

# COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 21 JUIN 75



## PROPAGATION A LONGUE DISTANCE EN MEDITERRANEE SYNTHESE PROVISOIRE DE RESULTATS EXPERIMENTAUX

M. BOISRAYON

Attaché aux services techniques de l'armement  
Ingénieur à la D.C.A.N. TOULON Laboratoire de Détection Sous-Marine Le Brusç (Var)

### RESUME

Des essais de propagation à longue distance (28 km - 630 km) ont été réalisés en Janvier et Février 1973 en Méditerranée. On a enregistré des signaux de bombettes (28 g et 500 g de TNT), lancées par bateau (Janvier) et par avion (Février), en utilisant une base de réception mouillée sur le talus continental.

On présente les principaux résultats obtenus (forme d'ondes, enveloppes et spectre de FOURIER de signaux caractéristiques) ainsi que les abaques qui ont été déduits de ces résultats. Ces abaques permettent de fournir une première évaluation de l'allongement des signaux en fonction de la distance et de la perte globale en fonction de la distance et de la fréquence.

On indique des formules moyennes donnant la perte par divergence et les pertes par réflexion sur la surface. En utilisant ces relations ainsi que la formule de LEROY on propose un lissage des courbes de pertes globales obtenues.

### SUMMARY

Long range propagation trials (28 km - 630 km) have been conducted in the Mediterranean Sea on January / February 1973. Explosive sound sources (28 g and 500 g of TNT) were launched from ship (January) and from aircraft (February) and signals were received on the large array moored on the continental shelf.

The main results (wave forms, envelopes and FOURIER spectra of typical signals) are presented together with some nomographs derived from the results. These nomographs give a first evaluation of the signal widening as a function of distance, and of the overall transmission loss as a function of distance and frequency.

Average formulae are given for the spreading loss and the surface loss. A smoothing of the overall transmission loss curves is proposed using these formulae together with the LEROY formula.



**PROPAGATION A LONGUE DISTANCE EN MEDITERRANEE**  
**SYNTHESE PROVISOIRE DE RESULTATS EXPERIMENTAUX**

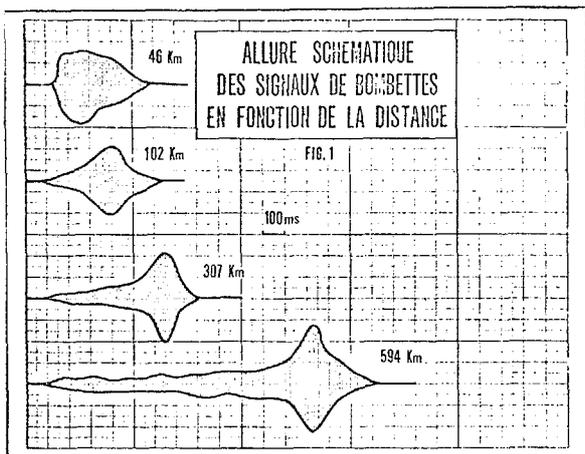
**1. INTRODUCTION :**

Une expérimentation de propagation à longue distance a été exécutée en Méditerranée en Février 1974. On a lancé avec un avion 36 bombettes de 500 grammes de TNT, réglées pour exploser à 60 mètres d'immersion. On n'a enregistré effectivement que 28 explosions sur deux panneaux de la base de réception dont l'immersion était de 96 mètres.

L'expérimentation avait pour but d'obtenir un certain nombre de renseignements (formes d'ondes, pertes par divergence, etc...) sur la propagation à longue distance en Méditerranée pour un profil bathythermique d'hiver. Ce profil était une isotherme sur toute la longueur parcourue. La température était de l'ordre de 13,5° C.

