



DEUXIÈME COLLOQUE  
SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL  
ET SES APPLICATIONS  
NICE - 5 AU 10 MAI 1969

---

3/1

ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

B. GRANDVAUX

Attaché aux Services Techniques de l'Armement  
Laboratoire de Détection Sous-Marine Le Brusc

---

RESUME

—

La première zone de convergence acoustique est étudiée sous ses différents aspects : trajets multiples, pertes de transmission, pertes de cohérence. Sa structure fine est analysée dans le cadre de la théorie des rayons sonores, une expérimentation en Océan Atlantique est décrite et quelques résultats relatifs à des mesures sur signaux modulés en fréquence sont présentés.

ABSTRACT

—

The first acoustic convergence zone is investigated through different aspects : multipaths, transmission losses, coherence losses. Its structure is analysed from the ray theory view-point. An experiment in the Atlantic Ocean is described and some results are given upon frequency modulated signal measurements.



## DEUXIÈME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

3/3

NICE - 5 AU 10 MAI 1969

---

### ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

(1)

B. GRANDVAUX

Attaché aux Services Techniques de l'Armement  
Laboratoire de Détection Sous-Marine Le Brusc

---

### INTRODUCTION

---

\* En mer profonde, pour des fréquences acoustiques de quelques kilohertz et au-delà, les problèmes de propagation sont le plus souvent abordés par la théorie des rayons sonores. Dans le cadre de cette théorie et pour une situation bathycélérimétrique d'Atlantique Nord, la figure 1 représente le champ sonore produit par une source située dans les couches superficielles (immersion 200 mètres). Par le jeu des gradients de célérité, les rayons sonores issus de la source sont rapidement réfractés vers les couches profondes où ils subissent un retournement qui les ramène vers la surface.

\* On appelle "Résurgence" la réapparition dans les couches superficielles des rayons qui se sont propagés dans les couches profondes. Dans la plupart des cas, et en particulier dans notre exemple, la résurgence s'accompagne dans le plan vertical d'une focalisation des rayons sonores ; c'est le phénomène de "Convergence". Les retournements successifs des rayons dans les couches superficielles et dans les couches profondes présentent un caractère périodique en fonction de la distance et provoquent les phénomènes connus sous le nom de 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ième</sup> ... n<sup>ième</sup> "zone de convergence".



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE (2)

---

\* Notre étude limitée à la première zone (V. Figure 2) se propose d'en analyser la structure fine sous le triple aspect des trajets multiples, des pertes de transmission et des pertes de cohérence. Dans une première partie quelques considérations théoriques précisent ces différents aspects, une seconde partie est consacrée à la description d'une expérimentation effectuée en Atlantique pendant l'été 1968 ; la troisième partie donne un aperçu des résultats expérimentaux limité aux mesures de perte de cohérence sur des signaux modulés linéairement en fréquence.

### THEORIE

---

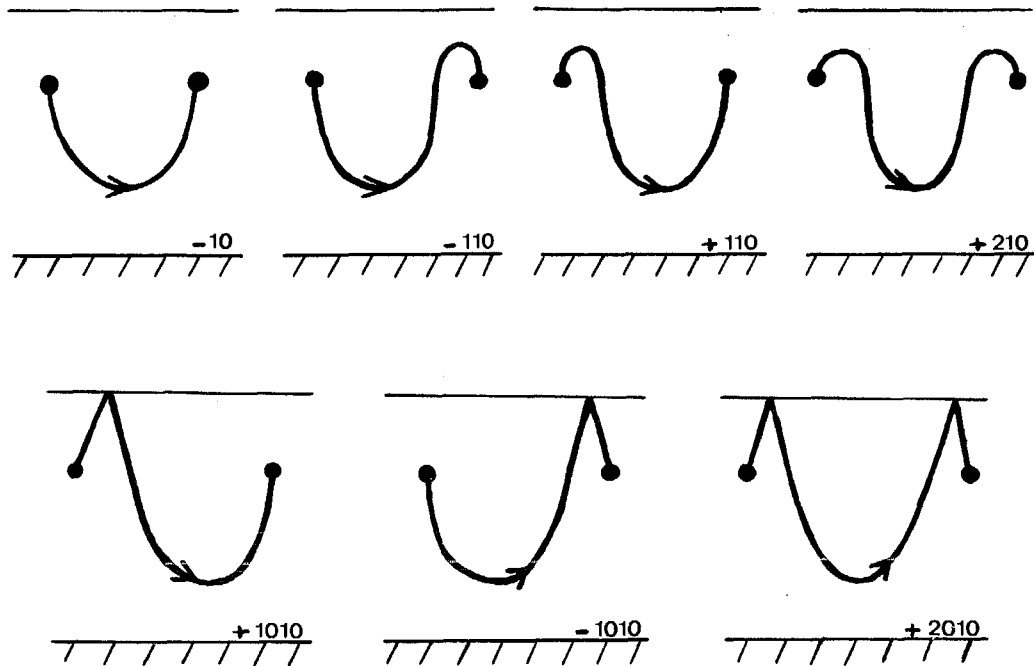
\* D'un caractère esthétique certain, les tracés de rayons des figures 1 et 2 sont de peu d'intérêt pour une étude approfondie des phénomènes. Ils permettent néanmoins deux observations :

- Les rayons sonores présents dans la zone de convergence se regroupent de par la forme de leur trajectoire en sept catégories représentées ci-dessous et désignées par un numéro de code qui permet leur repérage dans la suite de l'étude.



