

TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

Nice 7 au 12 mai 1973

DESCRIPTION ET MISE EN OEUVRE D'UNE BASE
DE TRIANGULATION DESTINEE A L'ETUDE EN MER
DES SIGNAUX ACOUSTIQUES DE DAUPHINS.

- premiers résultats -

par A.DZIEDZIC* et J.C.LEVY**

RESUME

L'étude des émissions acoustiques des Delphinidés nécessite la disposition de moyens de contrôle efficaces de l'animal par l'expérimentateur.

On décrit ici une enceinte acoustiquement neutre, placée en pleine mer et dans la quelle est maintenu un dauphin. Cette enceinte est facilement accessible à l'expérimentateur ainsi que la base de triangulation qui lui est associée.

Un programme de localisation de l'animal par réception passive de ses émissions SONAR a été établi, sa mise en oeuvre, limitée par la directivité de ces émissions, est facilitée par l'utilisation des échos de surface.

SUMMARY

The Analysis of signals emitted by Delphinids requires a well defined communication channel.

A floating pool is described which can be used to record SONAR signals emitted by Mammals and locate the animals. This is done by a computing system.

Influence of high frequency emission pattern and surface echoes are studied during location operations.

* Laboratoire de physiologie acoustique-INRA 78350
JOUY EN JOSAS--ERA CNRS N° 332
** CERPA . . . - 83 Toulon Naval

DESCRIPTION ET MISE EN OEUVRE D'UNE BASE DE
TRIANGULATION DESTINEE A L'ETUDE EN MER DES SIGNAUX
ACOUSTIQUES DES DAUPHINS.

Premiers résultats

Albin DZIEDZIC

Laboratoire de Physiologie Acoustique de l'INRA

Jean Claude LEVY

Centre d'Etudes et de Recherches en Psychologie appliquée

TOULON Na al.



THE G. LALLO - APPEL QUEE L'X EM SS O'S

SOMMAIRE DES CHAPITRES

I - INTRODUCTION

Le dispositif décrit ici est destiné à la maintenance, dans les meilleures conditions possibles de captivité, de petits délinquants récemment capturés et servir à la réception de leurs émissions acoustiques. La propagation des signaux n'est pas influencée par la présence de l'enceinte et les données recueillies permettent, en principe, le positionnement de l'animal-metteur. Ce dispositif a été expérimenté en 1971 lors d'une campagne en mer. (1)

II - DESCRIPTION ET INTERET DU DISPOSITIF

II.1. Enceinte de travail

L'enceinte est constituée par trois bordins gonflables de longueur unitaire de 8 m et 40 cm de diamètre, analogues à ceux utilisés pour la fabrication des embarcations pneumatiques du type ZODIAC. Assemblés rigidement, ils constituent une base flottante, triangulaire, équilatérale. Un filet de nylon à larges mailles (5 x 5 cm) est attaché aux ralingues de cette base, formant un enclos triangulaire de 8 m de côté, et limité en profondeur à 9 m par un filet horizontal de même nature (Fig.1).

(1) Navire Océanographique "CALYPSO"

