

LES SONDAGES PAR SISMIQUE REFLEXION CONTINUE

EN GEOLOGIE SOUS-MARINE

par F. DUGAS

en collaboration avec le CENTRE DE RECHERCHES GEODYNAMIQUES  
de VILLEFRANCHE/MER.

Mai 1969

# LES SONDAGES PAR SISMIQUE REFLEXION CONTINUE EN GEOLOGIE SOUS-MARINE

par F. DUGAS

## SOMMAIRE

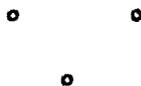
I	Généralités . . . . .	p.2
II	Emetteurs et Récepteurs actuels. Caractères . . . . .	4
III	L'enregistrement. Corrections. Traitement . . . . .	9
IV	Le Dépouillement. . . . .	17
V	Conclusion . . . . .	20
VI	Bibliographie . . . . .	21

## RESUME

La sismique réflexion continue permet de connaître les structures du sous-sol marin à des profondeurs variables suivant les émetteurs utilisés.

Les enregistrements bruts présentent des déformations que l'on peut supprimer par le traitement des informations sismiques.

Le dépouillement de ces enregistrements, compte tenu des corrections, permet d'établir des coupes-temps et de suivre les réflecteurs dans le sous-sol marin.



## LES SONDAGES PAR SISMIQUE REFLEXION CONTINUE

### EN GEOLOGIE SOUS-MARINE

La Stratigraphie et la Tectonique des fonds marins sont, avec l'aide de navires opérationnels, étudiées par deux méthodes complémentaires connues depuis 35 années mais mises au point récemment :

- Sondages par des ondes de pression (acoustiques) en effectuant des profils en sismique réflexion continue. Cette méthode permet d'enregistrer sur une bande, pendant que le bateau fait route, les réflexions de signaux émis, sur des niveaux situés à quelques kilomètres de profondeur sous le fond de la mer. Les émissions se font à des distances suffisamment rapprochées pour donner sur l'enregistrement une continuité apparente des réflecteurs, lesquels correspondent à des horizons stratigraphiques. Il est possible de suivre ainsi l'étendue et les déformations de ces horizons réfléchissants.

- Carottages et dragages de ces horizons lorsqu'à la suite de structures mises en évidence par la méthode ci-dessus ils apparaissent sur le fond de la mer. Ils sont alors définis d'un point de vue pétrographique et sédimentologique.

Il est possible à partir de ces observations d'établir des cartes de géologie sous-marine surchargées d'indications sédimentologiques du fond et complétées de coupes profondes. La morphologie des fonds est donnée avec plus de détails par un écho-sondeur de précision. Les techniques de carottages et dragages sont suffisamment connues; il ne sera traité que des sondages par sismique réflexion continue.

### I. GENERALITES

Les ondes acoustiques de l'énergie émise sous la surface de l'eau par une source sismique se propagent suivant des lois analogues aux lois de propagation des ondes lumineuses. On applique donc aux rayons sonores la théorie de propagation des rayons lumineux.

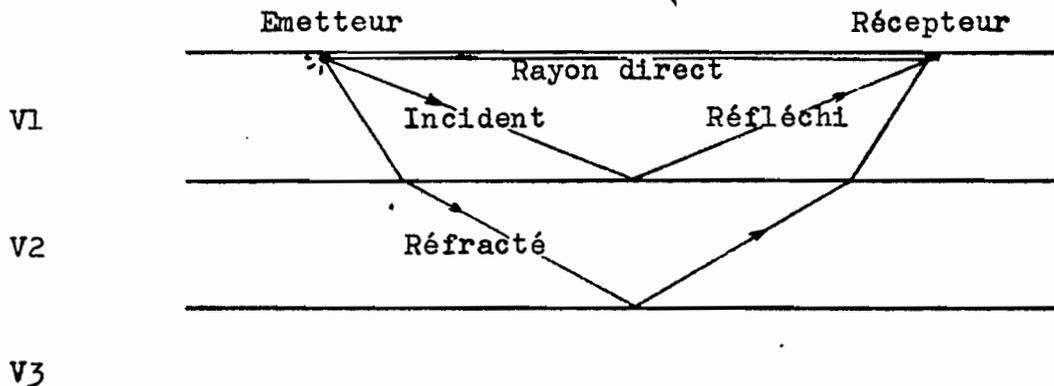


Figure 1.

Soit un modèle (Fig. 1.) à trois couches de vitesses  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$ . Au contact des niveaux les rayons sonores se réfractent en partie, l'autre partie est réfléchi comme sur des miroirs. Or la présence de ces réflecteurs est conditionnée par la géologie.

On considère généralement (GUIEYSSE et SABATHE, 1964) les rapports des intensités sonores c'est-à-dire des énergies plutôt que les rapports des pressions. Ainsi on a :

- . le coefficient de réflexion, rapport de l'intensité réfléchi à l'intensité incidente,

- . le coefficient de transmission, rapport de l'intensité transmise à l'intensité incidente.

Mais il faut ajouter dans le cas des sédiments :

- . le coefficient d'absorption très important dans les roches. Il varie avec celles-ci et avec la fréquence des ondes qui les traversent. Ainsi on constate expérimentalement que les signaux émis à basse fréquence (quelques dizaines de hertzs) sont moins absorbés par les sédiments, et à puissance égale ont beaucoup plus de pénétration dans ceux-ci que les signaux émis à haute fréquence (quelques kilohertzs).

Dans le cas d'un interface eau-roche, un tiers environ de l'énergie incidente est réfléchi et seulement 13% environ dans le cas d'un interface eau-sable (GUIEYSSE et SABATHE (1964)).

A la suite de chaque émission d'ondes sonores, on enregistre des échos après des temps de propagation exprimés en millisecondes. Ces temps correspondent à un trajet aller-retour à travers la couche d'eau

et une partie ou non du tréfonds. C'est pourquoi on les appelle des " temps doubles ". Pour connaître la profondeur exacte de pénétration dans l'eau ou dans les sédiments, d'une onde sonore émise, il faut calculer sa vitesse de propagation dans ces milieux. Aussi les épaisseurs de sédiments seront-elles généralement données en fonction des " temps".

La vitesse de propagation des ondes acoustiques dans un milieu dépend de nombreux facteurs dont la masse spécifique des éléments, leur taille et texture, la porosité, la teneur en eau, la température, mais également les pressions qu'il supporte.

Citons quelques vitesses approximatives du son :

air	=	335 mètres/seconde à 20° C
eau douce	=	1.493 m/s à 25° C
eau salée (30 ‰)	=	1.513 m/s à 20° C
sable humide	=	1.500 - 2000 mètres/seconde
argiles	=	1.800 - 2500 " "
craie	=	2.400 m/s
calcaires tendres	=	3.200 - 3.600 mètres/seconde
calcaires marneux	=	3.500 m/s
calcaire compact	=	4.000 - 5.000 " "
gneiss	=	5.000 m/s
gypse, sel	=	4.500 - 5.500 " "
granites	=	5.000 - 6.000 " "

## II. EMETTEURS ET RECEPTEURS ACTUELS

### UTILISES EN SISMIQUE REFLEXION CONTINUE.

II-A) LES EMETTEURS : (GRAU, 1968). Un signal important est émis dans l'eau par :

II A.1) - Petites charges d'explosifs (environ 50 grammes) utilisées à l'origine par le Lamont mais avec de plus fortes charges et une cadence lente. La cadence d'émission peut être de 12 secondes (CHOLET et Cie, 1966). Cette méthode appelée le "flexotir" nécessite du personnel. Les charges sont parfois couplées. Leur immersion est de 8 à 20 mètres. Les oscillations ultérieures de la bulle provoquée par l'explosion sont supprimées par une sphère perforée (KNUDSEN, 1961).

