

EXPÉRIENCES DE SONDAGE ÉLASTIQUE DU FOND DE LA MER

par H.E. EDGERTON et O. LEENHARDT

Durant trois semaines, du 22 août au 11 septembre 1962, deux appareils destinés à l'étude élastique du tréfonds sous-marin, ont été essayés par le Musée océanographique de Monaco. Ces appareils ont été fournis par le Research Committee of the National Geographic Magazine Society of Washington D.C.

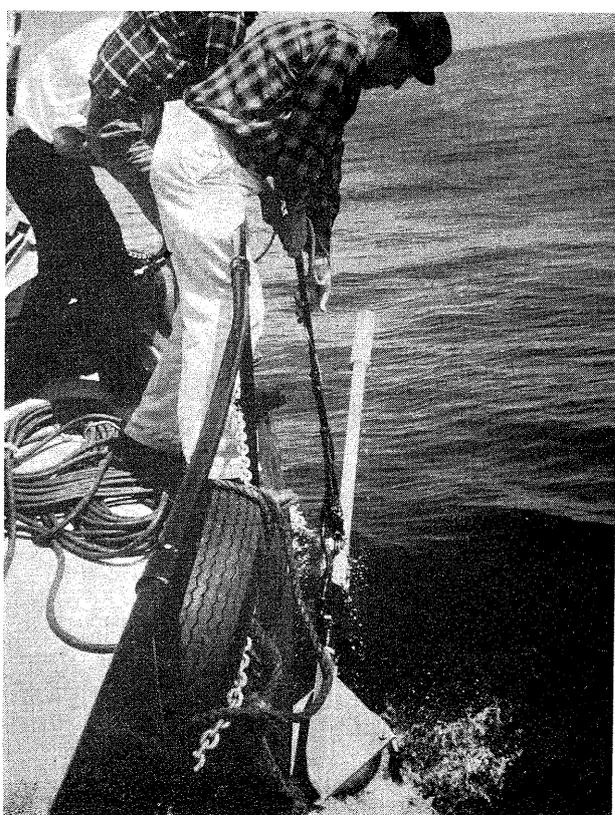


FIG. 1. — Le professeur H.E. EDGERTON met à l'eau le poisson du Mud penetrator. On remarque, en bas, la dérive métallique placée au-dessus du transducteur et au-dessus de l'eau, le contrepois équilibrant le poisson.

Le premier est le Mud penetrator petit émetteur-récepteur à cristal, dérivé du Pinger (EDGERTON et COUSTEAU, 1959; EDGERTON, 1960; EDGERTON et RAYMOND, 1960; EDGERTON, HERSEY, RAYMOND et HAYWARD, 1961), émettant à 12 kHz et devant pénétrer quelques mètres de sédiments meubles sous les fonds proches de la côte.

Le deuxième est le Boomer 13 000 joules. Cet émetteur à induction électromagnétique émettant un fort signal complexe et d'assez basse fréquence (de 100 à 1 000 Hz environ), est destiné aux études de géophysique sous-marine par la méthode sismique de réflexion selon la technique du sondage sismique continu. Le Boomer peut travailler à moins de 13 000 joules (de 1 000 à 13 000 avec saut de 2 000 joules) lorsqu'une puissance moindre est requise pour l'étude de certaines réflexions.

