

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 21 JUIN 75



31/1

CANAUX DE PROPAGATION DANS LE CHENAL SONORE MEDITERRANEEN *

PROPAGATION IN MEDITERRANEAN SOUND CHANNEL

B. ROY - J. JOSEPH

Thomson-C.S.F. - Division des Activités Sous-Marines
06802 Cagnes-sur-Mer - France

RESUME

On a étudié expérimentalement la propagation dans le chenal sonore profond en Méditerranée sur des distances de 100 à 700 kilomètres. Les résultats sont en accord avec la théorie : l'allongement de la réponse impulsionnelle croît linéairement avec la distance, la pente étant voisine de 3,5 ms/km, et les pertes de transmission suivent une loi en accord avec une propagation sphérique sur une distance de 250 mètres, puis cylindrique au-delà. Les valeurs du coefficient d'absorption calculées d'après ce modèle de propagation sont proches des résultats publiés dans la littérature.

SUMMARY

Deep sound channel propagation in Mediterranean sea has been experimentally studied over 100 to 700 kilometer ranges. Results are coherent with theory : the time increase of impulse response varies linearly according to the distance, with a rate of +3.5 ms/km, and transmission losses satisfy to a spheric propagation law over a 250 m range, and to a cylindrical one outside this range. Values for absorption coefficients deriving from this propagation model are closed to results available from literature.

* Etude financée par la Direction des Recherches et Moyens d'Essais
Paris - France

CANAUX DE PROPAGATION DANS LE CHENAL SONORE MEDITERRANEEN

INTRODUCTION.

L'étude du chenal sonore profond [1, 2] présente un grand intérêt pour les communications sous-marines à grande distance car la propagation y est excellente et permet d'atteindre des portées de plusieurs milliers de kilomètres. L'existence de ce chenal est liée à la présence d'un minimum dans le profil vertical de célérité ; en Méditerranée, il n'existe qu'en été à cause du réchauffement des couches superficielles et en hiver et se transforme en chenal de surface dont la propagation a fait l'objet d'une étude particulière effectuée par le L.D.S.M. du Brusac [3] .

L'étude présentée ici concerne la propagation dans le chenal profond méditerranéen; après quelques rappels théoriques, on décrit les expérimentations effectuées et on compare les résultats des dépouillements à la théorie.

1. - RAPPELS THEORIQUES.

L'axe du chenal est situé à une profondeur qui correspond au minimum de la célérité ; les rayons sonores issus d'une source située près de l'axe du chenal sont maintenus dans celui-ci par réfractions successives : Cf. figure 1.

dre plusieurs milliers de kilomètres. Cependant l'utilisation du chenal sonore profond comme canal de transmission rencontre comme principale difficulté la multiplicité des trajets entre source et récepteur qui sont difficilement séparables temporellement et angulairement. On montre sur la figure 2, pour un profil de célérité méditerranéen, les résultats d'un calcul de rayons sonores : cette figure représente, pour une source et un récepteur immergés au niveau de l'axe du chenal, les affaiblissements et les angles d'arrivée des trajets multiples en fonction de leur temps d'arrivée ; l'origine des temps est l'instant d'arrivée d'un rayon qui se propagerait horizontalement dans un milieu de célérité constante, égale à la célérité au niveau de la source, et les affaiblissements sont pris par rapport à l'affaiblissement de ce rayon.

