



TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

Nice 1^{er} au 5 juin 1971

PRINCIPE DE L'ETUDE DES COUCHES DIFFUSANTES DU SON EN MILIEU MARIN
QUELQUES RESULTATS EXPERIMENTAUX EN MEDITERRANEE

C. JEANNIN

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

RESUME

Le principe de l'étude des couches diffusantes par sondage vertical est d'abord exposé, puis quelques résultats expérimentaux à 12 kHz en Méditerranée sont présentés. Les connaissances que nous avons sur le milieu marin permettent d'interpréter qualitativement les variations observées, mais montrent que de nombreuses mesures sont nécessaires pour pouvoir déterminer les propriétés statistiques de la réverbération de volume.

SUMMARY

Principles of sound scattering layers study with the aid of an echo-sounder and some results at 12 kHz in the Mediterranean sea are first presented. Our knowledge about the Ocean medium permits us to interpret some of the observed variations but volume backscattering remains a random phenomenon requiring numerous measurements and statistical processing.

PRINCIPE DE L'ETUDE DES COUCHES DIFFUSANTES DU SON EN MILIEU MARIN
QUELQUES RESULTATS EXPERIMENTAUX EN MEDITERRANEE

1.- INTRODUCTION :

La réflexion des ondes acoustiques sur les hétérogénéités du milieu océanique est à l'origine du bruit appelé réverbération de volume sur les sonars ou sondeurs. En l'absence de données quantitatives sur ce phénomène le Laboratoire du Brusca a été chargé d'étudier les caractéristiques de réflexion du son de ces éléments apparaissant sous forme de "couches diffusantes" sur les sondeurs.

2.- MESURE DE L'INDEX DE REVERBERATION DE VOLUME :

2.1.- Définition :

Soient I_i l'intensité d'une onde acoustique plane tombant sur un volume V et I_D l'intensité à 1 mètre de l'onde rétrodiffusée. Nous écrivons que I_D est proportionnelle à I_i et à V avec un coefficient r_v appelé index de réverbération de volume :

$$I_D = I_i \cdot r_v \cdot V$$

d'où en logarithmes :

$$R_v = 10 \log \frac{I_D}{I_i} - 10 \log V$$

L'index r_v est donc égal au rapport des intensités incidentes et rétrodiffusées par un volume unité. Il s'exprime en m^{-3} .

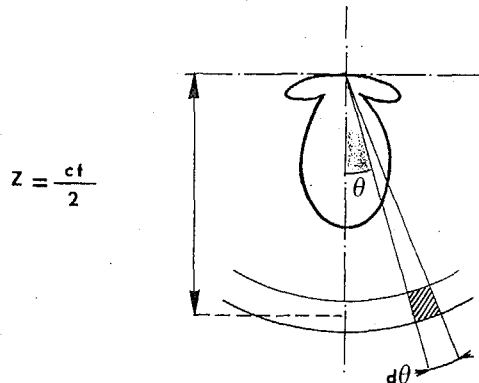


PRINCIPE DE L'ETUDE DES COUCHES DIFFUSANTES DU SON EN MILIEU MARIN
 QUELQUES RESULTATS EXPERIMENTAUX EN MEDITERRANEE

Si l'on suppose que la réflexion des ondes acoustiques se fait sur des réflecteurs de surface efficace σ répartis au hasard dans l'espace insonifié avec une densité moyenne P , l'index de réverbération R_v sera donné par $R_v = 10 \log P + 10 \log \sigma$.

2.2.- Matériel de Mesure :

L'utilisation d'un sondeur vertical sur un bateau en route permet de couvrir rapidement de grandes distances. Si le lobe est suffisamment étroit, la courbure des rayons sonores est très faible et la perte de propagation et le volume insonifié se calculent facilement.