**2. ALLURE DES ENVELOPPES DES SIGNAUX DE BOMBETTES :**

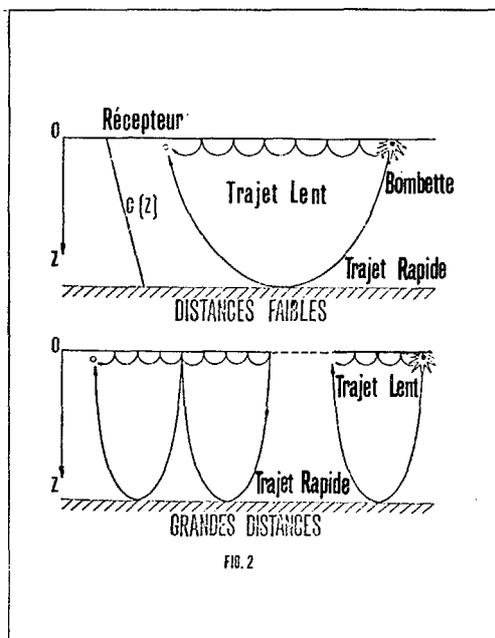
La figure (1) schématise les déformations de l'enveloppe des signaux en fonction de la distance. A faible distance (quelques dizaines de kilomètres), l'énergie reçue est presque entièrement contenue dans la première partie du signal. La forme carrée de celui-ci est due à la saturation des préamplificateurs. Quand la distance augmente (de 100 à 120 kilomètres), l'enveloppe se déforme et présente l'allure d'une cloche. Aux grandes distances, l'intensité du signal augmente progressivement jusqu'à passer par un maximum suivi d'une décroissance rapide. L'énergie maximale est donc contenue dans la deuxième partie du signal, contrairement à ce qui se passe aux faibles distances.



**3. EXPLICATION DES DEFORMATIONS OBSERVEES :**

On suppose que le fond de la mer est parfaitement plat, y compris sous la base, et que la surface est plane (pas de pertes par réflexion de surface). Une telle hypothèse n'est évidemment pas exacte mais elle permet d'expliquer simplement l'allure des déformations des signaux. Par ailleurs, on admet que le profil bathythermique est parfaitement isotherme, ce qui est généralement bien vérifié en hiver.

Chaque signal est constitué par la superposition d'un certain nombre de signaux qui ont suivi les différents rayons sonores émis par la bombette et arrivant sur la base de réception. Les trajets les plus rapides sont ceux qui passent par les immersions les plus basses, puisque la vitesse du son est plus grande près du fond que près de la surface. Ce sont aussi ceux qui subissent les pertes par divergence et par absorption les plus fortes. Ils correspondent à la première partie du signal. Inversement, les trajets "lents" qui évoluent au voisinage de la surface subissent les pertes les plus faibles et contribuent à créer la dernière partie du signal (figure 2).



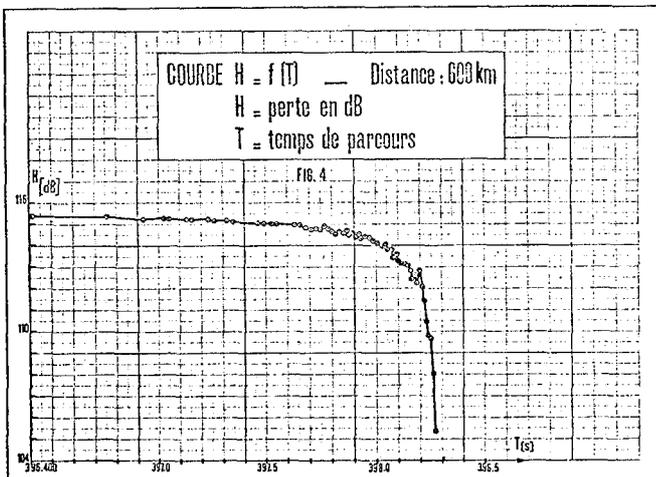
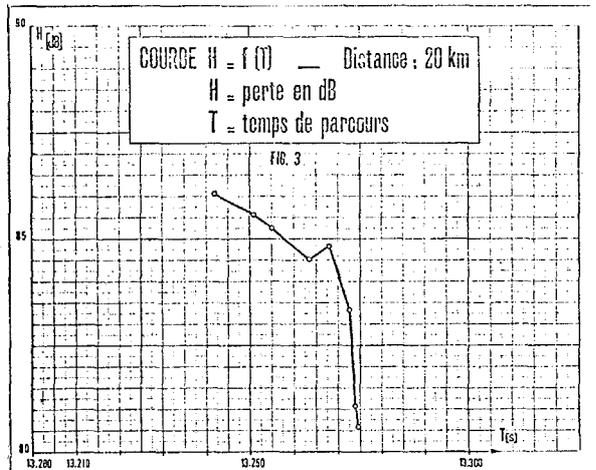
Les premiers rayons réfléchis sur le fond sont voisins des rayons les plus rapides qui passent près du fond. Ils seront donc "rapides", avec de fortes pertes, et interviendront dans la "fabrication" du début du signal. Au fur et à mesure que le nombre de réflexions sur le fond augmente les rayons deviennent de plus en plus lents et subissent des pertes croissantes, supérieures à celles des rayons les plus rapides. Leur contribution à la dernière partie du signal sera donc négligeable.



