Ce facteur suggère une tendance à la précipitation du nickel dans certaines formes de sulfures. Les quantités de nickel demeurent tout de même très faibles.

FACTEUR 6

Il ne représente que 5,9 % de la variance totale mais traduit bien l'indépendance du soufre organique vis-à-vis des autres éléments, sauf d'une partie du carbone organique (probablement la fraction non détritique de ce carbone).

B - REMARQUES SUR LA DISTRIBUTION DU SOUFRE

1° - Les teneurs en soufre total et en soufre des bisulfures varient dans des proportions très importantes (figure 96).

| | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type |
|--------------|---------|---------|---------|------------|
| S total | 0,13 % | 2,59 % | 0,48 % | 0,47 % |
| S bisulfures | 0,027 % | 2,34 % | 0,31 % | 0,44 % |

Le coefficient de corrélation entre soufre total et soufre des bisulfures est de 0,93. La figure 96 montre que la valeur élevée de ce coefficient n'est pas due seulement aux deux derniers échantillons de la carotte T 12.

Il existe une certaine corrélation entre carbone organique et soufre total ($r = 0,49$) et entre carbone organique et soufre des bisulfures ($r = 0,54$). L'accumulation de matériel organique, même d'origine détritique, est toujours favorable

| Echantillon | Carbone organique | | | | Soufre total | | | | Soufre des bisulfures | | | | S. sulfates | | S. organ. | |
|-------------|-------------------|-----|-----|-------|--------------|-----|------|--------|-----------------------|-----|------|--------|-------------|------|-----------|-------|
| | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 % | 0,4 | 0,8 | 0,12 | 0,16 % | 0,4 | 0,8 | 0,12 | 0,16 % | 0,4 | 0,8% | 0,04 | 0,08% |
| T1 8 - 10 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 - 28 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35 - 37 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 54 - 56 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 71 - 73 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T4 10 - 12 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 - 16 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35 - 37 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 54 - 56 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 64 - 66 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T7 8 - 10 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 - 35 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 52 - 54 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T9 4 - 6 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 - 22 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 - 30 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T10 25 - 7 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 - 22 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 44 - 46 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 66 - 68 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T12 7 - 9 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 - 17 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 - 39 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 58 - 60 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T13 8 - 10 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 - 18 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 - 34 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 51 - 53 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 59 - 61 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T14 8 - 10 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 - 23 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 - 27 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figure 96 - Teneurs en carbone organique, soufre total, soufre des bisulfures, soufre des sulfates, soufre organique sur sédiment total.

à l'établissement de conditions légèrement réductrices, convenables pour la précipitation des sulfures.

2° - Les teneurs en soufre des sulfates présentent une dispersion beaucoup moins importante :

| Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type |
|---------|---------|---------|--------------------|
| 0,04 % | 0,22 % | 0,13 % | 0,05 % (par excès) |

Ces valeurs relativement élevées pourraient résulter en partie d'une oxydation des formes instables de sulfures, peut-être après le prélèvement. Cette hypothèse rendrait compte des teneurs très faibles en monosulfures.

Tableau II

Analyse factorielle sur fraction fine du sédiment décarbonaté -
Matrice Varimax à six facteurs.

| VARIABLES | FACT. 1 | FACT. 2 | FACT. 3 | FACT. 4 | FACT. 5 | FACT. 6 | COMMUNALITES |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------|
| B | -0,066 | 0,074 | 0,395 | -0,022 | -0,838 | 0,078 | 0,875 |
| V | -0,821 | 0,084 | 0,068 | 0,303 | -0,028 | 0,164 | 0,805 |
| Pb | 0,102 | -0,298 | -0,134 | -0,069 | 0,707 | 0,016 | 0,622 |
| Zn | 0,165 | -0,716 | -0,073 | -0,077 | 0,554 | -0,097 | 0,867 |
| Cr | -0,119 | 0,047 | 0,032 | 0,876 | 0,034 | -0,064 | 0,790 |
| Ni | 0,336 | -0,772 | -0,040 | 0,022 | 0,188 | 0,043 | 0,748 |
| Co | -0,095 | -0,249 | 0,126 | 0,112 | 0,859 | -0,060 | 0,840 |
| Sr | -0,932 | -0,031 | 0,086 | -0,072 | 0,080 | -0,080 | 0,896 |
| Ba | -0,948 | 0,067 | -0,007 | 0,035 | -0,086 | 0,069 | 0,917 |
| Ga | -0,738 | -0,386 | -0,070 | 0,366 | -0,108 | -0,041 | 0,845 |
| Mn | -0,247 | -0,690 | -0,107 | -0,251 | 0,349 | -0,298 | 0,822 |
| TiO ₂ | -0,852 | -0,278 | -0,158 | -0,030 | 0,013 | -0,235 | 0,884 |
| C.O. | 0,113 | 0,635 | -0,294 | 0,459 | -0,270 | -0,035 | 0,787 |
| SOUFRE | 0,279 | 0,710 | 0,288 | -0,013 | -0,099 | 0,167 | 0,703 |
| ILL-MONT. | 0,617 | 0,138 | -0,010 | 0,543 | 0,079 | 0,336 | 0,813 |
| ILLITE | -0,026 | -0,338 | 0,200 | -0,166 | 0,266 | -0,793 | 0,882 |
| CHLORITE | -0,842 | 0,148 | -0,098 | -0,353 | -0,160 | 0,145 | 0,912 |
| KAOLINITE | 0,888 | -0,146 | 0,071 | 0,259 | -0,018 | 0,113 | 0,896 |
| LARG 1/2 | 0,329 | 0,199 | -0,232 | 0,737 | 0,011 | 0,355 | 0,871 |
| ILL 5/1 | -0,317 | -0,056 | -0,875 | 0,020 | 0,201 | 0,238 | 0,967 |
| ILL 2/1 | -0,738 | -0,080 | -0,278 | -0,124 | 0,230 | 0,424 | 0,876 |
| ILL 5/2 | 0,167 | -0,060 | -0,938 | 0,102 | 0,039 | -0,047 | 0,926 |
| PLAGIO | -0,326 | -0,240 | -0,621 | -0,034 | 0,217 | 0,466 | 0,815 |
| 0/0 VARIANCE | 29,59 | 13,81 | 11,47 | 10,36 | 11,99 | 6,94 | |
| 0/0 VARIANCE CUMULEE | 29,59 | 43,41 | 54,88 | 65,24 | 77,23 | 84,16 | |

Le coefficient de corrélation entre soufre des sulfates et soufre total n'est plus que de 0,66.

3° - La dispersion des teneurs en soufre organique est encore plus faible

| Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type |
|---------|---------|---------|------------|
| 190 ppm | 660 ppm | 400 ppm | 110 ppm |

Il existe une légère corrélation entre soufre organique et carbone organique ($r = 0,4$). Elle traduit probablement la faible participation d'une matière organique autochtone.

4° - Les teneurs en soufre élémentaire et soufre des monosulfures ne sont notables que dans un échantillon (T 13, 51-53) qui n'est pas spécialement riche vis-à-vis des autres formes du soufre (voir remarque 2).

C - RECHERCHE DES FACTEURS GOUVERNANT LA DISTRIBUTION DES ELEMENTS DANS LA FRACTION FINE DECARBONATEE ET LA MINERALOGIE DE LA PHASE ARGILEUSE. ESSAI DE DIFFERENCIATION DES PRELEVEMENTS

Dans cette analyse multivariable, on a réuni les données diffractométriques sur la phase argileuse, les éléments-traces, le soufre et le carbone organique dosés sur la fraction fine ($< 5 \mu$) décarbonatée.

Les 23 variables introduites sont les suivantes :

- B, V, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, Sr, Ba, Ga, Mn, TiO_2
- Carbone organique, soufre
- Abondances des interstratifiés illite-montmorillonite, de l'illite, de la chlorite, de la kaolinite
- Largeur à mi-hauteur de l'illite, rapports des réflexes $\frac{002}{001}$, $\frac{005}{001}$, $\frac{005}{002}$.
- Abondance estimée des plagioclases dans la fraction fine (hauteur du pic h_{10}).

La matrice du tableau II fait apparaître six facteurs qui extraient au total 84,16 % de la variance du système.

FACTEUR 1

Il représente à lui seul près de 30 % de la variance totale, soit plus du tiers de la variance extraite. La variable pilote est probablement le rapport $\frac{002}{001}$ de l'illite c'est-à-dire la tendance "muscovite" de l'illite-mica ou encore le caractère alumineux de celle-ci, attesté par les poids importants de Ga, TiO_2 , V, Sr, Ba. L'opposition de la kaolinite est tout à fait remarquable et mérite un commentaire. On s'attendrait en effet à ce que la kaolinite soit covariante avec le gallium, lui-même témoin de l'aluminium. Mais il se trouve que la kaolinite est toujours en faibles quantités et associée à des interstratifiés illite-montmorillonite présentant un déficit en aluminium. En définitive, c'est le caractère "muscovite" de l'illite-mica qui imprime la prédominance alumineuse. L'examen des factorscores (poids du facteur relativement à chaque échantillon) de ce facteur 1 (figure 97) révèle la parenté des carottes T 9 et T 13 vis-à-vis de la nature

minéralogique des argiles détritiques. Elles présentent toutes deux une prédominance régulière d'illites-micas de type muscovite.

On notera que des proportions plus importantes de chlorite sont associées à ces illites comme l'indique la présence de la variable chlorite dans ce facteur.

FACTEUR 2

Avec près de 14 % de la variance extraite, ce facteur nous semble figurer l'opposition entre carbone et soufre d'une part, hydroxydes d'autre part. La carotte T 13 est bien individualisée par ce facteur (figure 97) : elle présente (sur fraction fine) des teneurs faibles en carbone et soufre et les teneurs les plus élevées en manganèse.

FACTEUR 3

Ce facteur est piloté par deux variables apparemment indépendantes : l'importance du réflexe 005 de l'illite-mica et les plagioclases. Des valeurs élevées de 005 traduisent une organisation assez avancée des micas (tendance vers le polymorphe 2 M) d'où probablement un matériel initial ayant été soumis à des conditions thermodynamiques poussées. Ce peut être le cas si ces minéraux dérivent des massifs anciens de la côte et la présence de feldspaths s'accorderait avec cette hypothèse. Les factorscores du facteur 3 permettraient alors de déceler les échantillons dans lesquels se rencontre un tel matériel (faibles valeurs des factorscores en raison des signes moins affectant $\frac{005}{001}$, $\frac{005}{002}$ et les plagioclases).

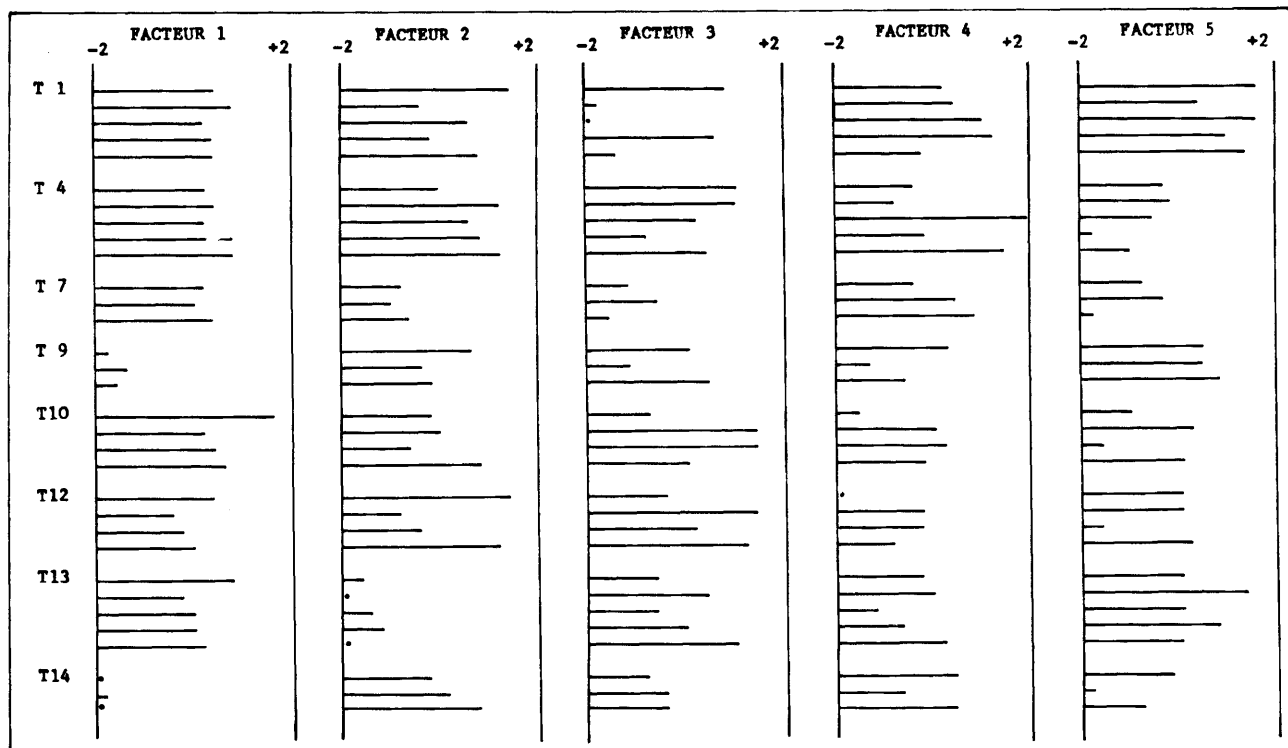


Figure 97 - Analyse factorielle sur fraction fine du sédiment décarbonatée - Factorscores des cinq premiers facteurs (valeurs normalisées).

FACTEUR 4

Avec un peu plus de 10 % de la variance totale, ce facteur réunit le chrome, les interstratifiés illite-montmorillonite et la largeur de l'illite à mi-hauteur. Il peut traduire soit une altération précédant le dépôt (influence du climat) soit la présence d'un matériel d'origine différente, déjà plus altéré ou plus facilement altérable.

FACTEUR 5

C'est essentiellement un facteur bore. L'opposition avec Co et Pb pourrait indiquer une dilution par des sulfures ou des oxydes. A l'appui de cette hypothèse on peut noter que lorsqu'on n'extrait que 75 % de la variance totale dans une matrice à quatre facteurs, les facteurs 2 et 5 du tableau II sont réunis et que le bore se trouve opposé à Pb, Zn, Ni, Co et Mn. Les factor-scores du facteur 5 (figure 97) traduisent bien les variations du bore (variations opposées puisque le bore est affecté du signe moins dans le facteur). A noter que le bore n'est pratiquement associé à aucun des paramètres de la phase argileuse : il n'y a pas fixation préférentielle du bore sur tel ou tel type d'argiles.

FACTEUR 6

La seule variable qui figure avec un poids notable dans ce dernier facteur est la quantité d'illite. Cela peut indiquer que notre estimation de la quantité d'illite dans la phase argileuse est erronée (remarquons que la dispersion de cette variable est faible : 52 à 63 seulement) mais une hypothèse aussi vraisemblable est que le pourcentage des illites-micas, dans cette gamme de variation, est moins important que la cristallogénèse de ces minéraux. Les facteurs 1, 3 et 4 semblent étayer cette supposition.

D - RESUME

Les deux traitements statistiques, sur sédiment total et sur fraction fine, nous apportent ainsi des enseignements différents et complémentaires.

Le traitement sur sédiment total révèle le partage des éléments entre les différentes phases lithologiques : groupe des lithophiles, groupe des éléments liés aux carbonates, groupe des hydroxydes. Le soufre a son comportement propre : en dehors du fer et localement du baryum et de faibles quantités de nickel, les métaux ne sont pas associés au soufre. Ils ne sont pas non plus associés au carbone (sauf une faible partie du cuivre), en majorité d'origine détritique.

Mais c'est le traitement statistique des analyses sur fraction fine qui nous paraît le plus riche d'enseignements. Contrairement à de nombreuses séries sédimentaires actuelles ou anciennes, carbone et soufre sont ici des variables tout à fait accessoires. *Les métaux liés à la fraction fine sont en très grande majorité hérités* mais cet héritage n'est pas uniforme. Le matériel argileux détritique a plusieurs origines, imprimées dans ses caractères minéralogiques, ce qui se traduit par des cortèges différents d'éléments selon la provenance, l'état d'altération, la rapidité de sédimentation de ces minéraux détritiques. Le bore, au contraire, reste indépendant de ces fluctuations.

REFERENCES

BLAZEJCZAK J., VAN DER WEIDE B.M.

Appareil de dosage rapide du carbone organique dans les roches .

Bull. Centre Rech. Pau-S.N.P.A., 1968, 2, 1, 163-170 .

HETMAN J.S., PUYO M.

Micro-analyse du soufre élémentaire, du soufre des mono-sulfures et des pyrites dans les substances minérales par polarographie à rayon cathodique .

Bull. Centre Rech. Pau-S.N.P.A., 1967, 1, 1, 203-206 .

HETMAN J.S., PUYO M.

Dosage coulométrique du soufre dans les roches et les pétroles .

Bull. Centre Rech. Pau-S.N.P.A., 1969, 3, 1, 187-192 .

KUBLER B.

Les argiles, indicateurs de métamorphisme .

Rev. Inst. franç. Pétrole, 1964, 19, 10, 1093-1113 .

KULBICKI G., RUMEAU J.L.

Influence du milieu sur les teneurs en éléments-traces de vases marines du Golfe de Gascogne .

Bull. Centre Rech. Pau-S.N.P.A., 1967, 1, 1, 125-141 .

KULBICKI G., SOURISSE C., BARADAT J.

Détermination des teneurs en éléments-traces dans les silicates par spectrométrie UV d'émission à lecture directe .

Bull. Centre Rech. Pau-S.N.P.A., 1967, 1, 2, 437-452 .

KULBICKI G., SOURISSE C., CAZABAT V.

Aspects actuels du traitement sur ordinateur des données géochimiques au C.R.P.

Bull. Centre Rech. Pau-S.N.P.A., 1968, 2, 1, 191-212 .

RUMEAU J.L., VANNEY J.R.

Caractères géochimiques et origine des sédiments récents du plateau continental atlantique dans le nord du Golfe de Gascogne .

Bull. Centre Rech. Pau-S.N.P.A., 1969, 3, 1, 125-146 .

SAHORES J.

Dosage des éléments majeurs des roches par spectrofluorescence X.

Bull. Centre Rech. Pau-S.N.P.A., 1968, 2, 1, 137-162.

SPENCER D.W., DEGENS E.T., KULBICKI G.

Factors affecting element distributions in sediments.

U.N.E.S.C.O., Sympos. orig. distrib. of Elements, Paris, 1967, (Preprint).

EXAMEN OPTIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE FIGUREE par C. BOULOUARD *)

Les résidus organiques ont été obtenus selon la méthode habituelle en usage au Centre de Recherches S.N.P.A. : traitement HCl, HF sur 20 grammes de sédiment.

Le contenu organique est subdivisé en :

- Pollens anémophiles : transport surtout aérien
 - Pollens entomophiles
 - Spores
 - champignons
 - Dinophycées
 - Algues microscopiques
- } transport aquatique
- } origine marine

A côté de ces microfossiles, on distingue :

- le matériel ligneux, d'origine continentale
- le matériel sapropélique, d'origines variées mais témoignant de conditions anaérobies du milieu du dépôt.

RESULTATS DES ANALYSES (figures 97 bis et 97 ter)

Les teneurs en microorganismes ne présentent pas de variations très spectaculaires ; si l'on excepte quelques points particuliers comme un niveau à champignons dans la carotte 10 et la pauvreté de la carotte 13. Quelques variations de faible amplitude se manifestent cependant :

- Les Pollens bi-ailés (conifères) et les Dinophycées sont légèrement plus abondants dans la partie Est de la zone étudiée (T 1, T 4, T 7) ;

- Le contenu en éléments organiques figurés est également légèrement moins "ligneux" dans cette même partie, en particulier dans T 4.