L'intensité $I_R(\theta)$ du signal rétrodiffusé par la couronne hachurée ci-dessus est :

$$I_R(\theta) = I_o \cdot r_v \cdot \pi c t \cdot \frac{1}{Z^2} \cdot e^{-2\alpha Z} \cdot b^2(\theta) \cdot \sin \theta \cdot d\theta$$

et l'intensité totale sera avec $Z = ct/2$

$$10 \log I_R = S + R_v + 10 \log \frac{\pi c t}{2} - 20 \log ct/2 - \beta c t + K$$



PRINCIPE DE L'ETUDE DES COUCHES DIFFUSANTES DU SON EN MILIEU MARIN
QUELQUES RESULTATS EXPERIMENTAUX EN MEDITERRANEE

I_R = intensité acoustique reçue sur le transducteur.

S = $10 \log I_0$ = niveau d'émission dans l'axe en dB/ μ Bar.

τ = durée de l'impulsion émise en secondes.

t = instant de réception en secondes du signal réverbéré avec origine au milieu de l'émission.

c = vitesse moyenne du son sur la colonne d'eau en m/s.

β = coefficient d'amortissement du son en dB/m = 10^{-3} à 12 kHz.

$b(\theta)$ = fonction de directivité du transducteur à l'émission et à la réception.

$K = 10 \log \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} b^2(\theta) \cdot \sin \theta d\theta$ caractérise la direc-

tivité vis-à-vis de la réverbération.

Le niveau électrique v s'en déduit connaissant la sensibilité à la réception S_h et le gain g de la chaîne :

$$20 \log v = 10 \log I_R + S_h + g$$

L'intensité réverbérée est répartie suivant $b^2(\theta) \cdot \sin \theta$ et le volume insonifié limité par les valeurs à 3 dB de cette fonction a pour expression générale :

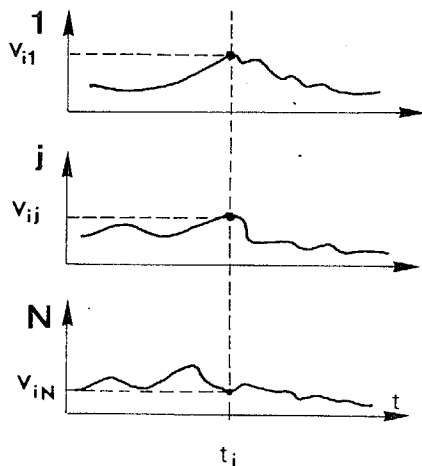
$$V = k \cdot \tau \cdot Z^2$$

PRINCIPE DE L'ETUDE DES COUCHES DIFFUSANTES DU SON EN MILIEU MARIN
 QUELQUES RESULTATS EXPERIMENTAUX EN MEDITERRANEE

Pour le transducteur EDO de directivité 30° à 12 kHz,
 le volume insonifié à 200 mètres avec une impulsion de 10 ms
 sera de 10^5 m^3 .

2.3.- Calcul de l'Index :

Le signal analogique enregistré à bord du bateau est
 détecté et échantillonné en laboratoire. L'index de réver-



bération est calculé à partir de la
 moyenne $\langle v_i^2 \rangle$ des carrés des ten-
 sions mesurées sur N impulsions
 consécutives et les fluctuations sont
 caractérisées par le coefficient de
 variation calculé par :

$$\gamma = \sqrt{\frac{N}{N-1} \left[\frac{\langle v_i^2 \rangle}{(\langle v_i \rangle)^2} - 1 \right]}$$

$$\text{avec } \langle v_i \rangle = \frac{\sum_{j=1}^N v_{ij}}{N}$$

$$\text{et } \langle v_i^2 \rangle = \frac{\sum_{j=1}^N v_{ij}^2}{N}$$

et l'expression de l'index de la courbe réverbérante située

$$\text{à l'immersion } Z_i = \frac{c t_i}{2}$$



PRINCIPE DE L'ETUDE DES COUCHES DIFFUSANTES DU SON EN MILIEU MARIN
 QUELQUES RESULTATS EXPERIMENTAUX EN MEDITERRANEE

sera :

$$R_{v_i} = G + 10 \log \langle v_i^2 \rangle + 20 \log t_i + \beta c t_i$$

la correction de perte par divergence : $20 \log t_i$ est faite par le calculateur et la grandeur G tient compte de l'énergie émise et du gain de la chaîne de réception.