TRIANGULATION APPLIQUÉE AUX ÉMISSIONS

SONAR DES DAUPHINS

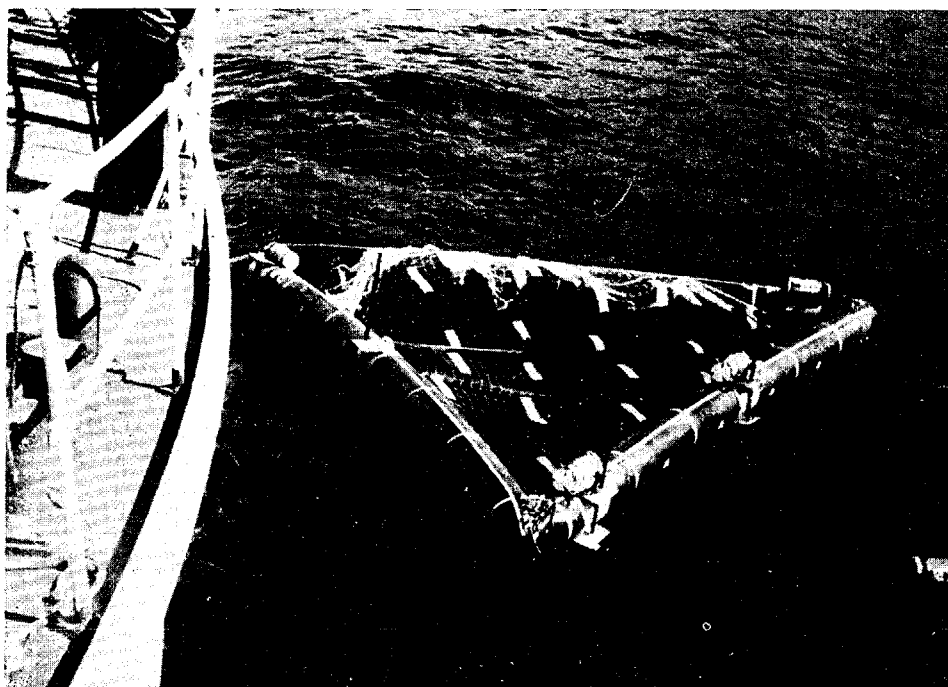


FIG. 1. Vue de la base de travail

II-2. Ensemble de réception acoustique

Trois chaînes hydrophoniques sont disposées une à chaque sommet de la base ; dans l'expérience citée, elles étaient immergées à 1,5 m et leurs distances respectives étaient de 7,5 m suivant les côtés d'un triangle équilatéral horizontal. Une quatrième chaîne dite : "de profondeur" était disposée de manière à constituer avec 2 des précédentes un triangle équilatéral de mêmes dimensions que le précédent, mais vertical. Un container étanche, associé à chaque chaîne



FRANÇAIAT OÙ APPLIQUÉE AUX ÉMISSIONS

SOFAR DES DAUPHINS

de réception était fixé sur les boudins ; il comprenait un amplificateur correcteur d'attaque d'un émetteur à modulation de fréquence de 30 kHz de bande passante , et d'une puissance d'antenne de 1 W. Les 4 antennes d'émission, du type parapluie, étaient fixées à des mats en fibre de verre de hauteurs inégales, comprises entre 2 et 4 m. (Fig 2).

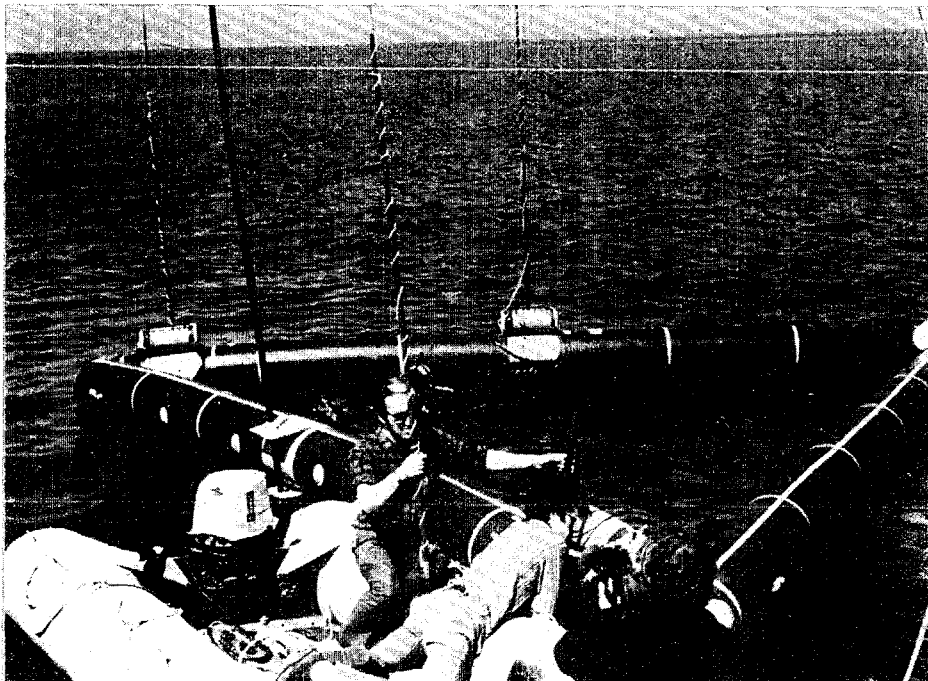


Fig. 2 Mise en place des antennes d'émission.
Les ossements électroniques de prise de son et d'émission sont enfermés dans les containers fixés au pied de chaque antenne, sur les boudins.