II A.2) - Cordeau détonnant (MURRAY, 1968).

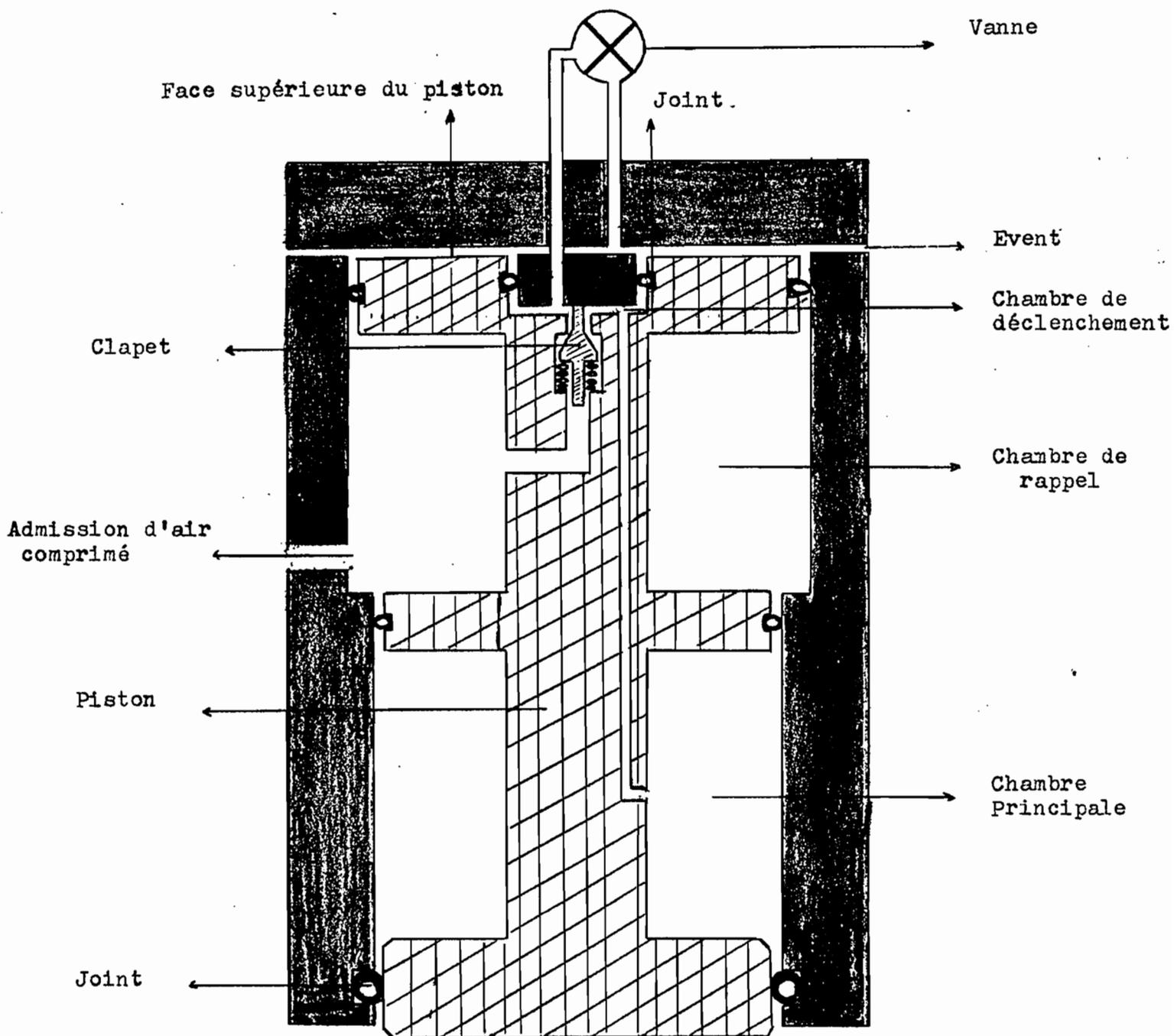


Figure 2. Schéma du CANON à AIR de C. AGARATE, CENTRE DE RECHERCHES GEODYNAMIQUES de VILLEFRANCHE/MER. Dimensions approximatives 30/15 centimètres pour un volume de la chambre principale égal à  $\frac{2}{3}$  de litre.

II A.3) - Canons à mélange gazeux, explosif : propane et oxygène ("Aquapulse" d'Esso).

II A.4) - Canons à air ("air-gun") utilisés d'abord par le Lamont (EWING et ZAUNERE, 1964). Ce n'est pas seulement la libération d'air mais aussi les oscillations de volume de la bulle libérée qui créent le signal acoustique. Le spectre de fréquence, voisin de 60 hertz, est plus étroit que celui obtenu avec les autres sources. La fréquence de résonance dépend du volume d'air, de sa pression initiale et de l'immersion du canon. L'énergie produite (de 2.000 à 100.000 joules) pour l'étude de quelques kilomètres de sédiment est suffisante. On peut augmenter l'énergie en multipliant les canons. L'entretien consiste à remplacer les joints.

Ce type d'émission est utilisé par la Station de Géodynamique sous-marine de Villefranche/Mer (AGARATE, 1966). Le principe de fonctionnement du canon à air (Fig.2) est le suivant :

L'air comprimé, à 150 bars environ, pénètre dans la chambre de rappel et plaque la face supérieure du piston contre le haut du canon effaçant l'espace en communication avec les évènements. Le clapet s'ouvre laissant l'air de la chambre de rappel pénétrer dans la chambre principale par l'intermédiaire de la chambre de déclenchement. A un temps donné, la vanne électromagnétique laisse l'air de la chambre de déclenchement aller sur la face supérieure du piston. Sous cette pression le piston amorce un mouvement vers le bas et, pendant que le clapet isole la chambre de rappel, et que les joints limitant la chambre de déclenchement sortent de leur portée, l'air comprimé se répand directement sur la face supérieure du piston élargissant la chambre de déclenchement. La surface supérieure du piston étant plus large que les surfaces inférieures soumises à la même pression, le piston est poussé vers le bas. L'air de la chambre principale s'échappe alors par le bas dès que la partie inférieure du piston est sortie des joints. Ensuite la pression régnant dans la chambre de rappel replaque le piston vers le haut.

II A.5) - Etinceleurs ("sparkers"). (LEENHARDT, 1965). Une batterie de condensateurs libère dans l'eau au moyen d'une ou plusieurs électrodes de l'énergie électrique : 500 à 100.000 joules. La forme de l'impulsion de l'onde de choc, produite par l'étincelle et par la bulle oscillante créée par cavitation est assez semblable à celle du canon à air, mais le spectre de fréquence est, comme pour les sources explosives, plus large. Avec des électrodes multiples (trois donnent un bon résultat) on subdivise la bulle et le rendement énergétique est meilleur. L'impulsion est sensiblement raccourcie ce qui accroît légèrement le pouvoir de résolution.