Bien que ces prélèvements soient éloignés les uns des autres, les résultats sont assez homogènes. Les légères variations horizontales que l'on observe, paraissent liées entre elles ; en effet, à l'accroissement des teneurs en Pollens de Conifères et en Dinophycées correspond une légère augmentation en matière organique sapropélique.

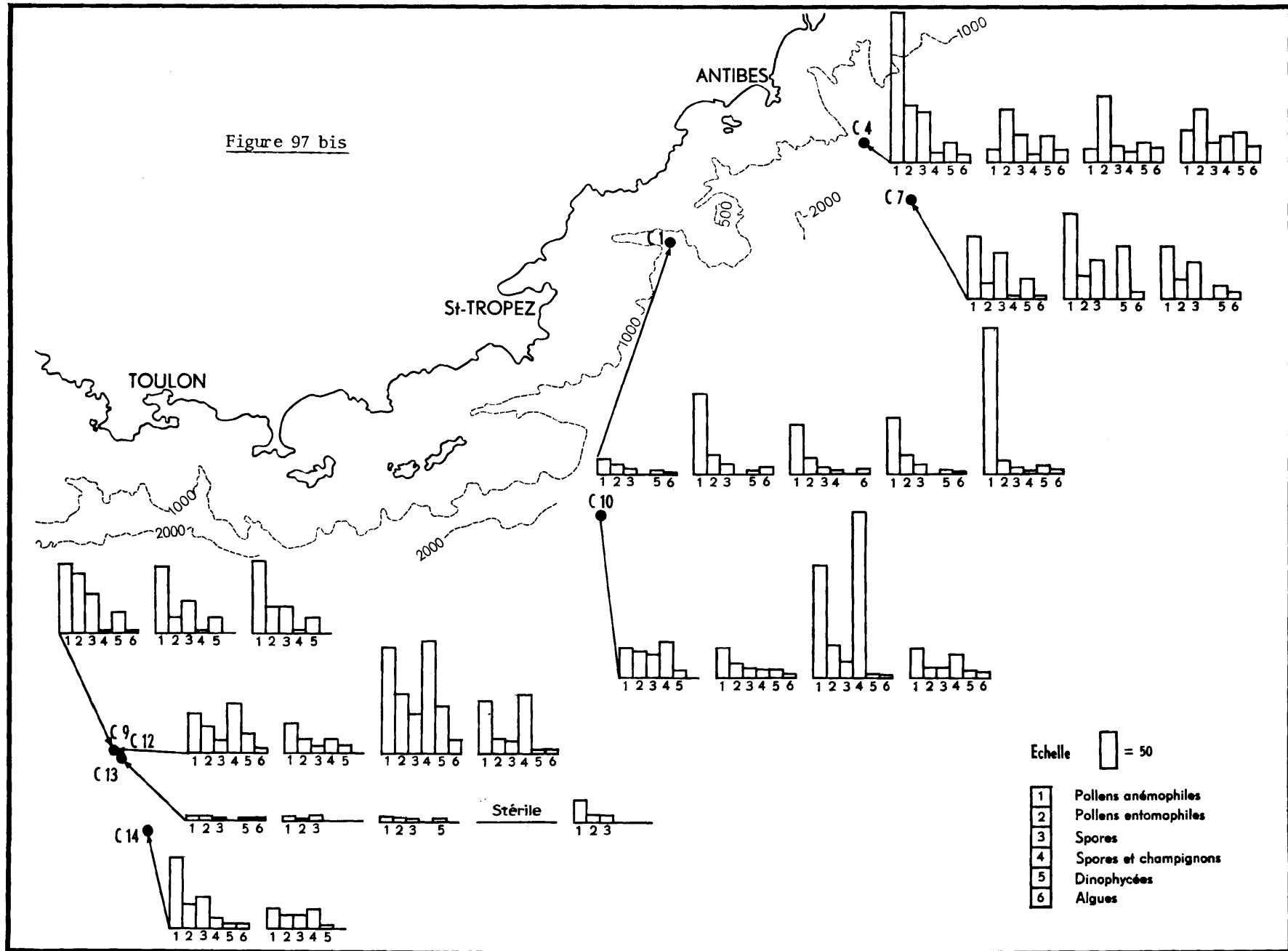
*) Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine
Centre de Recherches de PAU

En conclusion, les résultats sont assez uniformes et indiquent une sédimentation essentiellement détritique malgré de faibles variations latérales.

Remerciements

Les comptages palynoplanctoniques ont été effectués par J. AUBERT.

Figure 97 bis



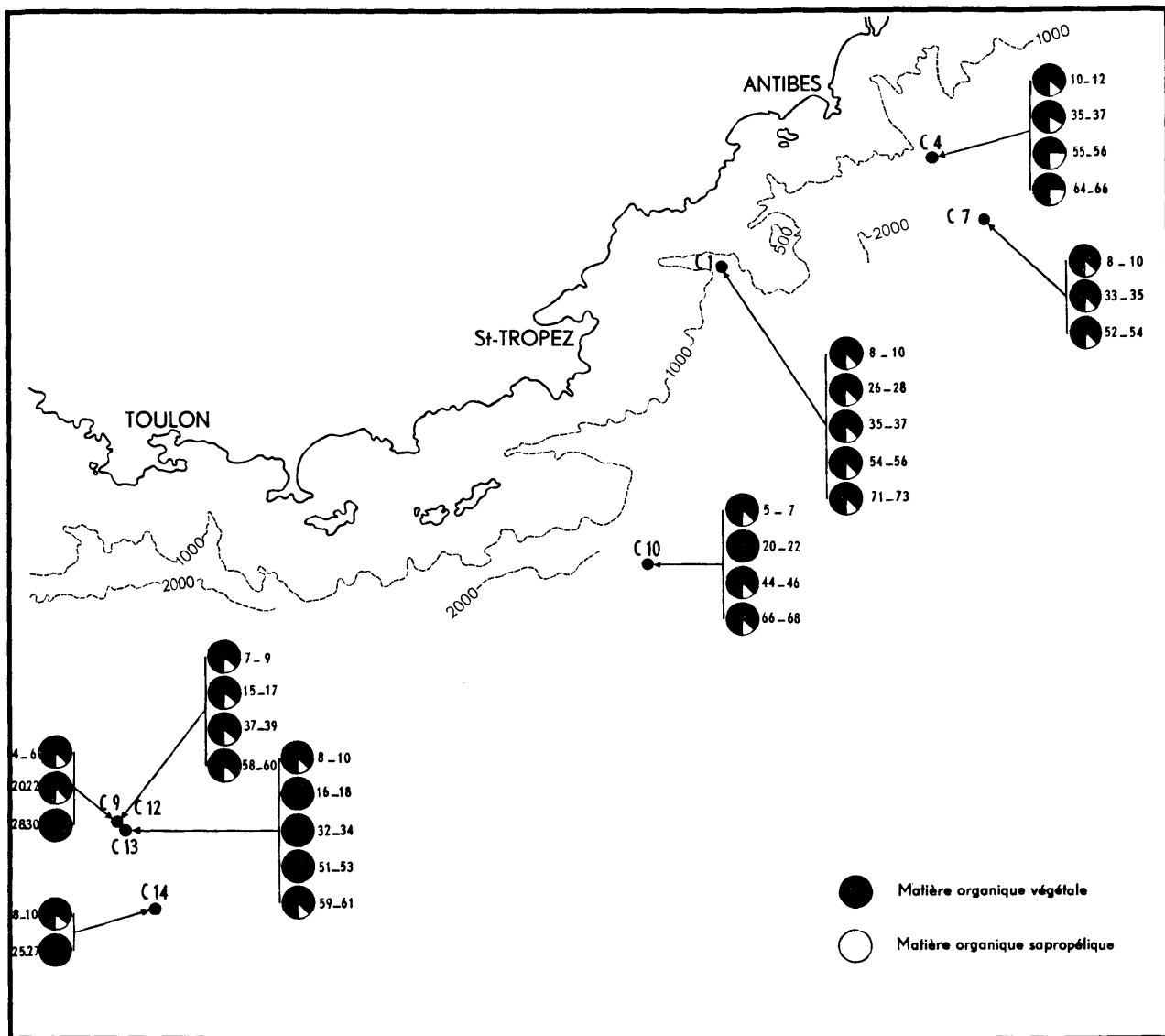


Figure 97 ter

DESCRIPTION GEOLOGIQUE DE LA BORDURE PROVENCALE

par J.L. OLIVET
J.M. AUZENDE
J. MASCLE
S. MONTI
L. PASTOURET
G. PAUTOT

(Centre Océanologique de Bretagne - Brest)

I - INTRODUCTION

Des données récentes intéressant l'ensemble du bassin de la Méditerranée occidentale (Campagne JOIDES, MONTADERT et coll., 1970, AUZENDE et coll., 1971, LE BORGNE et coll., 1971) et ses rapports avec l'évolution du domaine atlantique (LE PICHON et coll., 1970, TALWANI et coll., 1971, LE PICHON et coll. en préparation) nous ont conduits après d'autres auteurs (DUBOURDIEU, 1962, STANLEY et MUTTI, 1968, RYAN, 1969 notamment) à admettre une ouverture du bassin algéro-provençal au cénozoïque. Une série d'arguments nous ont amenés à formuler l'hypothèse d'un âge Oligocène (en préparation).

Ce travail s'inscrit dans cette perspective. Son objet est de présenter une synthèse des faits acquis sur la structure et l'extension de la marge continentale provençale entre le Rhône et le Var et de reconstituer son histoire depuis l'Oligocène. Pour cela, nous avons repris l'ensemble des données morphologiques, sédimentologiques et structurales existant en les complétant par les résultats des campagnes Polymède (N.O. J. CHARCOT - 1970) et TEREHEL.

Dans une première partie, nous rappelons les unités tectoniques reconnues dans le domaine émergé et leur évolution jusqu'au Miocène. Puis nous décrivons les unités sous-marines correspondantes. Enfin, nous discutons l'évolution de l'ensemble au cours du Néogène.

II - LES UNITES STRUCTURALES DE LA MARGE

Entre la vallée du Rhône et la région de Cannes, on distingue classiquement (figure 98) la Provence calcaire au nord-ouest et la Provence cristalline au sud-est. Sur le littoral, la première apparaît dans la partie orientale du golfe du Lion jusque vers Toulon. La seconde forme la côte de Toulon à Cannes. Au nord et à l'est de la région de Cannes, on passe aux chaînons subalpins qui forment les arcs de Castellane et de Nice entre lesquels la vallée du Var forme un profond

fossé. Les sondages pétroliers et la gravimétrie (BEAUFORT et coll., 1954, BONNET, 1962) ont mis en évidence dans le Bas-Rhône un profond fossé d'âge Oligocène et Néogène qui se prolonge vraisemblablement sous le golfe du Lion. Ce fossé interrompt à l'ouest les structures provençales.

La Provence calcaire correspond à la couverture essentiellement mésozoïque du socle cristallin, décollée au niveau du Trias et écaillée dans l'ensemble vers le nord. Mais les accidents du socle semblent jouer un rôle majeur et être responsables des grands traits tectoniques. Dans l'ensemble, il s'agit de plissements EW recoupés par un système d'accidents transversaux NE - SW et NW - SE soulignés en particulier par des "voûtes triasiques" (CORNET, 1969). Dans le détail, les relations entre les diverses unités tectoniques qui résultent de plusieurs phases sont très complexes. Schématiquement, on observe une série de bassins EW (du SE au NW : bassins de Bandol, du Beausset, de Marseille et d'Aix) séparés par autant de massifs qui en chevauchent les bords méridionaux.

La Provence cristalline est constituée d'un socle cristalloyphillien essentiellement hercynien revêtu d'un tégument permo-triasique. Le socle profondément plissé, faillé et érodé affleure dans trois groupes de massifs alignés du SW au NE suivant un axe anticlinal : massifs de la région Toulonnaise, des Maures et du Tanneron, séparés par deux inflexions axiales de direction NW - SE. Comme en Provence calcaire, ces orientations sont obliques par rapport aux structures principales EW.

A l'ouest du fossé du Var, le front de chevauchement des chaînes subalpines s'arrête au nord du Tanneron (arc de Castellane) mais à l'est le front de l'arc de Nice forme la côte jusqu'à Monaco. GEZE (1960) considère néanmoins que le revêtement secondaire et tertiaire des Maures se poursuit en continuité de Vence à Menton. En effet, la couverture paraît simplement refoulée sur son front où elle serait subautochtone. Les lignes structurales dans l'ensemble NS à NNW - SSE, résultent de plusieurs phases tectoniques. Le socle cristallin est totalement inconnu.

III - LA TECTONIQUE ANTE-MIOCENE

La Provence offre la superposition de plusieurs directions structurales (AUBOUIN et MENNESSIER, 1962) : les mouvements tectoniques hercyniens et antéhercyniens tout d'abord ont produit des fractures de direction NS. La direction EW, caractéristique de la Provence, apparaît pour la première fois à la fin du Crétacé inférieur avec la formation de l'Isthme Durancien, bombement dû à des mouvements essentiellement verticaux qui se sont poursuivis durant le Crétacé supérieur. A la fin du Crétacé supérieur a lieu une première phase de tectonique tangentielle au cours de laquelle l'ensemble du domaine provençal est émergé, plissé et faillé selon cette direction EW. Toute son évolution ultérieure se fera à l'air libre.

Durant l'Eocène, la mer nummulitique, progressant à partir du domaine alpin, recouvre à l'est le futur domaine des chaînons subalpins. Mais à l'ouest, la sédimentation reste lacustre ou continentale (CORROY, 1960). Entre l'Eocène moyen et supérieur a lieu, toujours suivant la direction EW, la principale phase tectonique provençale avec décollement de couverture et translation d'ensemble vers le nord. En Provence cristalline, une série d'accidents de socle sont à rapporter à cette phase : ce sont, du sud au nord, les accidents de la Mole, de Pierrefeu-Collobriè-

res, de Carnoules-les-Mayons et de Vidauban-Roquebrune, auxquels s'ajoutent de nombreux autres moins importants. On peut noter que ces failles ont joué en décrochement senestre. Il est possible que certains accidents transversaux (NE - SW et NW - SE) aient été amorcés à cette époque (MENNESSIER, 1967).

Ces deux phases, Crétacé et Eocène, correspondent à celles qui ont modelé pour l'essentiel les Pyrénées et le Languedoc (MATTAUER et PROUST, 1963). A l'est, les déformations se marquent encore dans la région de Vence mais elles n'ont pas affecté, au-delà du Var, le domaine du futur arc de Nice qui est resté calme jusqu'à la fin de l'Oligocène (GEZE, 1960).

En Provence par contre, l'Oligocène est marqué par des mouvements tectoniques mais leur signification est controversée. Il s'agit essentiellement de soulèvements et d'affaissements "sans lien génétique avec la phase tangentielle Eocène" (AUBOUIN et MENNESSIER, 1962). Les faits principaux sont la création de fossés de distension en Provence occidentale (fossé de Marseille et fossés nord-varois), la mise en place avant l'Aquitaniens d'un "méga-massif des Maures" suivant un bombement NE - SW du socle hercynien et l'apparition de voûtes triasiques au NW (CORNET, 1969, AUBOUIN et MENNESSIER, 1962) Toutes ces structures recoupent les structures EW antérieures. Pour MENNESSIER (1967), les plissements transversaux se sont installés "dans un deuxième stade de la phase provençale entre la mise en place du système EW au Bartonien et le Sannoisien". Les fossés résultent de la "première phase alpine" (Sannoisien) et ont peut-être été amorcés dès le Crétacé Supérieur. A partir du Sannoisien, une surface d'arasion se développe qui est disséquée vers le début du Miocène. Pour AUBOUIN (in AUBOUIN et MENNESSIER 1962) et CORNET (1969), la principale phase de mouvements verticaux a lieu durant le Sannoisien et le Stampien. Les bandes triasiques correspondent à des bombements de socle du même âge. La surface d'arasion s'est développée durant le Miocène. Dans cette interprétation, la mise en place des structures transversales de Provence est contemporaine de l'affaissement du golfe du Lion, des fossés du Bas-Rhône et du Languedoc ainsi que de leur prolongement vers le nord : fossé de Bresse, des Limagnes et du Rhin.

IV - DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DE LA PENTE CONTINENTALE

Aux unités structurales définies sur le continent correspondent des unités morphologiques reconnues sur la pente continentale depuis BOURCART (cartes morphologiques du précontinent entre Marseille et Gêne, 1958).

Nous en distinguerons quatre (figures 99 et 100) qui correspondent à :

- 1° - La terminaison occidentale de la Provence (calcaire et cristalline)
- 2° - la Provence cristalline
- 3° - La terminaison orientale de la Provence cristalline
- 4° - Le bord méridional du domaine subalpin et du fossé du Var.

Premier domaine (cf. profils 1 à 4, figures 99 et 101)

Le premier domaine fait la liaison entre le golfe du Lion, à pente très faible (2° environ), de direction ENE-WSW, et la bordure provençale, E-W, à pente très raide (de l'ordre de 20°).

Le plateau continental du golfe du Lion se termine au méridien de Marseille

mais sa véritable limite structurale doit se situer plus à l'ouest, dans le prolongement des failles du Bas-Rhône (figure 98). Sur la pente, le canyon du Cap Couronne marque une limite morphologique : à l'ouest, les vallées entièrement entaillées dans la vase plio-quadernaire présentent des reliefs arrondis ; à partir du canyon du Cap Couronne, le relief, plus accusé, suggère un envasement beaucoup plus faible. Les interfluves sont accidentés et les changements de direction des canyons sont nets. Leurs pentes moyennes, de l'ordre de 6 %, (figure 101) sont également plus élevées que celles du golfe du Lion. Le canyon de la Cassidagne qui débute à 5 km à peine de la côte sépare deux plateaux larges d'une vingtaine de kilomètres : le plateau du Planier au nord ouest, celui des Blauquières au sud est. Un abrupt rectiligne d'orientation NW - SE limite au large ces deux plateaux. Il affecte également, selon la carte de BOURCART, le profil longitudinal de la Cassidagne (figure 101). Cette direction manifestement commandée par la tectonique se retrouve dans le canyon des Blauquières, au nord-est.

Second domaine (cf. profils 5 à 8, figures 99 et 101)

Le second domaine, de direction générale est-ouest, s'étend du plateau des Blauquières au Banc du Magaud. La partie occidentale forme un rentrant entre les Blauquières et la crête de Giens. La partie occidentale est décalée vers le sud d'une dizaine de kilomètres. A la limite, entre les canyons de Toulon et de Porquerolles, le bord du plateau forme un alignement remarquable NW - SE. L'ensemble du domaine est découpé par une dizaine de canyons rectilignes, nord-sud pour la plupart. Les canyons des Blauquières et de Toulon, à l'ouest des Maures, sont nettement plus larges que ceux de la bordure des Maures et du Magaud.

Les profils longitudinaux des thalwegs et des interfluves (figure 101) montrent des pentes extrêmement fortes (jusqu'à plus de 40 %) souvent découpées en gradins. On sait que pour de telles pentes, les enregistrements bathymétriques intègrent tous les détails et ne décèlent que les replats importants : au sud du Banc du Magaud, les plongées en bathyscaphe et les traicts de Troïka (BELLAICHE, 1968) ont mis en évidence, localement, des pentes de 60° à 90°).