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

(3)



Le code est défini par un nombre algébrique à quatre chiffres dont :

- Le signe indique le signe du site au départ de la source (positif rayon émis vers le haut ; négatif rayon émis vers le bas)

- Le chiffre des unités indique le nombre de réflexions sur le fond

- Le chiffre des dizaines indique le nombre de retournements à concavité tournée vers le haut



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

(4)

---

- Le chiffre des centaines indique le nombre de retournements à concavité tournée vers le bas

- Le chiffre des milliers indique le nombre de réflexions sur la surface.

Le ou les chiffres les plus à gauche ne sont pas indiqués lorsqu'ils sont des zéros.

- A chaque catégorie de rayons correspond une ou plusieurs caustiques qui sont les courbes enveloppes des rayons et qui figurent les zones de concentration d'énergie.

\* Pour chacun des types de rayons ainsi répertoriés, des calculs théoriques complémentaires permettent la détermination quantitative des paramètres qui caractérisent leurs répartitions spatiale, temporelle ou énergétique. Dans la pratique il est commode de représenter les variations de ces paramètres le long de coupes horizontales du champ sonore telles qu'elles apparaissent sur la figure 2.

Ainsi, pour des immersions données de la source et de la coupe (immersion du récepteur ou du but) :

- La répartition spatiale des trajets multiples est définie par des courbes donnant le site d'émission (ou de réception) en fonction de la distance. Sur la figure 3, les sites représentés sont les sites d'émission pour une source à 200 mètres et une coupe à 300 mètres.



ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE  
(5)

---

L'intérêt de ce diagramme pour la définition des directivités à l'émission est évident et l'on y remarque très bien les sept catégories de rayons qui forment la zone de convergence ainsi que les points correspondant aux caustiques.

- La répartition temporelle est de même définie par le diagramme donnant les temps de parcours acoustiques en fonction de la distance. En pratique et pour des commodités d'échelles on représente plutôt un temps de parcours réduit :

$$t_r = t_a - \frac{R}{1500}$$

où  $t_r$  et  $t_a$  sont respectivement les temps de parcours réduit et absolu et  $R$  la distance horizontale.

Sur la figure 4 on reconnaît encore, bien que plus difficilement, les sept catégories de rayons et pour chacun d'eux le ou les points de rebroussement qui correspondent au passage sur les caustiques.

Les rayons réfléchis sur le fond (-1, -1001, +1001, +2001) apparaissent également sur ces graphiques mais ils ne nous intéressent que dans la mesure où ils interfèrent avec les rayons utiles.



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

(6)

---

- La répartition d'énergie sur chacun des rayons est donnée par le diagramme de la figure 5 qui représente les pertes de transmission en fonction de la distance. Le calcul des pertes de transmission, c'est-à-dire du rapport des intensités sonores à l'émission et à la réception pour chaque type de rayon, présente quelques difficultés suivant le type d'approximation qui est fait sur le profil de célérité. Des méthodes existent pour s'en affranchir et l'on a procédé dans le cas présent par lissage des courbes sites - distances (V. Référence 8).

En résumé, la théorie des rayons permet de prévoir pour une situation donnée la séquence des différents signaux reçus avec leurs sites de départ et d'arrivée, leurs écarts de temps et leurs niveaux.

Elle ne fournit par contre aucun renseignement sur la façon dont peuvent varier ces paramètres en fonction des micro hétérogénéités et des fluctuations du milieu. D'autres théories (Référence 9 - 10) permettent de tenir compte de ces phénomènes secondaires, elles sont ou ont été l'objet d'autres exposés (Référence 11 - 12) et ne sont pas abordées ici.



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

(7)

---

EXPERIMENTATION

---

\* Une expérimentation visant à étudier la structure fine de la première zone de convergence et à comparer les observations avec les données théoriques s'est déroulée dans l'Océan Atlantique (zones Golfe de Gascogne et Madère - Açores) au mois de Septembre 1968. Le mode opératoire était le suivant :

Une base d'émission était immergée dans les couches superficielles à partir d'un "bâtiment émetteur" (D.O. "CANTHO" de la Marine Nationale) qui restait stoppé pendant toute la durée des essais. Des hydrophones de réception étaient remorqués à vitesse lente et à immersion constante par un "bâtiment récepteur" (N.O. "JEAN CHARCOT" du C.N.E.X.O.) qui effectuait des passes en éloignement et en rapprochement dans la zone présumée de convergence. Les signaux reçus sur les hydrophones étaient traités succinctement à bord et enregistrés sur bande magnétique en vue d'analyse fine en Laboratoire.

Afin d'étudier les différents aspects précisés précédemment quatre types de signaux étaient mis en jeu successivement :

- Signaux à fréquence pure 3500 Hz  
durée 4 - 10 - 100 ms



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

(8)

- 
- Signaux modulés linéairement en fréquence de 3200 à 3600 Hz - durée 500 ms
  - Signaux binaires codés - fréquence porteuse 3400 Hz - période élémentaire d'inversion de phase 2,35 ms - durée 600 ms
  - Explosifs 500 grammes de T.N.T.

La vitesse de remorquage des hydrophones était de deux noeuds et la cadence d'émission de dix secondes pour la fréquence pure et de une minute pour les autres types de signaux. Ces conditions correspondent respectivement à des mesures tous les dix mètres et tous les soixante mètres.

Le dépouillement de ces essais est en cours. Les mesures en fréquence pure n'offrant pas d'intérêt particulier pour le traitement du signal et les signaux binaires codés n'ayant pas encore été traités à cette date, nous limiterons l'exposé des résultats aux mesures faites avec les signaux modulés en fréquence.