II A.6) - Plaques pulsantes et vibrantes : soit mues par une impulsion électrique "Boomer" (EDGERTON et MAYARD, 1964), soit mues par un vérin hydraulique à mouvement alternatif. Ce sont des sources peu puissantes.

II A.7) - Sources à implosion dans laquelle deux plaques sont écartées très brutalement par une sorte de canon à air. Il n'y a pas de bulle oscillante ni de dégagement gazeux.

II A.8) - Sondeur de vase ("Mud-penetrator"). (LEENHARDT, 1964). Les signaux courts sont émis par des transducteurs piezoélectriques comme pour les écho-sondeurs; mais le spectre de fréquence est plus large et la fréquence généralement plus basse centrée autour de 6 kilohertz au lieu de 12 kilohertz.

La difficulté est d'émettre, avec des sources non directives, une énergie acoustique vers le bas dans la bande de fréquence utile.

II-B) LES RECEPTEURS - Des hydrophones sont disposés en série-parallèle dans des tubes remplis d'huile pour que la flottabilité soit nulle et appelés "flûtes". Ils transforment les variations de pression en courants électriques qui sont préamplifiés, filtrés, amplifiés et enregistrés. Ils ont une directivité due à leur disposition. On peut disposer plusieurs flûtes indépendamment les unes des autres afin d'obtenir plusieurs traces des réflexions.

Au-dessous d'une certaine amplitude, les principales variations enregistrées sont celles produites dans l'eau par :

- . la traction de la flûte,
- . les mouvements des vagues,
- . le sillage du bateau.

A celles-ci s'ajoutent des bruits dus à l'appareillage. Il est donc utile d'augmenter le rapport  $\frac{\text{signal}}{\text{bruit de fond}}$  par une couverture multiple, un filtrage en éventail qui nécessitent des enregistreurs multitraces.

II-C) CARACTERES DES EMETTEURS UTILISES EN SISMIQUE REFLEXION.

II C.1) - Profondeur de pénétration. Elle dépend :

- . de l'énergie de l'émission dans le spectre de fréquence et de sa directivité,
- . des qualités de la réception,
- . des conditions géologiques du tréfonds.

Elle est limitée par l'absorption de l'énergie émise. On compare généralement l'énergie maximale des diverses sources; en fait il faut comparer l'énergie utile, car c'est l'amplitude de l'impulsion sismique émise dans la bande de fréquence utile qui compte. La bande de fréquence à considérer dépend du parcours des ondes dans les sédiments. (GRAU, 1968).

Un signal est une impulsion qui a une durée, une amplitude, un spectre de fréquence. Dans un tir d'explosif, ce sont les impulsions raides et leurs réflexions en surface qui contiennent l'énergie utile. Dans le canon à air les oscillations de la bulle fournissent également une émission acoustique produisant des réflexions.

Dans l'eau, l'absorption étant négligeable le signal s'affaiblit selon la loi  $\frac{1}{r^2}$ . Dans le sol l'énergie diminue de même, mais l'absorption n'est plus négligeable. Chaque couche, suivant sa nature et sa disposition par rapport à la précédente, se comporte comme un filtre aux caractères propres. Ce sont les plus basses fréquences qui sont le moins absorbées.

L'amplitude des réflexions dans le cas de plusieurs sources synchrones est sensiblement la somme des amplitudes de chaque source à condition qu'elles soient écartées les unes des autres (quelques mètres). Mais l'amplitude des réflexions varie moins vite que l'énergie de la source (GRAU, 1968).

On exprime la pénétration dans les sédiments en secondes ou millisecondes, ou, après avoir évalué la vitesse de propagation, en mètres.

II C.2) - Pouvoir de résolution. Sur un enregistrement le pouvoir de résolution est le pouvoir de discerner le plus petit intervalle de temps séparant deux réflexions, chacune correspondant à une succession de pointés identiques. Cet intervalle dépend de la position et de la largeur du spectre de fréquence de l'impulsion émise, donc varie avec les sources. On exprime la résolution en mètres après avoir évalué la vitesse de propagation (approximativement 2.000 mètres/secondes dans les sédiments peu profonds).

Ainsi un canon à air de 20 centimètres cubes de volume avec une puissance de 2.000 joules a une pénétration de 300 à 500 mètres dans le sédiment et une résolution de 10 mètres pour  $N = 300$  hertzs ou de 30-40 mètres pour  $N = 60$  hertzs. Un volume de  $\frac{2}{3}$  de décimètre cube donne une pénétration de 1 - 2 kilomètres et une résolution de 50 mètres environ.

De même un "microboomer" de  $N = 1 - 2$  kilohertz avec une puissance de 100 joules a une pénétration de 50 à 100 mètres de sédiment et une résolution de 50 centimètres environ.

Egalement un sondeur de vase de  $N = 6$  kilohertzs avec une puissance de 800 watts a jusqu'à 1.000 mètres de profondeur, une pénétration de 20 mètres au maximum dans des sédiments meubles et une résolution de 15 à 20 centimètres. On peut pour  $N = 12$  kilohertzs améliorer un peu la résolution.

II C.3) - Cadence de l'émission.

Il est indispensable d'avoir une source émettant à des intervalles fréquents et réguliers de façon à avoir une réflexion du tréfonds à des distances faibles (généralement 50 mètres) et une continuité de l'enregistrement.

II C.4) - Fidélité de l'émission.

Ceci est utile dans le cas d'une couverture multiple.

II C.5) - Commodité d'emploi et de prix.

Les canons à air et les étinceleurs présentent au contraire du flexotir un prix de revient très faible dans l'utilisation. Cependant la pénétration avec le flexotir est plus importante.

L'étinceleur nécessite des condensateurs pesants et encombrants mais offre une variété d'énergies modifiables facilement. Les électrodes se changent toutes les 48 heures environ. Le canon à air est d'un emploi très simple pour les faibles énergies. Pour les énergies importantes il nécessite un compresseur très puissant. Les joints des canons se changent toutes les 20 heures environ. Les résultats obtenus avec l'étinceleur ou le canon à air sont sensiblement les mêmes, cependant le canon à air est plus maniable aux fortes énergies.

### III. L'ENREGISTREMENT DES REFLEXIONS.

Suivant les possibilités on utilise un enregistrement:

. graphique, qui ne permet que peu de possibilités de traitement mais représente directement une coupe-temps, c'est-à-dire une coupe géologique du tréfonds en fonction du temps de déroulement du papier enregistreur auquel correspond une position du bateau.

. magnétique : analogique ou digital.

L'enregistrement inscrit les variations d'amplitude de la tension filtrée et amplifiée fournie par les hydrophones. Le "bruit de fond" se distingue facilement car il se répartit d'une manière aléatoire sur tout l'enregistrement.

Dans le cas d'une couverture multiple, plusieurs réflexions du même point sont reçues par des récepteurs différents et enregistrées simultanément sur des pistes indépendantes.

Un enregistrement permet de distinguer après une émission :

- . le départ de l'émission
- . une onde directe présentant plusieurs traces dues aux oscillations du signal (effet de bulle)
- . une première réflexion en temps double localisant le fond de la mer. Celle-ci est suivie de plusieurs traces identiques dues aux oscillations du signal. Ces traces masquent ainsi les réflexions immédiatement suivantes du tréfonds. La résolution peut être importante.
- . des réflexions en temps double des horizons dans le tréfonds. Il est indispensable de rechercher la première trace de l'écho de ces horizons souvent recouverte par les traces d'autres échos.
- . des réflexions multiples par la suite de phénomènes de résonance dans la couche d'eau lorsque l'énergie reste suffisante ce qui est le cas pour la première réflexion.

