

GENERALITES SUR LA FOSSE DE PORTO RICO (1)

par Henri DELAUZE

A - SITUATION ET TOPOGRAPHIE

La fosse de PORTO RICO est le ravin le plus profond de l'Océan Atlantique. Elle est située immédiatement au Nord de l'île du même nom. Si l'on regarde un profil passant par le méridien $66^{\circ}30'W$, il n'y a pratiquement pas d'interruption de pente entre la bordure Nord de l'île et le fond du ravin.

L'axe principal EST OUEST du ravin est sensiblement situé sur le parallèle $19^{\circ}40'N$. La dépression hadale principale qui occupe le fond du ravin est limitée à l'est par le méridien $65^{\circ}30'W$ et à l'ouest par le méridien $68^{\circ}W$.

Le port de SAN JUAN se trouvant par $L = 18^{\circ}28'N$ et $G = 66^{\circ}05'W$, le trajet du port de SAN JUAN au centre du ravin est d'environ 70 milles.

Les profondeurs maxima sont de l'ordre de 8200 m dans le ravin principal.

Au sud du ravin principal et sur un axe situé suivant le parallèle $19^{\circ}20'$, existent deux petites plaines situées sur les méridiens $66^{\circ}10'W$ et $66^{\circ}35'W$. Ces petites plaines, d'une profondeur légèrement moins importants que celle de la dépression principale, sont séparées de celle-ci par un seuil surélevé de 700 m environ par rapport au ravin principal et de 400 m par rapport aux deux petits ravins secondaires.

Sur son flanc Nord, la fosse est bordée par un talus très incliné qui se termine sur un plateau fort accidenté (Outer Ridge des auteurs américains) à la côte moyenne 5500 m. Ce plateau s'étend entre les parallèles $20^{\circ}10'N$ et $22^{\circ}20'N$. Sur la bordure Nord de cet "Outer Ridge" commence la vaste plaine abyssale à la profondeur moyenne de 5800 m, soit 300 m plus bas que la chaîne de bordure NORD.

B - RESULTATS DE LA CROISIERE DU CHAIN (WHOI) EFFECTUEES EN JUIN 1961 SUR LE TALUS NORD

Au cours du mois de JUIN 1961, une expédition scientifique organisée par le Dr J.B. HERSEY du WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION a étudié la topographie du ravin de PORTO-RICO, tout en photographiant le talus nord du ravin et en y prélevant des échantillons de roche

La topographie de la paroi nord consiste en une série de chaîne parallèles à la direction générale EST - OUEST du ravin principal. Les profondeurs de deux dépressions ainsi formées atteignent 6500 m et 8000 mètres, alors que le ravin proprement-dit bien connu, se situe aux environs de 8200 m.

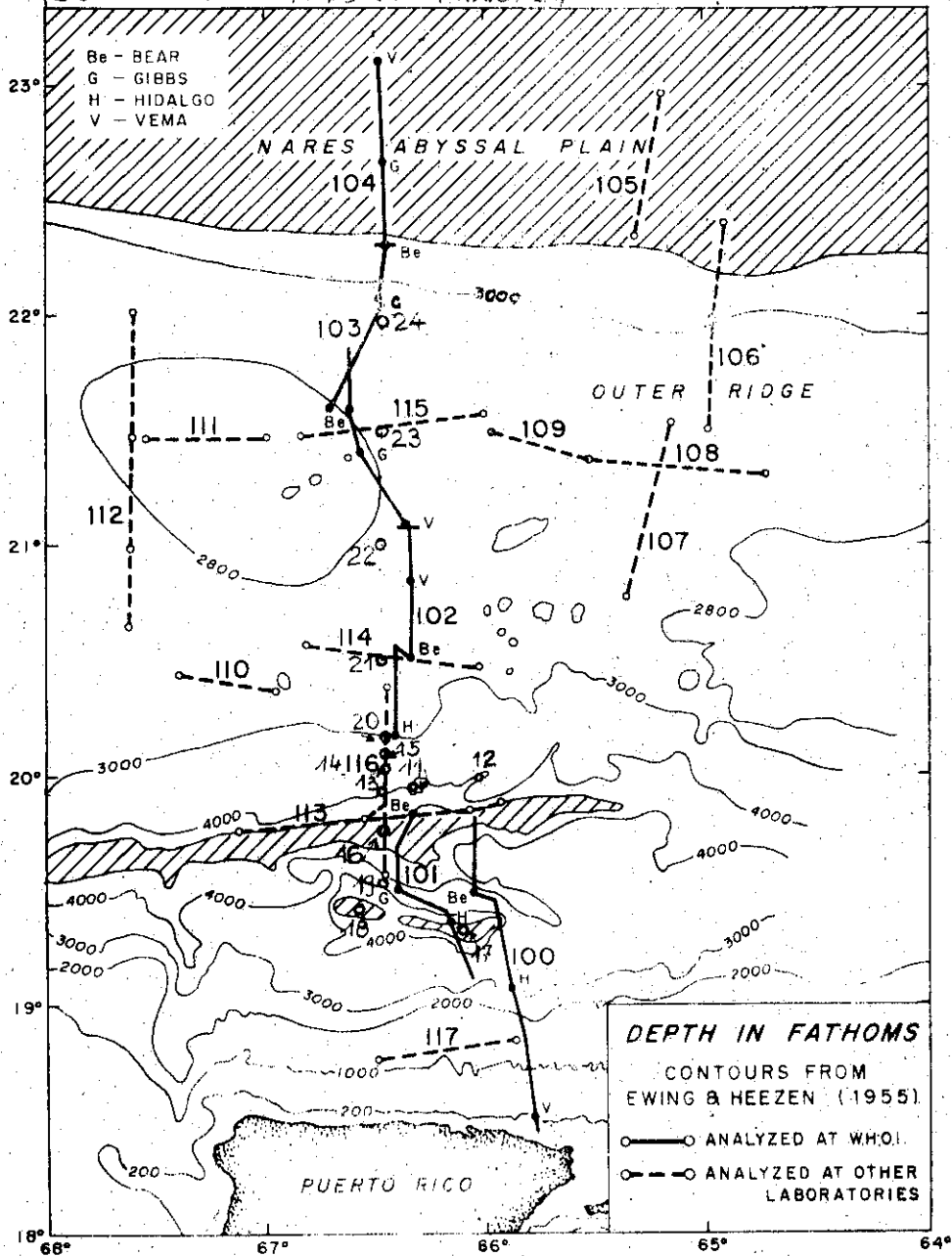
(1) - Au moment où se prépare la campagne qui doit conduire le Bathyscaphe "ARCHIMEDE" dans la fosse de PORTO RICO, il a paru utile au Comité de Direction qu'une brève synthèse soit faite des connaissances acquises jusqu'ici sur ce ravin. Cette compilation qui a été demandée à Mr DELAUZE permettra aux chercheurs français appelés à participer à la mission, d'avoir un aperçu condensé des principales données, éparées dans la bibliographie.