- TRIANGULATION APPLIQUEE A-X EMISSIONS

SONAR DES DAPPIERS

Les ensembles de sources d'énergie nécessaires à chaque chaîne hydrophonique et à son émetteur étaient également enfermés dans les containers. Les hydrophones utilisés étaient du type LC10 et LC32 (Atlantic Research) leurs bandes passantes sont comprises entre 80 et 100 KHz et leurs sensibilités horizontales, comprises entre - 80 et - 90 dB, ref. V./barye. La prise de son pouvait donc être faite soit en direct, l'émetteur coupé, la sortie de chaque amplificateur à large bande étant reliée directement à l'entrée d'un magnétophone multipistes type EPI-2 (Schlumberger) ; soit par transmission FM ; la réception se faisant à bord du bateau mère avec un récepteur du type ARR 52 - Dans notre utilisation la distance maximale de réception était de l'ordre de 10

II-3. Intérêt du dispositif

L'enceinte de travail que constitue la base est suffisamment volumineuse pour permettre l'évolution aisée de 1 ou même plusieurs delphinidés de petite taille. En particulier elle assure la meilleure adaptation possible à la captivité des animaux - en leur évitant un séjour traumatisant dans des baignoires de transport embarquées. Certaines observations comportementales et expériences de diverses natures peuvent également y être réalisées et notamment,

sur le SONAR animal et les systèmes de communication qui s'effectuent alors dans de bonnes conditions de propagation. L'ensemble de prise de son permet aussi, du moins en principe, le positionnement exact de l'animal émetteur par triangulation. Le procédé de triangulation est largement employé aussi bien dans les applications militaires (1) que civiles (2) et nous ne nous y attarderons pas. Dans notre système, la particularité réside notamment dans le fait que la source à positionner est localisée à l'intérieur de l'en-



ceinte. La connaissance précise de la position de l'animal émetteur par rapport aux récepteurs est une donnée fondamentale dans les études sur les émissions acoustiques des delphinidés elle justifie à elle seule l'emploi de la triangulation.

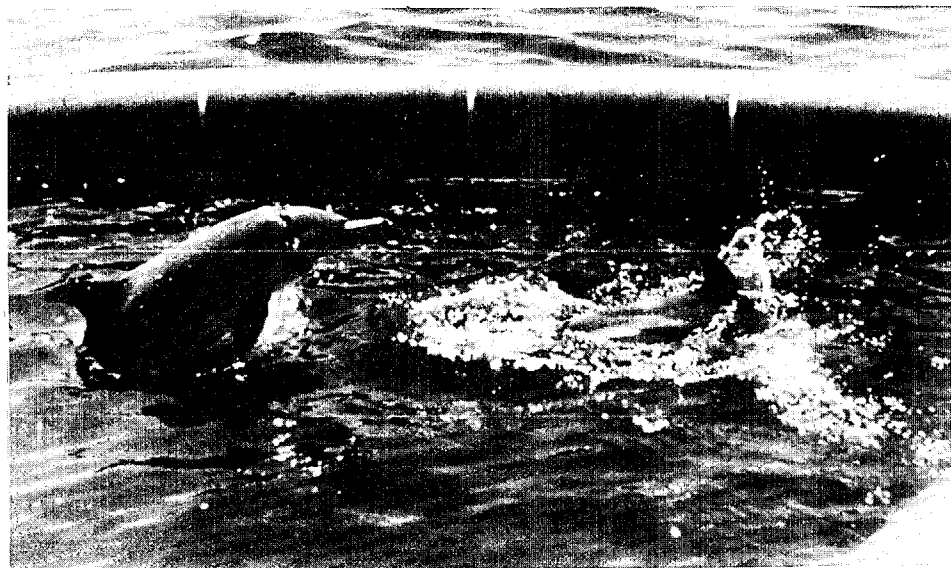


Fig.3

III - RESULTATS

Plus de vingt animaux ont été capturés pendant la mission effectuée au large de Malaga. Il s'agissait notamment appartenant aux espèces *Delphinus Delphis* et *Stenella Styx* très répandues dans cette région.

Il convient de signaler que malgré les précautions prises lors de la capture des *S. Styx* et dans leurs manipulations ces derniers devenaient par suite de chocs émotifs inaptes à toute expérimentation. Ils ont dû être remis en liberté et ont retrouvé leurs réactions normales. Par contre les *Delphinus Delphis* se sont pour la plus part parfaitement adaptés à leur captivité (qui n'a été d'ailleurs que passagère). Leur comportement a semblé parfaitement normal ce dont peuvent donner une idée les photographies des figures 3 et 4.