### III A) ETUDE DES REFLEXIONS

#### III A.1) - Forme des réflecteurs

On observe des suites de réflexions correspondant à des surfaces réfléchissantes appelées réflecteurs pouvant être :

- . rectilignes représentant un niveau stratigraphique ou une surface structurale.
- . courbes par suite de déformations tectoniques.
- . discontinus par suite de cassures ou failles.
- . Complexes où s'associent les déformations et cassures.
- . hyperboliques. Les hyperboles de diffraction accompagnent les déformations et les cassures. Elles sont créées par des points qui renvoient dans toutes les directions l'énergie qui les atteint.

#### III A.2) - Caractères des réflecteurs.

Un horizon du tréfonds présente une réflexion qui a généralement partout les mêmes caractéristiques. L'absence de continuité est donc essentiellement causée par des modifications géologiques. Une réflexion se définit en un point géographique selon les critères suivants (LEENHARDT, 1969) :

- . l'amplitude (ou l'intensité) qui se traduit, sur un enregistrement graphique, par un pointé plus ou moins foncé. Elle dépend des coefficients de réflexion des réflecteurs.
- . la fréquence qui est inversement proportionnelle à l'intervalle de temps séparant les lignes foncées successives. Ainsi sur

un enregistrement graphique, si pour un groupe de réflexions on note un intervalle moyen de 2 millimètres soit un temps  $T = 0,16$  seconde, dans le cas où une seconde est représentée par 100 millimètres, on a  $N = 62$  hertzs. Cependant la fréquence résulte des caractères des horizons traversés mais aussi de l'appareillage. Il est à remarquer qu'un deuxième écho d'une réflexion a une fréquence plus basse.

: la séquence est un groupe de réflexions successives (doublet, triplet,...) horizontalement constant mais indépendant de l'appareillage. Elle permet de retrouver plus facilement un réflecteur.

. la signature est un aspect global d'une réflexion, originale par rapport à l'ensemble.

On peut ajouter :

. le temps probable de réflexion dans le cas où il n'y a pas de modification tectonique.

Suivant la constance des caractères réfléchis, on classe les horizons en réflecteurs bons, pauvres ou changeants.

### III-B) PHENOMENES ANORMAUX DES REFLEXIONS

Ces phénomènes doivent, sur les enregistrements graphiques, être mis en évidence. Au contraire sur les enregistrements magnétiques traités ils sont supprimés presque totalement. On distingue :

#### III B.1) Réflexions multiples.(Fig.3 et Pl.A et B).

On les observe par faible profondeur (ex. sur le plateau continental). Il s'agit d'échos qui ont suffisamment d'énergie pour se réfléchir plusieurs fois généralement aux interfaces de la couche d'eau avant d'être enregistrés.

Un multiple du fond est un nouvel écho du fond retardé par rapport à sa première réflexion d'un nombre entier de la valeur temps correspondant à la propagation de l'écho dans la couche d'eau. Par suite de la différence de vitesse de propagation de l'écho dans la couche d'eau et dans les sédiments, toute anomalie bathymétrique, par rapport à un plan moyen, est exagérée, par rapport à ce plan d'un temps  $t = t_1 \pm t$ , puis  $t_m = 2t_1 \pm 2 t...$  De même un multiple d'un horizon du tréfonds est un écho de cet horizon retardé d'un temps correspondant à une résonance dans la couche d'eau ou plus rarement à une nouvelle réflexion sur le même réflecteur après un renvoi de l'écho par l'interface air-eau.

Les multiples sont aisément identifiables et disparaissent des enregistrements par décroissance d'énergie et par accroissement

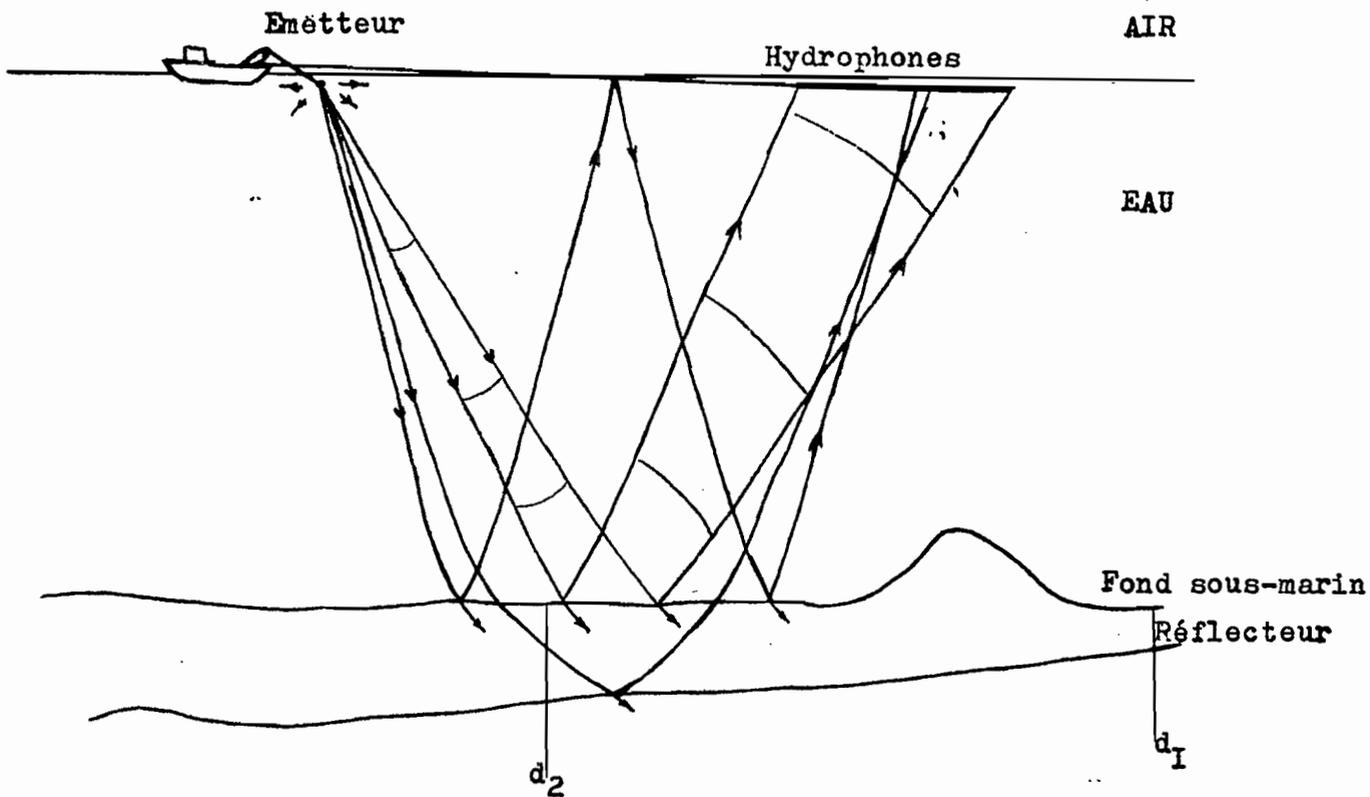


Schéma d'enregistrement :