La pente moyenne des thalwegs est toujours nettement moins forte que celle des interfluves correspondants, contrairement à ce qu'on observe pour les vallées entaillées dans la vase. MASCLE (1968) a remarqué une correspondance entre les abrupts qui accidentent les thalwegs de Toulon et de Porquerolles et ceux des interfluves, ce qui suggère une action de la tectonique postérieure au creusement. On peut noter enfin que la direction générale de ce domaine est parallèle à celle des grands accidents du socle d'âge Crétacé ou Eocène (figure 98). Ceci est souligné par le canyon des Stoechades qui emprunte probablement une telle fracture.

Troisième domaine (cf. profils 9 à 11, figures 100 et 101)

Le troisième domaine, entre le Banc du Magaud et le canyon de Cannes, correspond à un décalage de la marge vers le NNE. L'aspect morphologique de ce domaine est très particulier ; ceci tient à ce qu'il s'étend presque perpendiculairement aux structures des Maures qui s'ennoient à ce niveau sous la couverture Mésozoïque et tertiaire. Deux massifs représentant des éléments séparés des Maures accidentent la pente : le banc du Magaud et le haut-fond du Méjean.

Le banc du Magaud prolonge les îles du Levant vers l'est. Il est séparé du massif des Maures par la profonde vallée est-ouest des Stoechades. Le profil est-ouest du Magaud montre une pente supérieure moyenne suivie d'une pente beaucoup plus forte représentant sans doute une zone de fracture (BELLAICHE, 1970).

Le haut-fond du Méjean, situé au NE, est un bloc de forme presque carrée de 10 km de côté environ. Il est limité à l'est par une pente raide d'orientation nord-sud (plan de faille probable) qui s'enneie rapidement sous une couverture sédimentaire à pente faible, et au sud par un versant irrégulièrement dénivellé en gradins. Il est séparé de la côte par les canyons du Drammont et de Cannes au nord et de Saint-Tropez au sud. Ces trois canyons présentent, au contact du haut-fond, des changements de direction remarquables, en particulier celui de Saint-Tropez qui tourne de près de 130°. Leur tracé est évidemment lié à l'existence d'un réseau de failles. Le profil longitudinal de ces canyons ainsi que de celui de la Cassidagne peut se décomposer en deux parties :

La partie supérieure, jusque vers 500 à 800 m, est relativement raide : 8,5 % à 12,3 % ; la partie inférieure, faible, est comprise entre 4,5 % et 6 %. Cette particularité est, comme nous le verrons plus loin, (figure 110) en rapport avec l'envasement du canyon rocheux.

Quatrième domaine (cf. profils 12 à 15, figures 100 et 101)

Le quatrième domaine s'étend dans le nord est du canyon de Cannes. Nous le limiterons pour cette étude au versant est de la Baie des Anges. Il est caractérisé par des pentes moyennes plus fortes que celle du domaine précédent mais avec une morphologie beaucoup plus simple. Les canyons sont rectilignes et parallèles à la pente.

On peut distinguer d'ouest en est les deux petites vallées de Saint-Honorat et de Sainte-Marguerite, qui rejoignent au pied de la pente le canyon de Cannes, et celle, plus importante, de Golfe Juan. Puis vient une zone bombée ne présentant que des ravinements secondaires. A l'est, entre le cap d'Antibes et le cap Ferrat, s'ouvre la profonde dépression de la baie des Anges qui prolonge sur la pente le fossé du Var. Cette dépression est bordée : à l'ouest par une ride haute de 500 à 800 m, très abrupte, orientée vers le sud est, puis tournant progressivement vers l'est ; à l'est, par une falaise nord-sud qui s'enneie et tourne progressivement vers le sud-est, parallèlement à la ride occidentale, mais disparaît vers 2 000 m. La Baie des Anges se présente donc comme une sorte de vaste entonnoir. Une ride médiane, qui se sépare en deux pédoncules inégaux, est marquée dans la partie supérieure. De part et d'autre sont formés deux cirques ravinés donnant naissance vers 800 m à deux canyons qui confluent à la base de l'entonnoir, vers 1 800 m.

Les profils longitudinaux mettent en évidence deux types de pentes en relation probable avec la nature du substratum : le domaine compris entre le canyon de Cannes et la Baie des Anges présente des pentes de 13 à 14 % (profil 13 et 14, figure 101) (comparables à la section supérieure des profils 9 à 12). Des pentes semblables caractérisent les deux cirques de la baie des Anges et la ride médiane (profils 15 et 15 a). La partie inférieure des canyons de Nice et de Cannes par contre une pente de 4 à 5 % seulement comme celles des profils 9 à 11. Les particularités morphologiques de ce domaine traduisent pour une part, comme nous le verrons, les conditions de la sédimentation.

V - GEOLOGIE DE LA PENTE CONTINENTALE

1 - Introduction

On distingue commodément dans l'analyse des enregistrements sismiques continus le "socle" acoustique de sa "couverture" sus-jacente. Dans le domaine qui nous occupe, ce "socle" peut être constitué soit par le socle cristallin, soit par le toit de la série mésozoïque calcaire, soit éventuellement par du matériel volcanique ; il sera représenté dans tous les cas par un réflecteur "opaque" (figures 106, 108, 109). Sa nature peut être déterminée avec plus ou moins de certitude par prélèvement, par photographie sous-marine, par continuité avec les horizons reconnus à terre ou par des considérations morphotectoniques.

La série salifère messinienne, présente dans toute la partie abyssale du bassin et sur le glacis (AUZENDE et coll., 1971), est en général bien identifiable sur les enregistrements flexotirs, ainsi que la série miocène sous-jacente. Elle constitue donc un précieux repère. Pour les canons à air et les sparkers tels que ceux utilisés jusqu'ici en Méditerranée, elle constitue une limite de pénétration dont les caractères diffèrent de ceux du "socle acoustique". (MAUFFRET, 1969).

La couverture plio-quadernaire est en général bien reconnaissable quand elle surmonte le socle, la série salifère ou une surface d'érosion pontienne bien caractérisée (figures 107, 108, 109). Une ambiguïté peut subsister sur la base du Pliocène quand la série salifère est mal caractérisée (figure 112) ou inexistante (figures 108 et 111). Enfin, une certaine part est laissée à l'interprétation pour la série infra-Pliocène quand elle n'est pas surmontée par les évaporites messiniennes (figures 107, 108, 109, 111) ou qu'elle représente un dépôt très localisé (figure 108).

La distinction enfin entre surface façonnée à l'air libre et surface façonnée sous l'eau n'est pas toujours nette (figure 108).

2 - Le socle

- Les zones d'affleurements

Le socle hercynien des Maures affleure largement sur la pente continentale, du canyon de la Cassidagne au haut-fond du Méjean. Ce fait est attesté par les profils sismiques continus étayés par de nombreux prélèvements. Dans le canyon de la Cassidagne, BOURCART et coll. (1958) ont dragué, entre 100 et 300 m, des schistes et quartz filoniens analogues à ceux du cap Sicié. FROGET (communication orale) a récemment confirmé ces résultats par d'autres dragages. Aucune roche cristallogénique n'a encore été prélevée plus à l'ouest. Sur la pente continentale, le profil flexotir P 1 (figures 105-106) met en évidence au niveau du canyon de la Cassidagne le socle libre de sédiments jusque vers 2 000 m, que par une fine couverture plio-quadernaire.

Davantage de données existent sur le second domaine. Le canyon de Toulon a été étudié par J. BOURCART et C. LALOU (1950) et par J. MASCLE (1968) qui y a carotté la roche à douze reprises entre 150 m et 2 200 m. A 2 200 m, le carottage (granito-gneiss) a été effectué dans le thalweg, à un niveau où l'entaille du canyon est déjà très atténuée (cf. profil 5, figure 101). Ceci démontre qu'à cette profondeur le canyon est libre de toute couverture sédimentaire notable et que l'entaille

rocheuse du canyon se termine progressivement, comme l'indiquent la carte topographique et les profils. Le prolongement de la crête ouest paraît affleurer vers 2 500 m : un très gros bloc a en effet été photographié et échantillonné par le bathyscaphe (BELLAICHE, 1970). Il s'agirait d'une roche granitique. Par 755 m de profondeur, au sud de l'île de Porquerolles, J. MASCLE (1968) a carotté des quartzophyllades analogues à celles de Giens et de Porquerolles. La région du canyon de Port-Cros, draguée par J. BOURCART et J.P. REHAULT (communication orale) a donné des résultats comparables.

Sur le versant sud du banc du Magaud, des photographies (bathyscaphe et troïka, G. BELLAICHE, 1968) ont montré entre 1 000 et 2 000 m l'affleurement de vastes surfaces rocheuses en contrebas desquelles sont amoncelés des éboulis. La structure des roches évoque là aussi, d'après les photographies, des roches cristallines. Plusieurs profils sismiques continus publiés par J. MASCLE (1968) et G. BELLAICHE (1969) montrent parfaitement le socle presque partout affleurant sur la pente qui n'est envasée de façon appréciable que sur les replats importants.

Dans le troisième domaine, entre le banc du Magaud et le canyon de Cannes, la couverture plio-quadernaire devient plus importante (figure 110) et de ce fait les observations directes sont moins nombreuses. Il est certain néanmoins que le socle cristallin détermine encore l'essentiel du relief. Dans le canyon des Stoechades, BELLAICHE (1968) a pu observer (bathyscaphe et troïka) des affleurements rocheux sur le versant droit (flanc nord du Magaud).

Sur le banc du Méjean, G. PAUTOT (1969) a carotté le gneiss à deux reprises ainsi que, sur le flanc sud, par 1 300 m, une arène indiquant la proximité du socle. Sur le ressaut situé vers 1 800 m, qui est probablement un bloc effondré du Méjean, le forage T 3 du Térébel a effectivement foré la roche à deux reprises sous quelques mètres de plio-quadernaire mais sans pouvoir toutefois la prélever.

- Les zones où le socle est ennoyé

Sous le plateau des Blauquières, DUCROT (1967) a mis en évidence par sismique réfraction la prolongation probable des formations métamorphiques de Sicié, masquées par une centaine de mètres de plio-quadernaire.

Dans la plaine abyssale au sud de Toulon, le profil P 1 permet de suivre le socle sous le Pliocène et le Miocène infra-messinien jusque vers 5 s. (figure 106). Sur un profil Sparker dans le sud de l'île du Levant, LEENHARDT et coll. (1970) montrent que le Pliocène ne transgresse pas directement sur le socle mais sur un élément présentant des réflecteurs. Cet ensemble forme une sorte de talus recouvrant le socle au bas de la pente. Le même phénomène apparaît sur des profils publiés par G. BELLAICHE (1970) et BELLAICHE et coll. (1970) (voir aussi figure 67 de ce volume).

Dans le troisième domaine, BELLAICHE a noté que dans la partie inférieure du canyon des Stoechades, le réflecteur qui apparaît sous le remplissage plio-quadernaire est différent de celui qui prolonge le socle des îles du Levant et séparé de celui-ci par un épaulement accusé. Sur un profil est-ouest de l'interfluve nord (PAUTOT, 1969), il semble également que vers 1 200 m le socle disparaisse, à la faveur d'une faille, sous un ensemble infra-pliocène.

Sur le haut-fond du Méjean, PAUTOT (1969) a montré que le socle formait une surface relativement plane (ennoyée sous une couverture plio-quadernaire) acciden-

tée par deux pics où le gneiss a été carotté. La partie plane peut représenter soit une surface d'érosion du gneiss (LUTAUD, 1924 a décrit de telles surfaces dans les Maures) soit un élément de la couverture mésozoïque. Nous sommes là en effet à la longitude à laquelle sur la côte le primaire fait place vers l'est au secondaire (cf. figure 104). Sur les versants est et nord, on observe clairement l'ennoyage du socle sous une série infra-pliocène (figures 108 et 109).

Sur le bord oriental, la limite de l'ennoyage s'abaisse progressivement vers le sud (figure 103). Tout le versant sud est dénivellé en gradins plus ou moins recouverts de plio-quatenaire, et nous ne pouvons, dans cette topographie chaotique, différencier des réflecteurs.

Au sud des îles de Lérins et du cap d'Antibes, les promontoires qui prolongent les unités jurassiques s'envoient rapidement de tous côtés entre 1 s. et 1,5s. sous le même réflecteur que le flanc est du Méjean. Il semble en être de même pour le prolongement du Cap Ferrat, mais les limites ne peuvent être situées avec précision (figures 103 et 104).

3 - Le remplissage sédimentaire de la plaine abyssale

Avant de passer à l'interprétation de la couverture tertiaire sur la marge, il nous faut brièvement rappeler les données connues sur le remplissage de la partie abyssale du bassin.

Les données sur la profondeur du socle magnétique (LE BORGNE et coll., 1971) permettent d'estimer l'épaisseur totale des sédiments à 6 km. Si l'âge du bassin est oligocène (travail en préparation) les plus anciens sédiments sont de cet âge. Les enregistrements flexotir permettent d'observer qu'une couverture d'environ 1 000 m de plio-quatenaire surmonte une série évaporite de 500 à 1 000 m. Cette série a été datée du Miocène supérieur (Messinien). On peut suivre localement les horizons du Miocène moyen à inférieur jusqu'à 2 s. sous les évaporites c'est-à-dire à proximité du socle. La couverture plio-quatenaire a été reconnue en détail sur de très nombreux enregistrements air-gun ou sparker. Elle est caractérisée par une couche supérieure très litée d'environ 0,3 s. et une couche inférieure acoustiquement transparente. La série transparente surmonte souvent une séquence de forts réflecteurs (toit des évaporites ?) précédant la couche de sel. Mais cette subdivision n'est pas toujours possible (figure 106 par exemple) et la base du Pliocène reste imprécise.

Sur la bordure provençale, l'horizon salifère remonte à proximité de la pente continentale où il disparaît.

4 - Les dépôts infra-pliocènes

- La paléogéographie miocène moyen et supérieur (figure 102).

Après les épisodes compressifs qui ont soulevé et plissé la Provence et après les mouvements verticaux de l'Oligocène, la mer réapparaît à l'Aquitainien dans la région de Marseille. Durant le Burdigalien et l'Helvétien, elle s'étend progressivement et atteint au Tortonien son extension maximale. A ce moment là, un vaste golfe relié à la dépression péri-alpine contourne la Provence au nord-ouest.

A l'est, on sait que les mers nummulitiques à l'Eocène supérieur ont envahi

d'est en ouest le domaine des chaînons subalpins jusqu'à la région de Cannes et au nord du Tanneron. L'Oligocène y est par contre inconnu. La mer réapparaît au Burdigalien. Venant du sud, elle forme un vaste golfe dans la basse vallée du Var et à l'ouest de celle-ci jusque vers Vence. Ses dépôts sont connus également au cap d'Antibes et à Cannes (GINSBURG, 1960). Entre ces golfes, la Provence subit une évolution entièrement continentale, qui a fait l'objet d'études morphotectoniques extrêmement détaillées. MENNESSIER (1967) et CORNET (1969) entre autres ont reconstitué le réseau fluvial qui, au Vindobonien, drainait le massif des Maures vers le nord-ouest. Le drainage se dirigeant vers le nord à partir du littoral actuel, à l'ouest des Maures, oblige à admettre l'émersion d'un massif cristallin entre les Maures et Marseille, dont l'axe se situerait au niveau du plateau actuel. Cette émersion est ancienne puisque des brèches daniennes, au nord de Marseille, contiennent déjà des éléments de Permien provenant du sud (MENNESSIER, 1967). Il ne serait donc pas impossible qu'une partie des canyons de l'actuelle pente continentale aient été entaillés à l'air libre dès cette époque sur le versant sud de ce "méga-massif" des Maures (figure 102).

- Les dépôts sur le plateau et la pente

Sur le plateau du Planier, les résultats obtenus par LEENHARDT (1963) montrent la couverture mésozoïque tectonisée sous une faible couverture plio-quadernaire. Ces auteurs distinguent dans la partie occidentale du plateau un domaine différent, moins tectonisé, qui pourrait être logiquement rapporté au Miocène. Il est probable, d'après les données de la morphologie et de la paléogéographie, que le Miocène forme le substratum des canyons du cap Couronne et du Planier et de la partie inférieure de la Cassidagne.

Dans le second domaine, tout le Miocène est inconnu sur la carte et sur la pente. Au bas de la pente, l'enregistrement P 1 (figure 106) le montre transgressif directement sur le socle. Il ne paraît affecté que de faibles dénivellations. A l'est, les enregistrements air-gun et sparker ne permettent généralement pas de l'observer car il est masqué par les évaporites.

Dans le troisième domaine, nous rapportons au Miocène l'ensemble mis en évidence dans la partie inférieure du canyon des Stoechades (BELLAICHE, 1970), et sur la pente à l'est de Saint-Tropez. Nous interprétons de la même façon l'ensemble qui ennoie au nord et à l'est le haut-fond du Méjean. Dans le domaine oriental (IV), le Pliocène repose presque partout sur un ensemble stratifié qui forme le substratum des canyons de Cannes (figure 109), de Golfe Juan et de la Baie des Anges (figure 107) ; il remonte sur le socle mésozoïque des îles de Lérins (figure 109) ; il est affecté par une faille en bordure de la Baie des Anges (figure 107) ; cet ensemble stratifié est vraisemblablement Miocène (figures 102 et 104).

- Ces interprétations conduisent au schéma paléogéographique de la figure 102 : la mer Miocène à son maximum d'extension pénétrait largement sur le continent à l'est et à l'ouest de la Provence ; sa limite s'abaisse ensuite le long de l'actuelle pente continentale pour passer au sud des Blauquières, des îles du Levant et du Banc du Magaud où elle ne peut être davantage précisée.

5° - L'épisode Pontien-Messinien

Généralités

- Le retrait quasi général de la mer à la fin du Miocène est un phénomène mis en évidence depuis longtemps. On a donné aux dépôts continentaux de cet âge que surmontent souvent les couches marines pliocènes le nom de Pontien (LUTAUD, 1924).

En Afrique du Nord, en Italie, les dépôts du Miocène moyen passent vers le haut à des évaporites elles-mêmes surmontées par les marnes pliocènes. L'étage est alors dénommé Messinien. Son âge est compris selon les dernières estimations entre 8,5 et 5,5 m.a. Dans notre texte, le Pontien et le Messinien auront la même signification stratigraphique et chronologique.

L'extension des évaporites messiniennes à tout le bassin profond de la Méditerranée occidentale est maintenant bien établie (AUZENDE et coll., 1971) et l'on peut lier leur dépôt à la phase de régression pontienne. Il reste à préciser les limites de la mer et des zones exondées. Sur la bordure provençale, BOURCART (1962) et GLANGEAUD et coll. (1965) ont attribué le creusement des vallées sous-marines à la phase d'érosion aérienne pontienne. PAUTOT (1969) et BELLAICHE (1970) ont montré au sud du banc du Magaud par plus de 2 000 m de profondeur, une surface d'érosion qu'ils attribuent au Pontien. Nous allons essayer de compléter ces observations et de les lier entre elles.

- Les canyons pontiens

J. BOURCART pensait que le creusement de toutes les vallées sous-marines datait du Pontien. Pour lui, les canyons représentent d'anciennes vallées fluviales redressées, déformées et ennoyées par le jeu de la flexure continentale au cours du Pliocène. Nous reviendrons plus loin sur le problème tectonique. Les vallées au sud des Maures n'évoquent pas à première vue des vallées fluviales ; elles ne correspondent d'ailleurs à aucune vallée terrestre. Plusieurs des vallées orientales (domaine III) se raccordent par contre au réseau des vallées terrestres dont le style (nombreux virages, confluences) les rapproche. Leur pente est d'ailleurs peu accentuée.