FOSSE DE PORTO-RICO BATHYMETRIE et PROFILS SISMIQUES

3956

BUNCE AND FAHLQUIST · WHOI.

(Journal of Geophysical Research)



En accord avec la conception moderne actuelle d'une stratigraphie sub-horizontale pour l'ensemble de la paroi nord (TALWANI, SUTTON, WORZEL 1959), cet ensemble de crête et de dépressions suggère une dominante structurale de type "GRABEN".

Un dragage situé par 20° N et $66^{\circ} 25'$ W a permis d'obtenir dix fragments rocheux. Plusieurs fragments furent identifiés comme de la serpentine et de la péridotite presque entièrement serpentinisée, tandis que d'autres sont supposés être du basalte vitrifié. Un accroissement brutal de 800 Kg. dans la tension du câble de drague et une allure apparente de roche fraîchement brisée, ont laissé supposer qu'au moins l'un des fragments, d'origine ultrabasique, a pu être détaché d'un affleurement rocheux (out crop) en place. La profondeur exacte n'a pu être déterminée, mais on pense qu'elle était supérieure à 6550 mètres en raison des enregistrements obtenus à l'écho-sondeur. La pente du mur Nord, à cet endroit, est estimée entre 30° et 45° . Une correction de calcul de la profondeur obtenue par ultra-sons pour cette pente, indiquerait ainsi une profondeur supérieure à 7000 m pour les fragments rocheux obtenus.

D'autre part, une étude géophysique de la fosse (E. BUNCE, D. FAHLQUIST) avait été réalisée en 1959 en vue de la détermination éventuelle d'un emplacement pour le "MOHOLE PROJECT". Ces recherches entreprises sous la dénomination "MOHOLE SITE SURVEY" sont financées par le NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. Elles s'attachent essentiellement à l'étude et à la détermination par carottages de la discontinuité de MOHOROVICIC, par un forage pétrolier sous-marin au fond d'une grande fosse (MOHOLE DEEP DRILLING PROJECT, AMSOC COMMITTEE). Les recherches sismiques réalisées ont permis d'identifier trois couches au-dessus du manteau pour lequel les vitesses de propagations sont de l'ordre de 8 Km/sec. Ces trois couches de la croûte terrestre ont des vitesses de propagation qui vont croissant avec la profondeur et dont les valeurs sont respectivement 2,5 Km/sec. (Layer 1) 5,1 Km/sec (Layer 2) et 6,6 Km/sec pour (Layer 3). Le profil de réfraction sismique N° 102 (BUNCE, FAHLQUIST) orient Nord-Sud le long du méridien $66^{\circ} 28' W$ place précisément le haut de la couche 3 (Layer 3 - 6,6 Km/sec) à une profondeur de l'ordre de 7000 mètres pour une latitude de 20° N. Le dragage de fragments rocheux cité plus haut ainsi qu'une série de photographies sous-marines, prise par le CHAIN en Janvier 1960 - montrant d'abondants affleurements rocheux - semblent confirmer les résultats sismiques de la coupe N° 102 sur le talus nord de la fosse. Tout laisse ainsi supposer que la couche 3 (Layer 3) apparaît largement à la base du talus nord à une profondeur avoisinant 7000 m.