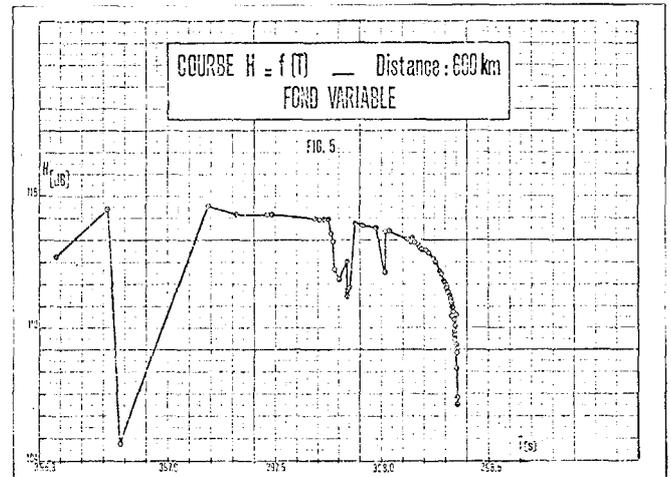
PROPAGATION A LONGUE DISTANCE EN MEDITERRANEE  
SYNTHESE PROVISOIRE DE RESULTATS EXPERIMENTAUX

Tout ceci est vrai quelle que soit la distance entre la bombette et le récepteur. Mais, pour les grandes distances, les écarts temporels entre rayons extrêmes sont beaucoup plus grands qu'aux distances faibles et la croissance progressive de l'intensité du signal est alors très nette.

Les figures (3) et (4) donnent les courbes des pertes des rayons en fonction de leurs temps de parcours, pour les distances 20 kilomètres et 600 kilomètres.



La figure (5) représente la courbe obtenue pour une distance de 600 kilomètres en tenant compte, du profil réel du fond. Elle se superpose bien, dans sa dernière partie, à la courbe tracée pour un fond plat et pour la même distance. Il n'y a donc pas de différence très sensible, du point de vue énergétique entre le fond plat et le fond réel.



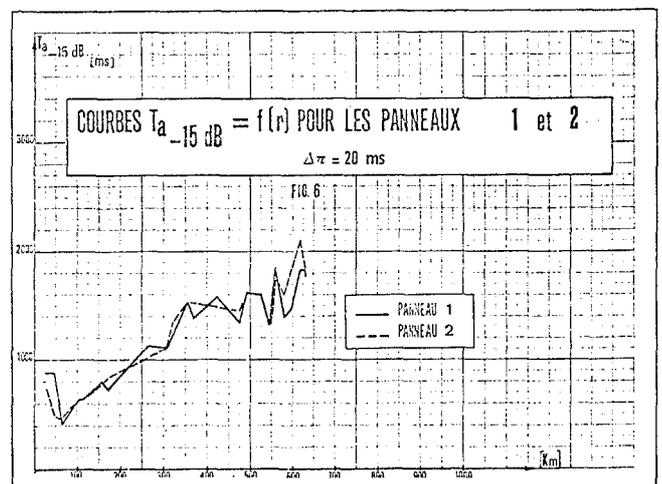
#### 4. CALCUL DE LA DUREE DES SIGNAUX :

La durée des signaux a été calculée par la méthode suivante :

On découpe le signal en  $N$  tranches de durée convenable  $\Delta\tau$ . On calcule l'énergie contenue dans chaque tranche et on détermine la (ou les) tranches (s) d'énergie maximale. La durée  $T_a$  du signal sera l'intervalle de temps dans lequel on trouve des tranches d'énergies supérieures ou égales à l'énergie maximale diminuée de  $n$  dB.