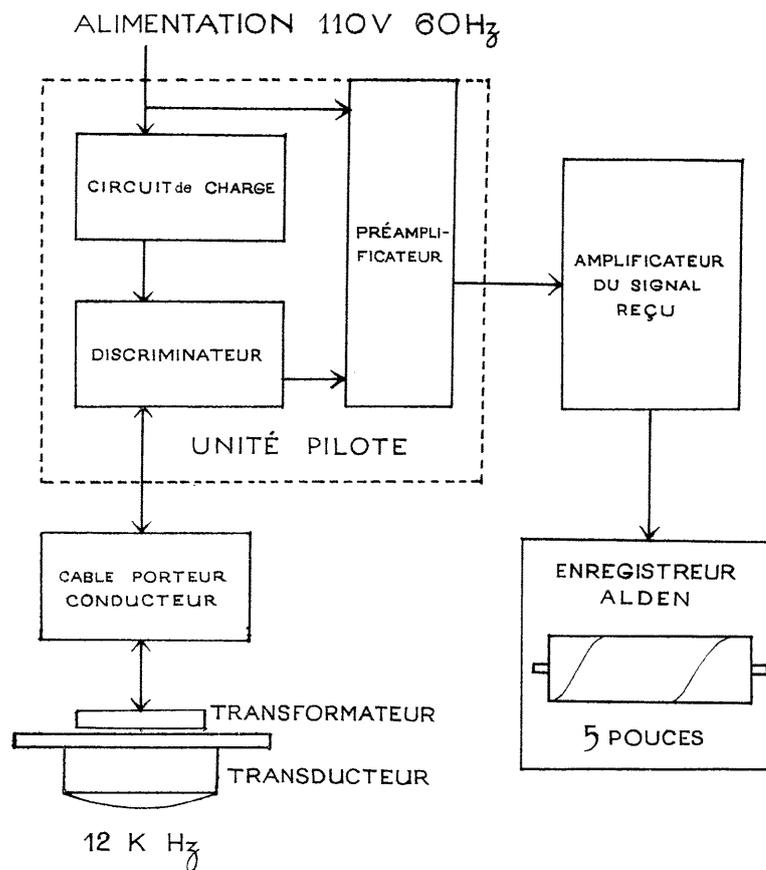


FIG. 2. — *Diagramme du Mud penetrator.*

Nous avons tenté de mettre au point ces appareils et de définir leurs critères d'emploi. Aucun résultat de caractère géologique n'a été établi.

ÉTUDE DU MUD PENETRATOR

I — L'appareil.

Sommairement cet appareil se compose :

- 1) d'un émetteur-récepteur (transducteur) EDO, à 12 kHz, dont la puissance d'émission est augmentée (fig. 1);
- 2) d'un câble conducteur-tracteur de 50 m de long permettant d'immerger le transducteur (fig. 2);
- 3) d'une alimentation fournissant, à intervalles réguliers (de 5 à 30 fois par seconde selon l'échelle choisie pour l'enregistrement), le courant nécessaire à l'émission d'une impulsion

élastique très courte (la puissance et la durée de l'impulsion peuvent varier par addition de capacités dans le circuit d'émission depuis $1/4 \mu \text{Fd}$ à $2 \mu \text{Fd}$) à trois gains différents (1, 10 et 100), d'un étage discriminateur laissant passer l'impulsion vers le transducteur, ou le signal de retour vers un pré-amplificateur; l'ensemble de cette électronique est montée dans un boîtier autonome;

4) dans un autre boîtier se trouve un amplificateur de marquage relié à,

5) un enregistreur Alden de 12 cm; trois vitesses de rotation de l'hélice sont proposées faisant varier la vitesse de balayage de 30 ms à 200 ms.