De plus, il paraît probable que certains des fragments dragués proviennent de la couche 3 car les roches ultrabasiques altérées obtenues cadrent avec les hypothèses de HESS (HESS 1960). Cet auteur pense que la couche 3 est constituée par de la péridotite serpentinisée, provenant de l'hydratation du matériau formant la couche superficielle du manteau. De son côté, WILSON (1954) suppose que la couche 3 est constituée de matériau basaltique en provenance d'un changement de phase du manteau supérieur en éclogite.

Deux autres dragages sur la paroi Nord, à une profondeur supérieure à 6500 mètres, produisirent environ 150 fragments de roches assez différentes. La plupart des fragments étaient constitués de sédiments partiellement consolidés, les autres étaient de provenance sédimentaire ignée ou métamorphique. Ces dragages laissent penser que la couche 2 (Layer 2 - 5,1 Km/sec) apparaît sur le talus Nord en accord avec les profils sismiques réalisés, qui donnent une profondeur de 6420 m à $20^{\circ} 10' N$, et $66^{\circ} 30' W$ pour la couche 2. La couche 2 est interprétée, dans son ensemble, comme un mélange de sédiments consolidés et de roches volcaniques. Toutefois, les niveaux supérieurs au contact de la partie inférieure de la couche 1, peuvent être considérés comme composés de sédiments en cours de consolidation. La profusion de fragments d'origine sédimentaire obtenue dans les deux dragages précédents, laisse supposer que la drague a "croché" dans la partie supérieure de la couche 2. Parmi les roches draguées, se trouvaient quelques fragments de péridotite serpentinisée. Cette association de roches sédimentaires - consolidées ou non - et ultrabasiques altérées, observée dans les mêmes dragages, suggère que ces échantillons ramassés dans la partie supérieure de la couche 3, proviennent d'éboulements des couches supérieures.

C - RESULTATS DES MISSIONS GEOPHYSIQUES DE MAI ET JUIN 1959 (AMSOC COMMITTEE, MOHOLE PROJECT)

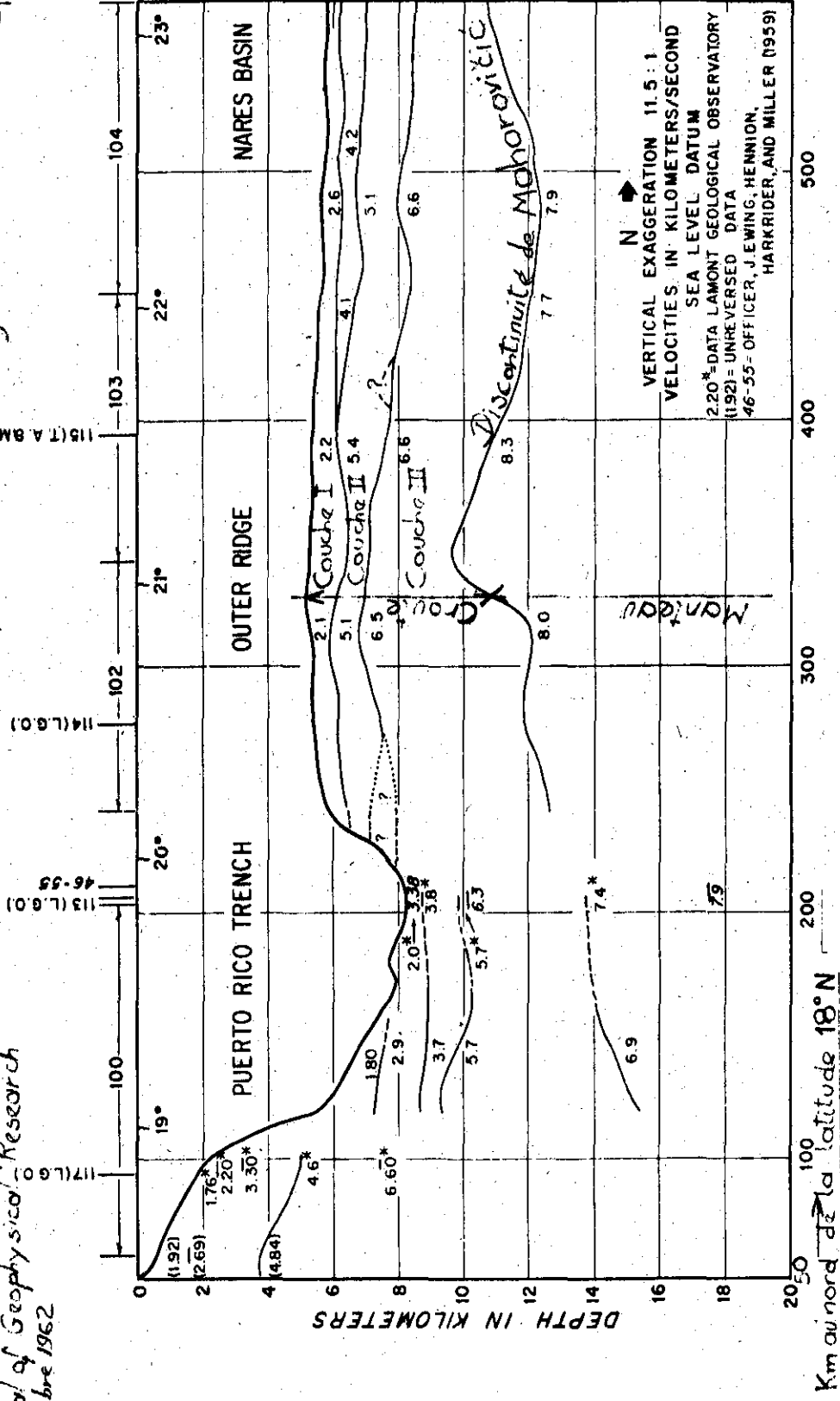
La figure 1 indique les emplacements des profils sismiques effectués en collaboration entre les Laboratoires suivants : LAMONT GEOLOGICAL OBSERVATORY, WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION, A. and M. COLLEGE OF TEXAS et HUDSON LABORATORIES.