3.- MESURES :

Nous rappellerons les résultats déjà exposés en référence (1). Les fluctuations du niveau réverbéré peuvent être classées suivant leur période en :

Fluctuations instantanées dues à l'addition aléatoire des contributions des diffuseurs répartis dans le volume insonifié. Si la durée de la mesure ne dépasse pas quelques minutes pendant lesquelles le milieu peut être considéré comme stable, le bruit de réverbération est quasi-stationnaire. Les amplitudes v_{ij} mesurées au même instant t_i après chacune des N émissions sont alors distribuées suivant une loi de RAYLEIGH références (2 et 3).

La densité de probabilité de l'amplitude a est :

$$P(a) = \frac{a}{A^2} \cdot e^{-\frac{a^2}{2A^2}} \cdot da$$

où A est la valeur la plus probable qui doit être déduite de

la moyenne quadratique par $A^2 = \frac{\langle v_i^2 \rangle}{2}$.



PRINCIPE DE L'ETUDE DES COUCHES DIFFUSANTES DU SON EN MILIEU MARIN
QUELQUES RESULTATS EXPERIMENTAUX EN MEDITERRANEE

Pour tester les propriétés statistiques du signal réverbéré nous avons choisi de calculer le coefficient de variation qui est représenté sur la Figure (1) à côté des courbes d'index obtenues avec des nombres et durées d'impulsions différentes.

Ce coefficient de variation a été trouvé voisin de 0,52 au-dessous de 150 mètres le jour (nombre suffisant de diffuseur) et les histogrammes tracés en laboratoire confirment une densité de probabilité de RAYLEIGH.

Un profil de réverbération à un instant donné sera donc obtenu en faisant la moyenne sur N échantillons. Pour concilier les impératifs de précision et rapidité de la mesure, N a été choisi égal à 12 donnant une probabilité de 98 % de trouver l'index calculé à l'intérieur d'une fourchette de 6 dB centrée sur la valeur réelle et une durée de mesure inférieure à une minute (cadence de sondage maximum de 5 secondes). La valeur la plus probable R_{vp} se déduit de la valeur R_v calculée par $R_{vp} = R_v - 3$.

Evolution journalière :

Sur la Figure (2) la juxtaposition des courbes ainsi obtenues fait apparaître le phénomène de migration avec une période fondamentale de 24 heures liée au cycle solaire.

La remontée dans l'après-midi d'une partie des diffuseurs de la couche intermédiaire se termine régulièrement au coucher du soleil. Les diffuseurs semblent alors s'adapter à l'éclaircissement ambiant pour devenir sensibles à de faibles variations dues à la lune. La descente le matin dépend des conditions météorologiques. Les migrations de la couche profonde sont très irrégulières.



PRINCIPE DE L'ETUDE DES COUCHES DIFFUSANTES DU SON EN MILIEU MARIN
QUELQUES RESULTATS EXPERIMENTAUX EN MEDITERRANEE

Variations saisonnières et spatiales :

Sur la Figure (3) sont portées quelques courbes caractéristiques relevées de Janvier à Juin : de jour vers 14 heures et au début de la nuit. Sauf lors de circonstances météorologiques exceptionnelles comme en Mars où la répartition des couches est bouleversée, le milieu réverbérant apparaît stratifié avec le jour une couche superficielle au-dessous de la surface maximum en Octobre, une couche intermédiaire vers 300 à 400 mètres maximum au printemps et une couche profonde vers 700 à 1000 mètres.

Les différences en immersion et épaisseur entre les couches peuvent être expliquées par les variations d'éclairement entre Janvier et Juin, les diffuseurs descendant plus bas en été lors de leur migration diurne. La nuit l'intervalle entre les deux premières couches est comblé par les éléments migrants.

A l'intérieur de la zone d'expérimentation aucune différence n'a été remarquée d'un point à l'autre.

4.- INTERPRETATION DES RESULTATS :

Ces résultats peuvent être expliqués en supposant une origine particulière à la réverbération de volume.

Pour un temps de mesure de l'ordre de la minute le produit "nombre de diffuseurs" x "surface efficace" = $(P.V) \sigma$ est constant et les contributions individuelles s'ajoutent avec des phases aléatoires. Le signal réverbéré peut être considéré comme quasi stationnaire avec une distribution d'amplitude de RAYLEIGH.