Toutes ces vallées entaillées dans le socle paléozoïque sont dues probablement à l'érosion subaérienne. Leur âge peut être pontien ou plus ancien ainsi que le suggère la figure 102. Leur cours inférieur, entaillé dans le Miocène, est vraisemblablement d'âge Pontien.

Nous avons vu que l'entaille du canyon de Toulon était très atténuée vers 2 200 m où les interfluves n'ont plus que 200 m de dénivellation. Les profils du canyon des Stoechades (BELLAICHE, 1970) montrent de même la terminaison du canyon rocheux vers cette profondeur. Ceci nous donne une première indication sur la limite du domaine exondé.

- La surface d'érosion

A l'est des Maures et au sud de la région niçoise, la surface du Miocène représente une surface d'érosion jusque vers 3,0 s. (temps double de parcours). Cette surface relativement régulière est marquée par un fort réflecteur et par des discordances. Elle est atteinte par endroits par l'entaille des canyons plio-

quaternaires de Golfe Juan et de la Baie des Anges (figure 107). Dans celle-ci, il est difficile toutefois de savoir s'il faut attribuer le fort réflecteur observé à la surface pontienne ou à des dépôts grossiers plio-quaternaires. Il est probable que ces derniers masquent la surface pontienne vers la base de la pente. La nature "dure" de ce réflecteur a en tout cas été établie par les forages T 6 et T 8 du Térébel, bien que des échantillons n'aient pu être prélevés (sinon quelques graviers ou éclats calcaires).

L'ensemble qui fait suite au bas de la pente continentale à l'ensemble Miocène érodé évoque nettement un dépôt sous-marin (figure 108). Les chenaux sédimentaires qu'on y observe peuvent être reliés aux canyons d'origine subaérienne de la pente. Vers le large, cet ensemble passe en continuité à la série salifère. Au sud du Magaud, la surface d'érosion mise en évidence par BELLAICHE (1970) passe en continuité au réflecteur H de MAUFFRET (toit des évaporites). Les premières manifestations de la tectonique salifère apparaissent un peu au sud (profil P 2, figure 112). La figure 104 schématise le résultat de ces observations.

- Au sud des Maures et du Magaud, nous l'avons vu, un ensemble sédimentaire recouvre le socle en formant un talus, au bas de la pente continentale. Il semble bien que ce talus passe en continuité au réflecteur H sous le pliocène ; il pourrait s'agir là d'une accumulation détritique de bas de pente d'âge Pontien. Le forage T 2, réalisé au pied sud-ouest du banc du Magaud, étaye cette interprétation; il a permis de prélever un échantillon de conglomérat polygénique à ciment calcaire. Aucune faune Miocène n'y a été trouvée. Nous l'interprétons comme un dépôt subaérien résultant de l'érosion de la pente continentale au Pontien.

Au sud de Toulon (profil P 1) la limite de la couche salifère est nettement marquée. La limite approximative de la mer messinienne est portée sur la figure 102.

Le Plio-quaternaire

- La paléogéographie Pliocène

Après l'épisode Pontien, la mer est revenue au Pliocène dans la vallée du Rhône et dans celle du Var. Elle a aussi formé de nouveaux golfes à l'est de la Provence dans les basses vallées de la Siagne, de l'Argens et de Saint-Tropez (figure 110). Partout ailleurs sur la côte provençale, le Pliocène est inconnu.

La mer Pliocène a progressé sur un pays profondément découpé par l'érosion Pontienne et déformé. Les fossés subsidents du Bas-Rhône et du Var ont montré des épaisseurs voisines de 700 m. Au cours du Pliocène et du Quaternaire, la mer s'est progressivement retirée des golfes à l'est et à l'ouest tandis qu'elle s'avancait sur le sud des Maures jusqu'à sa place actuelle.

- La série plio-quaternaire sur la marge

Sur les enregistrements sismiques continus (air-gun et sparker) les dépôts plio-quaternaires sont aisément identifiables grâce aux caractères suivants : sous une séquence superficielle litée d'environ 300 ms, on observe une série "transparente" à réflecteurs à peine marqués. L'ensemble est très inégalement réparti sur la pente et le glacis. Il est entaillé par des vallées, accumulé en rides et affecté par des glissements de masse. Les traces d'érosion sont nombreuses et le

Pliocène se trouve souvent à l'affleurement. Les courants de fond ont joué un grand rôle dans le façonnement de ces structures. Les épaisseurs varient de 0 à 1 s. sur la pente, de 1 s. à 1,5 s dans la plaine abyssale.

Il semble, d'après les nombreux carottages (PAUTOT, 1969, BELLAICHE, 1970) qu'on puisse rapporter au Quaternaire la série superficielle litée, le Pliocène représentant la partie "transparente", mais la distinction n'est pas toujours nette. Sur le glacis, on peut distinguer des structures quaternaires superposées aux structures d'âge Pliocène dont elles diffèrent par le style et la dimension (figure 106).

Toutes les observations précédentes nous ont montré que la couverture plio-quaternaire est très inégalement répartie. Elle est de l'ordre de la centaine de mètres sur les plateaux du Planier et des Blauquières. Au sud des Maures, elle est accumulée dans la rade d'Hyères (300 m) et sur des replats locaux. Elle ne constitue ailleurs que des placages sur le socle. Ses dépôts deviennent progressivement plus importants dans les deux domaines orientaux. Nous avons établi une carte d'isopaques (figure 110) à partir des documents publiés par BELLAICHE (1970) et PAUTOT (1970) et de documents inédits. Cette carte fait ressortir les accumulations importantes, mais très localisées du flanc droit des canyons des Stoechades et de Saint-Tropez ainsi que du haut-fond du Méjean. Elle met en évidence la forte accumulation de part et d'autre de la Baie des Anges et les rides qui les prolongent.

Il ressort nettement de ces observations que la principale source d'apport de ce domaine est le Var, l'influence du Rhône ne s'étendant guère à l'est au-delà du canyon du cap Couronne. Les accumulations de la rade d'Hyères, du canyon des Stoechades et de celui de Saint-Tropez témoignent du rôle secondaire des autres cours d'eau. DUPLAIX et GENNESSAUX (1967) avaient déjà mis en évidence cette prédominance des apports du Var en mer Ligure à partir d'une étude de minéraux lourds.

- Les vallées plio-quaternaires

A partir du canyon de Cannes, toutes les vallées sous-marines sont entaillées dans le plio-quaternaire. Ces vallées sont de plusieurs types : le canyon de Cannes correspond à une vallée Pontienne, entaillée en grande partie dans le Miocène, à laquelle s'est superposée une vallée plio-quaternaire (figure 109). Le canyon du golfe Juan correspond également en partie à un ravinement d'âge Pontien. Les deux vallées de la Baie des Anges, les canyons du Var et du Paillon, se sont individualisés sur les failles ou flexures qui encadrent le prolongement sous-marin du fossé du Var. Nous n'avons pas vu sur les enregistrements trace d'une vallée pontienne antérieure mais le substratum Miocène est pratiquement à l'affleurement au fond du canyon du Var sur une partie de la pente. Les canyons de Saint-Honorat, Sainte-Marguerite, Cap Cros et Garoupe, entaillés uniquement dans le plio-quaternaire, sont beaucoup plus modestes. Il existe enfin quantités de ravinements mineurs prenant naissance à des niveaux quelconques de la pente ou sur les versants des vallées principales.

Les vallées pontiennes ou plio-quaternaires sont rapidement comblées à partir du bas de la pente (entre 1 800 et 2 000 m) et seuls subsistent des chenaux peu profonds avec levées latérales asymétriques (figures 106, 108, 112). Ces chenaux superficiels se superposent à des structures beaucoup plus importantes intéressant toute l'épaisseur du Pliocène. Un exemple en est donné avec le profil P1

au sud de Toulon (figure 106). Ce profil recoupe obliquement le prolongement du canyon pontien de la Cassidagne. On observe en discordance sur le Miocène moyen (Vindobonien), une zone stratifiée complexe qu'on peut interpréter comme une construction édifiée par les courants de turbidité issus du canyon de la Cassidagne et reprise par les courants de contour.

L'origine des canyons plio-quadernaires est complexe : à des phases de construction des interfluves par les courants sous-marins succèdent des phases de creusement ; l'érosion au niveau du thalweg a dû entraîner les glissements latéraux que l'on observe sur les versants, laissant affleurer par place le Pliocène.

Le profil longitudinal du canyon du Var, tracé d'après la carte topographique de Monaco, montre une nette rupture de pente vers 1 000 m ; la pente supérieure est de 12,5 %, la pente inférieure de 4 %. La pente supérieure correspond au talus de remplissage pliocène du fossé du Var. En effet, les profils sismiques suggèrent que c'est le Miocène qui forme le fond du canyon au-dessous de cette profondeur et qui détermine la pente inférieure. Si l'on prolonge cette pente jusqu'au rivage, on obtient pour le remplissage pliocène une épaisseur d'environ 600 m, ce qui est en accord avec les résultats des forages dans le delta du Var (HORN et col. 1965).

On retrouve dans les autres canyons (Cannes, Saint-Tropez, Stoechades) la même rupture de pente vers 800 à 1 000 m que l'on peut interpréter de la même manière (Notons que cette valeur de pente des talus pliocènes est du même ordre de grandeur que celle du canyon de Sainte-Marguerite, Saint-Honorat et Garoupe, dont le substratum est pliocène.

Rides de courant

Le rôle des courants de contour dans les bassins océaniques a été bien mis en évidence (HEEZEN et HOLLISTER, 1964) ces dernières années. On a montré en particulier comment à partir d'un relief d'origine tectonique, pouvait s'édifier une ride sédimentaire. C'est à un tel phénomène qu'il faut sans doute attribuer la ride qui s'allonge au sud est du cap d'Antibes sur plus de 50 km.

VI - DESCRIPTION DE LA STRUCTURE ET DE L'EVOLUTION TECTONIQUE DE LA MARGE

Structures de la marge

L'effondrement (la flexure) de la marge s'est fait selon les principales directions structurales reconnues à terre. La pente très raide du sud des Maures épouse une direction parallèle aux grandes fractures est-ouest d'âge Crétacé-Eocène. Elle est dénivellée en gradins par des fractures de cette direction.

- Limites du domaine continental

Les données précises sont encore peu nombreuses. BELLAICHE et coll. (1971) se fondant sur des résultats de sismique réfraction, estiment que le socle des Maures disparaît à la faveur d'un accident majeur à une vingtaine de kilomètres dans le sud des îles du Levant.

A l'ouest, en direction du golfe du Lion, il est possible, ainsi que le suggère l'analyse du profil P 2 (figure 106) que le socle continental s'étende plus largement vers le sud.

Au nord-ouest, si la ride sédimentaire est-ouest correspond bien à un accident du socle, on pourrait y voir la trace d'une fracture limitant vers le sud le socle continental.

VII - LA TECTONIQUE POST-OLIGOCENE

La tectonique Miocène

LUTAUD (1924) a mis en évidence les restes d'une ancienne surface d'érosion de la Provence maintenant disséquée et gauchie. Cette surface est surtout développée en Provence calcaire mais on la retrouve également en Provence cristalline où elle forme des plans caractéristiques. Pour MENNESSIER (1967), cette surface s'est formée immédiatement après la phase Eocène. Pour C. CORNET (1969) qui, nous l'avons vu, admet une phase tectonique importante à l'Oligocène, elle date du Miocène. L. GLANGEAUD et coll. (1965) ont émis l'hypothèse que cette surface se retrouvait sur le Banc du Méjean (vers 700 m de profondeur). Les lambeaux reconnus de cette surface traduisent en effet partout un gauchissement postérieur, sa pente actuelle étant de beaucoup supérieure à sa pente originelle. Des hauts sommets des Maures, elle passe à l'ouest sous le golfe du Lion, au sud on la retrouve sur les îles du Levant et sans doute se poursuit-elle sous la mer comme au Méjean. Dans la région de Toulon, elle est inclinées vers le sud alors qu'elle s'abaissait vers le nord au Miocène moyen. C. CORNET a montré que cette surface est très souvent recouverte de dépôts fluviatiles qu'elle date du Vindobonien. Ceux-ci sont d'autant plus grossiers qu'on les trouve près de l'axe du massif et ils témoignent "de la puissance des cours d'eau qui les ont déposés" CORNET (1969). Ceci suggère donc que des déformations se sont poursuivies pendant le Miocène : tandis que les deux extrémités du massif des Maures s'affaissaient, permettant l'ingression de la mer, le massif devait se bomber davantage. Au sud, la marge actuelle s'affaissait elle aussi, puisque nous y voyons le Miocène transgresser. Mais tous ces mouvements devaient être très progressifs car les structures à terre n'en portent pas le témoignage. A l'est, en revanche, dans l'"aire alpine", la tectonique a été davantage active tout au long du Miocène. On sait que la tectonique alpine dans ce domaine est caractérisée par un décollement de couverture et un glissement vers le sud, le front de l'arc de Nice représentant la limite des plissements au sein d'un pays autochtone. Une phase antéburdigalienne, perceptible vers l'ouest jusqu'à Vence, a été mise en évidence (GINSBURG, 1960) ; elle est responsable de structures nord-sud et GEZE (1960) lui attribue la formation des vastes synclinaux (Contes, Menton,...) où s'est conservé le flysch paléogène. Au Miocène moyen (Vindobonien), l'importance des conglomérats (Vence, Roquebrune) indique que le glissement de la couverture est engagé.

Il est difficile d'apprécier les mouvements tectoniques de la fin du Miocène et de les distinguer des manifestations pliocènes qui les prolongent. Le Pontien correspond sur le pourtour des Alpes à des décharges de conglomérats témoignant d'un soulèvement et d'une "contraction" du domaine alpin (DEBALMAS et LE MOINE, 1964). Cette phase se poursuit pendant le Pliocène avec des plissements et des chevauchements. Sur la bordure méditerranéenne, il est certain que la mise en place des arcs subalpins est antépliocène mais les plissements se sont poursuivis au

Pliocène tandis que l'ensemble du domaine se soulevait.

Dans le domaine provençal, le Pontien se marque par l'exhaussement d'un certain nombre de massifs et le rejeu important de failles. En plusieurs endroits le Miocène est fortement déformé. Des dépressions se sont creusées, comme le Bas-Argens, où la mer Pliocène a pénétré. Mais les mouvements pliocènes sont beaucoup moins accentués que dans le domaine subalpin et se résument à un gauchissement progressif de la marge et de la surface pontienne.

Conclusion

- Les données paléographiques et tectoniques sont en accord avec l'hypothèse d'une ouverture du bassin à l'Oligocène. L'Oligocène est marqué en effet dans tout le domaine provençal par une phase de soulèvement qui peut s'interpréter comme la phase initiale de rupture du continent (voir HEEZEN, 1968, pour une analyse du phénomène).

Dès la fin de l'Oligocène, les bordures continentales commencent à se flexurer tandis que le bassin s'approfondit : cette phase se marque par l'ingression de la mer sur les marges.

L'épisode pontien interrompt cette évolution. Le retrait eustatique de la mer est démontré et mesuré par l'extension de l'érosion sur la pente continentale.

Le Pliocène est marqué d'abord par un brusque retour de la mer sur les bordures puis par la reprise de la flexuration régulière de la pente correspondant à la subsidence du domaine abyssal.

Dans le domaine alpin proprement dit, la fin du Miocène correspond à une phase tectonique importante (DEBELMAS et LE MOINE, 1964) qui se poursuit jusqu'au Quaternaire. Cette phase masque peut-être ou se confond avec une phase pontienne et début pliocène propre à la bordure méditerranéenne et liée à l'évolution du bassin. Nos données le suggèrent.

Une donnée importante du problème est l'existence durant le Pliocène d'un régime de forts courants de fond interrompu au cours du Quaternaire. Ces courants n'ont pas existé durant le Miocène. Ce régime pourrait être mis en relation avec le climat plus froid propice aux formations d'eaux profondes (LACOMBE et TCHERNIA, 1960).

REFERENCES

AUBOUIN J., MENNESSIER G.

Essai sur la structure de la Provence. In "Livre à la mémoire du Pr.P. Fallot".
Mem. H. Ser. Soc. Geol. Fr., 1962, t. II, 45-98.

AUZENDE J.M., BONNIN J., OLIVET J.L., PAUTOT G., MAUFFRET A.
Upper Miocene Salt Layer in the western mediterranean Basin.
Nature, 1971, 230, 82-84.

BEAUFORT L., BRUNNEAU J., CREPIN A., JULLIAN Y.
Ampleur de l'érosion pontienne et du comblement pliocène en Camargue.
Bull. Soc. Geol. Fr., 1954, (16), IV, fasc. 1-3, 177.

BELLAICHE G.

Précisions apportées à la connaissance de la pente continentale et de la plaine
abyssale à la suite de trois plongées en bathyscaphe "Archimède".
Rev. Geogr. Phys. et Geol. dyn., 1968, X, fasc. 2, 137-145.

BELLAICHE G.

Etude géodynamique de la marge continentale au large des Maures.
Thèse, Paris 1969.

BELLAICHE G.

Géologie sous-marine de la marge continentale au large du massif des Maures
(Var, France) et de la plaine abyssale Ligure.
Rev. Geogr. Phys. et Geol. dyn. 1970, XII, fasc. 5, 403-440.

BELLAICHE G., MASCLE J., RECQ M.

Interprétation géologique des profils sismiques réalisés au sud du massif des
Maures.

C.R. Acad. Sc. Paris, 1971, 272, 1960-1963.

BONNET A.

Note sur la liaison entre les tectoniques superficielles et profondes de la Camargue.

Bull. Serv. Carte Geol. Fr., 1962, n° 251-259.

BOURCART J., LALOU C.

Sur la géologie des gorges sous-marines de Toulon.

C.R. Acad. Sc. Paris, 1950, 230, 1302-1304.

BOURCART J., LALOU C., GENNESSEUX M.

Le relief sous-marin du Précontinent entre le Rhône et la Ciotat.

Bull. Inf. du C.O.E.C. 1958, X.3.

BOURCART J.

La Méditerranée et la révolution du Pliocène in "Livre à la mémoire du Pr. Fallot" t. 1, Mem. h. Ser. Soc. Geol. France, 1962, 103-117.

CORNET C.

La Provence de l'Oligocène à nos jours.

Rev. Geog. Phys. et Geol. Dyn., 1969, (2) XI, fasc. 1, 101-122.

CORROY G.

L'évolution paléogéographique post-hercynienne de la Provence.
in "Livre à la mémoire du Pr. P. Fallot".

Mém. h. Ser. Soc. Geol. Fr., 1962, t II, 19-43.

DEBELMAS J., LE MOINE M.

La structure tectonique et l'évolution paléogéographique de la chaîne alpine d'après les travaux récents.

Ext. de l'"information scientifique", 1964, N° 1, 1-33.

DUBOURDIEU G.

Le déplacement de l'Europe Occidentale.

C.R. Acad. Sc. Paris, 1962, 254, 510-512.

DUCROT J.

Premières données sur la structure profonde du Banc des Blauquières (région de la Ciotat, Bouches-du-Rhône).

C.R. Soc. Geol. Fr., 1967, 3, 80.

DUPLAIX S., GENNESSEUX M.

Les minéraux lourds sables du Var, du Paillon et de la Roya et les dépôts sous-marins de la mer Ligure.

Cahiers océanographiques, 1967, 19, 3, 219-238.

GEZE B.

Caractères structuraux de l'arc de Nice (Alpes-Maritimes).

in "Livre à la mémoire du Pr. P. Fallot" .

Mem. h. ser. Soc. Geol. Fr., 1960, II, 289-300 .

GINSBURG L.

Etude géologique de la bordure subalpine à l'ouest de la basse vallée du Var.