TRANSLATION APPLIQUEE AUX EMISSIONS

SONAR DES DAUPHINS

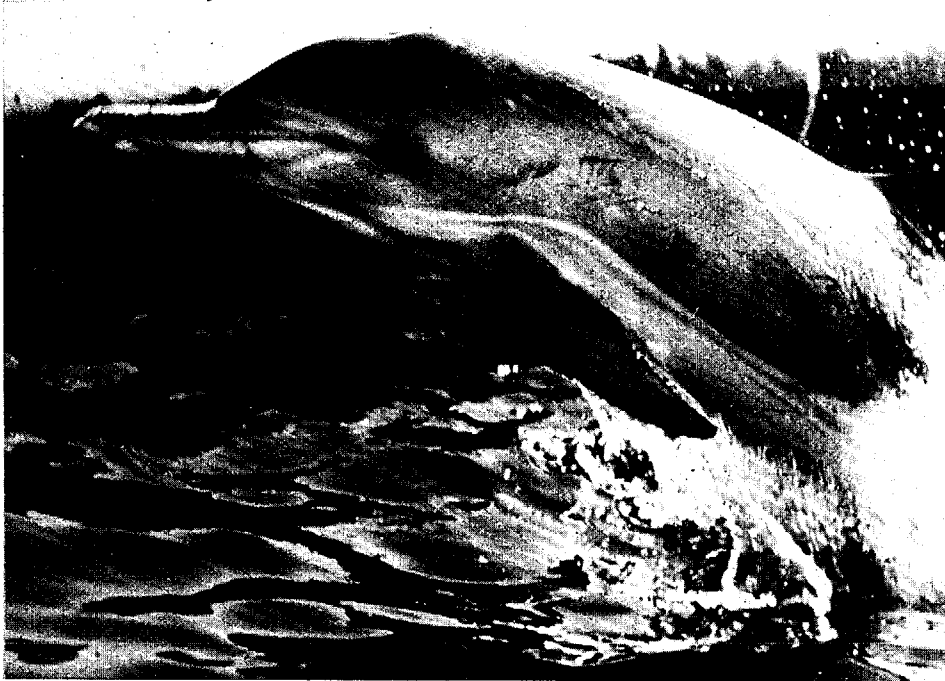


Fig. 4 : Les figures 3 et 4 donnent une idée de la bonne adaptation d'un D. delphis à la captivité.

Nous avons donc tenté quelques expériences avec ces animaux et notamment une étude de leurs signaux sonar. Les documents recueillis sont de bonne qualité. Ils sont en cours d'étude et nous ne pouvons présenter ici que des résultats préliminaires. Nous présentons d'une part quelques résultats sur le positionnement de l'animal captif au cours de ses déplacements à l'intérieur de la base, à l'aide du procédé décrit en annexe 2 et d'autre part une étude analytique des signaux émis en phase sonar actif, l'animal étant alors aveuglé temporairement avec des coupelles de caoutchouc.



TRIANGULATION APPLIQUEE AUX EMISSIONS

SONAR DES DAUPHINS

III-1. Repérage de l'animal par triangulation

Nous avons établi un programme de localisation de l'animal point par point à partir de ses émissions. Les écarts temporels entre les réceptions des clicks sur les 4 voies hydrophoniques sont déterminé par intercorrélation.

Le procédé de calcul utilisé, (par approximations successives), s'apparente en quelque sorte à une poursuite en forme de "courbe de chien", chaque point approximé servant de départ au calcul du point suivant. Le principe de ce calcul est détaillé dans l'annexe 1.