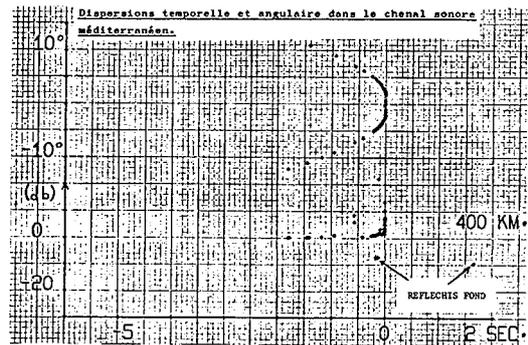


Figure 2

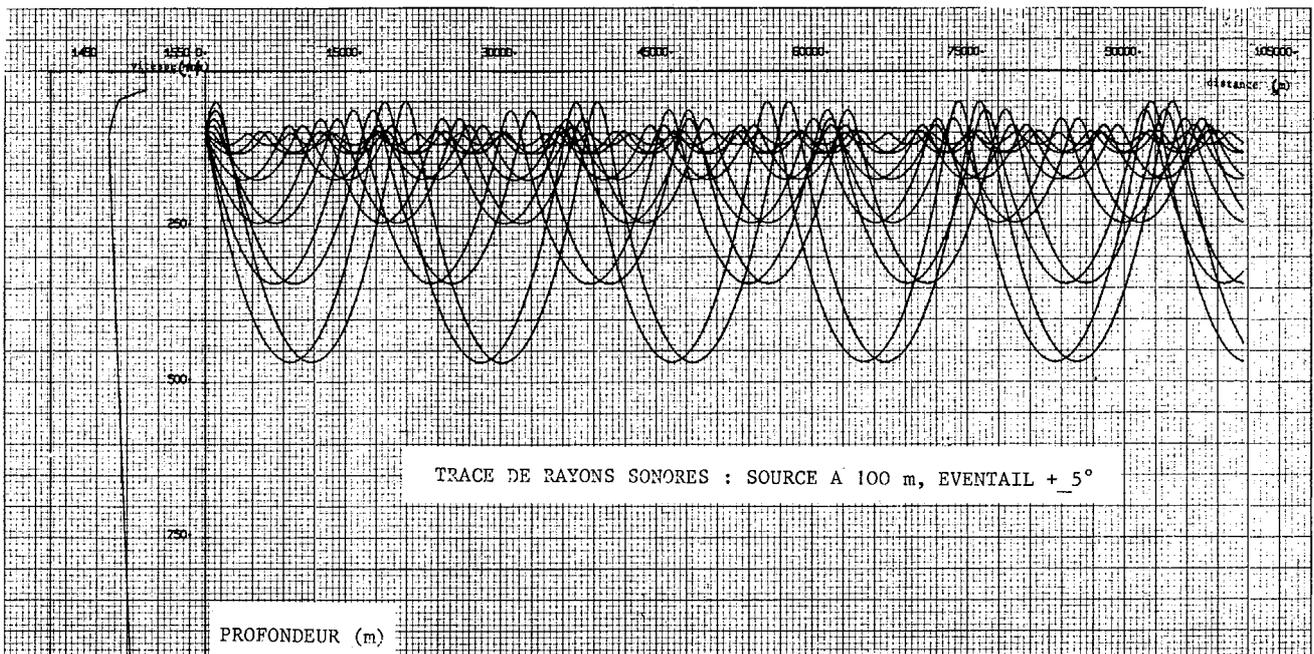


Figure 1

La propagation a lieu essentiellement par trajets directs et de ce fait, la portée peut attein-

On constate que la réponse impulsionnelle croît lentement jusqu'à un pic terminal, qui corres-



pond à l'arrivée pratiquement simultanée de tous les rayons dont l'angle d'arrivée est très faible.

L'allongement de la réponse impulsionnelle peut atteindre plusieurs secondes, ce qui ne permet pas d'espérer des débits de transmission élevés. Il croît linéairement avec la distance (Cf. figure 3) et,

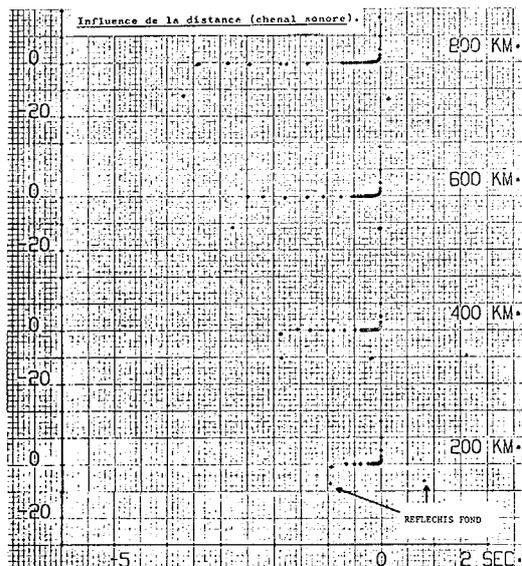


Figure 3

en supposant un profil de célérité simplifié comme

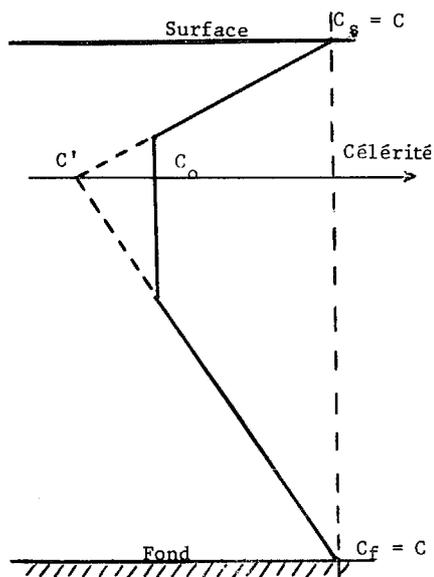


Figure 4

l'indique la figure 4, il s'écrit [4] :