Figure N° 2

BUNCE et FAHLQUIST
 Journal of Geophysical Research
 Septembre 1962

FOSSÉ de PORTO-RICO

Section Structurale - Profils sismiques établis au long du méridien 66°30'



à la latitude 18°N

La figure 2 est le résultat d'un montage des profils 100, 102, 103 et 104, interprétés par BUNCE et FAHLQUIST du WHOI. Ces profils suivent sensiblement le méridien 66°30'W au nord du ravin et le méridien 66°00'W au sud du ravin.

Les dragages rocheux dont il est question au chapitre B) ont été précisément effectués au long du méridien 66°00'W. Il faut aussi remarquer qu'à la latitude 21°00'N, la discontinuité de MOHO-ROVICIC se situe à une profondeur inférieure à 10000 mètres et sous une couverture (des couches 1 à 3) de l'ordre de 4000 m.

Il est regrettable que le contrôle sismique ne s'étende que sur une vingtaine de Km au sud du haut du talus de la paroi nord du ravin. C'est précisément là que se situe la zone d'intérêt majeur pour une reconnaissance en Bathyscaphe, puisque c'est seulement sur la paroi nord du ravin que l'on peut espérer trouver des affleurements de la couche 3 ultrabasique. Or, cette imprécision laisse supposer une présence de la couche 3 (6,6 Km/sec) à des profondeurs comprises entre 7 et 8000 m. Les dragages dont il est question au chapitre B) semblent indiquer cependant la présence de la couche 3 au-dessous de 7000 m.

Les vitesses de propagation mesurées sous la plaine hadale de la fosse sont remarquablement différentes de celles mesurées sous le plateau de bordure Nord (Outer Ridge) - Sur la figure 2, on note une épaisseur sédimentaire (2 à 3,7 Km/sec) de l'ordre de 2000 m sous la plaine hadale et cette épaisseur augmente considérablement sous le talus sud du ravin.

Enfin, il est très curieux de noter que les roches définies par leurs vitesses comme constituant la croûte terrestre d'une part (6,6 Km/sec) et le manteau au-dessous de la discontinuité de MOHO-ROVICIC (8 Km/sec) d'autre part, ne sont plus décelables sous la fosse. Cependant la couche 3 (6,6 Km/sec) réapparaît sous la face sud du ravin à une profondeur comparable à celle de la face Nord.

La couche la plus basse déterminée sous la fosse (7,4 Km/sec) se trouve à la profondeur de 14000 m et son existence dans une région d'intense activité tectonique est intéressante. La présence de roches ayant une vitesse de propagation de 7,4 Km/sec a en effet été remarquée dans plusieurs études sismiques profondes de zones présentant une forte activité orogénique ou volcanique (la chaîne médio-dorsale ATLANTIQUE, la chaîne sous-marine TONGA-TOFUA, et certaines parties du ravin des ALEOUTIENNES). Dans certaines de ces études, cette couche 7,4 Km/sec a été repérée au-dessus de la discontinuité "M".

Il apparaît comme certain, au vu du relief de la fosse et du contraste entre les coupes sismiques, que l'effondrement du ravin s'est effectué dans la zone du talus nord. Cet effondrement affecte la croûte, peut-être même le manteau et correspond à un déplacement vertical minimum de 2 Km. Si le matériau de vitesse 6,6 Km/sec était identique au nord comme au sud du ravin, l'effondrement serait alors évident dans la zone du talus sud. Malheureusement, les preuves topographiques de cet effondrement près du talus sont bien atténuées par la couverture sédimentaire en provenance de l'île de PORTO-RICO. Cette couverture atteint une épaisseur de 5000 m, avec des sédiments ayant des vitesses de propagation comprises entre 1,76 et 4,60 Km/sec. D'une manière générale, on peut déduire des résultats obtenus que le ravin de PORTO-RICO est un GRABEN, mais on ne connaît pas avec précision la position des diaclases l'encadrant, ni la valeur des déplacements verticaux.