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

(9)

## RESULTATS

Les signaux modulés linéairement en fréquence ont été traités par un procédé utilisant la compression d'impulsion après compression de temps (dispositif C.I.A.C.T. V. Référence 13). Les photographies qui vont suivre représentent pour une émission acoustique le signal reçu avant traitement et sa fonction de corrélation obtenue au C.I.A.C.T.

La figure 6 donne l'exemple de signaux reçus dans le cas d'un trajet acoustique seul (trajet nettement prépondérant en niveau par exemple). L'amplitude de la fonction de corrélation est proportionnelle au niveau reçu et inversement proportionnelle à la perte de cohérence (ou plus précisément la perte de corrélation). Le dispositif étant étalonné le rapport de l'amplitude du signal reçu à l'amplitude de la fonction de corrélation (corrigée du gain de traitement) donne la perte de corrélation.

A titre d'exemple, pour une série de quinze signaux reçus sur un hydrophone à 80 mètres à des distances de l'ordre de 59.000 mètres et correspondant à un rayon de type -10, les pertes de corrélation mesurées sont en moyenne de l'ordre de 0,5 dB.



# ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE (10)

---

Les figures 7 et 8 correspondent au cas de deux trajets acoustiques dont l'écart de temps  $\Delta t$  est supérieur à l'inverse de la largeur de bande et dont les niveaux sont du même ordre de grandeur.

A chaque instant, le signal reçu avant traitement est la somme de deux signaux de fréquences voisines  $f_1$  et  $f_2$  telles que la différence :

$$\Delta f = f_2 - f_1 = k \cdot \Delta t$$

$k$  étant la pente de la modulation linéaire de fréquence.

Le signal résultant est donc un battement de la forme :

$$Y = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos 2\pi f t} \sin \left[ 2\pi f_2 t + \varphi(t) \right]$$

$$\text{avec } \operatorname{tg} \varphi(t) = \frac{A \sin 2\pi \Delta f t}{A \cos 2\pi \Delta f t + B}$$

où  $A$  et  $B$  sont les amplitudes des deux signaux élémentaires.



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

(11)

---

L'amplitude des crêtes de modulation est  $S = A + B$ , celle des creux  $D = A - B$ . On peut donc aisément calculer  $A$  et  $B$ , les comparer à titre de vérification avec les valeurs  $A$  et  $B$  mesurées au début et à la fin du signal reçu (V. Figures 7 et 8) et calculer la perte de transmission et la perte de corrélation sur chacun des trajets.

Le tableau ci-après résume ces opérations pour une série de quatorze émissions reçues sur un hydrophone à 300 mètres à des distances de l'ordre de 58.500 mètres et correspondant à deux rayons de type -10.

On remarque sur ce tableau une petite différence systématique entre les écarts de temps théoriques et expérimentaux, cette différence est sans importance, elle peut provenir d'une imprécision sur la mesure de distance ou l'immersion de l'hydrophone. L'important est que l'on remarque bien l'allure de la courbe de temps au voisinage de son point de rebroussement.

Les pertes de transmission mesurées sont dans l'ensemble inférieures aux pertes théoriques ce qui justifie l'intérêt des termes correctifs à apporter à la théorie des rayons pour tenir compte des phénomènes secondaires.

Les écarts observés dans les pertes de corrélation ou les valeurs négatives s'expliquent par le fait que les mesures des amplitudes  $A$ ,  $B$ ,  $S$  ou  $D$  qui servent au calcul de la perte de corrélation ne sont pas très précises. Il semble également qu'au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la caustique l'un des deux trajets (celui qui arrive le premier) s'évanouisse très rapidement (perte de transmission très rapidement croissante) et soit très vite décorrélé. Par contre l'autre trajet ne subit pratiquement pas de perte de cohérence (de l'ordre de 0 à 1 dB).

## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

(12)

| Distance<br>(m) | $\Delta t$ (ms)<br>(Th.) | $\Delta t$ (ms)<br>(Exp.) | Perte de Transmission<br>(dB) |               |               |               | Fréquence Battement<br>(Hz) |               | Perte de corrélation<br>(dB) |               |                |               |  |  |
|-----------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|---------------|------------------------------|---------------|----------------|---------------|--|--|
|                 |                          |                           | Théorique                     |               | Expérimentale |               | d'après<br>$\Delta t$       | mesures       | d'après S et D               |               | d'après A et B |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               |               |                             |               | 1er<br>rayon                 | 2ème<br>rayon | 1er<br>rayon   | 2ème<br>rayon |  |  |
|                 |                          |                           | 1er<br>rayon                  | 2ème<br>rayon | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               |               | 1er<br>rayon                | 2ème<br>rayon | 1er<br>rayon                 | 2ème<br>rayon | 1er<br>rayon   | 2ème<br>rayon |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            | 1er<br>rayon              | 2ème<br>rayon                 | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |
|                 |                          |                           |                               |               |               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon               | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon                | 1er<br>rayon  | 2ème<br>rayon  |               |  |  |
| 1er<br>rayon    | 2ème<br>rayon            |                           |                               |               |               |               |                             |               |                              |               |                |               |  |  |



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

(13)

Dans les cas plus complexes (V. Figure 9) où il y a plus de deux trajets ou si les écarts de temps sont inférieurs à l'inverse de la largeur de bande, il n'est plus possible de calculer une perte de cohérence.