$$T = \frac{r}{C_0} \left(\frac{C - C_0}{3C_0} - \frac{C_0 - C'}{2C_0} \right) \quad (1)$$

où r est la distance.

Si la source (ou le récepteur) est légèrement décalée par rapport à l'axe du chenal, la durée T de la réponse impulsionnelle varie peu, mais le nombre des trajets qui constituent le pic terminal et leur intensité diminuent.

2. - ETUDE EXPERIMENTALE.

2.1. Conditions expérimentales.

Une étude expérimentale a été réalisée en Méditerranée, en collaboration avec le laboratoire DSM du Brus, afin de vérifier les résultats théoriques et de les compléter, notamment en ce qui concerne les pertes de transmission.

On a utilisé la base de réception BERTHE du LDSM du Brus : cette base est immergée au large du Cap-Ferrat, par 200 mètres de fond, et est orientée vers le sud. L'essai a eu lieu en septembre 1974, période où le chenal sonore profond existe toujours. Les signaux étaient émis par des charges au TNT de 28 et 500 grammes larguées d'avion à des distances comprises entre 100 et 700 kilomètres de la base. Le parcours de l'avion est indiqué figure 5. Le long de ce parcours la profondeur moyenne des fonds était de 2600 mètres environ et le profil bathythermique a été mesuré aux points S_1 et S_2 : les deux profils de célérité qui s'en déduisent sont peu différents et le premier est représenté sur la figure 6.

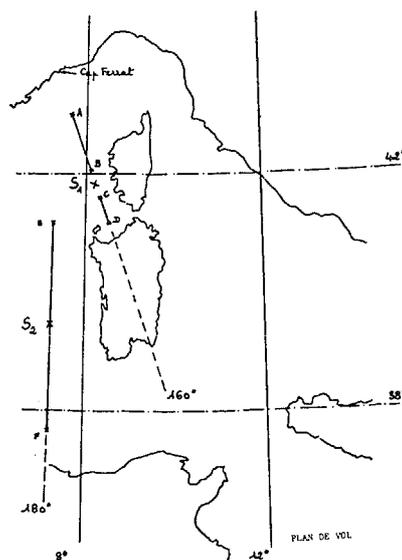


Figure 5

On constate que la largeur du chenal est de 1600 mètres et que son axe se situe à 110 mètres d'immersion ; la base immergée à 100 mètres est donc pratiquement sur l'axe.

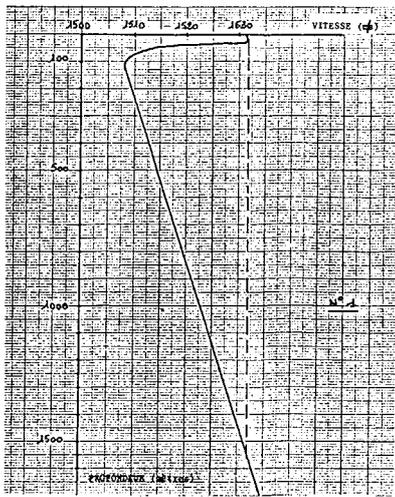


Figure 6

Les charges étaient réglées pour exploser à 60 ou 150 mètres d'immersion. A 150 mètres, la célérité est très voisine du minimum, alors qu'à 60 mètres on se trouve sur le bord du chenal ; on peut donc s'attendre à ce que le pic terminal de la réponse impulsionnelle soit beaucoup plus net pour les charges 150 mètres que pour les charges 60 mètres.