Les calculs ont été faits pour  $T_{a-3\text{ dB}}$ ,  $T_{a-10\text{ dB}}$  et  $T_{a-15\text{ dB}}$ . On n'a pas pu calculer  $T_{a-20\text{ dB}}$  la dynamique des enregistrements étant insuffisante.

Les courbes  $T_{a-3\text{ dB}} = f(r)$  et  $T_{a-10\text{ dB}} = f(r)$  ne sont pas significatives. En revanche les courbes  $T_{a-15\text{ dB}} = f(r)$  représentées dans la figure (6) mettent en évidence, le phénomène d'allongement de la durée du signal lorsque la distance croît. Cette durée est de 600 ms à 100 kilomètres environ et atteint près de 2 s à une distance de l'ordre de 600 kilomètres.

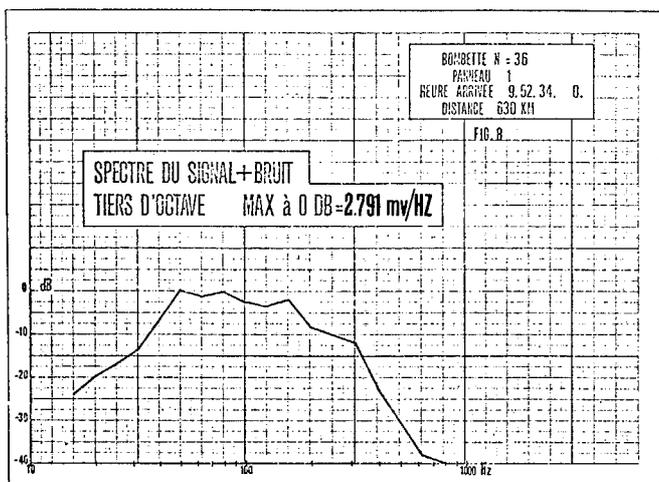
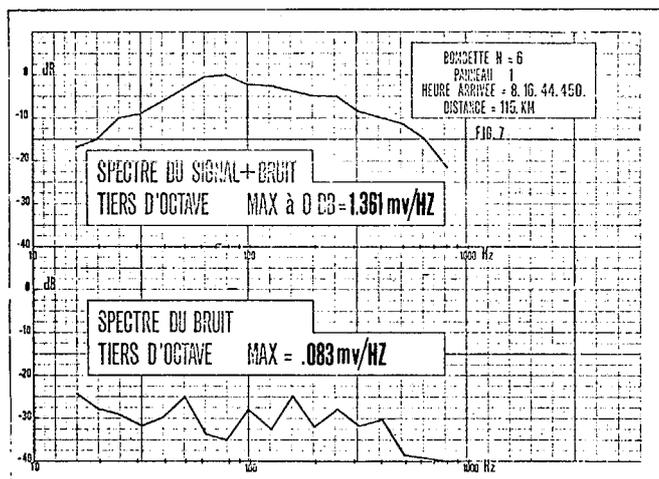


**5. ANALYSE SPECTRALE DES SIGNAUX ET CALCUL DES PERTES H(f, r) :**

La pression sonore due aux bombettes à l'emplacement de la base de réception s'exprime, dans le domaine des fréquences, par la relation :

$$\bar{p}_R(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{v_R(t)}{g s_h} e^{-j2\pi ft} dt = \frac{\bar{v}_R(f)}{g s_h}$$

$v_R(t)$  est la tension électrique délivrée par la base ; les valeurs  $g$  et  $s_h$  sont respectivement le gain de la chaîne d'amplification placée derrière la base et la sensibilité à la réception de celle-ci, exprimés en valeurs naturelles. Les figures (7) et (8) reproduisent les allures des spectres tiers d'octave obtenus pour le panneau 1 et pour les distances 115 kilomètres et 630 kilomètres.