Il convient de souligner que la validité de ce procédé, compte tenu de l'ensemble de réception décrit, se trouve fréquemment mise en défaut. En effet, de par son principe, une localisation nécessite la connaissance des écarts temporels entre 4 voies hydrophoniques au minimum. Or, du fait de la directivité très prononcée des émissions à large bande des dauphins (3) certains récepteurs peuvent, suivant les évolutions de l'animal, se trouver en dehors de la zone accessible aux émissions ; ils ne donnent en conséquence qu'une réponse nulle ou tout au moins très difficilement détectable, d'autant plus que pour l'instant l'emploi d'un filtre adapté aux émissions du D. delphis est encore à l'état de projet. La figure 5 donne un exemple d'une brève séquence d'émission reçue sur 3 voies hydrophoniques; le film de la séquence sur la 4^e voie n'ayant pas été tiré car dans ce cas aucun signal n'a été détecté. Un autre phénomène, lié lui aussi à la directivité de l'émission vient dans certains cas rendre inopérante la triangulation. En effet, le programme de poursuite utilise les écarts temporels entre signaux directs sur chaque voie ; or, il peut arriver, pour certaines positions de l'animal, que ceux-ci soient "négligeables" par rapport aux échos de surface qui sont reçus avec des intensités beaucoup plus fortes que les signaux directs, ce qui évidemment complique beaucoup la détermination des écarts temporels.

TRIANGULATION APPLIQUEE AUX EMISSIONS

SONAR, DES DAUPHINS

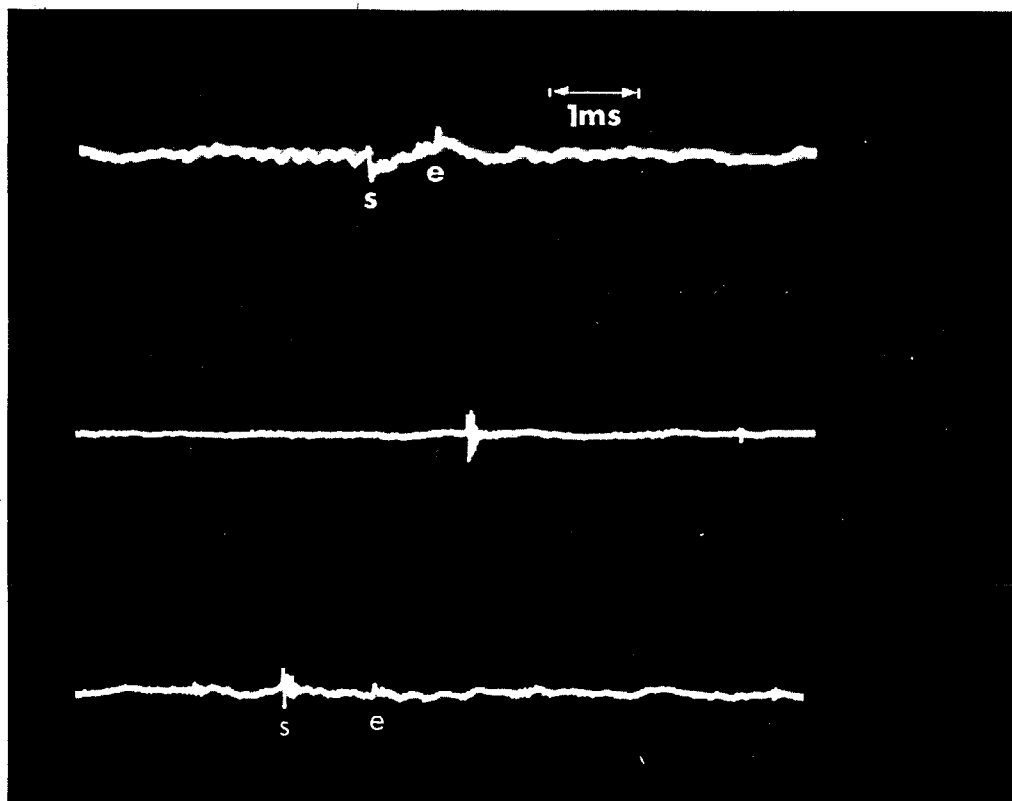


Fig. 5 : Oscillogrammes d'une même émission d'écholocation d'un D. delphis, reçue sur 3 voies de la base de triangulation. Ce signal, du fait de la directivité de l'émission, n'a pas été capté par la 4^{ème} voie, (s : signal ; - e : écho de surface correspondant).



TR ANGULATION APPLI QUEE AUX EMISSIONS

SONAR DES DAUPHINS

Toutefois, la présence des échos de surfaces (Fig 6) peut dans de nombreux cas faciliter les calculs pour la localisation de l'animal.