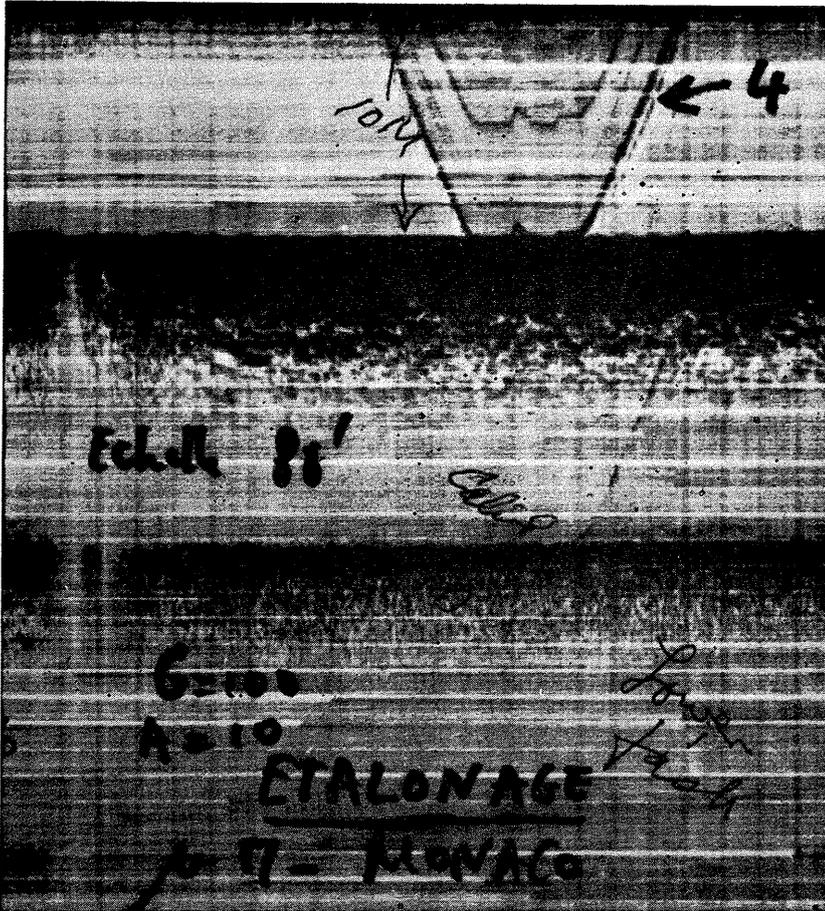


FIG. 3. — Étalonnage. Photo extraite d'une bande enregistrée dans le port de Monaco. On voit la descente du disque jusqu'à la profondeur d'étalonnage puis sa remontée. L'étalonnage est effectué à l'arrêt. Dans ce cas, la profondeur d'eau sous le transducteur était exactement de 10 m.

II — Immersion du transducteur.

Le transducteur peut être immergé simplement au bout de son câble à la profondeur désirée ou au contact du fond. Ce mode de suspension est instable à cause du mouvement du bateau porteur. Il est néanmoins indiqué lorsque l'appareil doit être déplacé par un plongeur pour étudier un point précis du fond.

Il a été aussi monté sur un traîneau glissant sur le fond. Les résultats ainsi obtenus sont médiocres, parce que le traîneau ne reste pas convenablement posé sur le fond dès que la vitesse de remorquage dépasse 1 ou 2 nœuds.

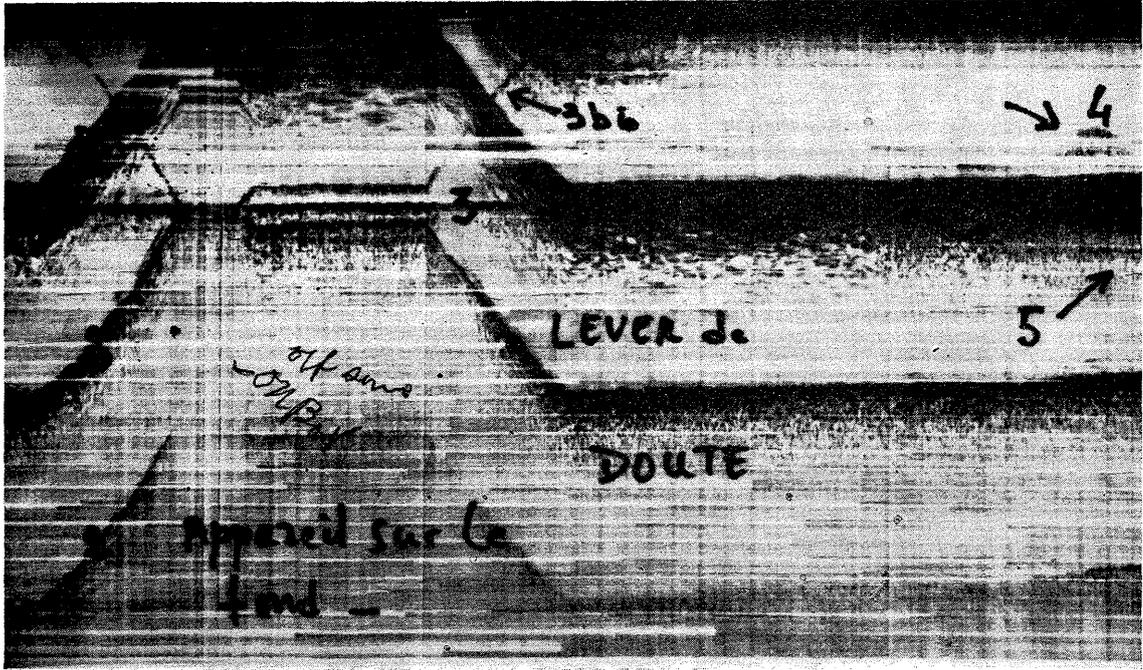


FIG. 4. — Différents signaux enregistrés en pleine eau, à l'arrêt (les numéros correspondent à ceux du texte).