2.2. Résultats.

2.2.1. Allure des signaux.

Les figures 7 à 9 représentent quelques signaux tracés sur enregistreur graphique dans la bande 70-1000 Hz. Ces signaux sont formés d'une partie qui croît jusqu'à un maximum et qui est d'autant plus longue que la distance est plus grande, puis, après ce maximum d'une partie décroissante qui ne semble pas varier avec la distance. La partie située avant le maximum est caractéristique de la propagation dans le chenal sonore (voir rappels théoriques) tandis que la partie située après le maximum s'explique par la forte diminution de la profondeur du fond à l'approche de la base à partir d'une distance d'environ 30 kilomètres.

En effet, des rayons acoustiques, qui se propageaient jusque là sans réflexions, se réfléchissent maintenant sur le fond et sur la surface ; la propagation devient du type "petits fonds", et la décroissance correspond aux rayons ayant subi des réflexions de plus en plus nombreuses.

De plus, aux distances élevées, on constate que le maximum ne reste marqué que pour les charges qui correspondent à l'immersion de 150 mètres : ce résultat est bien conforme à ce que laissaient prévoir l'étude théorique et l'examen du profil de célérité.

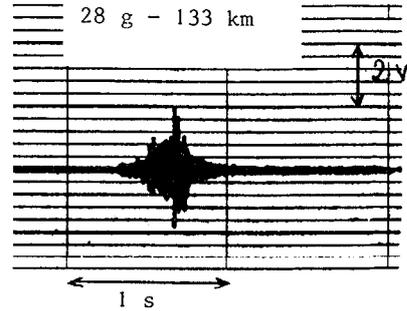


Figure 7

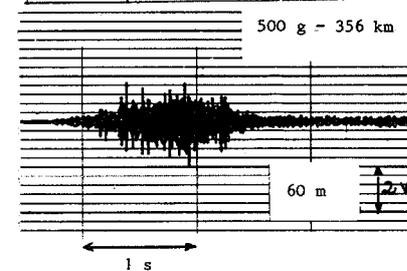
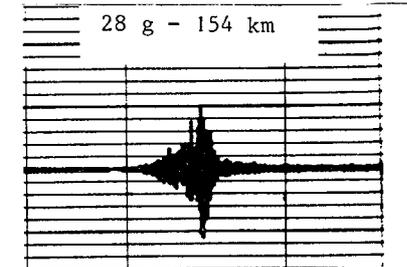


Figure 8

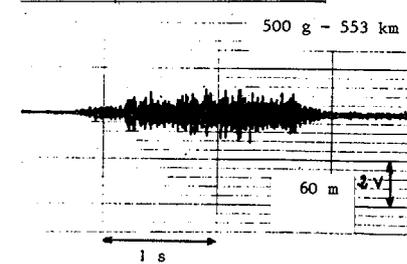
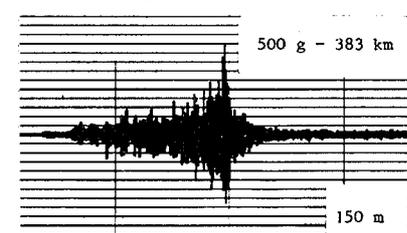
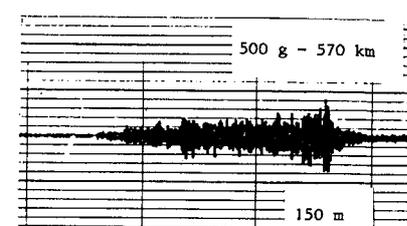


Figure 9



2.2.2. Allongement du signal.

L'allongement d'une impulsion reçue correspondant à une bande de fréquence donnée, est défini comme étant la durée pendant laquelle on reçoit un certain niveau de signal.