Un paramètre global utilisable pour les opérations de détection peut cependant être déduit des mesures. En effet, la détection étant supposée assurée à la limite sur le plus élevé des pics de corrélation, on peut définir une "perte de transmission cohérente"  $H_c$  de la façon suivante :

Si  $N_{rc}$  est le niveau acoustique équivalent correspondant au pic le plus élevé (niveau de sortie du corrélateur ramené à l'entrée de l'hydrophone) et si  $N_{ec}$  est le niveau d'émission équivalent cohérent (niveau du pic de corrélation que l'on obtiendrait avec un signal parfait dont le niveau serait égal au niveau d'émission) ; alors on a :

$$H_c = N_{ec} - N_{rc}$$

Si l'on se reporte maintenant à l'équation d'un sonar travaillant en traitement cohérent :

$$2 H_c + T_c \leq f_{mc}$$



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

(14)

$T_c$  réponse cohérente du but

$f_{mc}$  facteur de mérite en traitement cohérent

On voit que  $H_c$  tirée des mesures précédentes est bien le paramètre utilisable pour l'équation de détection.

Deux problèmes restent alors à résoudre :

- Calculer le facteur de mérite en cohérent ce qui est possible pour un sonar supposé limité par un bruit stationnaire mais plus difficile sur réverbération ou bruit non stationnaire.

- Déterminer (par voie expérimentale sans doute) la réponse cohérente des cibles.

## CONCLUSION

---

Sous réserve de confirmation après une analyse plus complète de l'expérimentation, il paraît raisonnable de proposer les conclusions suivantes :



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

(15)

---

- La théorie des rayons est un bon support théorique pour la prévision de la structure des zones de convergence, particulièrement en ce qui concerne les séquences de signaux reçus.

- Des termes correctifs doivent être calculés pour tenir compte des phénomènes secondaires dus aux hétérogénéités et fluctuations du milieu.

- Les pertes de cohérence mesurées sur un trajet isolé sont très faibles.

- Au voisinage d'une caustique l'un des deux trajets est rapidement évanescent et décorrélé. L'autre ne subit pratiquement aucune perte de cohérence. (cette remarque ne doit pas être généralisée ; il est possible que cette observation soit liée à l'allure des courbes sites - distance donc au profil de célérité).

- Dans les situations de trajets multiples complexes (pour la largeur de bande utilisée) un paramètre global de propagation directement utilisable dans l'équation de détection en traitement cohérent peut être déduit des mesures.

ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE  
(16)

---

REFERENCES

---

1. N.R.L. Report 4834 8-10-56 R.W. BRYANT et N.R. SORESENSEN

Application of a bilinear velocity profil to convergence zone transmission.

2. J.A.S.A. Vol. 33 N° 4 Avril 1961 F.E. HALE

Long range sound propagation in the deep ocean.

3. N.R.L. Report 6123 28-8-64 R.L. STEINBERGER

Computation of acoustic rays from temperatures measured in the deep ocean and prediction of the range to the convergence zone

4. N.R.L. Report 6269 5-8-65 R.L. STEINBERGER

Comparison of convergence zone measured sound pressures computed from the sound speed depth fonction

5. J.A.S.A. Vol. 38 N° 2 Août 1965 R.J. URICK

Caustics and convergence zones in deep-water sound transmission.



ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE  
(17)

---

6. N° 13.308 DSM/B 9-4-65 }  
N° 13.810 DSM/B 3-9-65 } B. GRANDVAUX - D. CARRASCO

Détermination des caustiques dans le cas d'un profil bathy-  
célimétrique approché par segments de droite.

7. N° 16.585 DSM/B du 28-6-67 B. GRANDVAUX

Phénomène de convergence en Atlantique

8. J.A.S.A. Vol. 33 N° 4 Avril 1961 M.A. PEDERSEN

Acoustic Intensity Anomalies introduced by constant velo-  
city gradients.

9. U.S.L. Report N° 255 STUDY II. - H.W. MARSH

The use of ray methods and first order diffraction correc-  
tions.

10. Wave propagation in a random medium

L.A. CHERNOV trad. R.A. SILVERMAN  
Mac Graw Hill book Co Inc. 1960.

11. B. LALLEMENT deuxième colloque GRETSI Nice 5/9 -5-69

(Communication à présenter) - Quelques améliorations  
possibles du calcul de l'intensité d'un champ sonore près  
d'une caustique et après réflexion sur le fond.



3/20

ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE  
(18)

---

12. R. LAVAL - L. FORTUIN - D.J. PARKES - M. PAZZINI

Diverses communications - Nato MM1 Advanced Study Institute Lerici 18/23 -9-67.

13. P. TOURNOIS

The use of dispersive delay lines for signal processing in underwater acoustics.

Nato Advanced Study Institute EMSCHADE 12/23 -8-68.