PRINCIPE DE L'ETUDE DES COUCHES DIFFUSANTES DU SON EN MILIEU MARIN
QUELQUES RESULTATS EXPERIMENTAUX EN MEDITERRANEE

Les variations des paramètres physiques et principalement de l'éclairement provoquent la migration d'une partie des diffuseurs dont le nombre total dans la colonne d'eau peut être supposé constant à l'échelle de la journée. Ceci nous conduit à étudier les variations de l'index moyen sur une tranche déterminée ou entre la surface et le fond. Les résultats supposent pour être significatifs que la surface efficace soit indépendante de l'immersion ce qui n'est pas le cas pour des réflexions sur les poches de gaz de certains poissons. Ce type de réflexion explique aussi des variations avec la fréquence pouvant atteindre 20 dB/Octave comme cela a été observé en Méditerranée avec le Sondeur à Fréquence Variable.

La surface efficace σ d'une telle poche supposée sphérique de rayon R est donnée en fonction de la fréquence f référence (3) par :

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{\left(\frac{f_0^2}{f^2} - 1\right)^2 + \frac{1}{Q^2}}$$

$\sigma_0 = 4\pi R^2$ est la surface de la sphère.

$f_0 =$ est la fréquence de résonance proportionnelle à la racine carrée de la pression hydrostatique et à l'inverse du rayon R .

$Q =$ est le coefficient de surtension de la poche, limité à 5 par les tissus du poisson.

A l'échelle des temps supérieure à quelques minutes on ne peut donc pas trouver de grandeur stationnaire pour caractériser la réverbération de volume.



PRINCIPE DE L'ETUDE DES COUCHES DIFFUSANTES DU SON EN MILIEU MARIN
QUELQUES RESULTATS EXPERIMENTAUX EN MEDITERRANEE

Une détermination des lois de variation de l'index supposerait la connaissance des caractéristiques de tous les organismes du milieu marin : densité, pouvoir réflecteur, dépendance directe ou indirecte avec l'environnement, ce qui n'est pas le cas actuellement, aussi devons nous faire une approche statistique et pour cela accumuler les observations.

5.- CONCLUSIONS :

Les observations et mesures de réverbération de volume ont montré qu'elle pouvait être considérée comme quasi-stationnaire en Méditerranée, ce qui permet de calculer un index moyen à un instant et immersion donnés. L'index ainsi défini reste, dans l'état actuel de nos connaissances du milieu, une grandeur aléatoire nécessitant une approche statistique. Un grand nombre de mesures sera donc nécessaire avant de pouvoir prédire le phénomène et influencer le choix des caractéristiques d'un système.



PRINCIPE DE L'ETUDE DES COUCHES DIFFUSANTES DU SON EN MILIEU MARIN
QUELQUES RESULTATS EXPERIMENTAUX EN MEDITERRANEE

BIBLIOGRAPHIE

[1]

C. JEANNIN

"Mesures de réverbération de volume à 12 kHz en Méditerranée et caractéristiques d'un sondeur remorqué à fréquence variable".

"International Symposium on Biological Sound Scattering in the Ocean", WASHINGTON USA 31 March - 2 April.

[2]

J.Y. JOURDAIN

"Propriétés statistiques monodimensionnelles et bidimensionnelles des échos de réverbération, application à la réverbération de surface pour deux types d'émission".

Deuxième Colloque sur le Traitement du Signal et ses Applications, NICE du 05 au 10 Mai 1969.

[3]

V.V. OL'SHEVSKII

Soviet Physics Acoustics Vol. 9 N° 4 April-June 1964

[4]

J.R. URICK

"Principles of Underwater Sound for Engineers".

M^c Graw-Hill Book Company - 1967.