Bull. Serv. Carte Geol. Fr., 1960, N° 259, LVII.

GLANGEAUD L., SCHLICH B., PAUTOT G., BELLAICHE G., PATRIAT P., RONFARD M.

Morphologie, tectonophysique et évolution géodynamique de la bordure sous-marine des Maures et de l'Estérel. Relations avec les régions voisines.

Bull. Soc. Geol. France, 1965, 7, N° 6, 998-1010.

HEEZEN B.C., HOLLISTER C.

Deep Sea Current evidence from abyssal sediments.

Marine Geol., 1, 141-174.

HEEZEN B.C.

Univ. Missouri, Rolla, J. 1968, 1,5.

HORN R., MENARD F., MUNCK F.

Etude géophysique de la basse vallée du Var. B.R.G.M.

JOIDES. HSU K.J.

Conférence de Presse, Paris, octobre 1970 .

LACOMBE M., TCHERNIA P.

Quelques traits généraux de l'hydrologie méditerranéenne.

Cahiers océanographiques, 1960, XII, 8.

LEENHARDT O., PIERROT S., REBUFFATTI A., SABATTIER R.

Sub-sea-floor structure south of France.

Nature, 1970, 226, 930-932.

LE BORGNE E., LE MOUEL, LE PICHON X

Aeromagnetic Survey of south western Europe and plate tectonics (sous presse).

LE PICHON X. et coll.

Travaux en cours ; communication personnelle.

LUTAUD L.

Etude tectonique et morphologie de la Provence cristalline.

Rev. Geogr., 1924, 12, fasc. 1, 270 .

MASCLE J.

Contribution à l'étude de la marge continentale et de la plaine abyssale au large de Toulon.

Thèse de 3ème cycle. Paris, 1968.

MATTAUER M., PROUST F.

Sur la tectonique de la fin du Crétacé et du début du Tertiaire en Languedoc.

Rev. Geogr. Phys. et Geol. Dyn., 1963, (2) V, fasc. 1, 5-11.

MAUFFRET A.

Les dômes et les structures "anticlinales" de la Méditerranée occidentale au nord-est des Baléares.

Rev. Inst. Fr. Petr., 1969, 24, 718, 953-960.

MENNESSIER G.

Sur l'évolution morphotectonique des régions provençales entre le Bas-Verdon et l'Argens (Var).

Rev. Geogr. Phys. et Geol. Dyn., 1967, IX.

MONTADERT L., SANCHO S., FAIL J.P., DEBYSER J., WINNOCK E.

De l'âge tertiaire de la série salifère responsable des structures diapiriques en Méditerranée Occidentale.

C.R. Acad. Sc. Paris, 1970, 271, 812-815.

PAUTOT G.

La marge continentale au large de l'Estérel (France) et les mouvements verticaux pliocènes.

Marine Geoph. Res., 1970, 1, 61-84.

PAUTOT G.

Etude géodynamique de la marge continentale au large de l'Estérel.

Thèse, Paris, 1969.

PITMAN W.C. III et TALWANI M.

Sea floor spreading in the North Atlantic (en préparation).

RYAN W.F.B.

The floor of the Mediterranean sea.

Ph. D. Thèse. Columbia University, 1969.

STANLEY D.J., MUTTI E.

Sedimentological evidence for an emerged land mass in the Ligurian sea during the Paleogene.

Nature, 1968, 218, 32-36.

F I G U R E S

Figure 98 : Les unités structurales de la marge

1. La Provence calcaire. Les principales cuvettes crétacées sont figurées en pointillés
2. La Provence cristalline
3. Failles
4. Accidents suggérés par la topographie
5. Horsts
6. Grabens
7. Bassins Oligocènes
8. Voûtes triasiques
9. Directions anticlinales (croix) et synclinales (tiretés)
10. Limite probable du socle continental

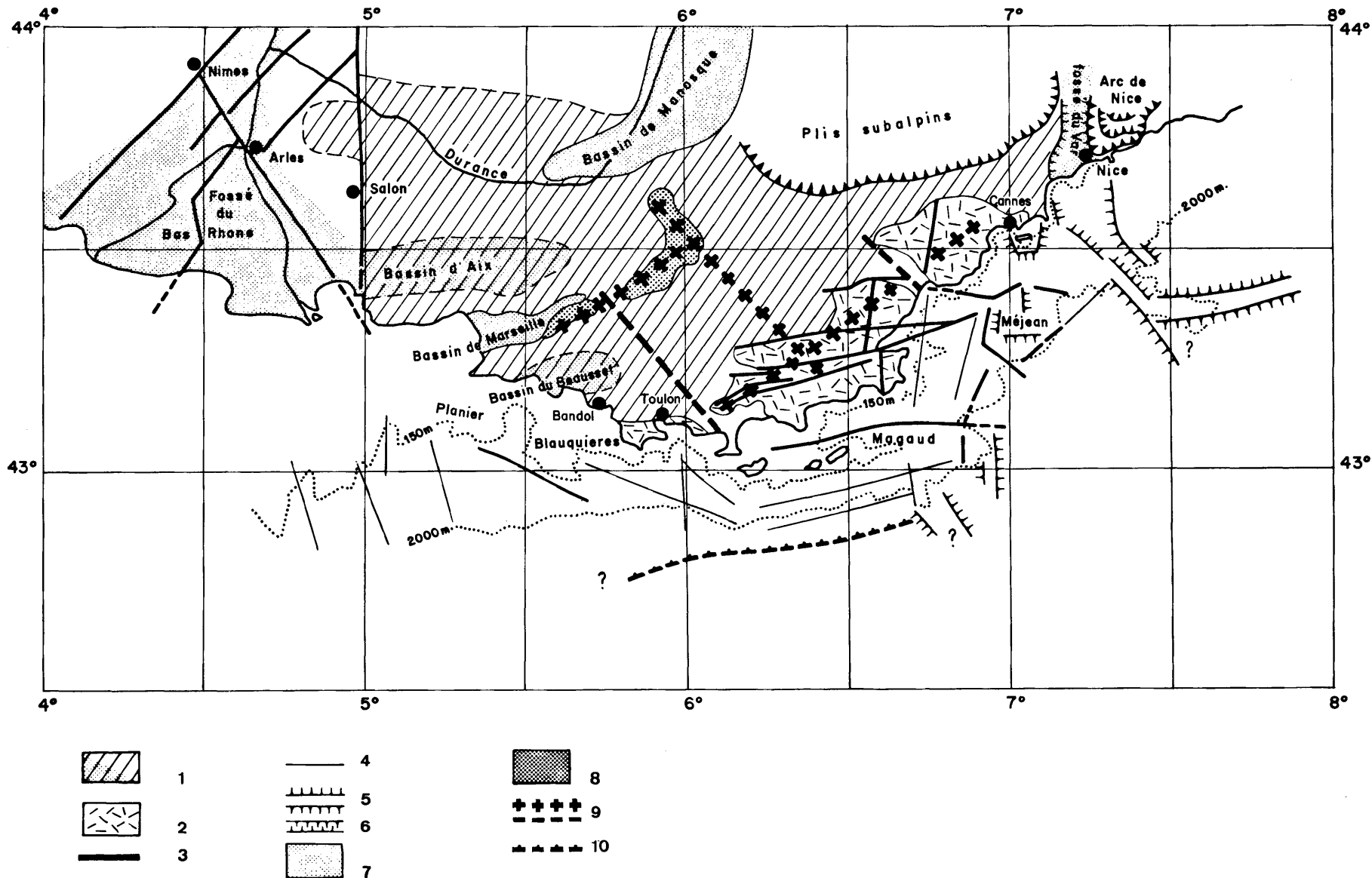


Figure 98

Figure 99 : Carte bathymétrique de la marge entre Marseille et Antibes d'après BOURCART et coll. 1950-1956. I, II, III correspondent aux différents domaines décrits dans le texte. De 1 à 11, tracés des profils représentés sur la figure 101.

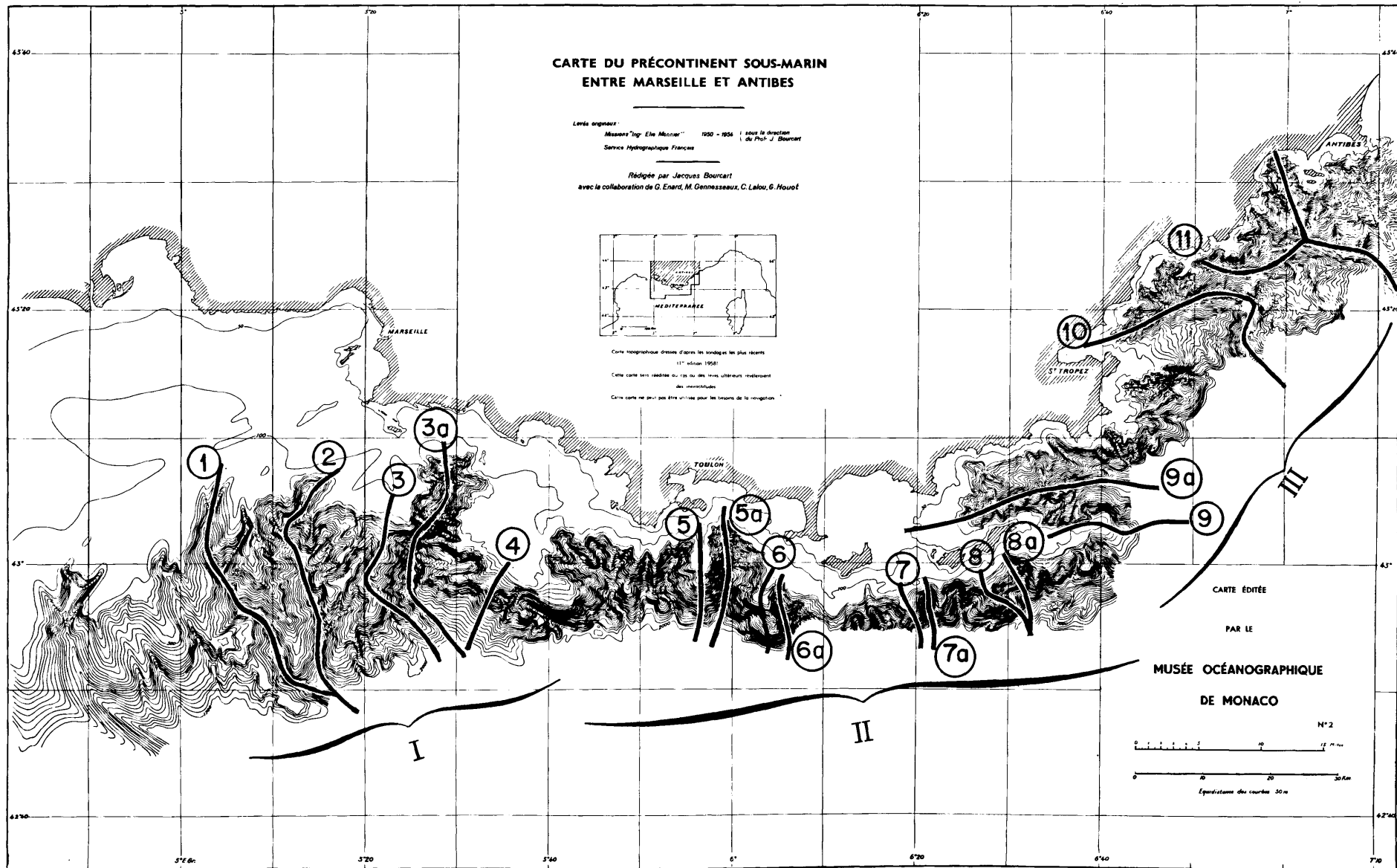


Figure 99

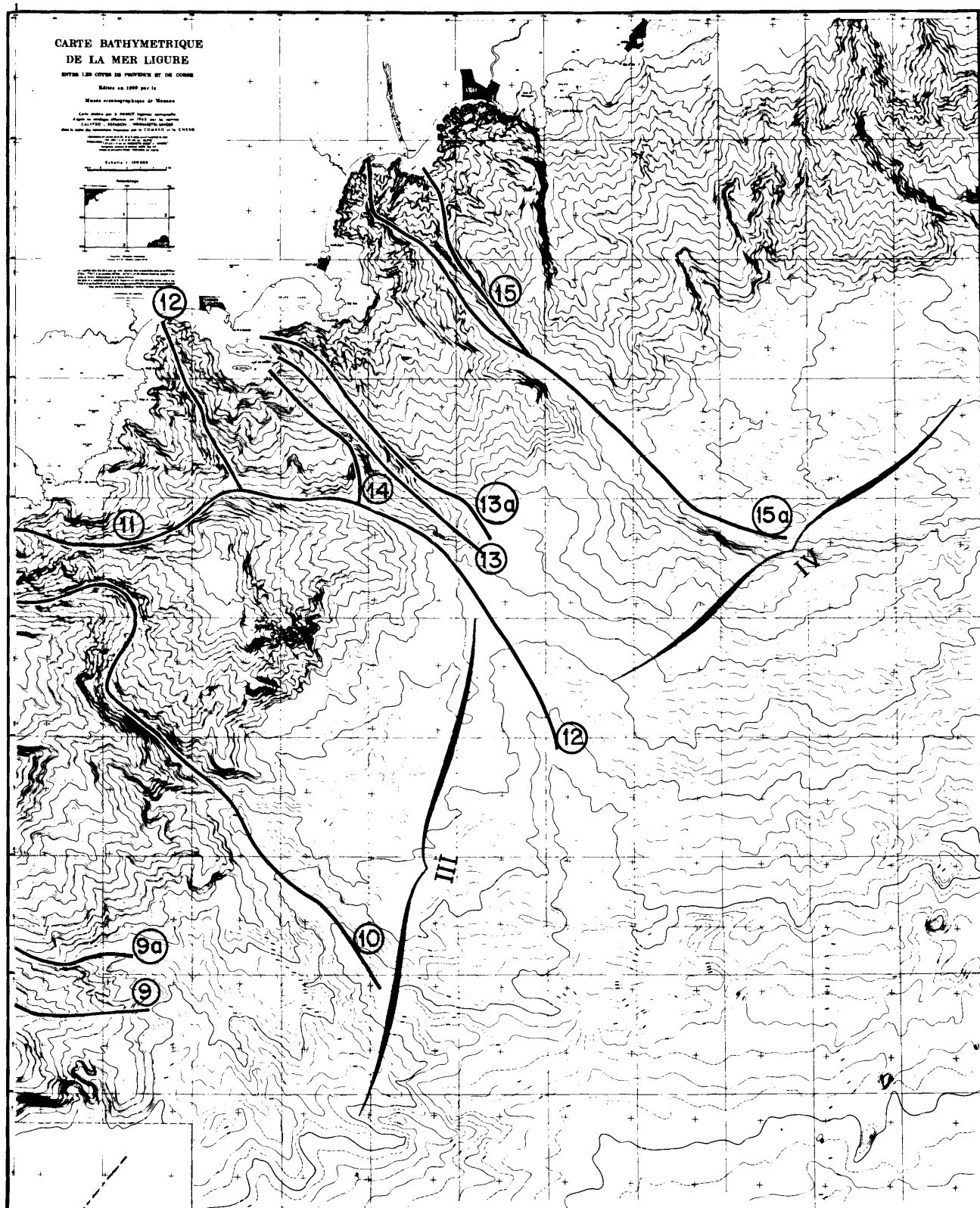


Figure 100 : Carte bathymétrique de la mer Ligurie. D'après PIERROT, 1969. III et IV correspondent aux domaines décrits dans le texte. De 9 à 15 tracés des profils représentés sur la figure 101.

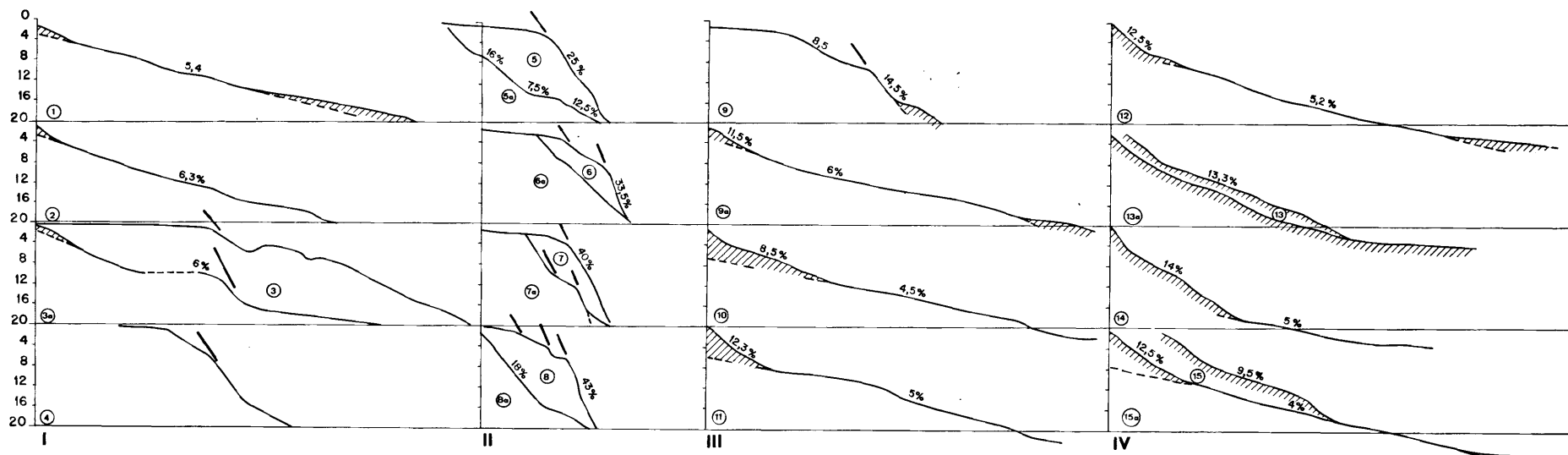


Figure 101 : Profils topographiques réalisés à partir des cartes bathymétriques (figures 99 et 100) groupés par domaines (cf. texte). Les pentes sont indiquées en pourcentage sur la figure. En trait épais les plans de failles possibles. En hachuré, les zones présumées où le substratum est ennoyé sous le plio-quatérnaire.

- I. 1. Canyon du cap Couronne. 2. Canyon du Planier. 3 et 3a. Interfluve et canyon de la Cassidagne. 4. Sud des Blauquières.
- II. 5 et 5a. Interfluve et canyon de Toulon. 6 et 6a. Crête et canyon de Giens. 7 et 7a. Interfluve et canyon de Port-Gros. 8 et 8a. Interfluve et canyon du Levant.

- III. 9. Banc du Magaud. 9a. Canyon des Stoéchades. 10. Canyon de Saint-Tropez. 11. Canyon du Drammont.
- IV. 12. Canyon de Cannes. 13 et 13a. Interfluve et canyon de golfe Juan. 14. Canyon de Sainte-Marguerite. 15 et 15a. Interfluve et canyon du Var.

Figure 102 : La provence au Miocène Moyen et au Miocène Supérieur (cf. texte).
Les tiretés représentent la limite de la mer au Miocène moyen à son maximum de transgression. En Provence calcaire est figuré le réseau hydrographique au Miocène Moyen d'après CORNET, 1969. Les flèches indiquent le sens du drainage.
L'axe anticlinal du "méga-massif des Maures" est figuré par des croix. L'aire cristalline émergée devait s'étendre jusqu'au sud de Marseille. Le tireté souligné par des hachures figure la limite de la mer au Messinien. Le réseau hydrographique correspondant apparaît sur la pente continentale. En pointillés, la partie des canyons entaillée dans le Miocène.