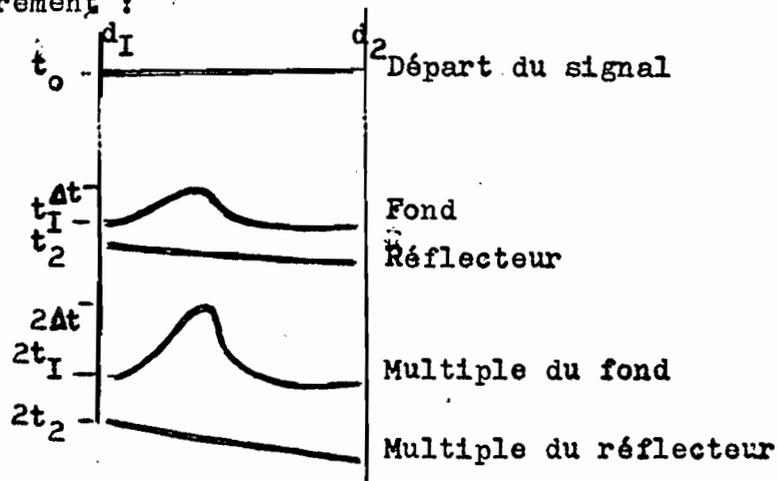


Figure 3 . Réflexions multiples (les valeurs d représentent des distances et les valeurs t des temps ). À chaque explosion, la zone détectée est considérée sur l'enregistrement comme ponctuelle car l'échelle horizontale de celui-ci est très grande (de l'ordre de  $1 / 60.000$  ).

trop grand du temps de propagation des échos. Ainsi au-dessus des grands fonds le premier multiple du fond ne peut souvent pas apparaître. Dans le cas des pentes continentales les multiples disparaissent lorsque leurs pendages apparents sont trop forts.

III B.2) - Réflexions de pente constante. (Fig.4 et Pl.A).

Le premier écho reçu d'une pente correspond au plus court trajet vers cette pente et non au trajet vertical. Aussi la pente du fond de la mer, enregistrée, est plus faible que la pente réelle suivant la relation de Vaussay de Blavous (KRAUSE, 1961) :

$$\sin \theta \text{ (angle de la pente réelle)} = \text{tg } \phi \text{ (angle de la pente enregistrée)}$$



Figure 4.

Or  $\cos \theta = \frac{r}{z}$  avec  $r$  profondeur enregistrée et  $z$  profondeur réelle

$$\text{d'où } z = \frac{r}{\cos \theta} = \frac{r}{\sqrt{1 - \text{tg}^2 \phi}}$$

Les valeurs  $z$  et  $r$  sont voisines jusqu'à  $15^\circ$ , et de  $15^\circ$  à  $30^\circ$  leurs écarts sont généralement négligeables devant les erreurs cartographiques. Il en est de même pour le déport  $D = r \text{ tg } \phi$  entre le point relevé par le bateau et le point enregistré. Les pentes supérieures à  $30^\circ$  sont peu fréquentes et n'ont souvent qu'une longueur peu importante ce qui les rend difficiles à être mises en évidence. Les échos de pente des miroirs du tréfonds obéissent aux mêmes lois compte-tenu des variations de propagation de la vitesse des échos.

III B.3) - Echos latéraux. Le récepteur peut enregistrer sous forme de parasite, un accident du fond non situé dans son plan vertical, en particulier lorsque le récepteur a des mouvements importants, ou est au-dessus d'un fond très irrégulier.

III B.4) - Hyperboles de diffraction. (Pl. B).

Une variation nette de relief ou d'horizon stratigraphique donne souvent une hyperbole de diffraction. Elle est créée par un point qui renvoie dans toutes les directions l'énergie qui l'atteint (MICHON, 1961). En bathymétrie on observe les figures du relief données par la Fig.5.

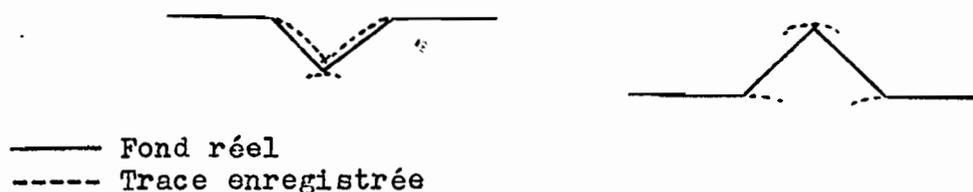


Figure 5.

Les petites variations de relief sont ainsi masquées.

Dans le sol, les failles, les surfaces d'érosion, les dépôts sur le socle séparant deux milieux hétérogènes présentent des coefficients de réflexion très variables d'un point à un autre et donnent souvent des hyperboles de diffraction. La pente de l'asymptote est égale à :

$$\frac{\Delta t}{\Delta e} = \frac{1}{V}$$
 avec  $\Delta e$  la variation de distance et  $V$  la vitesse de propagation en supposant que la vitesse est constante. En fait elle est rarement constante et les diffractions sont des courbes d'allure hyperbolique. L'étude de la zone sommitale conduit cependant à une vitesse comparable à la vitesse réelle.

Certaines diffractions sont des parasites : telles les diffractions sur le fond dont la pente montre qu'elle est égale à la vitesse de l'eau. Leur origine est mal connue mais sans rapport avec la tectonique. De même en plus des diffractions directes on peut observer des diffractions obtenues par le retour des ondes réfléchies sur des miroirs sous-jacents. Elles accompagnent, alors, des réflexions de ces miroirs.

III B.5) - Zones de silence. Pour être capté par les hydrophones, un écho doit être réfléchi presque verticalement par rapport aux hydrophones. Les facteurs influençant la réflexion sont :

. la pente du fond. En l'absence de réflexion sur pente montante, il faut, soit rapprocher du bateau les récepteurs, soit refaire le profil sur pente descendante.

- . la profondeur d'eau
- . la distance source-récepteur
- . les caractères de directivité et de réception des hydrophones.

III-C) CORRECTIONS.

Elles sont fonction de la précision recherchée.

III C.1) - Il est utile, particulièrement dans les petits fonds, de tenir compte des profondeurs d'immersion de la source sonore et de celles des hydrophones. De même, la variation de hauteur d'eau due aux phénomènes de marée peut avoir son importance.

III C.2) - Correction d'obliquité.(Fig.6 et Pl.B). Il faut effectuer dans les petits fonds (profondeur inférieure à 5 fois la distance source-récepteur), une correction d'obliquité. En effet, on assimile la réflexion enregistrée à un trajet vertical : source et récepteur étant confondus; or ceci n'est pas valable si la distance source-récepteur ER est voisine de la profondeur EM.