PRINCIPE DE L'ETUDE DES COUCHES DIFFUSANTES DU SON EN MILIEU MARIN QUELQUES RESULTATS EXPERIMENTAUX EN MEDITERRANEE

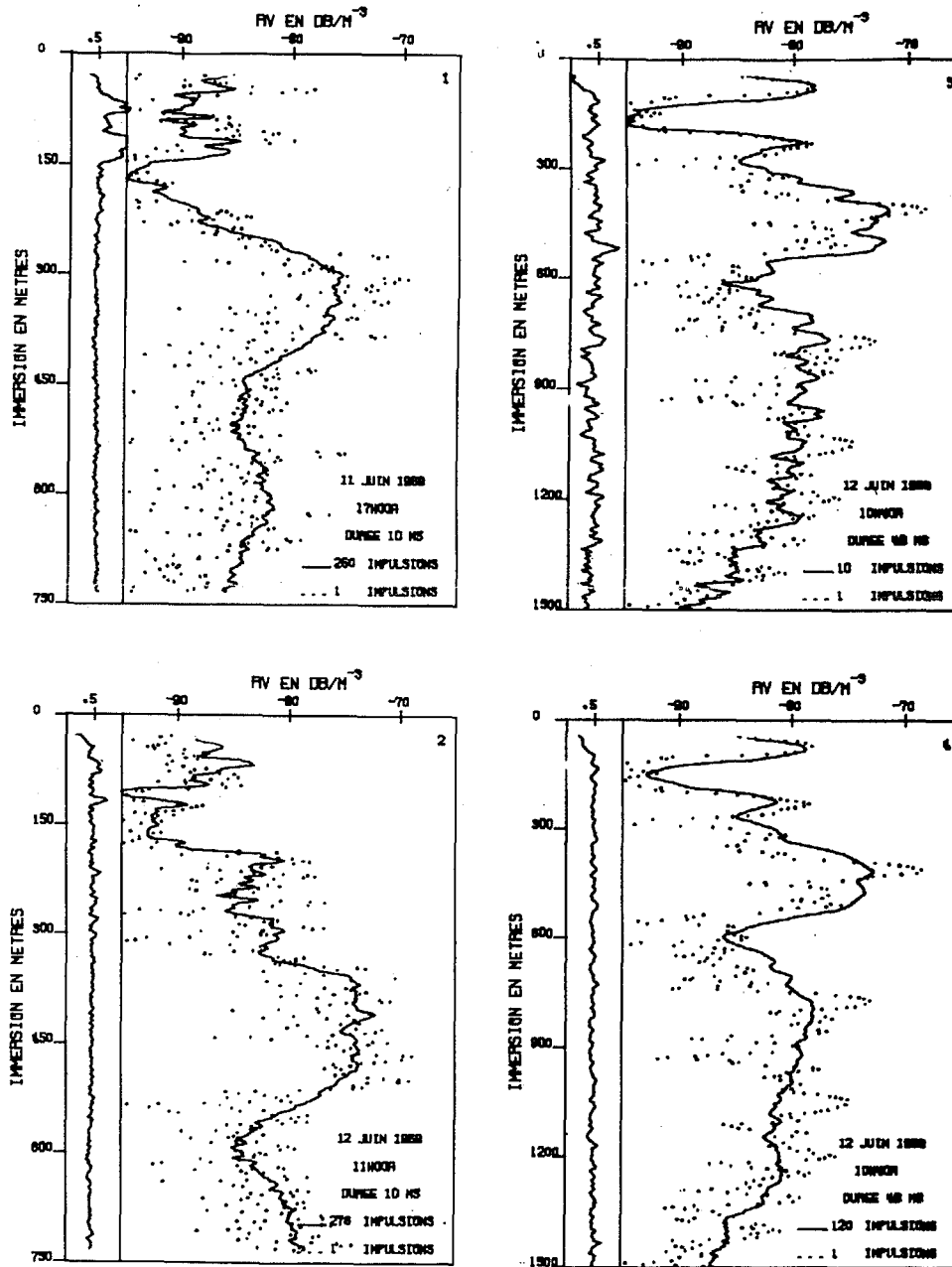


FIG.1

INDEX DE REVERBERATION DE VOLUME ET COEFFICIENT DE VARIATION

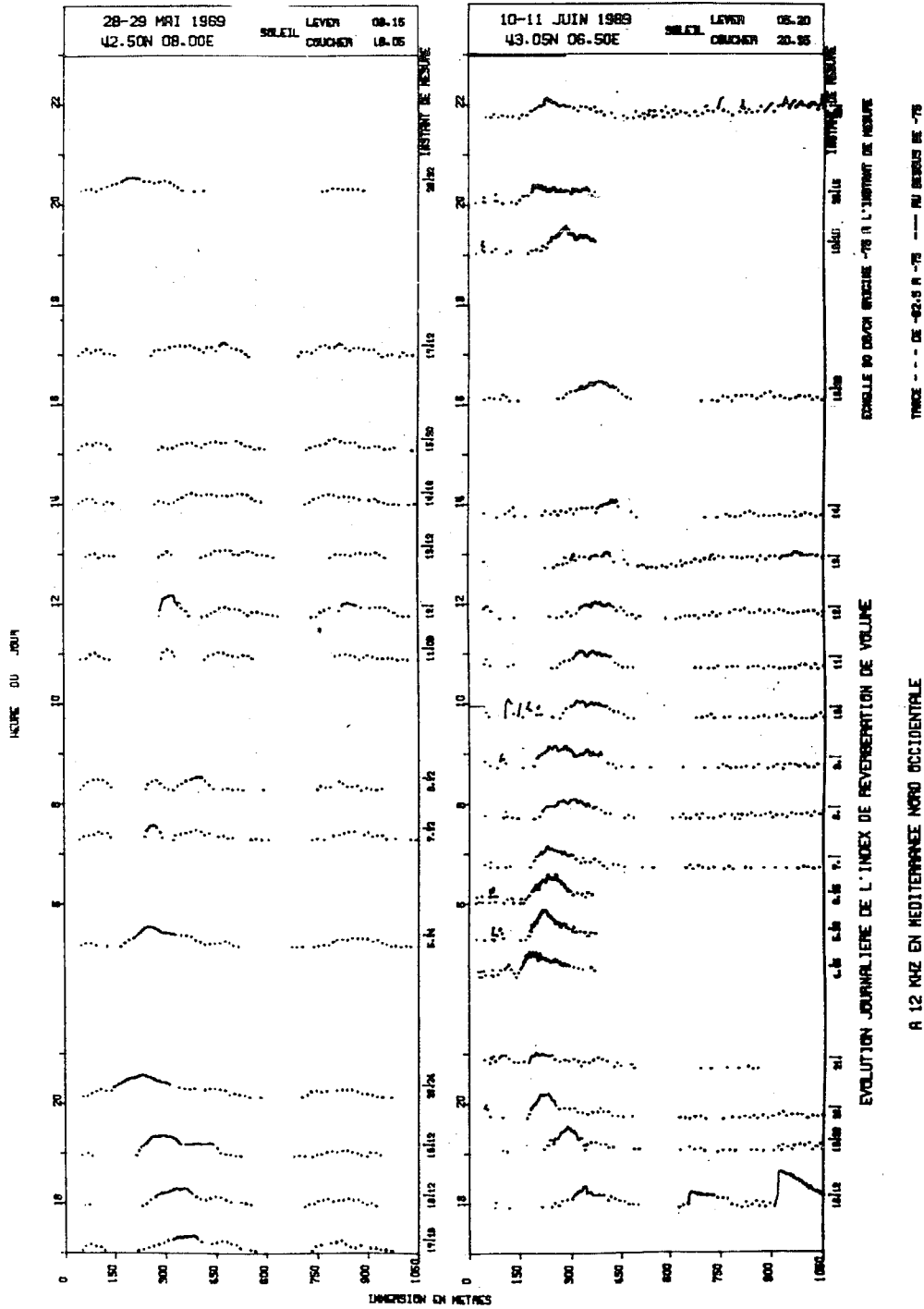