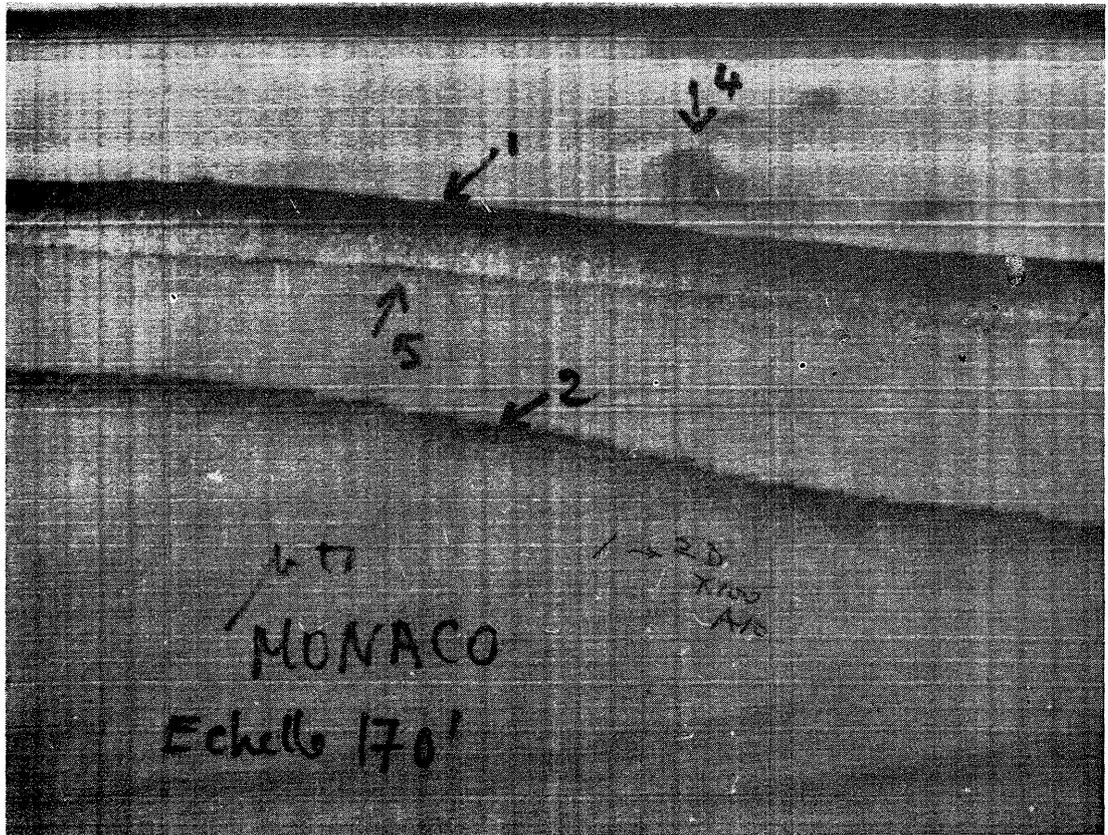


FIG. 5. — Photo d'enregistrement effectué dans le port de Monaco et montrant une réflexion (notée 5) sous le fond.

La meilleure solution est de le monter sur un poisson composé d'un bras portant à une extrémité le transducteur et un aileron de direction, à l'autre extrémité un contrepoids profilé, et suspendu au point d'équilibre (dans l'eau). Ainsi l'appareil nage parfaitement jusqu'à une vitesse de 3 nœuds et l'opérateur reste maître de la profondeur d'immersion, qu'il faut faire varier pour lever certains doutes.

III — Géométrie de l'expérience.

a) *Étalonnage.*

La vitesse de balayage dépend de l'échelle choisie (commutation en déplaçant une courroie en caoutchouc le long de 2 arbres portant des poulies de différents diamètres) et de la tension et de la fréquence du courant d'alimentation. Celui-ci doit être de 60 Hz — 115 volts (50 Hz — 105 volts peuvent aussi être utilisés).

Il est utile et simple d'étalonner chaque bande, à l'occasion de chaque opération en immergeant à une profondeur connue sous le transducteur un petit disque de métal lourd, qui donne une réflexion très nette (le bateau doit être stoppé pour cet étalonnage) (fig. 3).

b) *Signaux émis et reçus.*

Le signal principal est émis vers le bas, un signal secondaire part vers le haut.