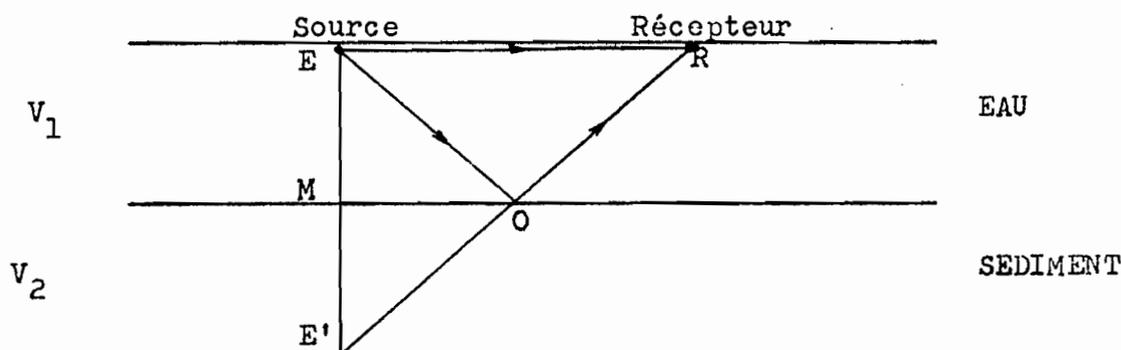


Figure 6.;

En considérant (Fig.6) les trajets du triangle rectangle EE'R, on peut écrire que l'immersion réelle est :

$$2 \overline{EM} = \sqrt{\overline{EOR}^2 - \overline{ER}^2} \text{ pour une vitesse de propagation constante,}$$

avec:  $2 \overline{EM}$  = Temps double réel de la profondeur,  
 $\overline{EOR}$  = Temps double enregistré de la profondeur,  
 $\overline{ER}$  = Temps simple du trajet source-enregistreur.

On transforme ensuite la valeur temps en profondeur.

III C.3) - Correction de position. Si l'on a un bon repérage sur la carte c'est-à-dire près des côtes, la longueur de la flûte et sa distance par rapport à la source obligent à faire une correction supplémentaire de position. En effet, le point réellement enregistré O est à mi-distance de EF et ne coïncide pas avec la position définie à bord du bateau. On ne peut cependant pas rapprocher les récepteurs à moins de 100 mètres du bateau à cause des bruits de fond.

III C.4) - Exagération verticale. (Pl. A et B). C'est le rapport de l'échelle verticale à l'échelle horizontale. Ces échelles dépendent respectivement de la vitesse de balayage des stylets enregistreurs et de la vitesse de déplacement du bateau. On considère le déroulement du papier comme étant constant.

Exemple : horizontalement le déroulement du papier est de 20 cm par heure, alors que pendant la même heure le bateau s'est déplacé de 11 kilomètres; verticalement 40 centimètres de papier représentent deux secondes (temps double) soit 1.500 mètres environ dans l'eau. D'où le rapport approximatif d'échelle est égal à 14,6; en réalité moindre si la présence de sédiment est enregistrée.

III C.5) - Correction de pente. (Pl.A). On a vu plus haut que sur les pentes la profondeur bathymétrique vraie égale la profondeur enregistrée, multipliée par :

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \text{tg}^2 \phi}}$$

$\phi$  angle mesuré.

La variation n'est importante que pour les pentes supérieures à 30° qui sont peu fréquentes excepté dans les petits fonds.

III C.6) - Corrections de la variation de vitesse de propagation.

La vitesse de propagation des ondes est fonction de la densité du milieu, et dans l'eau, elle est donnée suivant la région et la profondeur par des tables (tablos de Mathews). Dans le tréfonds, par suite de la variation de vitesse de propagation des ondes entre l'eau et le tréfonds, les réflecteurs seront légèrement déformés si la morphologie du fond est très irrégulière. Ainsi un réflecteur apparaît sous un pointement avec une avance de temps par rapport à une région voisine telle que :

$$\Delta t = \frac{\Delta z}{\Delta v}$$

$\Delta z$  = variation de profondeur avec une région voisine  
 $\Delta v$  = variation de vitesse de propagation dans le sédiment par rapport à celle de l'eau.

Par contre ce réflecteur apparait avec un retard dans les creux.

### III-D) TRAITEMENT DES DONNEES SISMIQUES.

Suivant les possibilités, on procède le plus souvent à partir de couvertures multiples, aux traitements suivants (DAMOTTE et HEMON, 1968) :

- . filtrages antimultiples indispensables sur le plateau continental.
- . corrections dynamiques après étude de la loi des vitesses.
- . déconvolution. Ce procédé consiste à modifier le spectre (en fréquence) de la trace originale de façon à restituer à chaque fréquence enregistrée une importance relative égale dans le spectre de la trace déconvoluée. On élargit la bande de fréquence du spectre du signal. Le nouveau spectre correspond alors en temps à une impulsion plus brève et la résolution de la section s'en trouve améliorée.
- . corrections compensatrices de la couche d'eau de façon à restituer aux horizons une forme plus vraisemblable en supprimant les infléchissements des réflecteurs dus aux variations de la profondeur d'eau. L'I.F.P. remplace la couche d'eau par une couche de vitesse  $v = 2.000$  m/s voisine de la vitesse moyenne sur le fond de façon à assimiler l'eau à un terrain homogène au-dessus des premiers réflecteurs. Ceci est nécessaire au-dessus des talus et des grands fonds.
- . filtrages.
- . régulation de l'amplitude.
- . rejeux.

Ces traitements rendent les profils enregistrés beaucoup plus exploitables pour l'interprétation qu'un enregistrement brut.

### IV. LE DEPOUILLEMENT

Le dépouillement est soumis à la qualité de l'enregistrement et aux possibilités de corrélation. Ceci suppose que la zone à étudier