EN FONCTION DE L'IMMERSION

FREQUENCE: 12KHZ ZONE: NORD MEDITERRANEE OCCIDENTALE



PRINCIPE DE L'ETUDE DES COUCHES DIFFUSANTES DU SON EN MILIEU MARIN
 QUELQUES RESULTATS EXPERIMENTAUX EN MEDITERRANEE

FIG. 2





PRINCIPE DE L'ETUDE DES COUCHES DIFFUSANTES DU SON EN MILIEU MARIN
QUELQUES RESULTATS EXPERIMENTAUX EN MEDITERRANEE

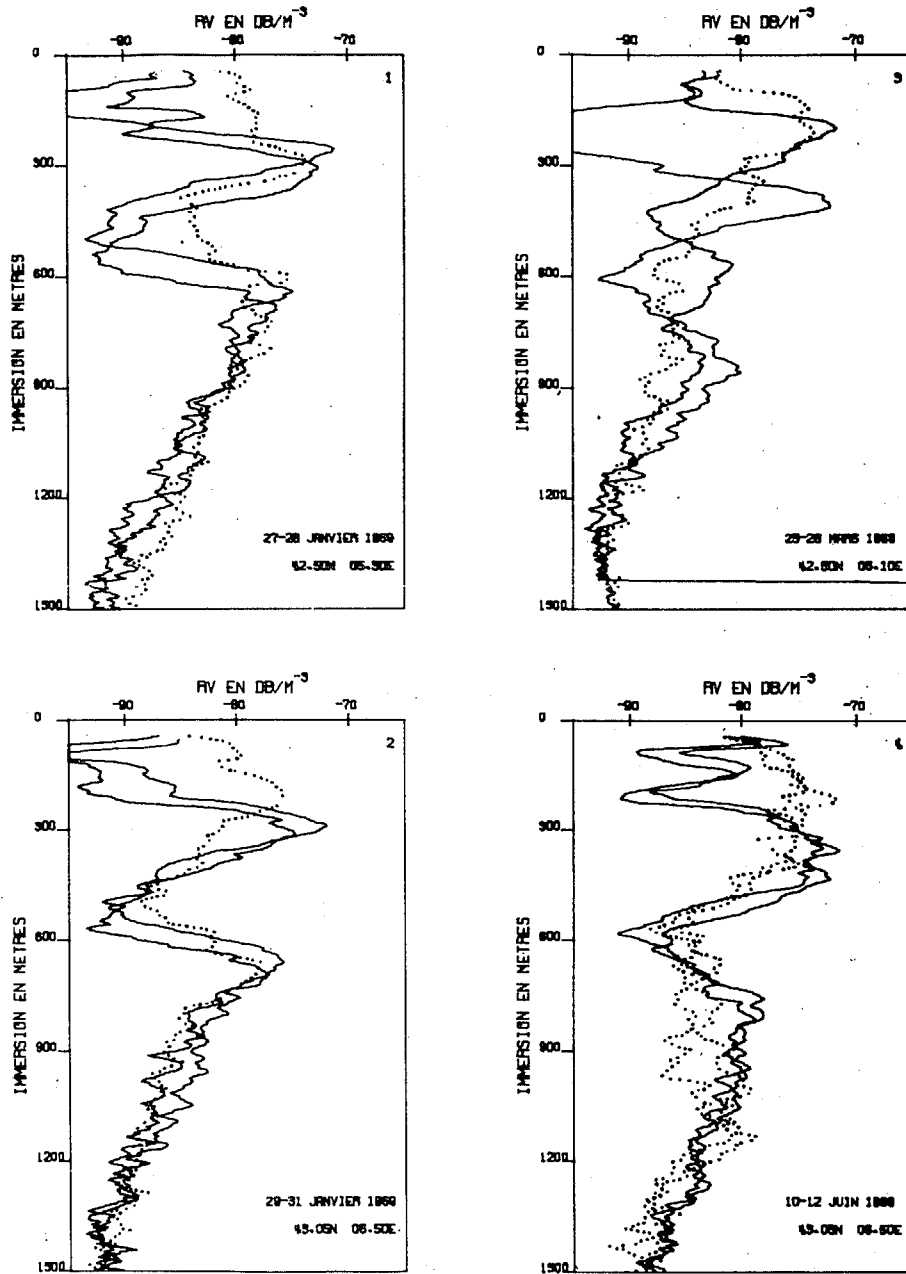


FIG. 3

VARIATION SAISONNIERE DE L'INDEX DE REVERBERATION DE VOLUME A 12 KHZ

EN MEDITERRANEE NORD OCCIDENTALE

— MESURES DE JOUR - - - MESURES DE NUIT