L'appareil étant immergé en pleine eau, on enregistre :

- 1) l'écho du signal émis vers le fond, variable avec la profondeur d'immersion (fig. 4);
- 2) les échos multiples de ce signal (distants d'une longueur correspondant à la profondeur de l'eau);
- 3) l'écho émis vers le haut, réfléchi sur la surface, puis sur le fond et reçu par le transducteur (constant quelle que soit l'immersion si la profondeur de l'eau est constante);
- 3 bis) de même l'écho peut être enregistré après une seule réflexion sur la surface;
- 4) les échos latéraux, de réflecteurs parasites (poissons ou objets saillants sur le fond) variables avec la distance transducteur - réflecteur;
- 5) les échos du tréfonds immédiat, qui suivent immédiatement la réflexion (1) sur le fond et constituent l'objet de l'appareil.

c) *Lever de doutes.*

1^o) *En un point fixe.* Faire varier l'immersion permet d'identifier les échos (3) qui restent fixes et (4) qui varient différemment de la séquence (1, 2 et 5).

2^o) *En route.* Si le fond est enregistré avec une pente donnée, l'écho double est enregistré avec une pente double, le triple avec une pente triple. Un réflecteur latéral décrit une hyperbole. Le lever de doute se fera d'une part en s'arrêtant pour faire varier l'immersion, d'autre part en coupant le profil d'interprétation douteuse par un profil perpendiculaire. On décèlera ainsi de manière certaine l'existence éventuelle de réflecteurs immergés.

IV — Déroulement des essais.

1^o) Les premiers essais ont eu lieu à Monaco dans le port. Vers la passe, un réflecteur a été reconnu et systématiquement exploré. Le fond du port est vaseux. Le réflecteur n'a pas été identifié (fig. 5). Sa profondeur sous le fond varie de 3 à 6 m vers la sortie du port.

2^o) Au-dehors de la passe, seuls des phénomènes du type DSL ont été observés, ainsi que la montée du phénomène du fond vers la surface au crépuscule.

3^o) Essais sur épaves. Tant dans le port de Monaco, où une épave affleure partiellement, à moitié recouverte d'un varech fossile, qu'au Dramont, où une épave presque complètement enterrée dans du sable coquillier (à larges coquilles pouvant atteindre 10 cm) a été reconnue, il n'a pas été possible de délimiter l'extension de la partie cachée des épaves. De nombreux passages effectués en baie de Saint-Raphael sur la couche de boue déversée par la catastrophe de Malpasset ont permis de déceler de nombreux réflecteurs discontinus et variables jusqu'à plus de 5 m dans le fond.

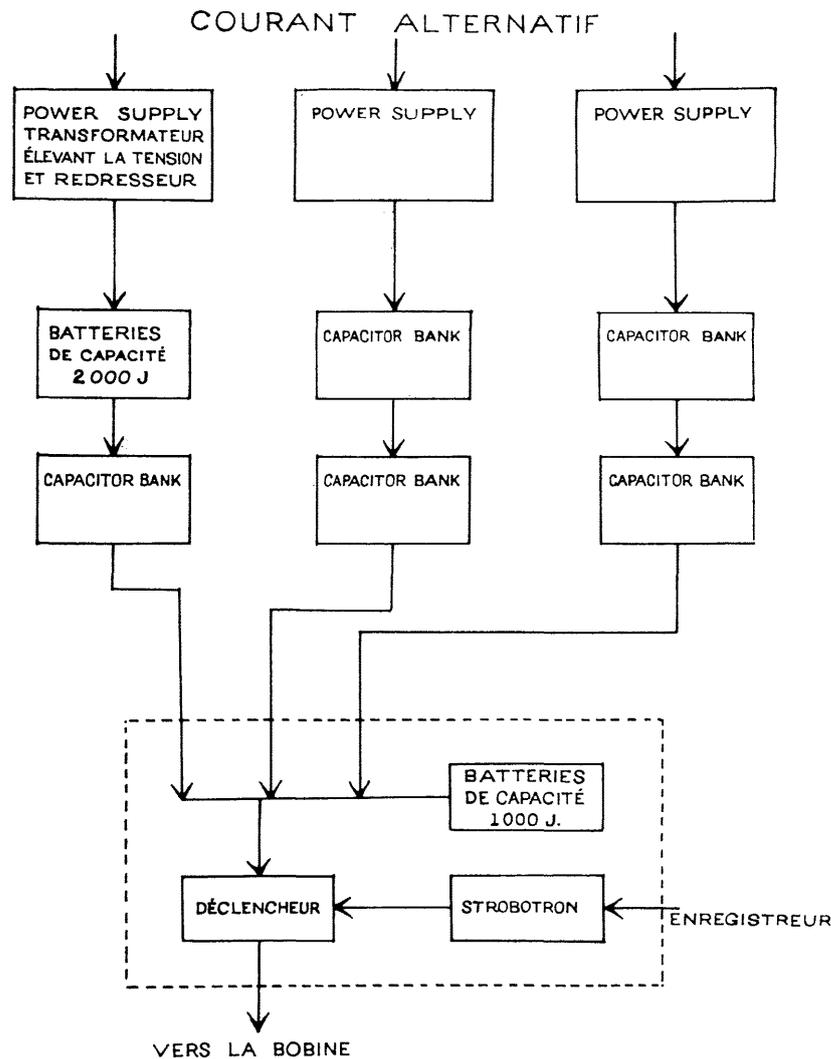


FIG. 6. — Diagramme de fonctionnement du Boomer 13 000 joules.