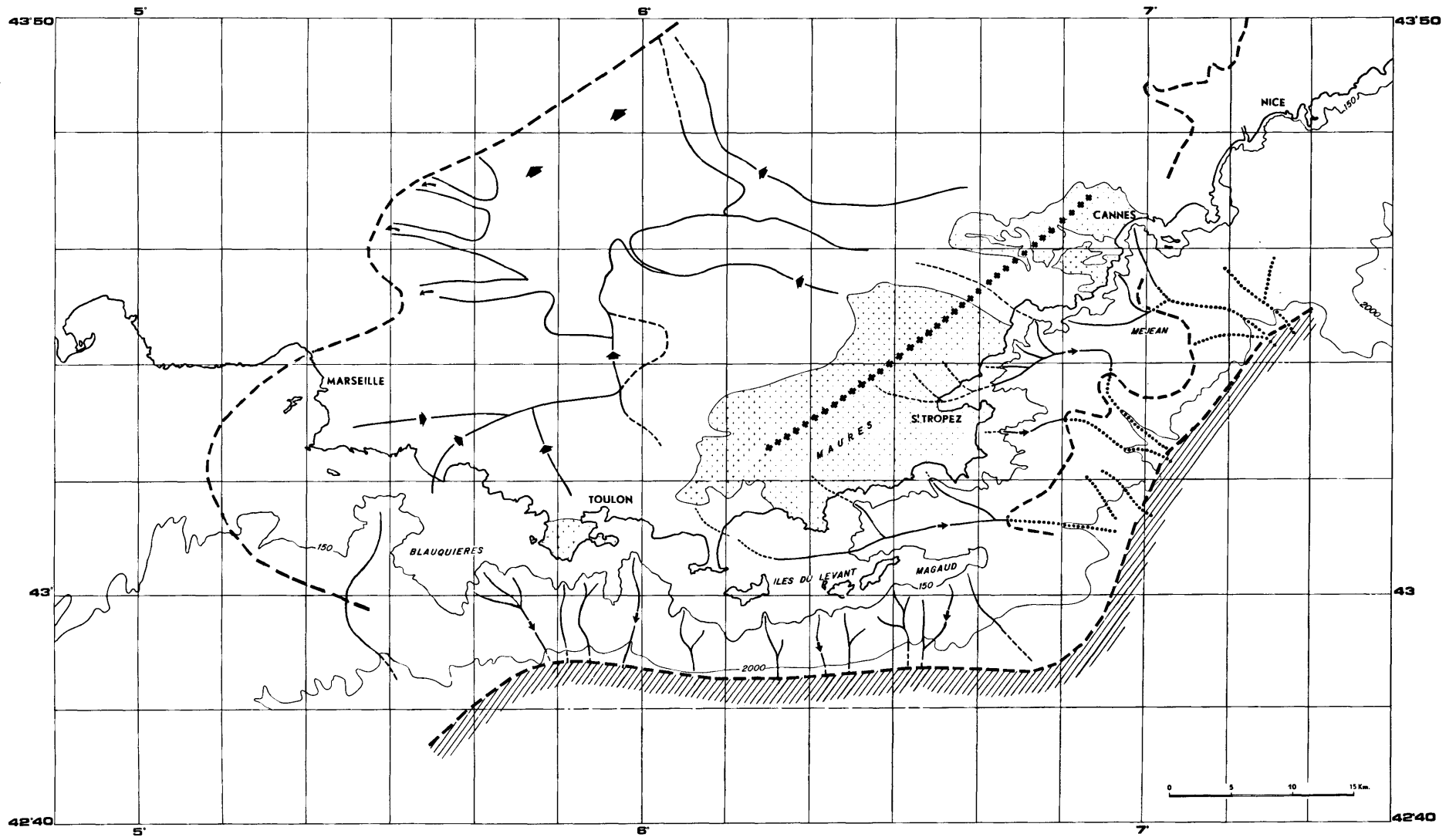


Figure 102

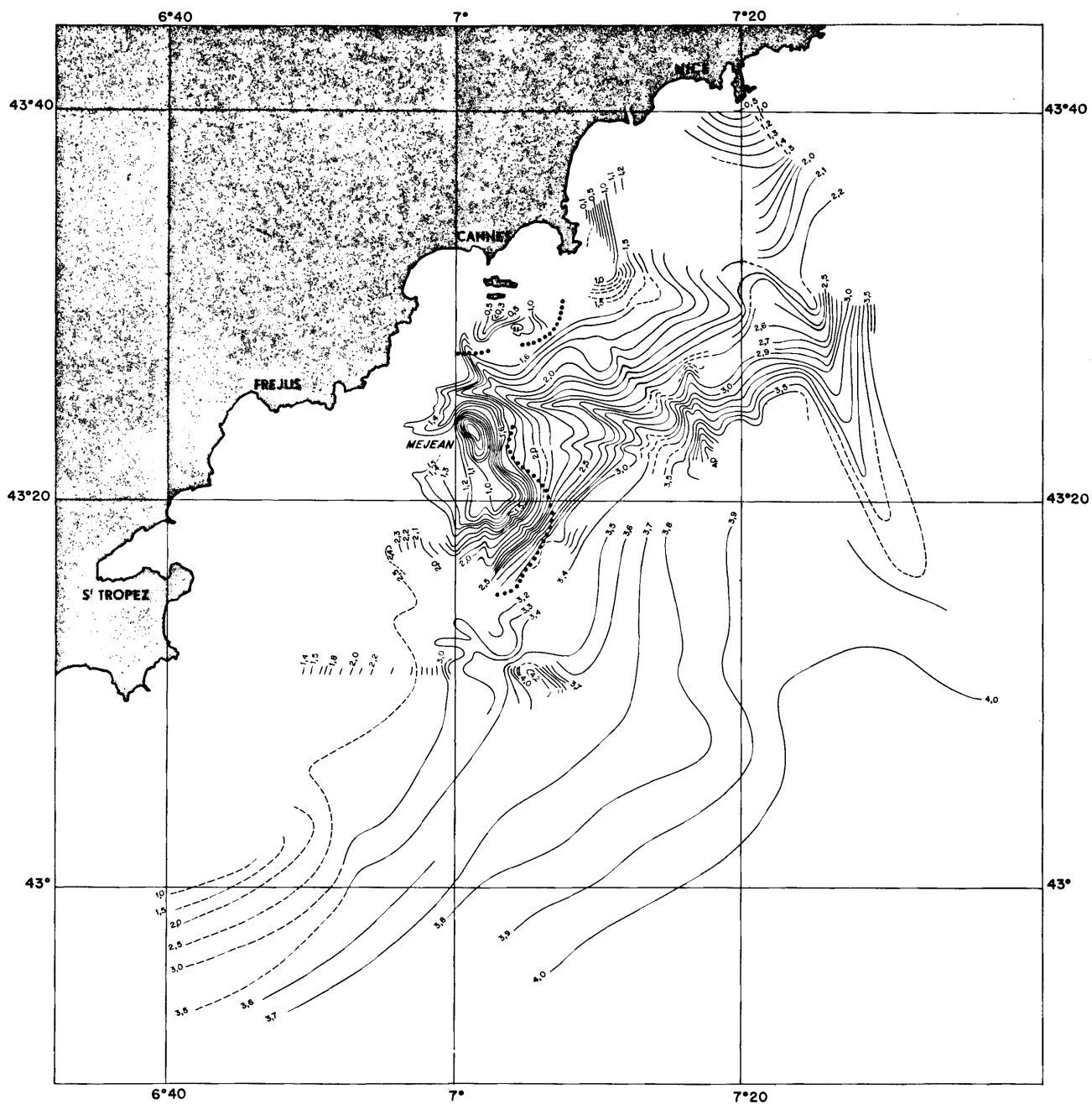


Figure 103 : Carte bathymétrique de la surface Pontienne (Profondeurs exprimées en millisecondes temps double). Les pointillés indiquent la limite d'ennoyage du Méjean et du promontoire des îles de Lérins sous l'ensemble infra-Pliocène.

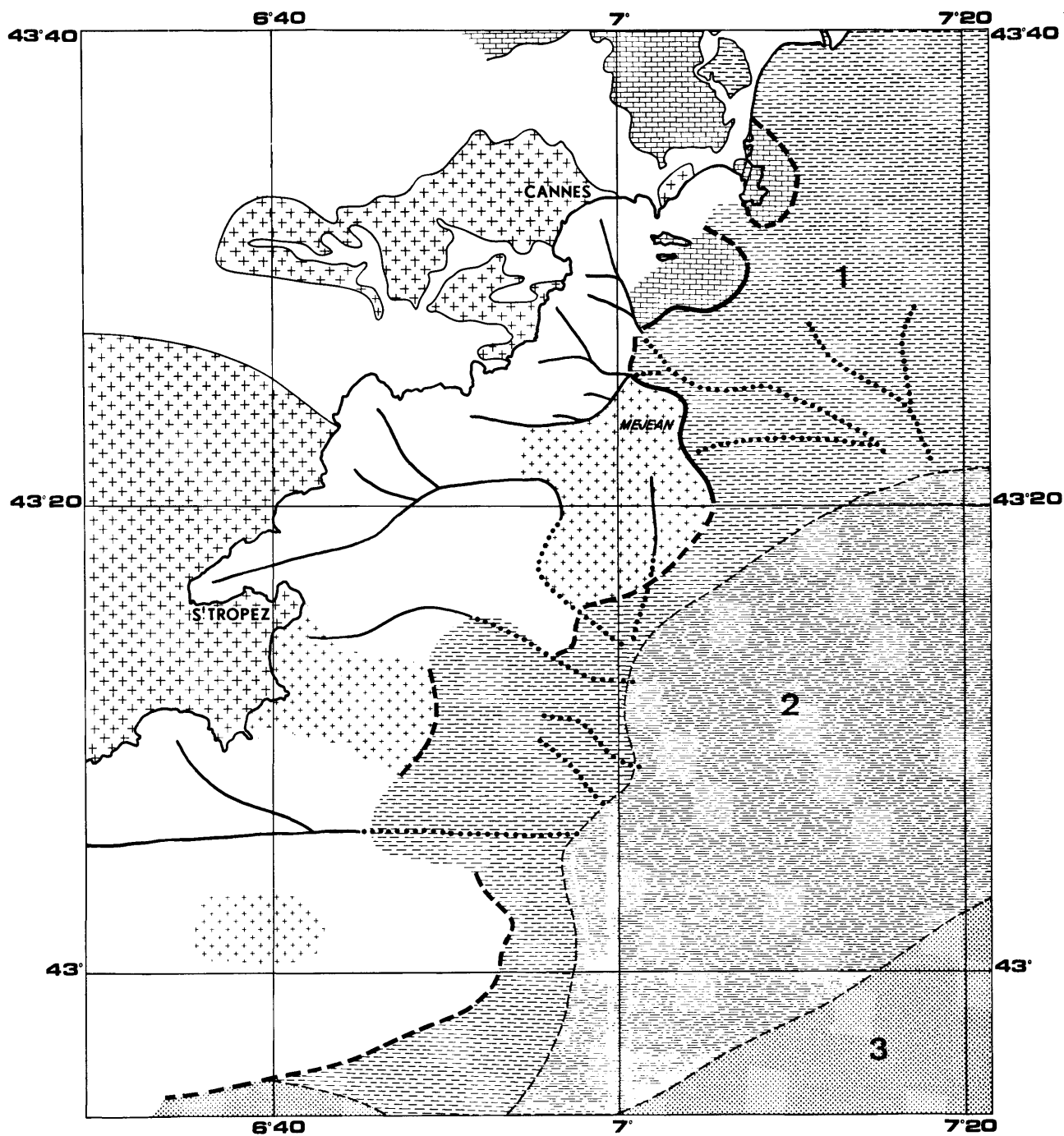


Figure 104 : Esquisse géologique de la marge orientale des Maures sous le plio-
quaternaire.

1. Miocène anti-Messinien
2. Dépôts de la mer Messinienne
3. Limite du dépôt des évaporites.

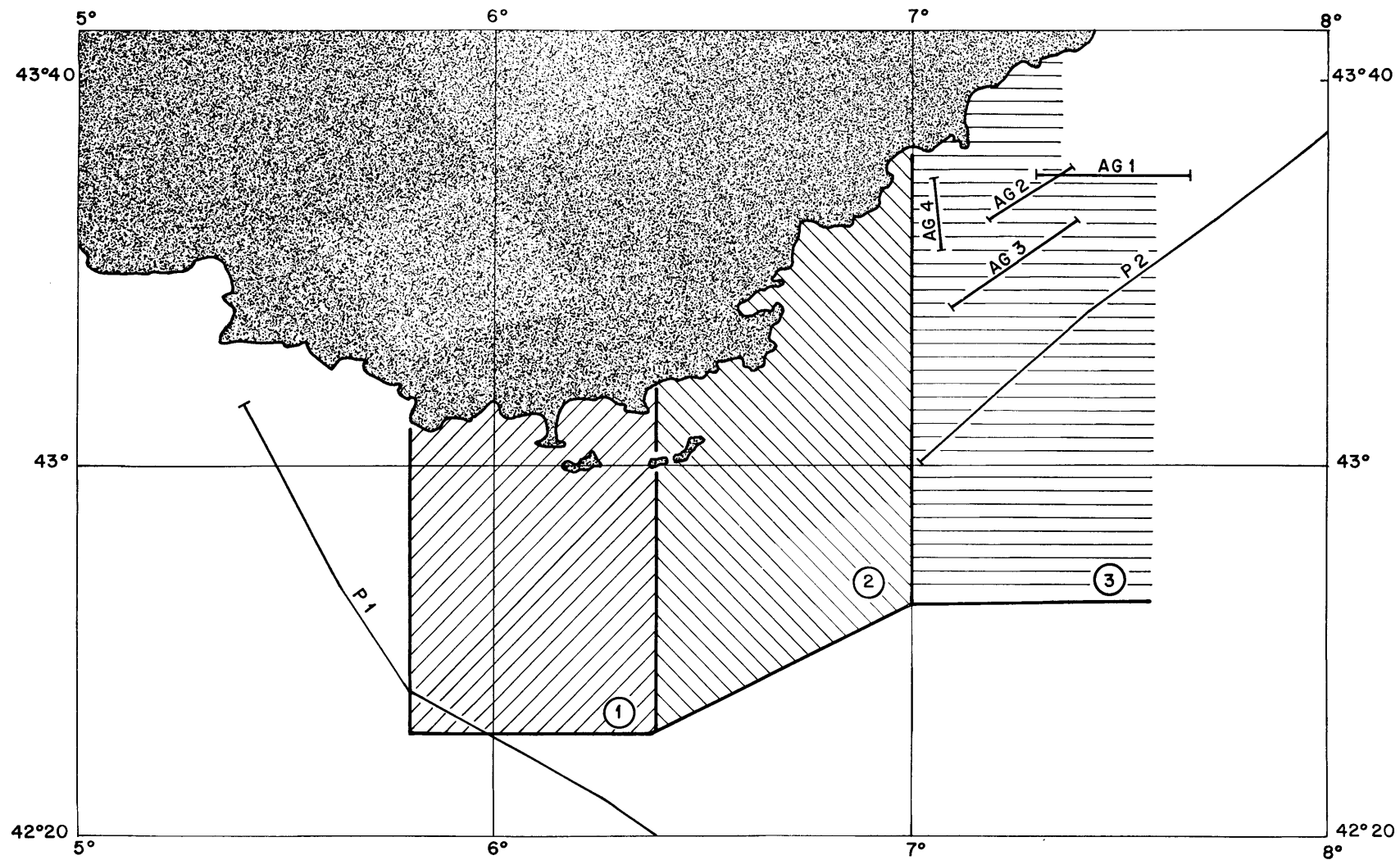


Figure 105 : Plan de position

1. Domaine étudié par MASCLE, 1968
2. Domaine étudié par BELLAICHE, 1969
3. Domaine étudié par PAUTOT, 1969

A 61, 2, 3, 4, profils air-gun et P 1, P 2, profils Flexotir (Campagne Polymède) figurant dans cet article.

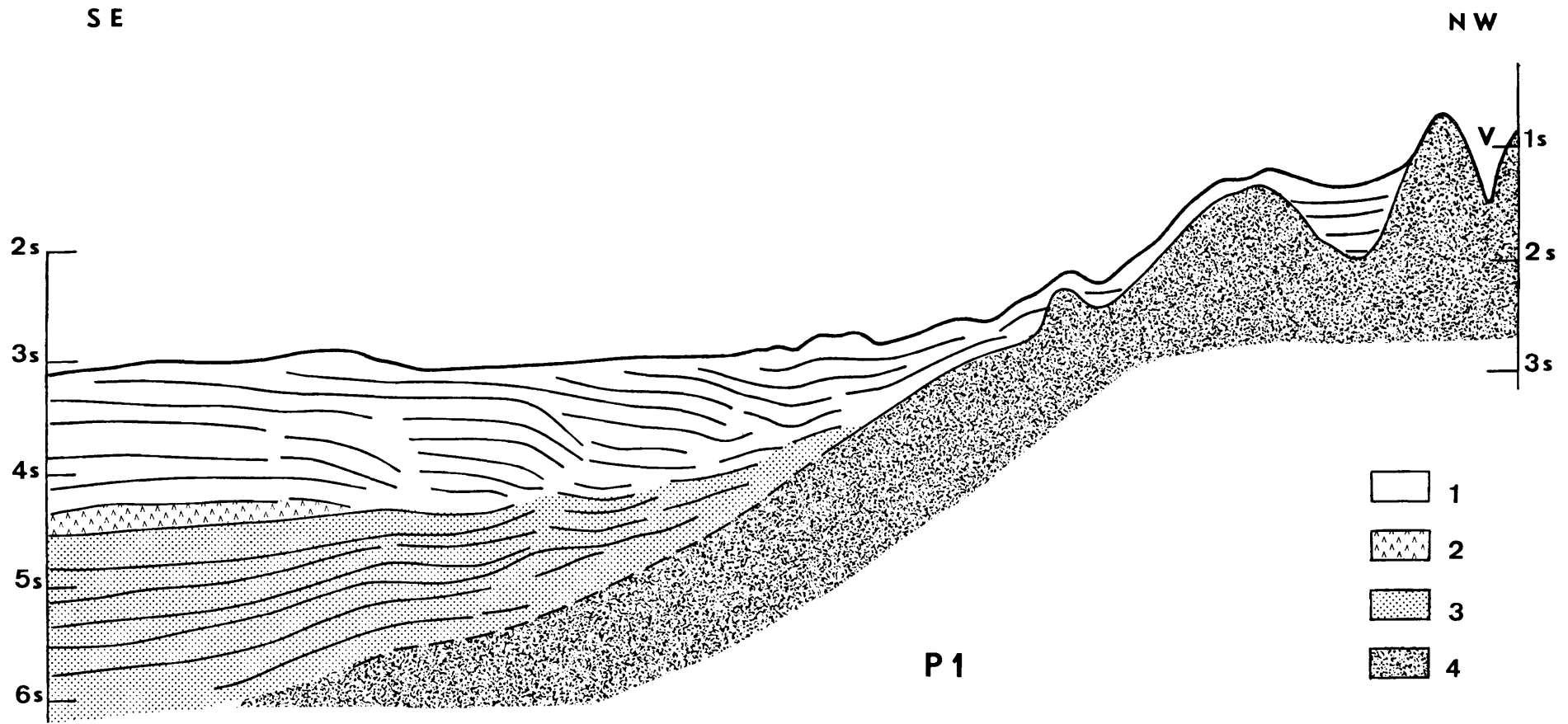


Figure 106 : Profil Flexotir et interprétation (exagération verticale 5) au sud et 106 bis de Toulon.