En ce qui concerne la gravimétrie, il faut signaler l'importante - et bien connue - anomalie négative qui atteint - 300 milligals au milieu de la fosse. Si l'on veut faire cadrer les anomalies mesurées avec celles calculées à l'aide des données sismiques et topographiques connues, il faut placer la discontinuité "M" (de vitesse 8 Km/sec) à 20000 m sous le niveau de la mer, dans l'axe de la plaine hadale.

Bien d'autres hypothèses seraient à vérifier et il faudrait surtout savoir si l'on doit ou non considérer que le matériau de vitesse 5,7 Km/sec (à la côte - 10000 m) situé sous la fosse est équivalent à celui de vitesse 6,6 Km/sec (Layer 3) existant sous les chaînes de bordure nord et sud, à des horizons compris entre -7 à -8000 m.

D - TEMPERATURES ET SALINITÉS DANS LA FOSSE DE PORTO RICO

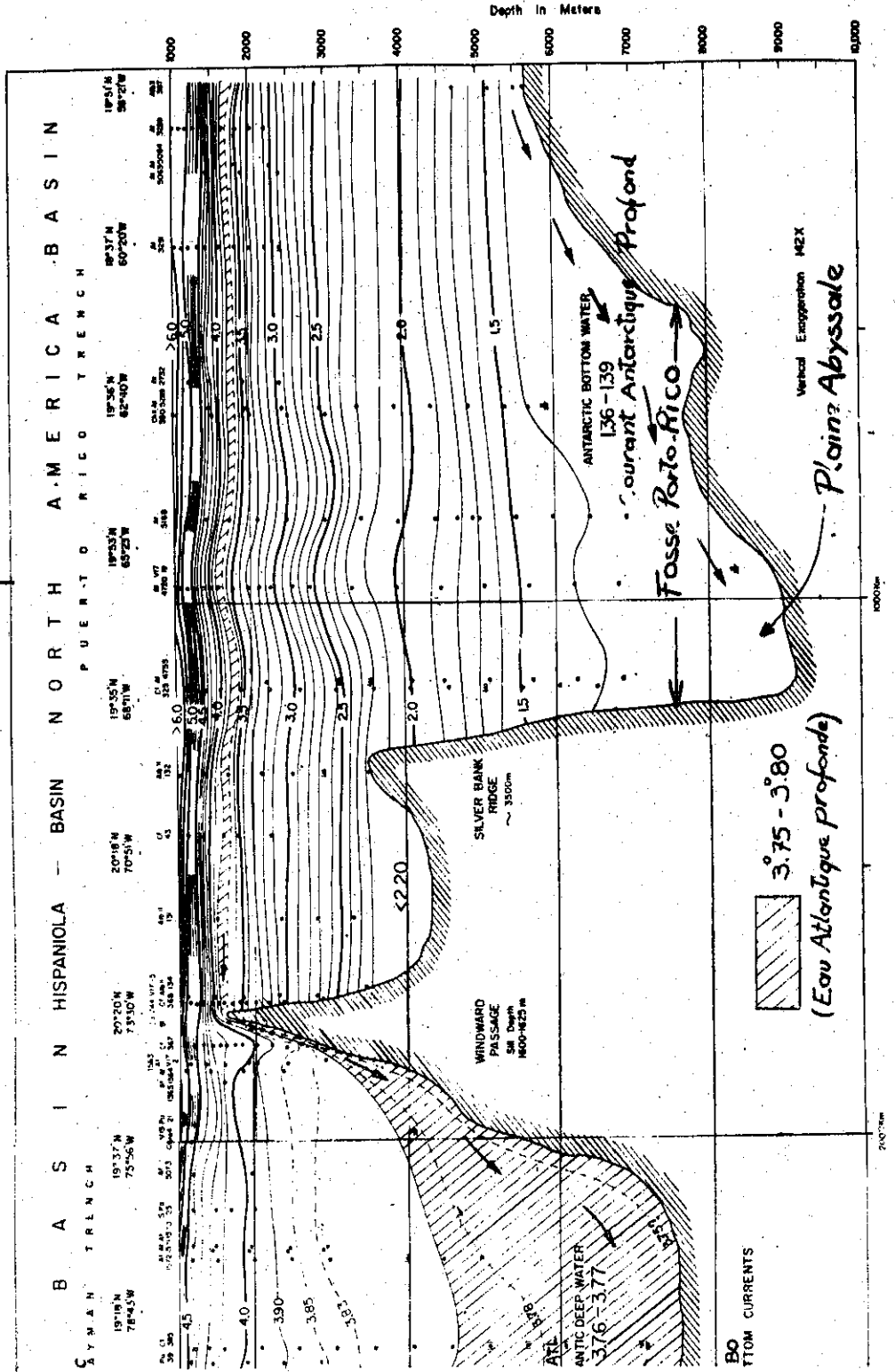
La circulation des eaux dans le système de bassins de l'arc antillais est très complexe et a été étudiée par 25 navires océanographiques, opérant 400 stations pendant la période 1921 - 1961.