L'allongement a été mesuré pour cinq bandes

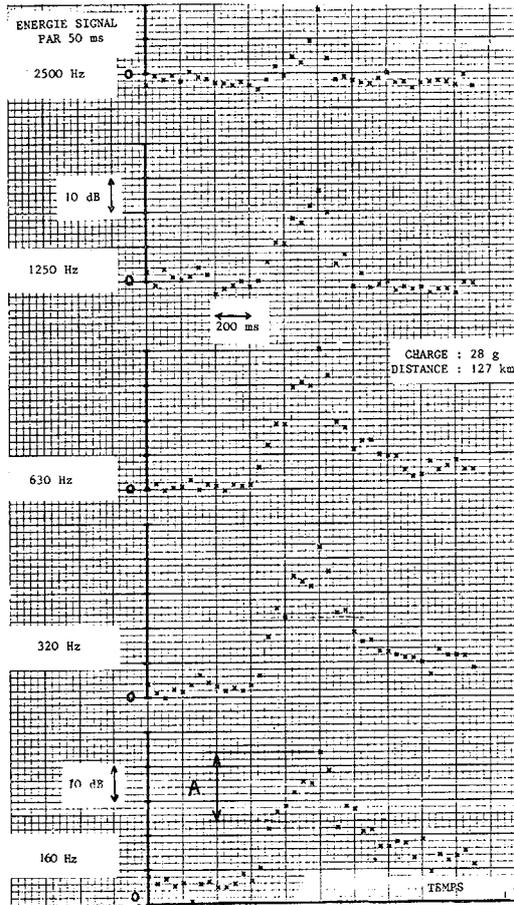


Figure 10

de fréquences d'un octave, de fréquences centrales comprises entre 160 et 2500 Hz. La mesure a été effectuée à partir des énergies calculées par tranches de signal jointives de 50 ms de durée et en les comparant à l'énergie maximum obtenue dans une tranche : Cf. Figure 10 ; on a pris le plus souvent, la valeur $A = 20$ dB. On a choisi ce critère car il est indépendant du rapport signal à bruit pourvu que la valeur maximale de celui-ci dépasse A . Pour les deux octaves centrés sur 160 Hz et sur 630 Hz, on obtient les résultats indiqués par les figures 11 et 12.

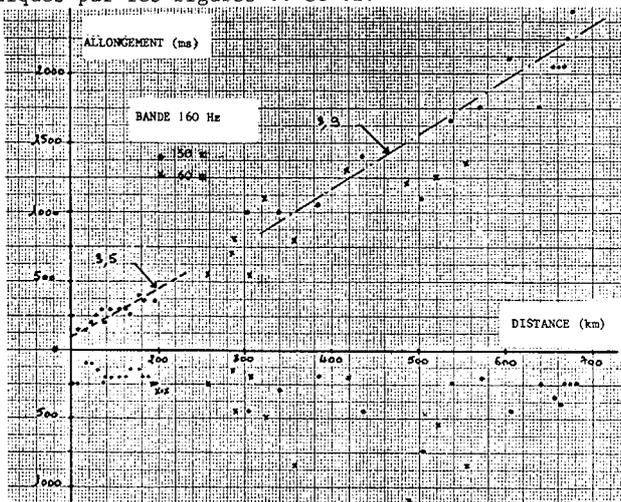


Figure 11

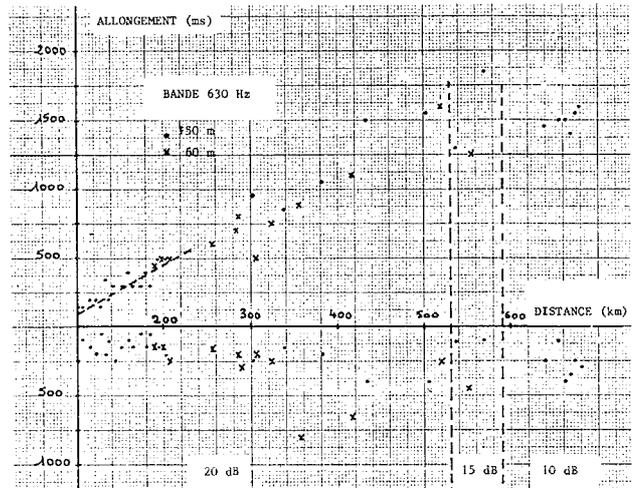


Figure 12

On a séparé l'allongement "avant" le maximum, caractéristique de la propagation dans le chenal, de l'allongement "arrière" supposé issu de la transition chenal-petits fonds. On remarque que l'allongement "avant" croît linéairement avec la distance comme le laissait prévoir la théorie, alors que les allongements "arrière" présentent une forte dispersion surtout pour les charges 60 mètres, et en moyenne n'évoluent pas avec la distance. On constate par ailleurs que les résultats sont indépendants de la fréquence, ce qui confirme le fait que les allongements ne sont liés qu'aux trajets des rayons.