V — Possibilités et limites du Mud penetrator.

En l'état actuel de nos connaissances, il semble que le Mud penetrator ne donne de résultats que sur fond de vases. La littérature publiée par les métallurgistes (GROSSMAN 1953, BASTIEN *et al.*, 1950), sur les essais de sondages élastiques des métaux montre qu'on ne peut espérer raisonnablement de pénétration si le train d'ondes incidentes n'a pas une longueur d'onde grande (30 fois au moins) par rapport au diamètre des grains du matériel étudié.

La longueur d'onde du Mud penetrator est d'environ 12 cm. Il est probable que des essais ultérieurs montreront la possibilité de pénétrer les sables (BOURCART, 1955).

L'identification des réflecteurs observés en fond vaseux nécessitera, au moins au début, des carottages systématiques. La puissance de résolution (ou définition) de l'appareil est de l'ordre de 30 cm sur la plus grande échelle d'enregistrement.

Une fois que les essais de caractère géophysique (performances de l'appareil, identification des réflecteurs enregistrés) sur les différents fonds seront terminés, le Mud penetrator sera un outil précieux tant pour le génie civil (épaisseurs de vases dans les fleuves ou dans les ports) que pour les scientifiques (géographes, géologues) préoccupés de la nature du fond sous-marin, à condition qu'il soit utilisé dans ses limites : faible profondeur d'investigation, matériel fin. Son maniement est très simple, son transport aisé et sa mise en œuvre possible à partir de n'importe quelle barque sur laquelle on installera aussi un petit groupe électrogène.

Le Mud penetrator constitue aussi évidemment un écho-sondeur amovible pour les navires qui en sont dépourvus.

MISE EN ŒUVRE DU BOOMER 13 KJ

I — Description.

Le Boomer de 13 kJ de puissance est dérivé du Boomer de 1 000 joules de puissance (EDGERTON, 1960; LEENHARDT, 1961-1962; HERSEY *et al.*; VAN REENAN, 1961).

C'est un appareil émetteur d'impulsions élastiques courtes et puissantes. Rappelons-en sommairement le principe (fig. 6).

Le courant alternatif d'un groupe électrogène de 12 kw au moins est transformé pour charger sous 4 000 volts des batteries de capacités. Un déclencheur commandé par le système enregistreur permet de décharger très brièvement les condensateurs dans une double bobine plate, à spires de cuivre. Contre cette bobine sont appliqués deux disques en aluminium. Le passage de la décharge dans la bobine induit dans les disques des courants de Foucault et la force contre-électromagnétique résultante écarte violemment les disques de la bobine, créant une impulsion élastique dans l'eau. Celle-ci est approximativement sphérique. Elle se compose en première approximation d'une onde initiale suivie d'une onde négative de cavitation. A l'arrivée à l'hydrophone, l'écartement entre ces deux ondes a été mesuré en fonction de la puissance appliquée :

kJ :	5	7	9	11	13
ms :	10	12,5	15	18	20

L'ensemble de l'appareil se compose de 3 coffrets d'alimentation de 6 batteries de condensateurs de 2 000 joules chacune, d'un coffret de contrôle comportant une batterie de condensateurs de 10 000 joules, un strobotron commandant le déclencheur à air et des connexions au câble conduisant l'impulsion électrique vers l'émetteur proprement dit (ensemble bobine-disques) par un câble de 16 m de longueur environ (fig. 7).

L'émetteur est fixé à un poisson analogue à celui utilisé pour le Mud penetrator. Le poisson est mis à l'eau entre 2 et 4 m de fond. Les expériences qui suivent n'ont pas porté sur l'influence de l'immersion du poisson (fig. 8).

Les essais du Boomer ont été effectués dans la zone sud du Planier où une reconnaissance effectuée avec le petit Boomer avait donné quelques résultats (LEENHARDT, 1961).