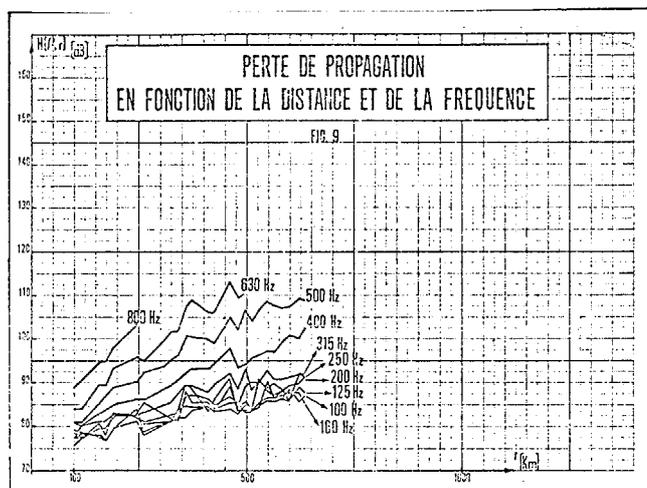
La perte  $H(f, r)$  est calculée en comparant la densité de flux énergétique spectrale du signal reçu, soit :

$$E_R(f, r) = \frac{2p^2(f, r)}{\rho c} = \frac{2v_R^2(f, r)}{\rho c g^2 s_h^2}$$

à la densité de flux énergétique théorique de la bombette au point où elle explose, calculée d'après les formules de WESTON. Elle s'exprime donc en dB par la relation :

$$H(f, r) = 10 \log_{10} \frac{E_s(f, r)}{E_R(f, r)} = 10 \log_{10} \rho c E_s(f, r) - 3 - 20 \log_{10} v_R(f, r) + G + S_h$$

La figure (9) donne l'allure de ces pertes en fonction de la distance pour différentes fréquences et pour le panneau 1.



**6. EVALUATION DES PERTES PAR DIVERGENCE ET PAR REFLEXION SUR LA SURFACE :**

La perte globale peut s'écrire :

$$H(f, r) = \Delta(r) + a_0(f) r + p_s(f, v, r)$$

( $v$  est la vitesse du vent).

Dans cette relation,  $\Delta$  représente la perte par divergence,  $a_0$  le coefficient d'absorption du milieu en dB/km et  $p_s$  les pertes par réflexion sur la surface. Pour les mesures faites en été au voisinage du chenal sonore ce dernier terme peut être négligé. Ces mêmes mesures ont montré que le coefficient  $a_0$  était très voisin de celui calculé par la formule de LEROY. On a donc utilisé cette relation pour déterminer les pertes par absorption. Les courbes de la figure (9) ont été employées pour calculer  $\Delta$ , en ne considérant que les fréquences basses (100 Hz à 250 Hz pour les distances n'excédant pas 259 kilomètres, et 100 Hz au-delà). Si l'on admet que la loi moyenne de divergence est sphérique à proximité de la source puis devient cylindrique au-delà d'une distance de transmission  $r_0$ , on peut lisser la courbe  $\Delta = f(r)$  par une loi de la forme :

$$\Delta(r) = 20 \log_{10} r_0 + 10 \log_{10} \frac{r}{r_0}$$

avec  $r_0 = 720$  mètres.



PROPAGATION A LONGUE DISTANCE EN MEDITERRANEE  
SYNTHESE PROVISOIRE DE RESULTATS EXPERIMENTAUX

On n'a pas cherché à déterminer directement les pertes  $p_s(f, v, r)$ . On a préféré évaluer ces pertes a priori en utilisant les résultats de l'étude théorique et expérimentale de GAZANHES (voir bibliographie). On peut exprimer la valeur moyenne de la perte  $p_s(f, v, r)$  par la relation :

$$p_s(f, v, r)_{\text{moy}} = \alpha(f, v) k r$$

dans laquelle  $\alpha(f, v)$  est le coefficient de perte par réflexion sur la surface et  $k$  un coefficient de proportionnalité qui relie le nombre moyen de réflexions sur la surface à la distance.