Figure 3

FOSSÉ DE PORTO-RICO

Section longitudinale selon l'axe des courants de fond - Axe Est-Ouest -

D'après GEORG WÜRST
DEEP SEA RESEARCH - JUILLET 63 -



FOSSÉ de PORTO-RICO

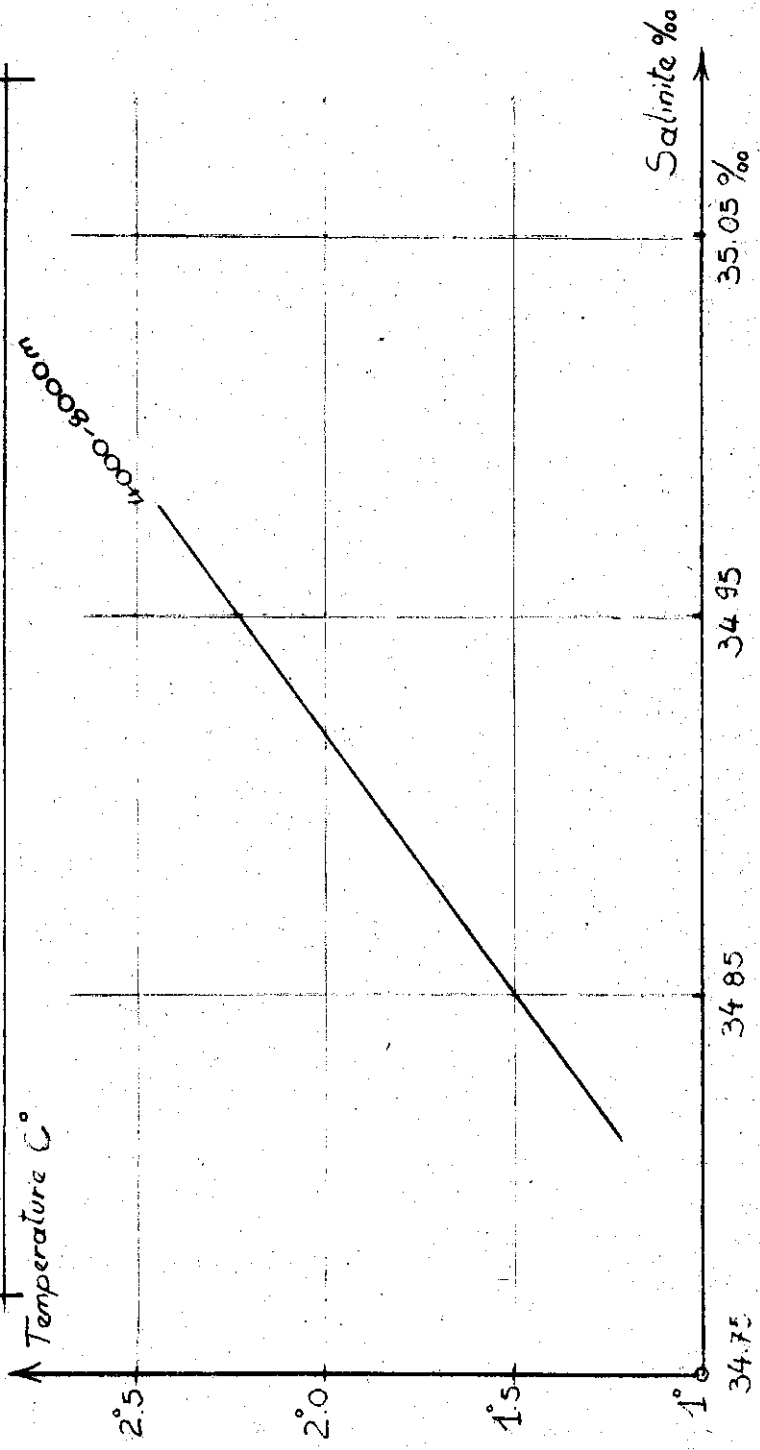


Figure 4. Salinités en fonction des températures des eaux Antarctiques situées en dessous de 4000m - (G. Würst)

De la compilation des résultats G. WURST, travaillant au LAMONT GEOLOGICAL de PALISADES, a réalisé une monographie qui sera publiée dans les "VEMA REPORTS". Cependant, un "abstract" fort intéressant est récemment paru dans la revue DEEP SEA RESEARCH de Juillet 1963.

De cet endroit, nous avons extrait ce qui concerne le ravin de PORTO RICO qui nous intéresse plus spécialement.