II — Enregistrement.

L'enregistrement était réalisé avec le nouveau PGR Alden 419 (ALDEN et FARRINGTON, 1962; HERSEY, 1957; KNOTT et HERSEY, 1956; LEENHARDT, 1962) de la « Calypso » dont le fonctionnement est très souple et très satisfaisant. La réception, point faible de notre chaîne, a été effectuée de différentes manières.

1^o) Sur le transducteur EDO de la « Calypso », avec filtrage d'un filtre passe-bas, coupant vers 320 Hz, obligeamment fourni à la « Calypso » par le Professeur P. MURAOUR, directeur du laboratoire de Géophysique appliquée de Montpellier.

2^o) Sur un hydrophone Hall-Sears, type MP1, profilé par l'Office français de recherches sous-marines pour diminuer l'importance du frottement de l'eau sur l'hydrophone. Cette seconde solution était un peu préférable à la première, mais peu satisfaisante encore. Néanmoins environ 100 brasses de sédiments ont pu être pénétrés, le navire marchant à 3 nœuds.

3^o) Sur un hydrophone à céramique, Atlas 1, fabriqué par l'O.F.R.S., les performances de cet hydrophone monté avec un filtre passe-bande Krohn HITE se sont montrées très satisfaisantes. La bande passante utilisée était de 80 Hz à 500 Hz. L'hydrophone, sans pré-amplificateur, était tiré à 50 m environ derrière la « Calypso ».

Les essais de bande passante n'ont pu être achevés, non plus que l'expérimentation des performances du Boomer en eau profonde par suite de défauts de l'isolement des bobines, qui a éclaté plusieurs fois; la réparation a été effectuée à l'O.F.R.S. par MM. ROUX et MARCELLIN. Un ponçage de l'isolant détérioré met à nu les spires de la bobine. L'isolant est ensuite remplacé par un collage à l'araldite de tissus de fibres de verre.

Pour améliorer l'enregistrement, nous envisageons la construction d'un hydrophone à céramiques muni d'un pré-amplificateur de telle sorte qu'il puisse être remorqué à une distance bien supérieure derrière le bateau; ainsi les bruits du navire, très forts autour de 30 Hz, seront atténués et la bande passante utile pourra-t-elle être rétrécie et abaissée.

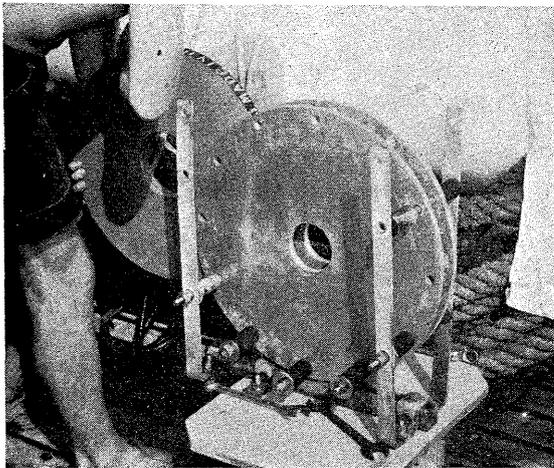


FIG. 7. — Montage de la bobine du Boomer entre les disques.

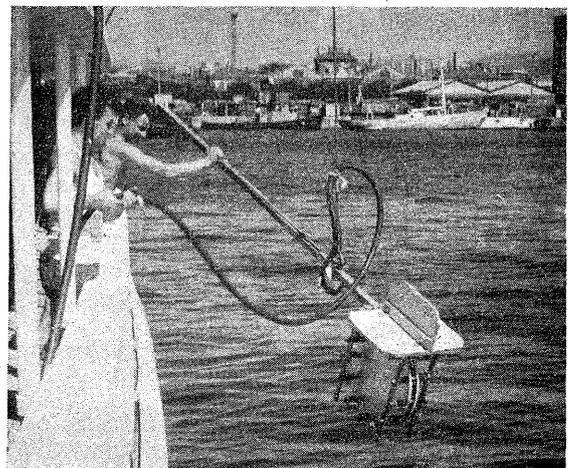


FIG. 8. — Mise à l'eau, à bord de la Calypso, du Boomer accroché à son poisson.

III — Expériences.

Les deux premières sorties ont été effectuées en rade de Marseille. Le temps inclément (mer 2 à 3) n'a pas favorisé une bonne réception (essais sur EDO et Hall-Sears).