- 1. Plio-quadernaire
- 2. Couche évaporite. La limite couche évaporite et sédiments pliocènes n'est pas déterminée de façon précise.
- 3. Miocène.
- 4. Socle continental.

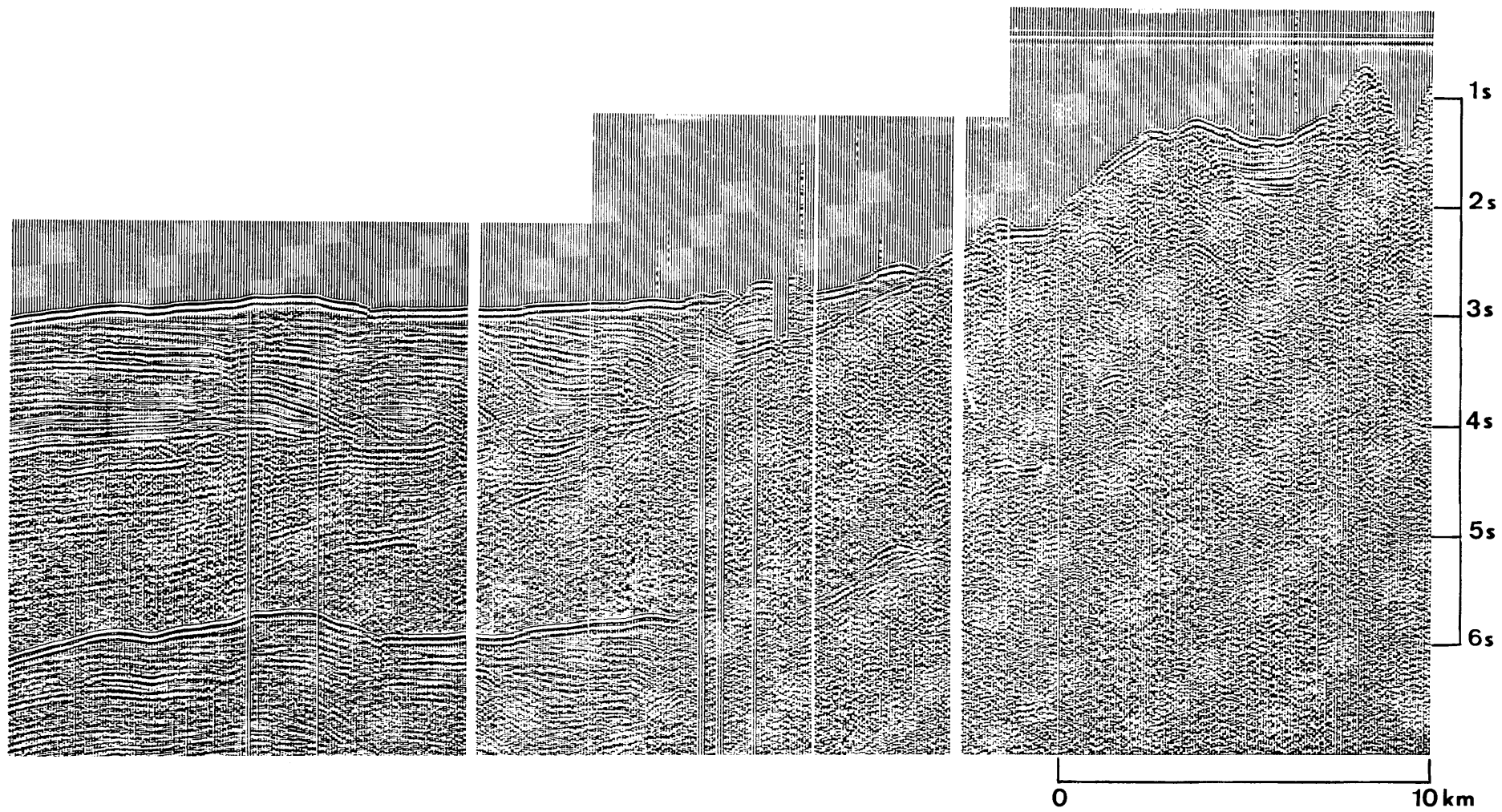


Figure 106 bis

SW

NE

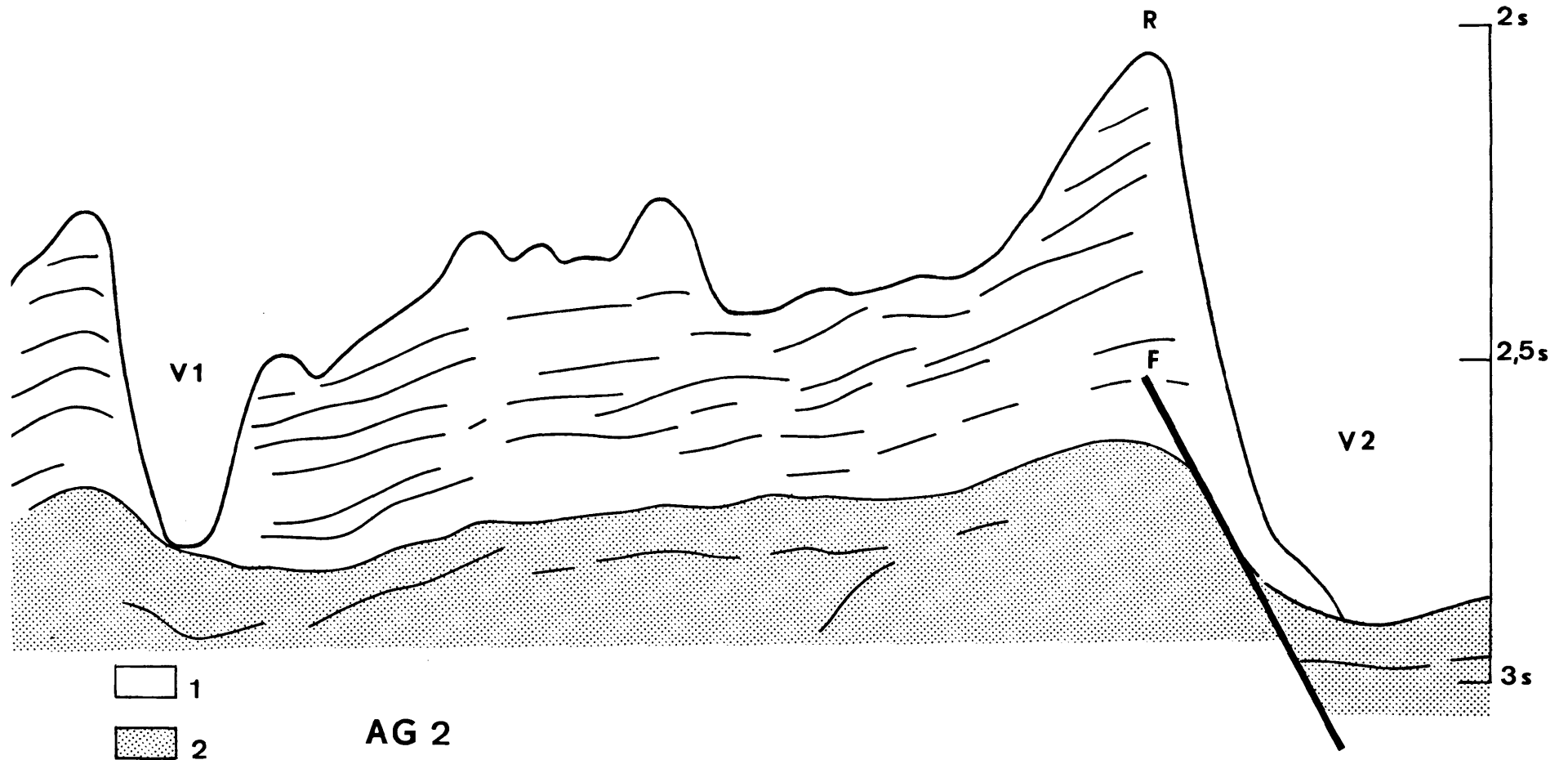


Figure 107 : Profil air-gun et interprétation (exagération verticale 10 environ) au sud d'Antibes.

1. Plio-quaternaire V 1 et V 2, vallées du Var
2. Miocène : le sommet de la série Miocène est marqué par la surface d'érosion pontienne. R : ride sédimentaire de la baie des Anges.

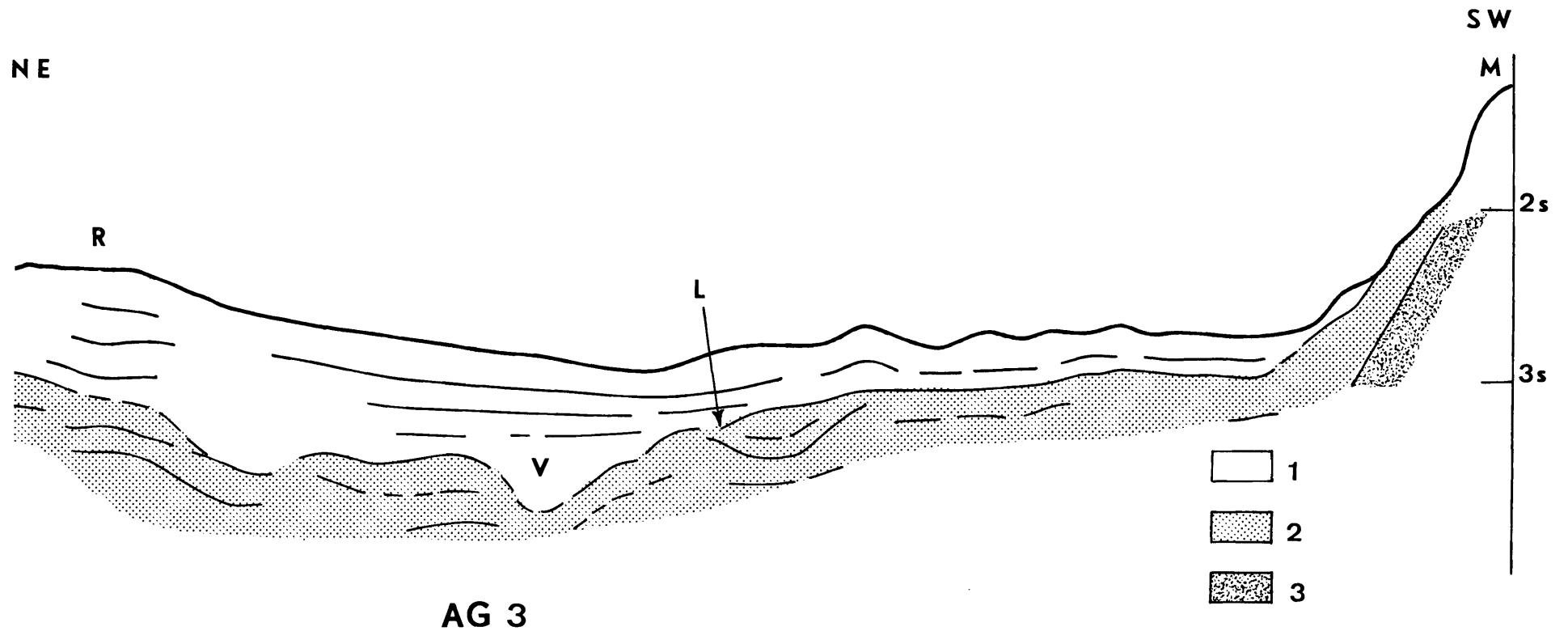


Figure 108 : Profil air-gun et interprétation (exagération verticale 10 environ)
au sud d'Antibes.

- 1. Plio-quaternaire
- 2. Miocène
- 3. Socle continental

M = Haut fond du Méjean

V = canyon de golfe Juan creusé dans le Miocène
et ennoyé sous le plio-quaternaire

R = ride sédimentaire de la baie des Anges

L = limite présumée de la surface d'érosion
pontienne.

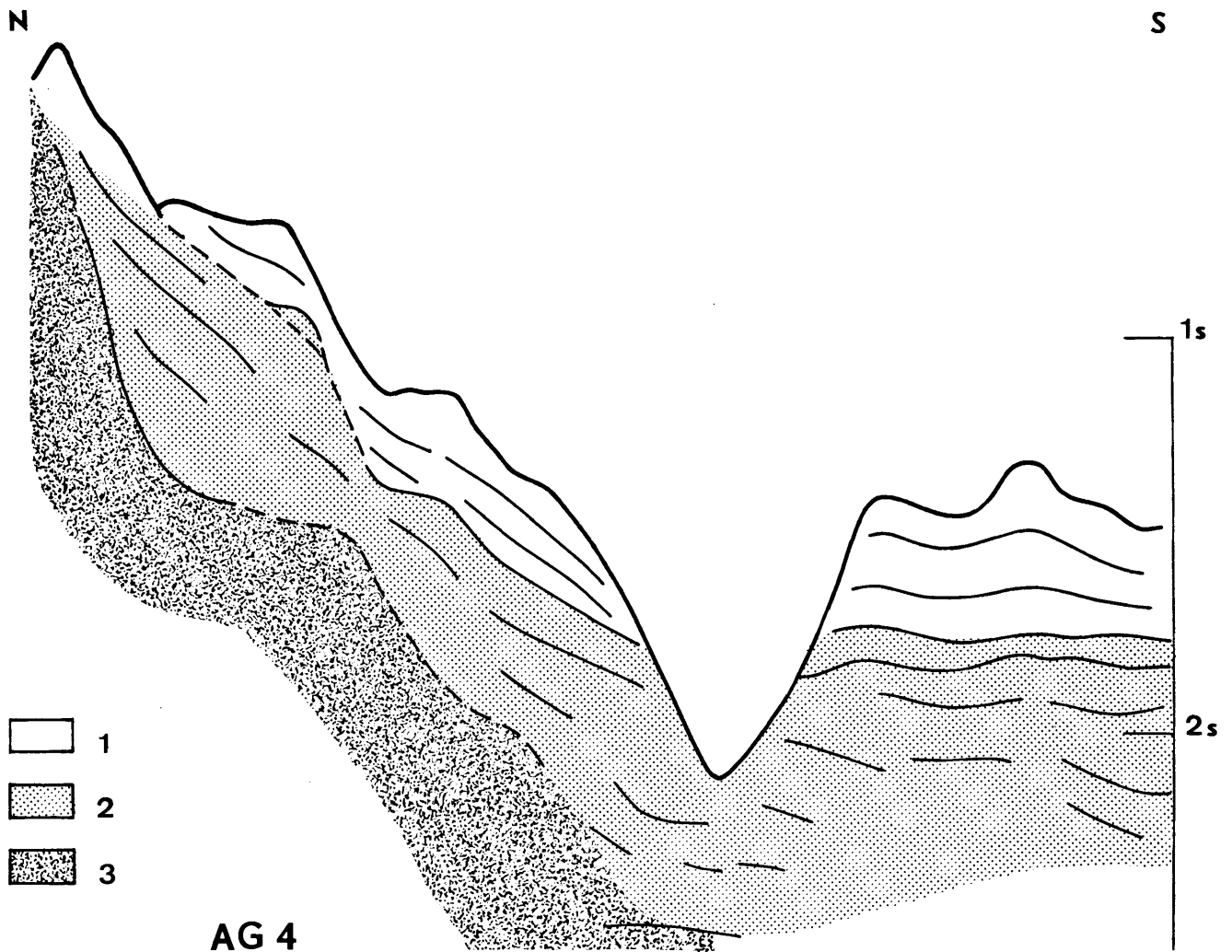


Figure 109 : Profil air-gun et interprétation (exagération verticale 10 environ) au sud d'Antibes.

1. Plio-quadernaire
2. Miocène : La limite mio-pliocène est marquée à droite de la figure par une discontinuité interprétée comme surface d'érosion pontienne.
3. Socle continental.

Figure 110 : Carte des isopaques du plio-quaternaire et les golfes Pliocènes

1. Epaisseur supérieure à 600 ms

2. de 400 à 600 ms

3. de 100 à 400 ms

4. Epaisseur indéterminée mais en général importante.

Les vallées en traits continus sont entaillées dans le substratum anté-pliocène.

. En traits discontinus : principales vallées plio-quaternaires avec substratum à l'affleurement ou faiblement recouvert.

. En pointillé : ravinements dans la couverture plio-quaternaire.

. Les croix représentent les principales rides sédimentaires.