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

---

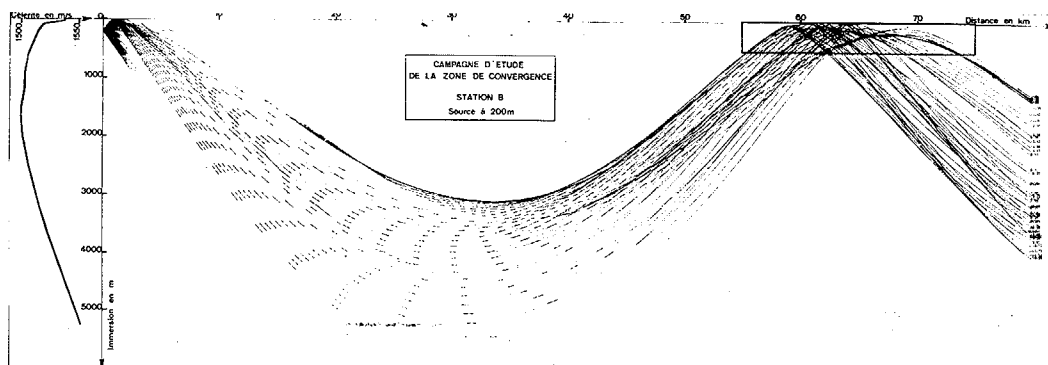


fig. 1



3/22

## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

---

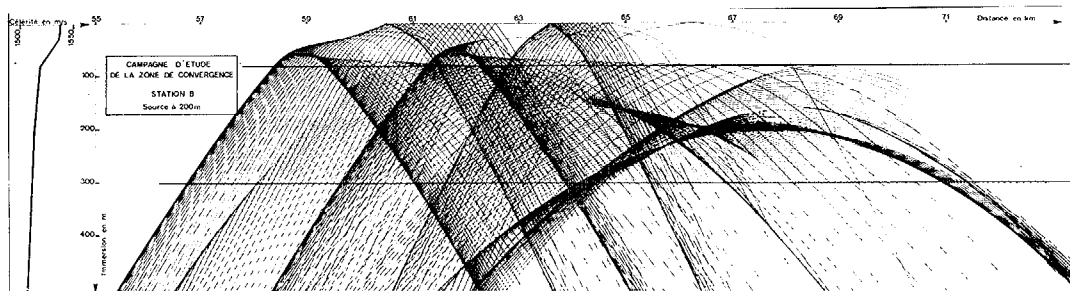


fig. 2



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

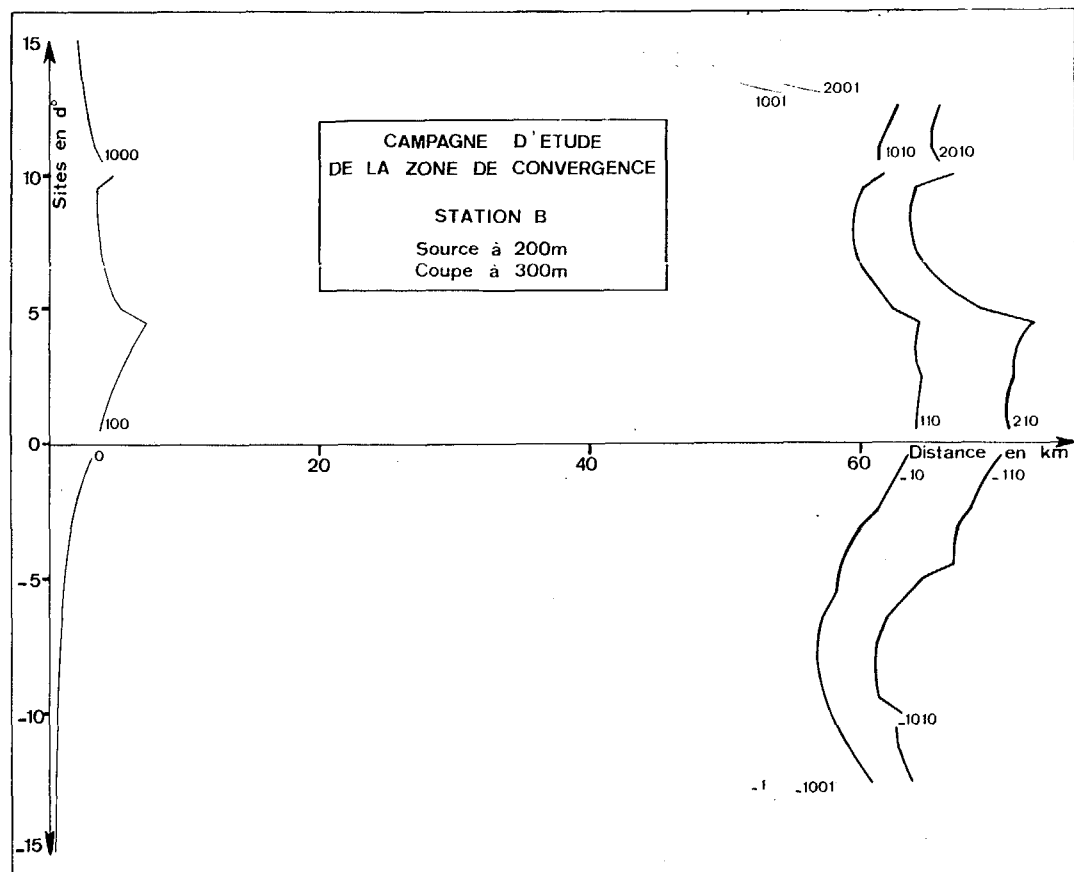


fig.3



# ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

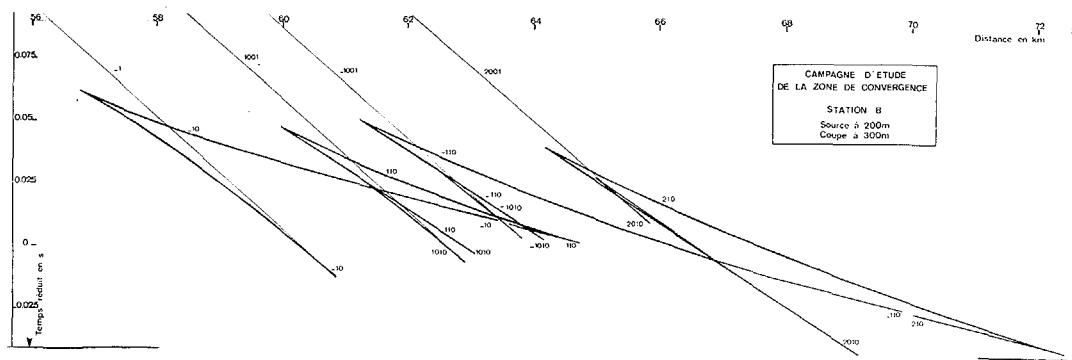


fig. 4



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

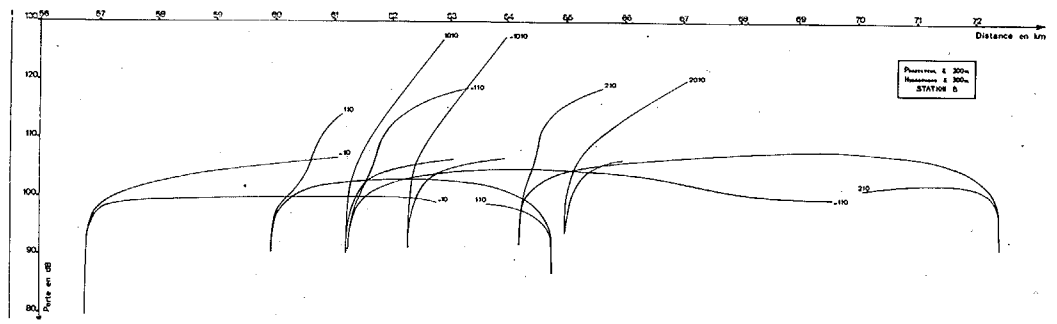


fig.5

## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

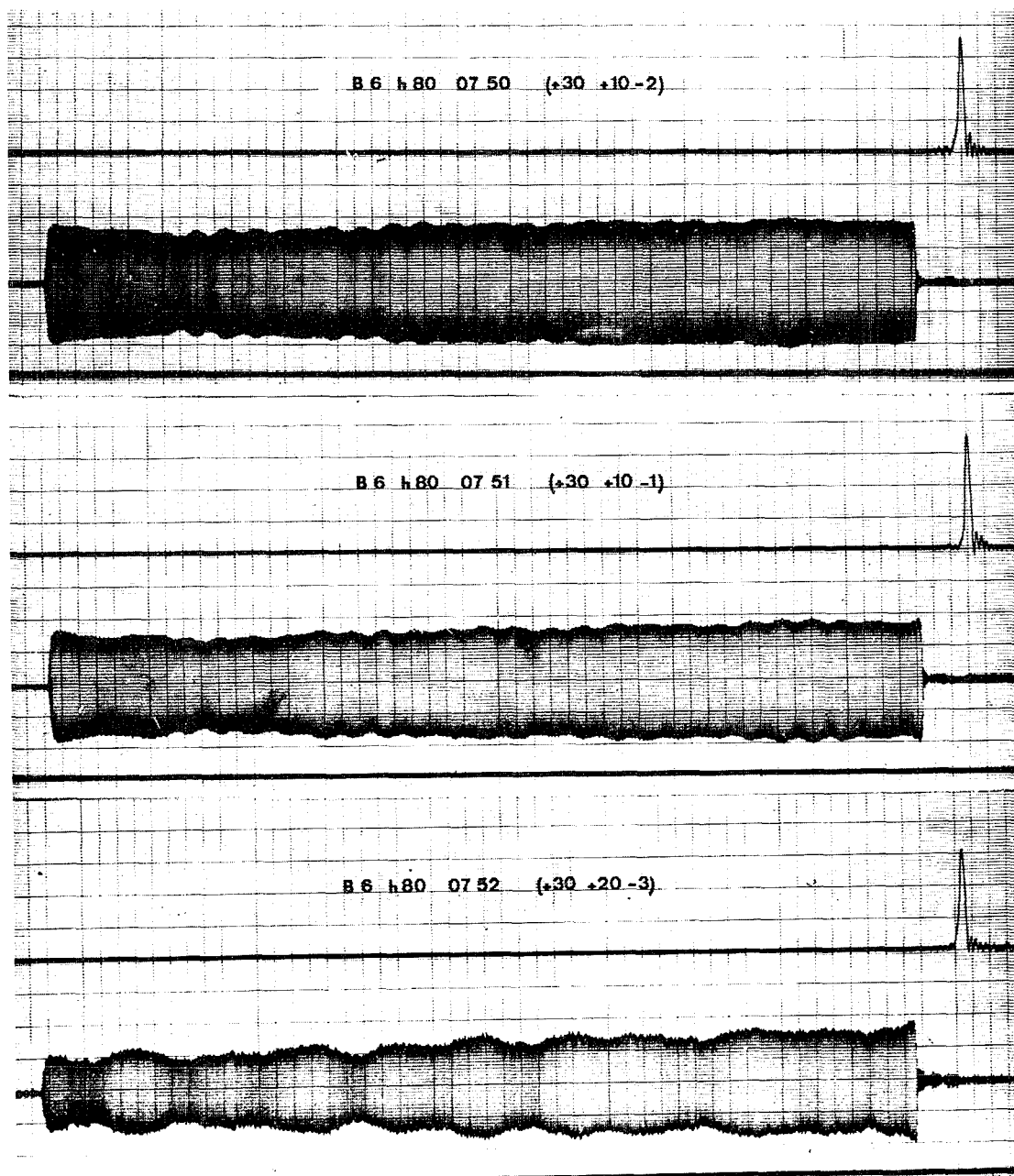


fig. 6



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE, DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