Sur la figure 3 qui est une coupe bathythermographique d'un axe est-ouest passant dans l'axe du ravin, on verra avec précision les températures des eaux profondes. Il ressort clairement que le système est dominé par deux grands courants :

- Le premier, de direction nord-sud, est une circulation des eaux froides profondes de l'Atlantique Nord (North Atlantic Deep Water) originaires des pentes du Groënland. En raison de l'accélération de Coriolis, ces masses refroidies forment un courant vers le sud, se déplaçant à - 2000 m en sens opposé du Gulf-Stream, le long des pentes du continent américain. Arrivé à la fosse de PORTO RICO, ce courant a une vitesse résiduelle moyenne annuelle de l'ordre de 3 à 5 cm/sec et sa température est voisine de 3°75.

- Le deuxième, de direction Est-Ouest est le résultat du courant froid de fond en provenance de l'Antarctique. D'après WURST, ces eaux Antarctiques (température 1°36 à 1°39) auraient une vitesse de l'ordre de 10 cm/sec. Toutefois, le ravin de PORTO RICO constitue une sorte de "cul de sac" et les eaux antarctiques stoppées par le seuil du "Silver Bank" (20° N, 69° W, 3500 m) s'étalent dans la fosse et coulent au-dessus de "l'Outer Ridge" à la rencontre d'une autre branche du courant antarctique coulant également vers l'Ouest après avoir été déviées par l'Outer Ridge en direction du Bassin de NARES. Cette déviation en deux branches (l'une coulant plein Ouest vers le ravin de PORTO-RICO, l'autre Nord-Ouest vers le bassin de NARES) se fait dans les parages du parallèle 18° N et pour des longitudes comprises entre 52° et 58° W.

En raison de l'obstruction due au seuil du Silver Bank et au seuil du "wind ward passage" (1625 m) après le petit bassin d'HISPANIOLA, les courants de fond (eaux antarctiques) auront certainement des vitesses bien inférieures à 10 cm/sec, surtout dans l'Ouest de la fosse (70° W) où ils devraient être complètement amortis. Par contre, il devrait exister un faible courant sud-nord sur l'Outer Ridge où les eaux de fond pourraient avoir une température très voisine de 1°36. C'est là une hypothèse vérifiable par le Bathyscaphe.

En ce qui concerne les salinités, elles sont très étroitement liées aux températures. La figure 4 donne cette correspondance pour les eaux comprises entre 4 et 8000 m. (C'est-à-dire au-dessous du seuil du Silver Bank). La grosse majorité des 400 stations réalisées confirme absolument cette courbe avec des écarts allant de 1 à 2 ‰.

E - INTERET DE RECHERCHES PROFONDES "IN SITU" PAR LE BATHYSCAPHE ARCHIMEDE

On sait que le Bathyscaphe français ARCHIMEDE doit entreprendre au printemps prochain une campagne de recherches dans la fosse de PORTO RICO.

Pour cela, ARCHIMEDE et son navire d'accompagnement "Marcel le BIHAN" seront basés au port de SAN JUAN, Capitale de l'Etat de PORTO RICO et situé, nous l'avons vu, à 70 milles au sud de l'axe de profondeur maximale de la fosse.

En dehors de son intérêt certain dans le domaine de la biologie marine et de l'ichthyologie, la réalisation d'une série de plongée dans le ravin de PORTO RICO représentera en matière de géologie un véritable "coup de projecteur" dans une zone où les grands Organismes Océanographiques Américains ont entrepris des recherches suivies depuis 1877. A l'heure actuelle et surtout depuis 1948 ces campagnes américaines atteignent des proportions inconnues en Europe, car elles mettent en jeu plusieurs bateaux de Recherche Océanographique, armés le plus souvent par le WOODS HOLE INSTITUTION et le LAMONT GEOLOGICAL (CHAIN, ATLANTIS, BEAR, CARYN, HIDALGO, ALBATROSS, GIBSS, VEMA). Plusieurs dizaines de chercheurs y prennent part, disposant de crédits énormes et d'une remarquable infrastructure à terre.

Le Dr Maurice EWING, Directeur du LAMONT GEOLOGICAL de PALISADES, (qui est une personnalité des plus marquantes, tant par son passé de Géophysicien que par son autorité coordina-

trice et l'intérêt qu'il porte tout spécialement au ravin de PORTO RICO) au cours d'une entrevue qu'il nous avait récemment accordée, nous avait assuré qu'une série de plongées efficaces en Bathyscaphe, au fond du ravin et sur le talus nord, apporterait plus de résultats et de certitudes que tous les efforts entrepris jusqu'à ce jour.

Seule une simple vision directe de la couche 3 - en place - sur le talus nord permettrait de vérifier l'incertitude donnée par le mélange complexe des fragments rocheux dragués. De l'avis également du Dr M. EWING, les photographies obtenues grâce à des caméras EDGERTON remorquées, - bien qu'extrêmement précieuses - n'ont cependant jamais pu prouver que les roches photographiées étaient en place ou en provenance d'éboulement de pente.