D'après GAZANHES, on a :

$$\alpha(f, v) = -10 \log_{10} \left[ e^{-4g^2} + \frac{\sigma_s^2}{\gamma^2 H} \right]$$

avec  $g = \frac{4\pi \sigma_s}{\lambda} \cos \theta$  ( $\sigma_s$  = écart type de la surface,  $\theta$  angle d'incidence,  $\lambda$  longueur d'onde).

Dans notre cas (mer 3, fréquences inférieures à 1 000 Hz)  $g$  reste toujours faible et on peut admettre que :

$$\alpha \approx -10 \log_{10} e^{-4g^2} = 17,4 g^2$$

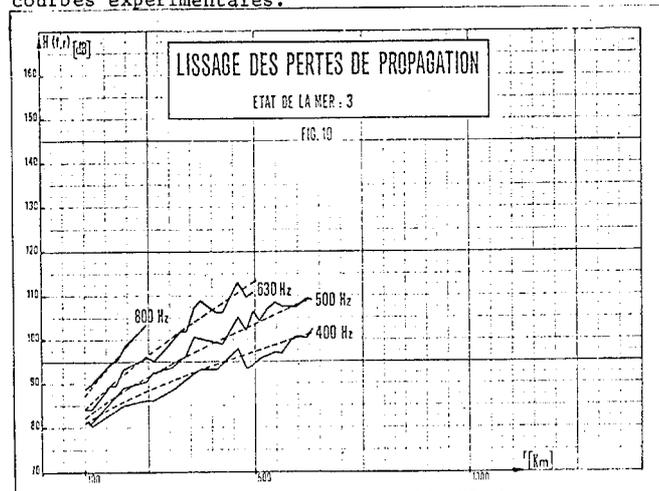
Par ailleurs,  $k = 0,1$  et on a pris pour  $\theta$  une valeur moyenne de  $80^\circ$ .

La figure (10) représente les courbes  $H(f, r)$  expérimentales et les courbes  $H_{th}(f, r)$  calculées d'après la formule :

$$H_{th}(f, r) = 20 \log 720 + 10 \log \frac{r}{720} + a_0(f) r + \alpha(f, v) \frac{r}{10}$$

pour les fréquences 800, 630, 500 et 400 Hz.

On voit que ces dernières courbes permettent de lisser de façon assez satisfaisante les courbes expérimentales.



## 7. CONCLUSIONS :

L'allure de la déformation du signal s'explique par la croissance en fonction de la distance des écarts de temps de parcours entre les rayons "lents" (ceux qui se propagent au voisinage de la surface) et les rayons "rapides" fortement atténués, qui passent au voisinage du fond

Il est possible de quantifier ces déformations de manière assez fine en définissant une durée conventionnelle du signal  $T_{a-ndB}$ , le calcul de cette durée étant basé sur un découpage du signal en tranche d'énergie de durée convenable (de l'ordre de 20 ms à 50 ms).

Enfin, il semble que l'on puisse, sous réserve de mesures complémentaires plus précises, représenter les pertes globales de propagation au-delà de 100 kilomètres et pour des fréquences inférieures à 1 000 Hz par une loi moyenne de la forme :

$$H = 20 \log r_0 + 10 \log \frac{r}{r_0} + a_0(f) r + K f^2 v^5 r$$

$a_0$  étant fournie par la formule de LEROY.

## BIBLIOGRAPHIE

- [ 1 ] D.E. WESTON  
"Underwater Explosions as Acoustic Sources"  
(Proceeding of the Physical Society, Vol. LXXVI, 1960).
- [ 2 ] Claude GAZANHES  
"Etude de la modulation d'amplitude consécutive à la diffusion d'une onde acoustique par une surface agitée"  
(Thèse du 19 Septembre 1972).