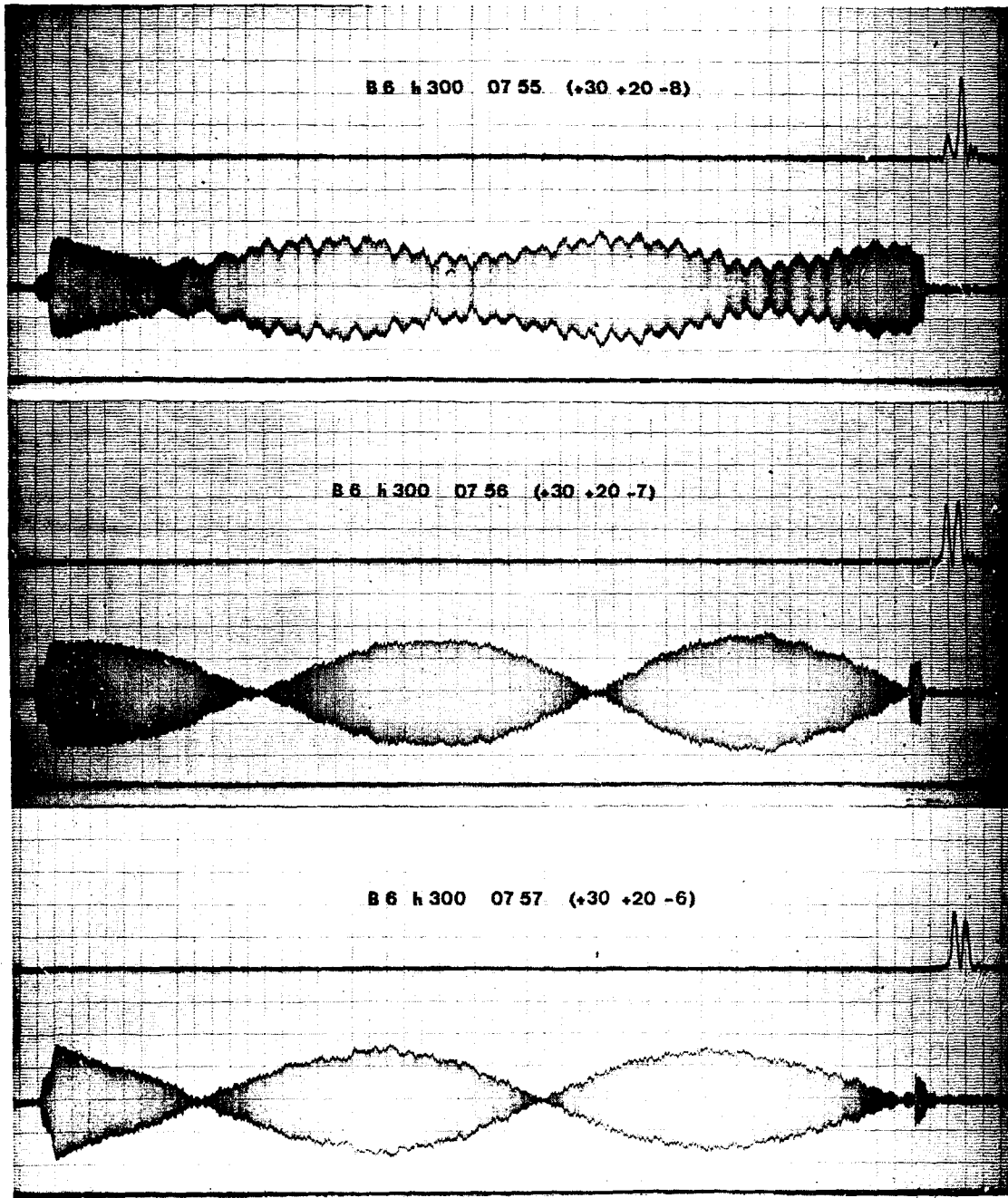


fig. 7

## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

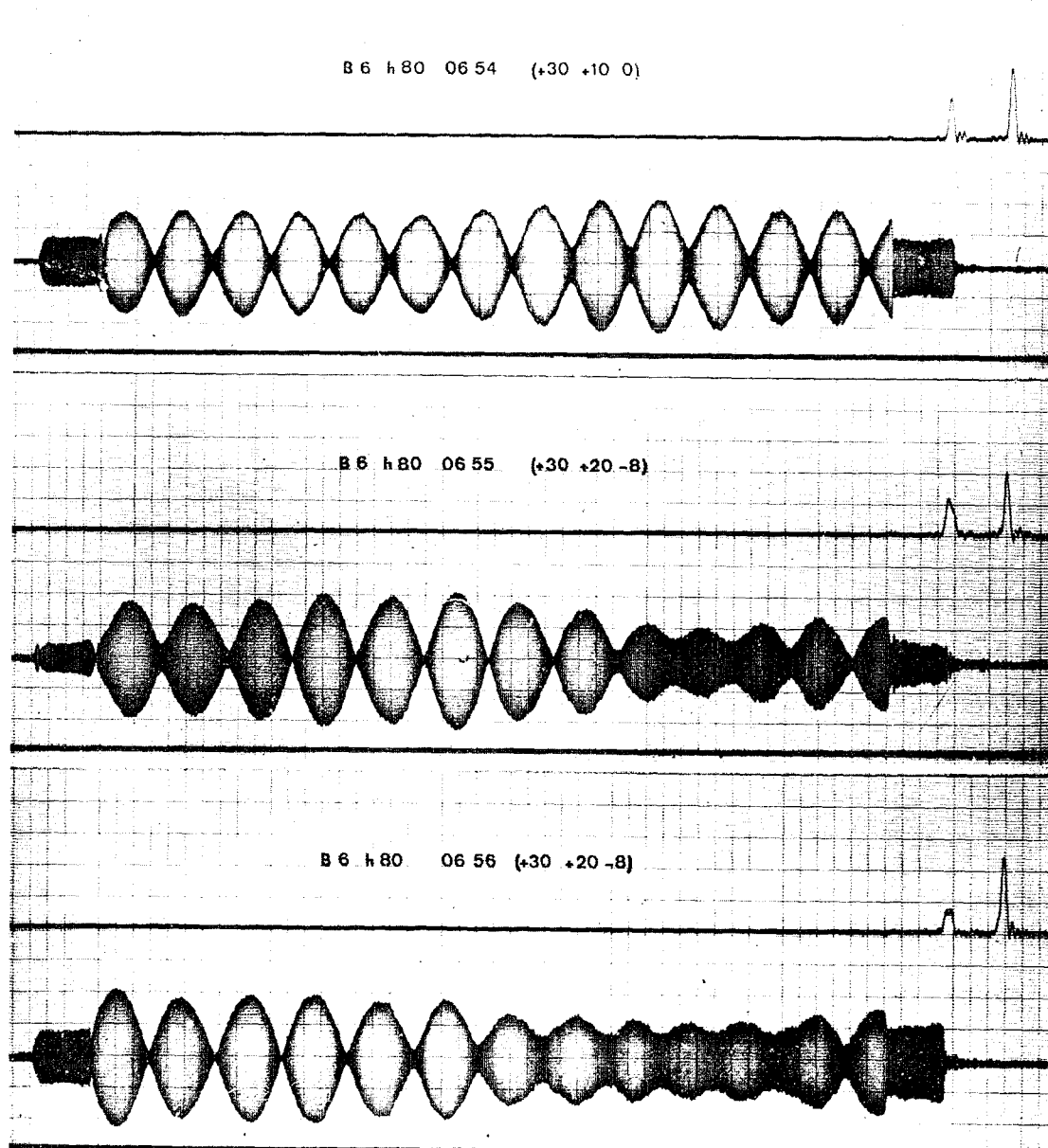