L'accord de l'expérience avec la théorie a été vérifié en appliquant la formule (1) : la pente calculée est de 3,5 ms/km pour le premier profil mesuré et de 3,9 ms/km pour le second, et ces valeurs coïncident parfaitement avec les résultats expérimentaux surtout pour les charges 150 mètres. On a d'autre part calculé l'allongement de la réponse impulsionnelle au moyen du programme de champs sonores comme indiqué au § 1 : en considérant un fond de 2000 mètres (correspondant aux pointes de relief), on constate sur la figure 13 que l'accord est là aussi très satisfaisant.

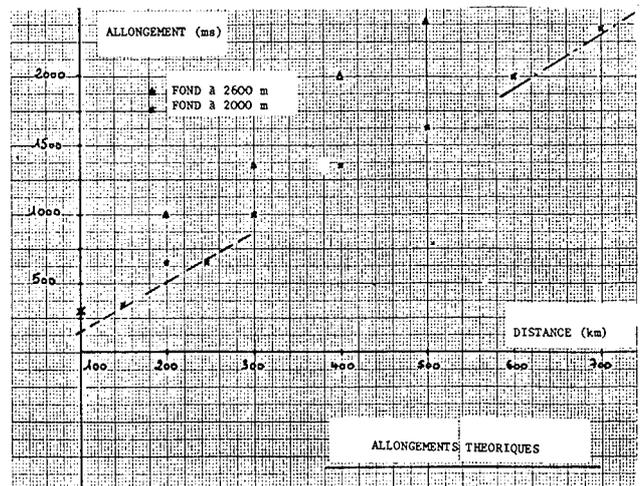


Figure 13

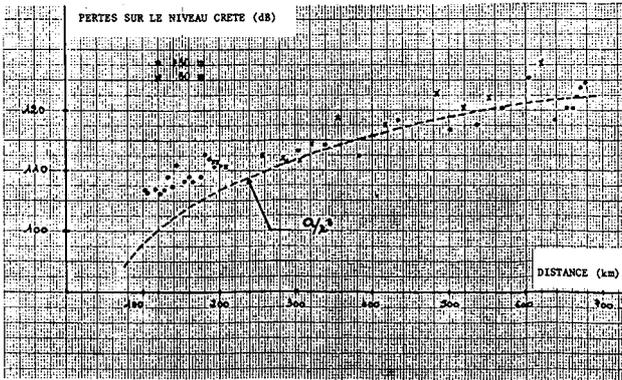


Figure 14

2.2.3. Pertes sur le niveau crête en fonction de la distance.

Le niveau crête correspond aux trajets peu inclinés sur l'axe du chenal, de telle sorte que la perte sur les niveaux crêtes entre l'émission et la réception varie en premier lieu comme l'inverse de la distance (en puissance) puisque la propagation est quasi cylindrique. De plus c'est la superposition de plusieurs impulsions, arrivant dans un intervalle de temps très petit, qui donne ce maximum. Cette superposition varie comme l'inverse de la distance si on considère l'amplitude (donc le carré pour la puissance). De là, la perte sur le niveau crête devrait varier en r^{-3} (r : distance) [1].

Les résultats expérimentaux sont indiqués à la figure 14 ; les valeurs des niveaux crête à l'émission ont été déterminées d'après WESTON [5]. On a cherché à ajuster une courbe en a/r^3 d'après les points obtenus pour les charges 150 mètres aux distances élevées. On remarque qu'aux distances supérieures à 300 km la loi en $\frac{a}{r^3}$ est assez bien respectée. En revanche, aux distances comprises entre 100 et 200 km la décroissance est plus faible. Ce résultat peut être dû à une saturation de l'antenne de réception qui affecte les valeurs crêtes alors que son influence est négligeable sur les valeurs énergétiques.

2.2.4. Pertes de transmission - Absorption.

Les pertes de transmission énergétiques ont été calculées par bandes tiers d'octave de fréquences centrales comprises entre 160 et 2500 Hz. Les niveaux reçus ont été calculés en considérant l'énergie totale contenue dans l'impulsion reçue par bande de fréquences, les valeurs de niveaux à l'émission ont été déterminées à partir des résultats de WESTON [5].