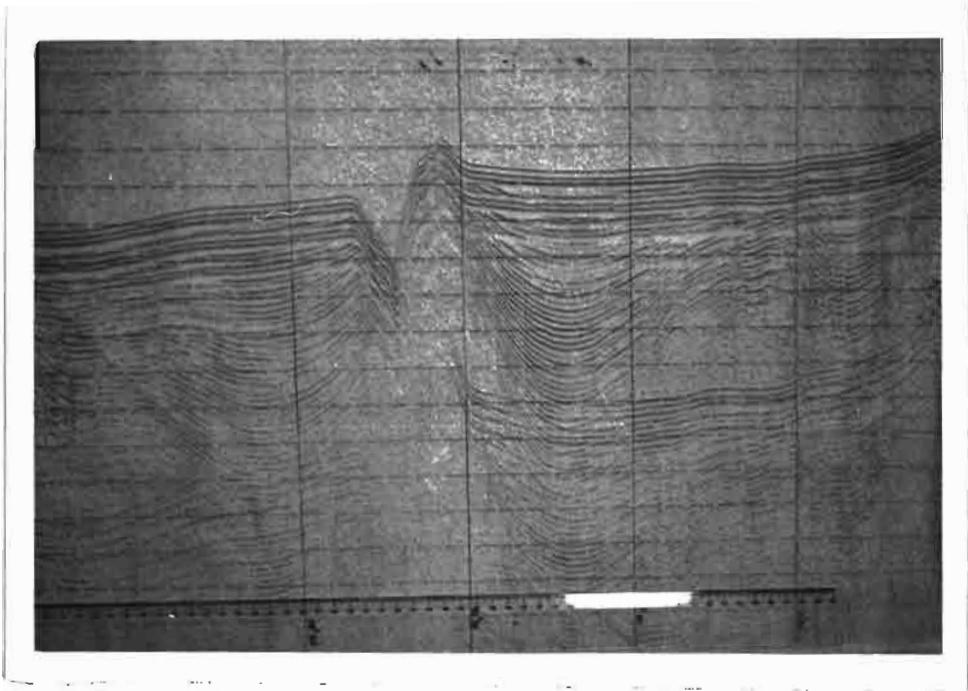
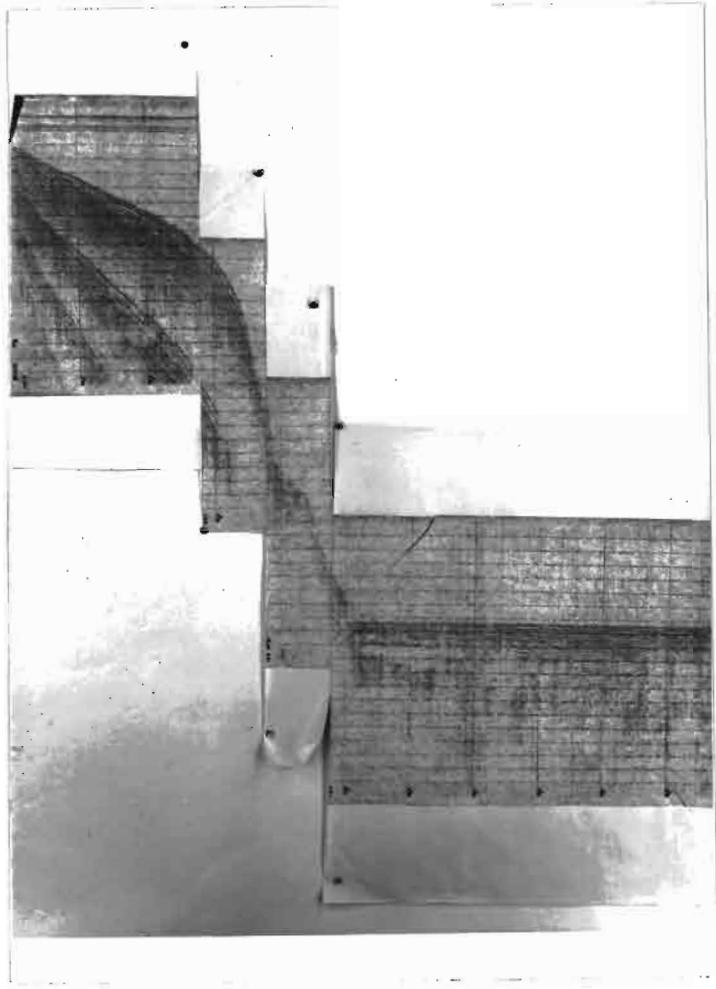


PLANCHE A. Enregistrement brut au canon à air (C.R.G. de Villefranche/Mer) d'une pente continentale en mer Méditerranée.  
Exagération verticale du profil du fond : 17,3.  
Résolution : 50 millisecondes (50 mètres environ).  
Pénétration dans la plaine abyssale : 0,7 seconde (700 mètres env.)  
Equidistance des lignes horizontales : 100 Millisecondes (temps double).  
Intervalle des lignes verticales : 6 kilomètres en moyenne.

On observe en haut à gauche les multiples de la pente. La pente enregistrée est de 14% soit un angle de 8° 11' ou après correction 8° 18'. Les profondeurs corrigées sont à 12 heures : 836 mètres au lieu de 825 mètres enregistrés et à 13 heures 30, 2.856 mètres au lieu des 2.804 mesurés.

La séquence de traces rectilignes et parallèles en haut à gauche correspond à l'arrivée directe du signal; on ne peut l'apercevoir sur les autres parties de l'enregistrement car le temps de réception est décalé dans le temps.

On différencie sur l'enregistrement trois types de réflexions mettant en évidence des terrains de nature différente. L'un forme la pente, un autre la plus grande partie de la plaine abyssale à l'exception d'une partie non réfléchissante intrusive formant le troisième type de réflecteur.

PLANCHE B. Enregistrement brut au canon à air (C.R.G. de Villefranche/Mer) d'un plateau continental de l'Océan Atlantique.  
Exagération verticale du profil du fond : 16,6.  
Résolution : 45 millisecondes (45 mètres environ).  
Pénétration : 1 seconde (1 kilomètre environ).  
Equidistance des lignes horizontales : 100 millisecondes (temps double).  
Intervalle des lignes verticales : 5,7 kilomètres en moyenne.

On observe dans le tréfonds deux larges et profonds synclinaux sédimentaires dont l'anticlinal intermédiaire est coincé entre deux failles. A gauche, on note un anticlinal dissymétrique avec des fractures marquées par de petites hyperboles.

La profondeur enregistrée à 04 heures est 483 mètres mais devient 471 mètres après les corrections d'obliquité, d'immersion et de vitesse de propagation (Tables de Mathews).

Le premier multiple du fond est 0,6 secondes de celui-ci.

est bien quadrillée, de telle sorte qu'un réflecteur défini et suivi sur un profil, puisse être retrouvé sur les autres profils grâce aux intersections. Celles-ci doivent avoir lieu dans les zones où il n'y a pas d'accident tectonique.

On procède aux opérations suivantes :

IV A.) - Montage. Un enregistrement ou généralement sa copie ou ses photographies, est tout d'abord monté c'est-à-dire découpé et collé de façon à restituer le fond et le tréfonds sans discontinuité à partir d'une même origine. On calcule l'exagération verticale, on précise la résolution et la pénétration suivant les zones.

IV B.) - Bathymétrie et morphologie. Considérant la première réflexion, celle du fond, on mesure, à des distances rapprochées, les temps enregistrés. Ensuite on les convertit en profondeur en mètres en tenant compte, suivant la précision recherchée, des corrections d'obliquité, de vitesse de propagation (tables de Mathews) de profondeur d'immersion de la source et du récepteur. On établit alors un profil morphologique. Cependant on obtient une bathymétrie beaucoup plus précise avec un écho-sondeur de précision.

IV C.) - Etablissement de coupes-temps, permettant de donner une interprétation tectonique du tréfonds. Il faut réduire l'échelle verticale (généralement : échelle horizontale x 4) et localiser les temps horizontaux. Le report des points s'effectue avec un compas de réduction. Il est facile d'indiquer les pendages, le rythme des déformations et leur amplitude.

IV D.) - Etude des réflecteurs. Lorsque de bons réflecteurs s'observent sur plusieurs profils, on s'efforce de les caractériser sur l'enregistrement. On détermine ensuite sur les profils, par l'intermédiaire de leurs intersections, les continuités ou discontinuités de ces réflecteurs. A des distances rapprochées on mesure leurs temps bruts de réflexion. On établit alors des cartes isochrones de chaque réflecteur et des cartes isopaques de la couche stratigraphique comprise entre deux réflecteurs.

IV E.) - Les niveaux réflecteurs sont définis, suivant les possibilités d'un point de vue pétrographique, sédimentologique et stratigraphique, par des observations d'échantillons soit dragués et carottés, soit affleurant à la côte.

IV F.) - Une carte géologique avec coupes interprétatives est enfin établie en fonction des observations.

## V. CONCLUSION

Les profils de sondages par sismique réflexion continue permettent de connaître la structure géologique des fonds marins; ceci avec d'autant plus de précision que les profils se recouperont souvent. Les résultats doivent être confirmés par d'autres données géophysiques.

Les cartes de géologie sous-marine, complétées d'indications sédimentologiques, seront ainsi une suite logique aux cartes de géologie continentale.