Le 5 septembre a été consacré à un profil approximativement O-E coupant le canyon de la Cassidaigne. La réflexion nette suivie depuis le sud du Planier, à une profondeur moyenne de 50 m sous le fond, n'a pas été retrouvée sous le versant est du canyon de la Cassidaigne.

Le 6 septembre, un profil approximativement N-S a permis de voir le biseau que forme la réflexion précédemment observée, dont le pendage est faible vers le sud. Sa pente est d'environ 5 p. 1 000.

Le 7 septembre a été consacré à un infructueux essai en mer profonde sur le bas de la pente continentale. Le temps et l'imperfection des hydrophones se sont alliés aux difficultés classiques d'observation des réflexions provenant du tréfonds sur la pente continentale raide de la Provence.

Au cours des deux dernières sorties l'hydrophone Atlas 1 puis le filtre Krohn Hite ont été mis en œuvre avec succès. La réflexion précédemment suivie a été retrouvée sur le pédoncule que forme le plateau continental à l'est du canyon de Marseille. La reconnaissance complète de l'extension de ce miroir fera l'objet d'investigations ultérieures (fig. 9).

Du point de vue strictement géophysique un important travail sera nécessaire à l'oscillographe cathodique pour mesurer exactement les performances du Boomer.

Quoi qu'il en soit, il est certain que le Boomer constitue dès à présent un outil précieux pour l'étude supérieure de la pente continentale.

*Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
Musée océanographique, Monaco.*

BIBLIOGRAPHIE

- ALDEN (J.M.) et FARRINGTON (L.A.), 1962. — Enregistrement graphique direct de haute précision du son dans l'eau. — *Int. hydr. Rev.*, **39**, p. 125-137.
- BASTIEN (P.), BLETON (J.) et KERVERSAU (E. de), 1950. — Anomalies de propagation des ultra-sons dans les métaux en liaison avec la structure. — *Rev. Métall.*, **47**, p. 277.
- BOURCART (J.), 1955. — Recherches sur le plateau continental de Banyuls-sur-Mer. — *Vie et Milieu*, **6**, p. 435-524.
- EDGERTON (H.E.) et COUSTEAU (J.Y.), 1959. — Underwater camera positioning by Sonar. — *Rev. sci. Instrum.*, **30**, p. 1125-1126.
- EDGERTON (H.E.), 1960. — Uses of Sonar in Oceanography. — *Electronics*, 24 juin, p. 93-95.
- EDGERTON (H.E.) et RAYMOND (S.O.), 1960. — Instrumentation for exploring the Oceans. — *Electronics*, avril, p. 62-63.
- EDGERTON (H.E.), HERSEY (J.B.), RAYMOND (S.O.) et HAYWARD (G.), 1961. — *Instrum. Soc. Amer. J.*, **8**, p. 72-77.
- EWING (M.) *et al.*, 1945. — Ash layer in Pacific. — *Proc. nat. Acad. Sci. Wash.*, p. 349-345.
- GROSSMAN (N.), 1953. — New method determine grain size ultrasonically. — *Iron Age*, n° 27, p. 72.
- HERSEY (J.B.), 1957. — Electronics in oceanography. — *Advanc. Electron.*, **9**, p. 271-295.
- HERSEY (J.B.), KNOTT (S.T.), CAULFIELD (D.O.), EDGERTON (H.E.) et HAYS (E.E.). — Reflection seismic methods for exploring the sediments and Crust of the Earth beneath the ocean. — *Sonar systems Symposium paper*.
- HERSEY (J.B.), EDGERTON (H.E.), RAYMOND (S.O.) et HAYWARD (G.), 1960. — Sonar uses in oceanography conf. of the *Instrum. Soc. Amer.*, 26-30, IX-1960.
- KNOTT (S.T.) et HERSEY (J.B.), 1956. — High resolution echo sounding techniques and their use in bathymetry marine geophysics and biology. — *Deep-Sea Res.*, **4**, p. 36-44.
- LEENHARDT (O.), 1961. — Essais du sondeur sous-marin Thumper sur la « Calypso » au large de Marseille. — *C.R. Soc. géol. Fr.*, p. 181.
- 1962. — Quelques appareils et techniques américains de géophysique sous-marine. — *Rev. géogr. phys.* (sous presse).
- VAN REENAN (E.D.), 1961. — A complete sonar thumper seismic system. — *In Marine sciences instrumentation*, **1**, p. 283-288. New York, Plenum press, 1962.