D'après la figure 15, on se rend compte que l'influence de l'immersion de la source sur les pertes de transmission n'est pas sensible. On admet, comme URICK [2] que la perte de transmission s'écrit :

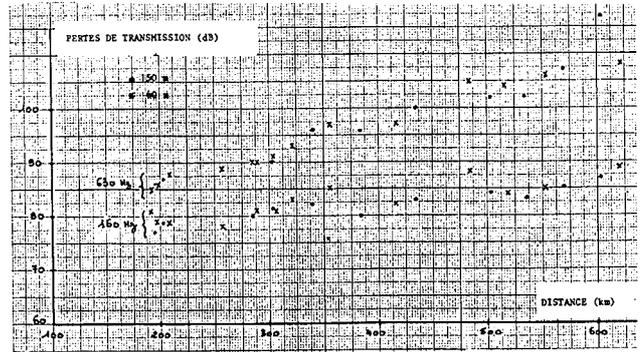
$$H(r,f) = 20 \log r_0 + 10 \log \frac{r}{r_0} + \alpha(f)r \quad (2)$$


Figure 15

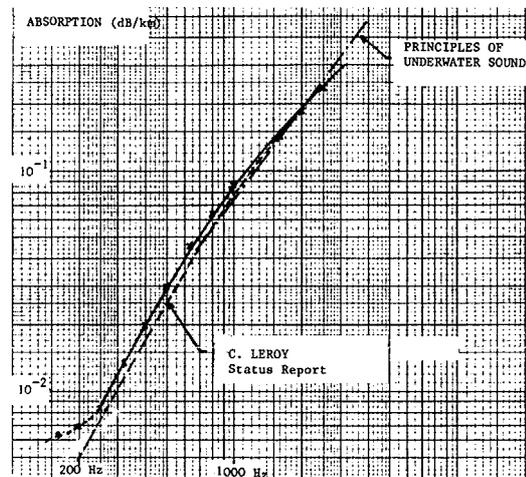


Figure 16

ce qui correspond à une propagation sphérique jusqu'à une distance r_0 , puis cylindrique au-delà ; l'expression (2) peut se mettre sous la forme :

$$H(r,f) = 10 \log r + 10 \log r_0 + \alpha(f)r.$$

On a calculé r_0 en supposant qu'aux fréquences et aux distances faibles la perte due à l'absorption est négligeable ; on trouve $r_0 \approx 250$ mètres. Le coefficient d'absorption est alors déterminé par :

$$\alpha(f) = \text{Moyenne sur } r \text{ de } \left(\frac{H(r,f) - 10 \log r - 10 \log r_0}{10^{-3} r} \right)$$

dB/km
pour $H(r,f)$ exprimée en décibels et r en mètres.

La figure 16 donne l'évolution du coefficient d'absorption en fonction de la fréquence. Les résultats sauf à 160 Hz et à 200 Hz, sont très voisins de ceux obtenus par C. LEROY dans la même zone en Méditerranée [6] et de ceux indiqués dans "Principles of Underwater Sound" de R.J. URICK. L'écart pour les fréquences les plus basses peut s'expliquer par le fait qu'à ces fréquences, la précision du calcul est très mauvaise, l'absorption prenant des valeurs très faibles.

CONCLUSION.

Les résultats obtenus sur la propagation dans le chenal sonore profond méditerranéen sont en



accord avec la théorie et avec les résultats expérimentaux déjà publiés dans la littérature. L'allongement de la réponse impulsionnelle croît linéairement avec la distance, de 150 ms à 100 kilomètres, jusqu'à 2300 ms à 700 kilomètres, avec une pente voisine de 3,5 ms/km.

Les pertes de transmission suivent une loi en accord avec une propagation sphérique jusqu'à une distance de 250 mètres, puis cylindrique au-delà avec un coefficient d'absorption qui varie de $6 \cdot 10^{-3}$ dB/km pour 160 Hz, jusqu'à 0,234 dB/km pour 2500 Hz.

REFERENCES

- [1] G.M. BRYAN, M. TRUCHAN and J.I. EWING
"Long Range SOFAR Studies in the South Atlantic Ocean" J.A.S.A. (1963) p. 273.
- [2] R.J. URICK
"Low Frequency Sound Attenuation in the Deep Ocean". J.A.S.A. (1963) p. 1413.
- [3] BOISRAYON
"Propagation à longue distance en Méditerranée"
Colloque GRETSI Nice (1975).
- [4] L.M. BREKHOVSKIKH
"Waves in Layered Media"
Academic Press, NY 1960.
- [5] D.E. WESTON
"Underwater Explosions as acoustic sources"
Proceedings of the Physical Society, vol LXXVI
(1960).
- [6] C. LEROY
Status Report (Saclant ASWRC).