BIBLIOGRAPHIE

- AGARATE Ch., 1966 - Etude de la sédimentation sous-marine superficielle par sondage sonore.  
C.R.Ac.Sc., Paris, t.262, pp. 1427-1430.
- AGARATE Ch., GOT M., MONACO A. et PAUTOT G., 1967 - Eléments structuraux des canyons sous-marins et du plateau continental catalans obtenus par "sismique continue".  
C.R.Ac.Sc., Paris, t.265, pp.1278-1281, Série D.
- BELLAICHE G., LEENHARDT O., PAUTOT G., 1966 - Sur l'origine des niveaux de vase liquide dans les carottes sous-marines prélevées au carottier à piston.  
C.R.Ac.Sc., Paris, t.263, pp. 808-811.
- BOUMA A.H. and BOERMA J.A.K., 1968 - Vertical disturbances in piston cores. Marine Geology 6, pp. 231-241.
- CAULFIELD D.D., 1962 - Predicting sonic pulse shapes of underwater spark discharges. Deep Sea Research, vol.9, pp. 339-348.
- CHOLET J., FAIL J.P. et GRAU G., 1966 - Le Flexotir une nouvelle source pour la sismique marine.  
Comm.au 28e Congrès de l'European Assoc. of Expl. Geophys. Amsterdam.
- CHOLET J., DAMOTTE B., GRAU G., DEBYSER J., MONTADERT L., 1968 - Recherches préliminaires sur la structure géologique de la marge continentale du Golfe de Gascogne : commentaires sur quelques profils de sismique réflexion "Flexotir".  
Rev. de l'Inst. Franç. du Pétr., vol.XXIII, n° 9.
- CHOPPY J., 1968 - Pratique de la sismique réflexion.  
Masson Ed., 104 p.
- COULOMB R., 1967 - Traitement par ordinateur des informations géologiques, géophysiques et géochimiques.  
Bull. Inf. Sc. et Techn., n° 113, pp. 61-71.
- CROUZET P., 1963 - Nouveaux procédés de sismique marine : le sparker et le gas exploder.  
Bull. Ass. Fr. Techn. Petr., pp. 659-670.

- DAMOTTE B. et HEMON Ch., 1968 - Traitement de l'information sismique en Océanographie.  
Comm. au Coll. CNRS, Villefranche - Monaco.
- EDGERTON H.E. et HAYARD G.G., 1964 - The "boomer" sonar source for seismic profiling.  
Journ. of Geophys. Res., t.69, n° 14, pp. 3033-3042.
- EWING M. and PRESS F., 1956 - Seismic prospecting Encyclopedia of Physics.  
Ed. by S. FLUGGE, vol. XLVII, Geophysics I., pp. 153-168.
- EWING M. and ZAUNERE R., 1964 - Seismic profiling with a pneumatic sound source.  
Journ. of Geophys. Research, 69 (22), 4913-4915.
- GILES B.F., 1968 - Pneumatic acoustic energy source.  
Geophysical Prospecting, vol.XVI, n° 1, pp. 21-53.
- GLANGEAUD L., 1962 - Les transferts d'échelle en géologie et géophysique.  
Bull. Soc. Géol. Fr., n° 7, pp. 912-961.
- GLANGEAUD L., LEENHARDT O. et SERRUYA C., 1964 - Structures enregistrées par le "mud penetrator" dans les sédiments quaternaires du Léman.  
C.R.Ac.Sc., t. 258, pp. 4816-4818, groupe 9.
- GRAU G., 1968 - Sources sismiques pour l'océanographie.  
Colloque CNRS, Villefranche-sur-mer, Réf. 16199.
- GUIEYSSE L. et SABATHE P., 1964 - Acoustique sous-marine.  
251 p. Dunod, Paris.
- HERSEY J.B., 1963 - Continuous reflection profiling.  
The Sea Interscience Publisher, N.Y., vol.3, pp.47-71.  
Ed. by Hill.
- " 1965 - Sound reflections in and under Oceans.  
Physics to day, vol.I8, n° II, pp. 17-24.
- HOFFMAN J., 1957 - Applications des courbes hyperboliques au sondage par écho.  
Int. Hydr. Rev., 34 (2), pp. 47-58.
- KNUDSEN W.C., 1961 - Elimination of secondary pressure pulses in offshore exploration.  
Geophysics, vol. XXVI, n° 4, pp. 425-436.

- KRAUSE D.C., 1962 - Interprétation des profils de sondage par écho.  
Rev. Hydr. Intern., vol. XXXIX, n° I, pp 65-124.
- LAVERGNE M., 1964 - Considérations techniques sur les méthodes de pré-reconnaissance. Les recherches et la production du pétrole en mer. Ed. Technip, pp. 39-47.
- LEENHARDT O., 1964 - Le Mud Penetrator.  
Bull. Inst. Océan. Monaco, 62, n° 1303, 44 p.
- " 1965 - Le sondage sismique continu.  
Rev. de Géogr. Phys., II, 7, n° 4, pp. 285-294.
- " 1967 - Bibliography on marine seismics.  
Amer. Meteor. Soc., 95 p.
- " 1969 - Sondages sismiques continus en Méditerranée Occidentale.  
Thèse Paris (en cours)
- MATHEWS J.D., 1939 - Tables of the velocity of sound in pure water and sea water for use in echo sounding and sound ranging.  
Hydrographic Department London, 52 p., 2e Ed.
- MICHON D., 1961 - Phénomènes anormaux en sismique réflexion.  
Geophys. Prospect., vol. IX, n° I, pp. 20-29.
- MURAOUR P., GROUBERT E., ALINAT J., 1963 - Sur quelques techniques auxiliaires de la méthode sismique par réfraction en mer.  
Bull. Inst. Océan., Vol. 61, n° 1274, 16 p.
- MURRAY F., 1968 - The Aquaseis seismic source system.  
Comm. au 30e Congrès de l'European Assoc. of Explor. Geophysicist, Salzburg.
- ZVEREV S.M. (edit.), 1967 - Problems in Deep Seismic Sounding.  
Deep Seismic Sounding Laboratory. Inst. of Physics of the Earth, Ac. of Sc. of the USSR, Moscou, 166 p.
- °   °  
°

ANNEXE TECHNIQUE

Equipement pour l'utilisation d'un canon à air

Prix  
approximatif:

- Canon à air : C.R.G. de Villefranche/Mer (2/3 de litre) . . . 7.000 F.  
(BOLT Ass., U.S.A. vendu 30.000 F.)
- Compresseur H.P. : BAUER (représenté par BEUCHAT, Marseille),  
pour un débit : 50 m<sup>3</sup>/h . . . . . 30.000 F.
- Enregistreurs : O.S.R., représenté par Aero maritime elec-  
tronique . . . . . 32.000 F.
- Hydrophones : Geospace, 14, rue Lincoln, Paris, 8° . . . 10.000 à 30.000 F.
- Amplificateurs : C.R.G. de Villefranche /Mer . . . . . 2.000 F.
- Filtres : KROHN-HITE, représenté par ANTARES, 9, rue Ernest  
Cognacq Levallois Perret, 92 . . . . . 4.000 F.  
MULTIMETRICS, représenté par BUREAU-LIAISON,  
113, rue de l'Université, Paris, 7° . . . . .
- Enregistreur magnétique à sept pistes, portatif : AMPEX,  
SANGAMO . . . . . 60.000 F.