fig.8



## ETUDE DE LA PREMIERE ZONE DE CONVERGENCE ACOUSTIQUE

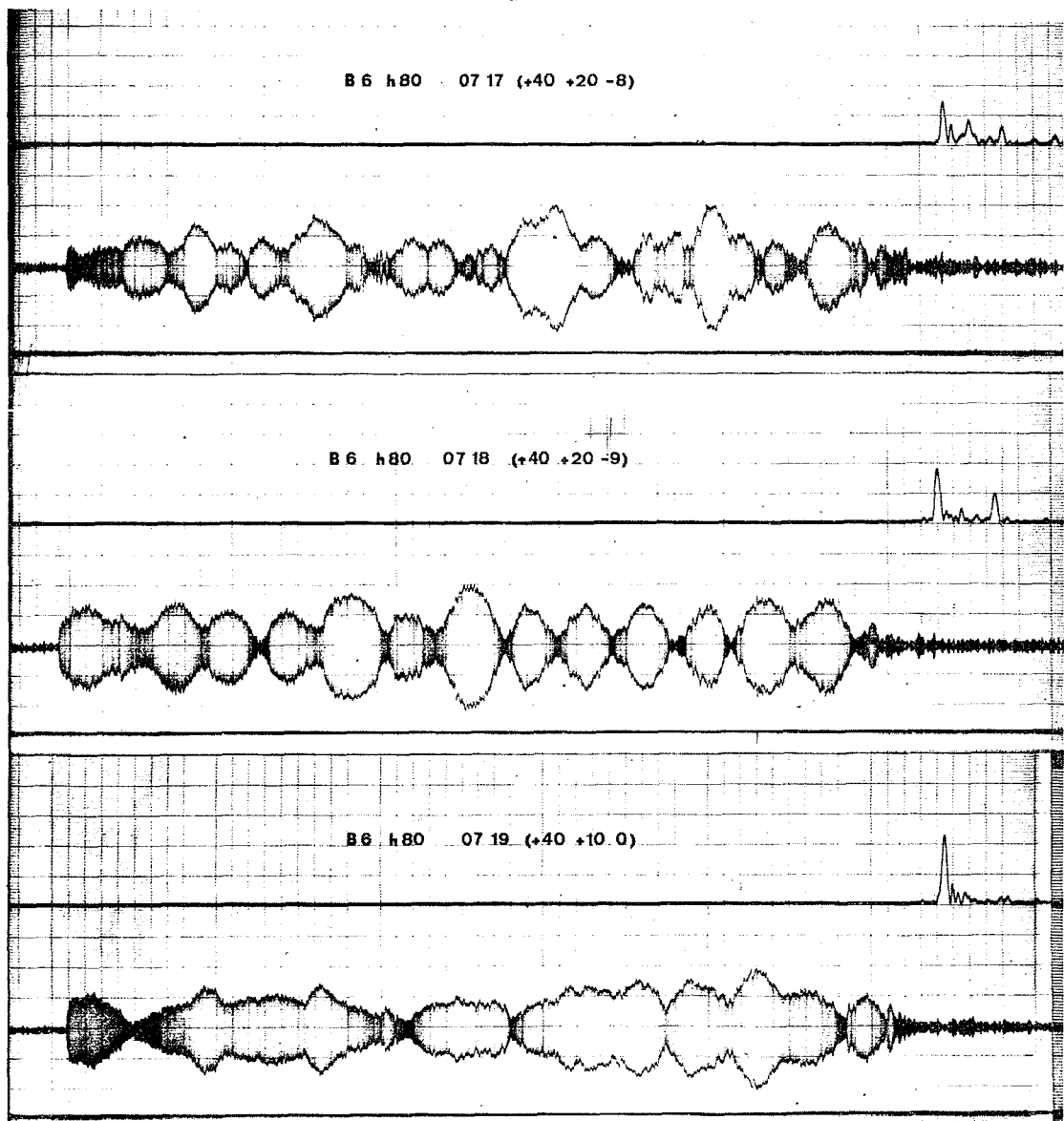


fig. 9