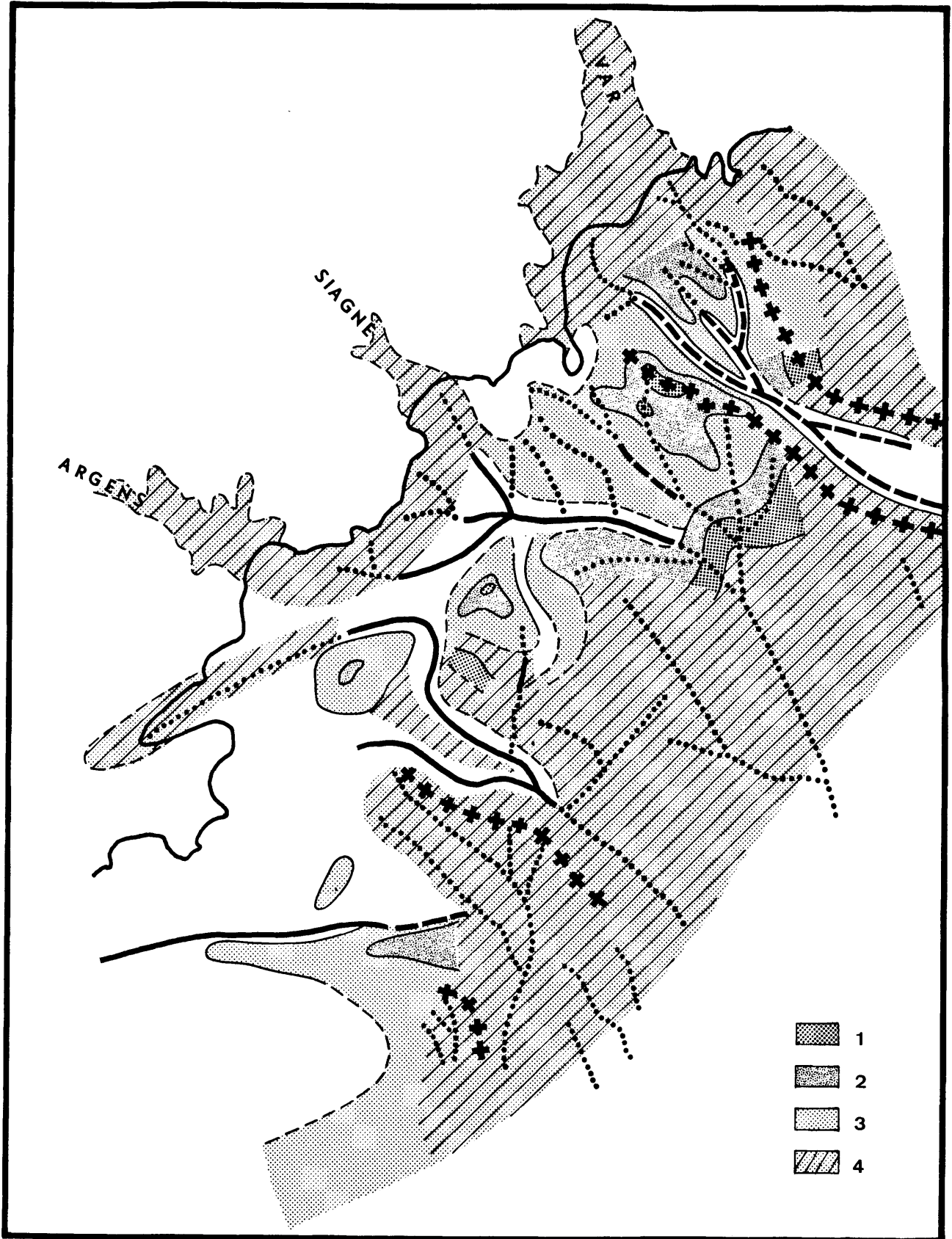


Figure 110

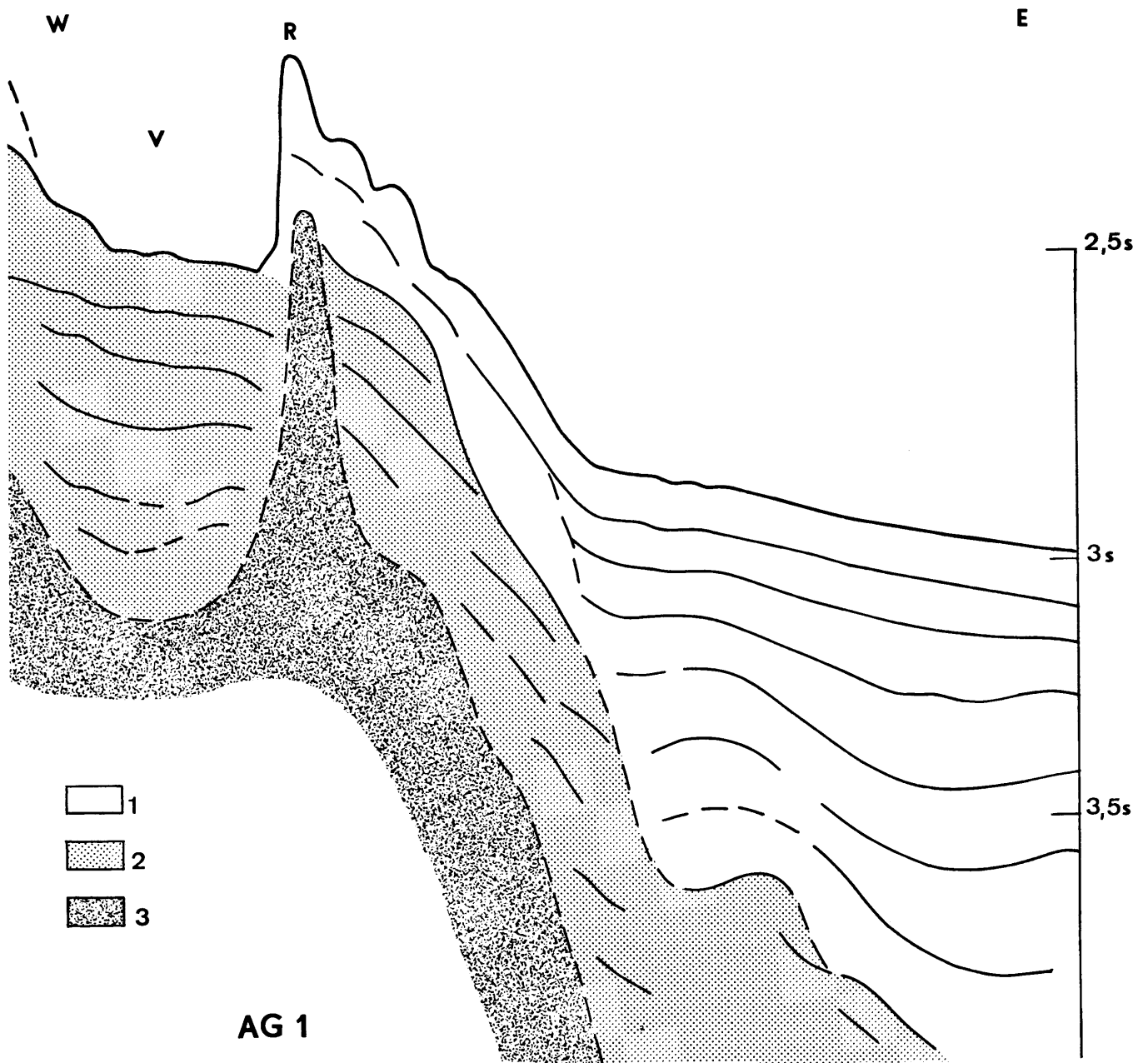


Figure 111 : Profil air-gun (exagération verticale 10 environ) au sud du cap Ferrat. et 111 bis Ce profil suggère un pointement du socle (volcanisme ?). Il sert de guide à l'accumulation des sédiments mio-plio-quaternaires qui forment la ride sédimentaire du cap Ferrat (R). Le décalage qui paraît exister dans la série sédimentaire de part et d'autre de ce pointement peut être dû soit au jeu d'une faille, soit à la différence de nature des sédiments.

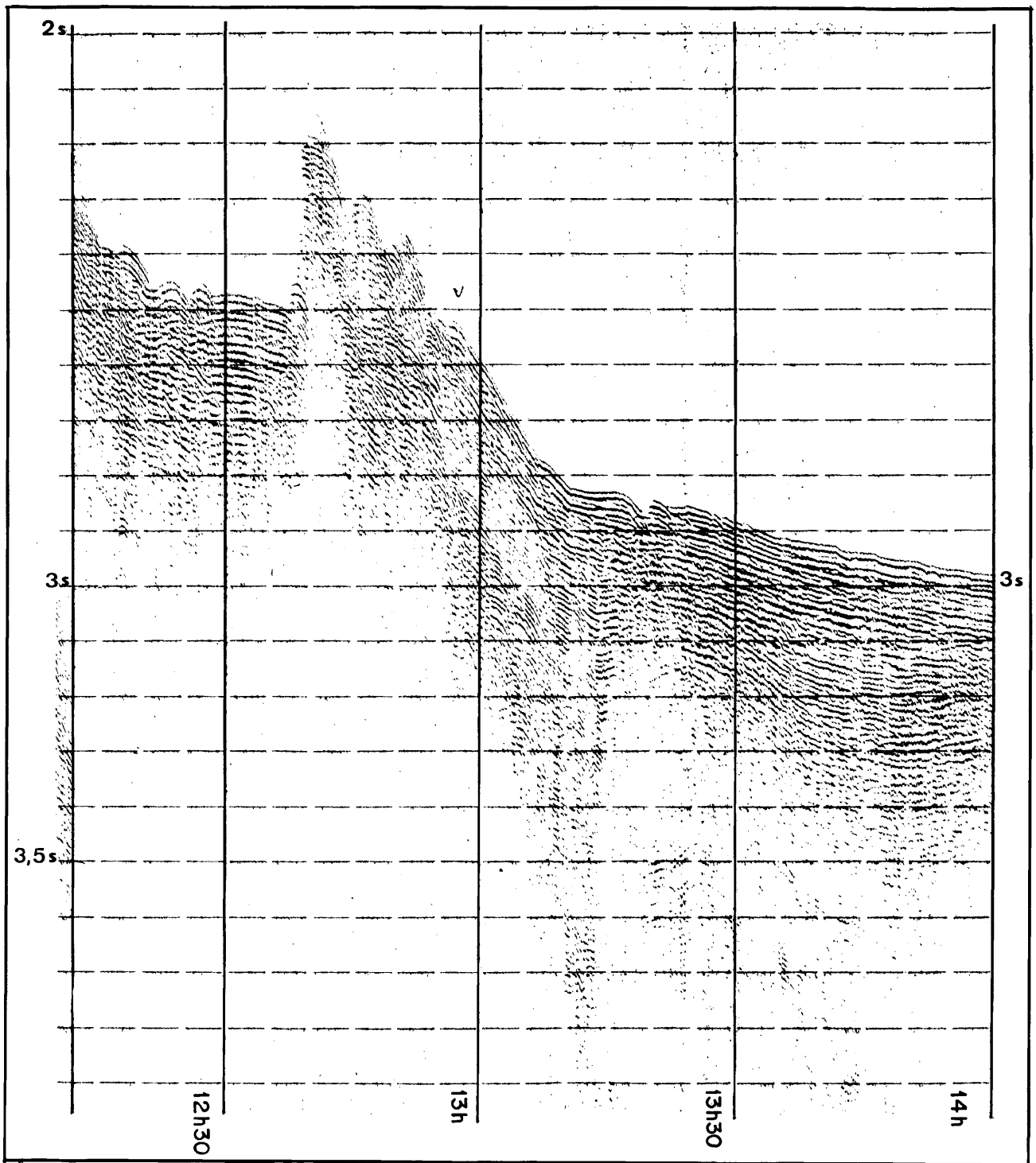
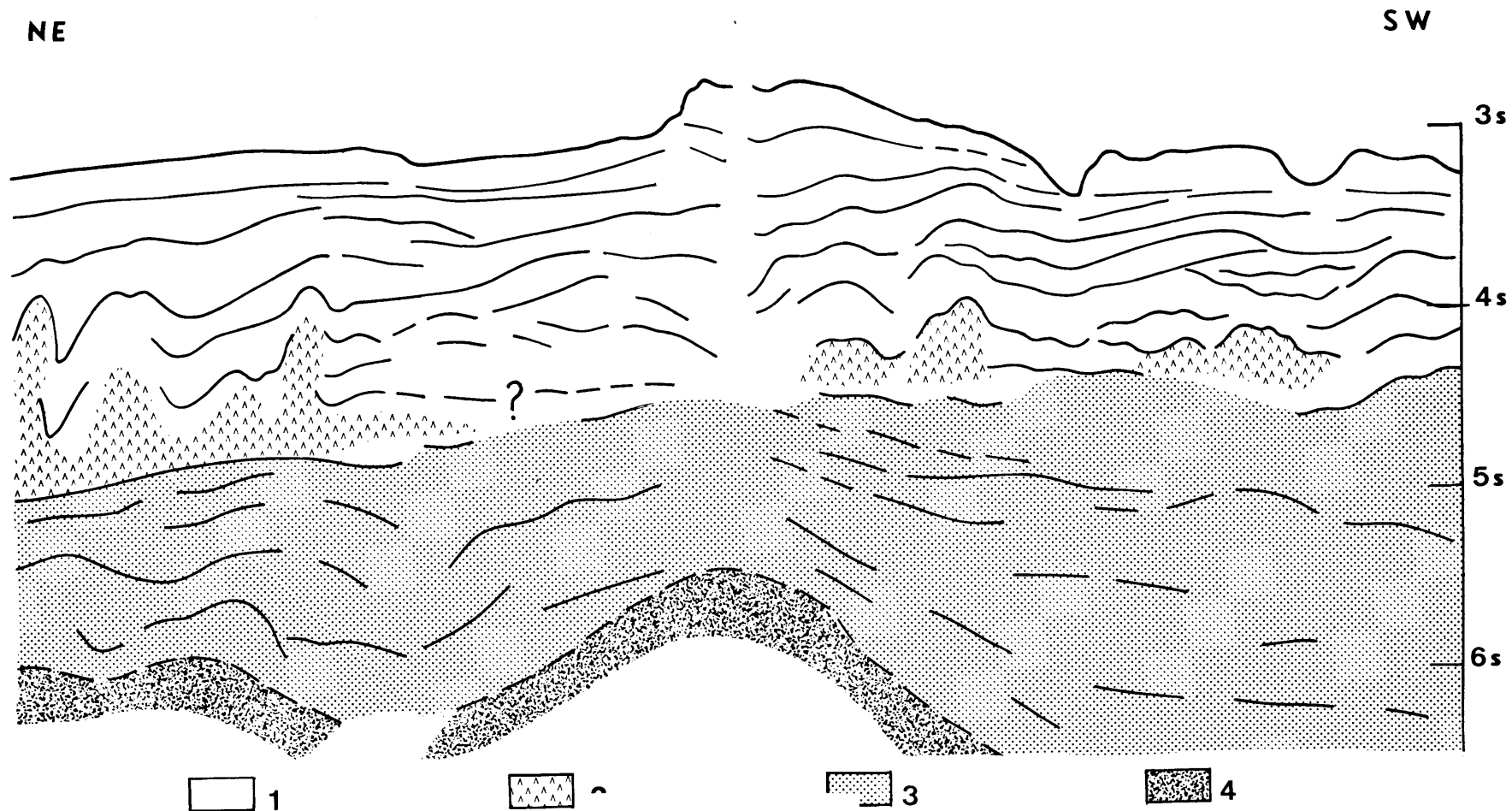


Figure 111 bis



P 2

Figure 112
et
112 bis

Profil Flexotir et interprétation (exagération verticale 5)

1. Plio-quaternaire.
2. Couche évaporitique et données de sel. Dans la partie SW, la prolongation de la couche évaporitique est hypothétique.
3. Miocène.

4. Socle continental.
La disparition des réflecteurs les plus profonds suggère un bombement du socle qui serait moins profond dans la partie nord-est. Il est sans doute à l'origine de la ride sédimentaire de la baie des Angés.

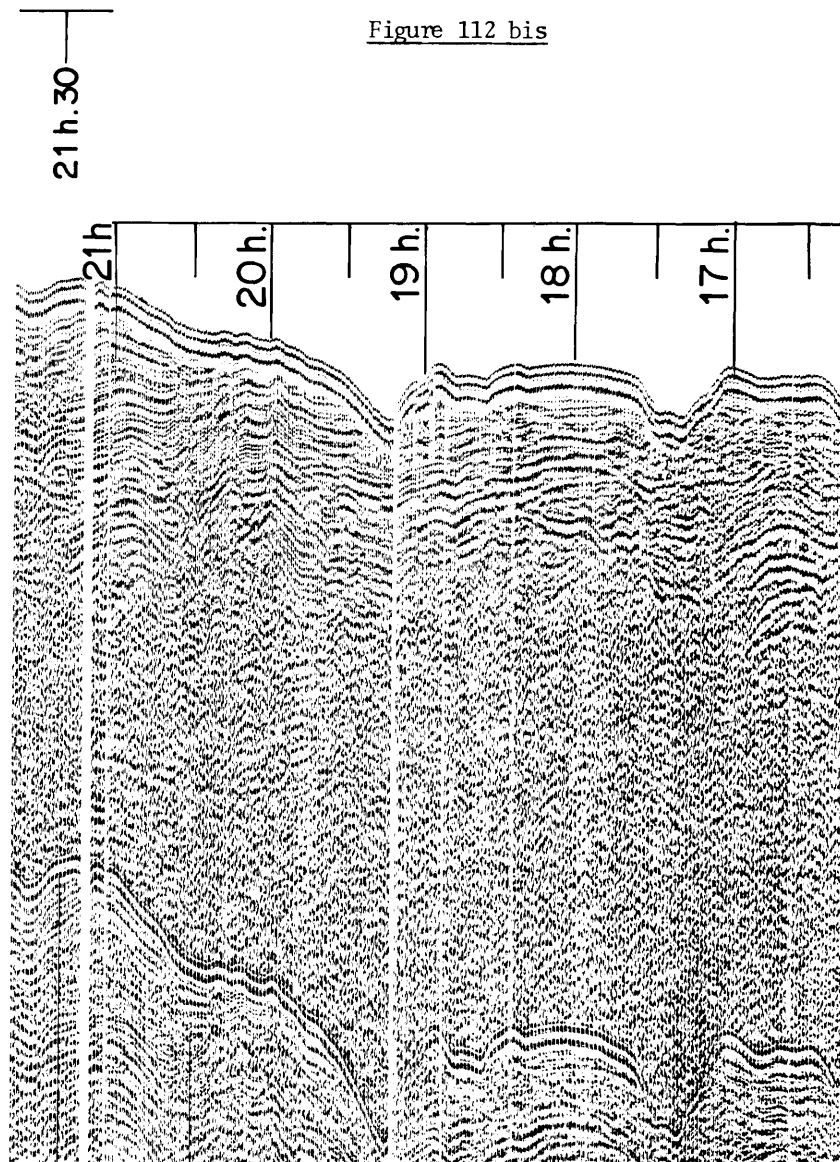
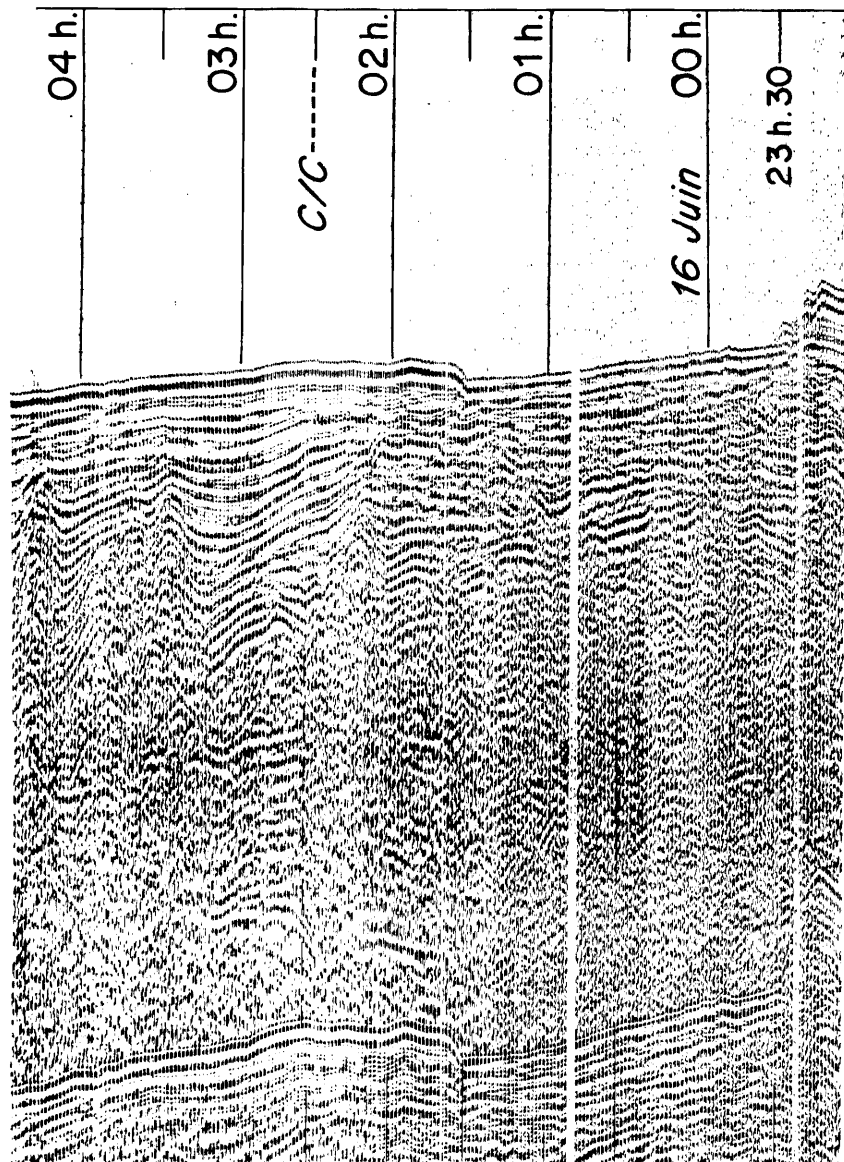
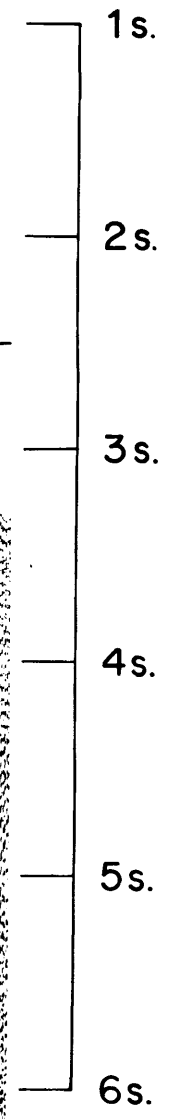


Figure 112 bis



Edité par
Le Service de Documentation
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

Janvier 1972