Du point de vue géologique, les emplacements souhaitables de plongée seraient les suivants. (Ces emplacements sont repérés sur la carte de la figure 1).

I) TALUS NORD : Sur la ligne 4000 fathoms (7200 m)

- a) au point 11 - G = 66° 18' W
L = 19° 56' N

Présence d'un "bec" en relief dans la courbe 4000 F.

- b) au point 12 - G = 66° 28' W
L = 20° 00' N

Présence d'une dépression très marquée dans la courbe 4000 F.

- c) au point 13 - G = 66° 28' W
L = 19° 55' N

Point aligné avec le profit sismique WHOI 102.

- d) aux points 14 et 15 -

G = 66° 26' W

et aux latitudes.

L = 20° 00' et 20° 05'

II) PLAINES ABYSSALES : C'est-à-dire sur le talus du ravin

- a) au point 16 - G = 66° 28' W
L = 19° 48' N

Au fond de la dépression principale du ravin, et toujours dans l'alignement des profils WHOI. A cette position, la largeur de la plaine est d'environ 10 milles marins.

- b) au point 17 - G = 66° 05' W
L = 19° 18' N

Dépression secondaire Est. Largeur à cette position : 1,5 milles marins environ.

- c) au point 18 - G = 66° 33' W
L = 19° 26' N

Dépression secondaire ouest. Largeur à cette position : 2 milles marins environ.

III) SELLE ENTRE LA PLAINE PRINCIPALE ET LES FALAISES SECONDAIRES :

- a) au point 19 - G = 66° 28' W
L = 19° 33' N

Toujours selon le méridien 66° 28'.

IV) OUTER RIDGE

Aux points 20, 21, 22, 23, 24.

Au long du méridien 66° 28' et approximativement aux latitudes 20° 10' N, 20° 30' N, 21° 00' N, 21° 30' N et 22° 00' N.

BIBLIOGRAPHIE

- AMSOC - Committee, Drilling thru the earth's crust, *Natl. Acad. Sci. Natl. Research Council Publ.* 717, 1959.
- E. BUNCE, and D. FAHLQUIST - Geophysical Investigation of the PUERTO RICO Trench and Outer Ridge.
- EWING J. and M. Ewing, Seismic refraction measurements in the Atlantic Ocean, basins, in the Mediterranean Sea, on the mid-Atlantic ridge, and in the Norwegian Sea. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 70, 291-318, 1959.
- EWING J., and M. EWING - A telemetering oceanbottom seismograph, *J. Geophys. Research*, 66, 3863 - 3878, 1961.
- EWING M., and B.C. Heezen - Puerto Rico trench topographic and geophysical data, in *Crust of the Earth*, edited by A. Poldevaart, *Geol. Soc. Am. Spec. Paper* 62, 255-267, 1955.
- EWING M., and J.L. WORZEL - Gravity anomalies and structure of the West Indies, 1, *Bull. Geol. Soc. Am.*, 65, 165-174, 1954.
- HEEZEN B.C., M. THARP and M. EWING - The floors of the ocean *Geol. Soc. Am. Spec. paper*, 65 1959.
- HERSEY J.B. - Findings made During the June 1961. Cruise of Chain to the PUERTO RICO trench and Caryn Sea mount, *J. Geophys. Research* 67, 1109-1116, 1962.
- HERSEY J.B. and M.EWING - seismic reflexion from beneath the ocean floor, *Tran. Am. Geophys. Union*. Trente 5-14, 1949.
- HESS, H. H. - Geological hypothese and the earth's crust under the oceans, *Proc. Roy. Soc. London*, A. 222, 341-348, 1954.
- HESS H.H. The AMSOC - hole to the earth's mantle, *Trans. Am. Geophys. Union*, 40, 340-345, 1959.
- NAFE J.E., and C.L. - Drake, Physical propeties of crustal materials as related to compressional wave velocities, paper presented at annual meeting of Society of Exploration Geophysicists, Dallas, Texas (unpublished), 1957.
- NAFE J.E., AND C.L. DRAKE - The structure of the outer ridge north of Puerto Rico, Résumé 49, paper presented at meeting of Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior, IUGG, Helsinki, Finland, 1960.
- NORTHROP J., and M. RANSONE - Some seismic profiles near the western end of the Puerto Rico Trench, *J. Gen Physiology*, 45, 243-251, 1962.
- Officier, C.B., J.I. EWING, J.F. Hennion, D.G. Harkrider, and D.E. Miller, - Geophysical investigations in the eastern Caribbean : Summary of 1955 and 1956 cruises, *Physics and Chemistry of the Earth*, 3, 17-109, Pergamon Press, London, 1959.
- TALWANI M., G.H. SUTTON and J.L. WORZEL - A crustal section across the Puerto Rico trench, *J. Geophys. Research*, 64, 1545-1555, 1959.
- WORZEL J.L., and M. EWING - Gravity anomalies and structure of the West Indies, 2. *Bull. Geol. soc. Am.*, 65, 195 - 200, 1954.