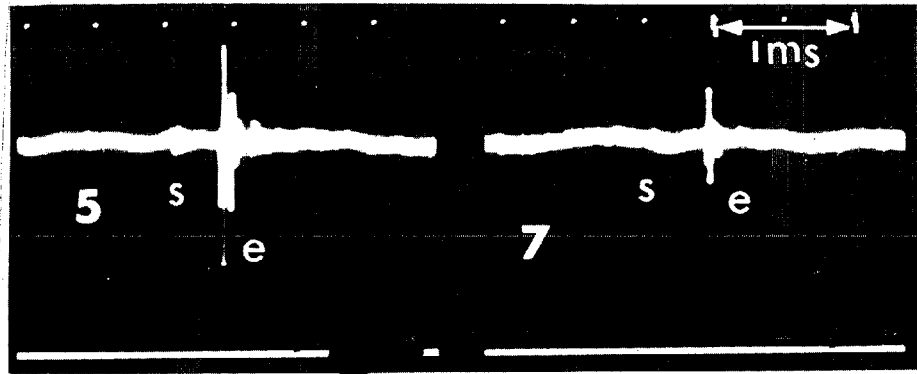


Fig. 6 : Oscillogrammes d'une émission d'écholocation de D. delphis, telle qu'elle apparaît sur 2 voies de réception, l'écho de surface (e), étant notablement plus intense que le signal (s), lui-même à peine perceptible sur le tracé 7

En effet, si l'on considère les échos de surface comme des signaux directs reçus par des hydrophones virtuels, la localisation devient possible avec une simple paire d'hydrophones. Les trois intervalles de temps nécessaires au calcul de la position sont obtenus d'une part à l'aide des retards

- TRIANGULATION APPLIQUEE AUX EMISSIONS
SONAR DES DAUPHINS

à la réception des ondes directes sur les deux voies hydro-phoniques et d'autre part, par les écarts entre onde directe et écho de surface correspondant, sur chacune de ces 2 voies. Le principe de ce calcul est donné en annexe 2.

Sur la figure 7 on a représenté les positions de l'animal à divers instants. Elles ont été déterminées par la méthode des échos de surface.

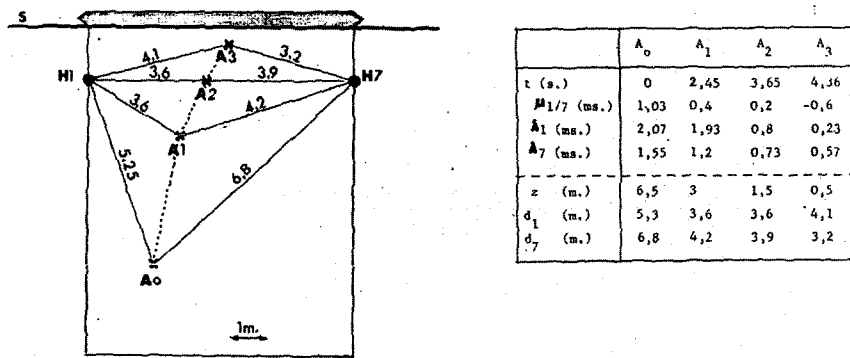


Fig. 7 Projection sur le plan des hydrophones H₁ et H₇ de 4 positions successives (de A₀ à A₃) d'un D. delphis. Les distances réelles de l'animal aux hydrophones sont données en mètres.



III-2. Caractéristiques des signaux sonar du D. delphis

Les résultats que nous présentons ici ne sont que préliminaires ; le dépouillement des bandes enregistrées durant les expériences sur le sonar du D. delphis n'étant pas encore achevées - De plus comme ces expériences ne concernaient que l'étude du sonar de navigation de l'animal, les résultats obtenus ne doivent en aucun cas être généralisés au processus complet d'écholocation. En effet, durant la phase de poursuite, qui n'a donc pas été abordée, l'animal peut modifier son émission afin de l'adapter aux conditions instantanées de la poursuite. Enfin, il apparaît d'après ces premiers résultats que les performances de l'appareillage de prise de son soient encore insuffisantes, même dans le cas de son utilisation en direct ; en effet les limites supérieures des bandes spectrales de nombreux signaux correspondent souvent aux fréquences de coupure des chaînes hydrophoniques (entre 80 et 100 kHz).

III-2-a Durée des signaux

La figure 8 donne un exemple d'une émission sonar de D. delphis, telle qu'elle apparaît sur les 4 voies de réception de la base - La diversité de la forme de l'onde reçue, de son amplitude et de sa durée, que l'on distingue assez bien sur ces 4 oscillogrammes, donne une idée des variations du signal reçu, dues à la forte directivité de l'émission. La poursuite acoustique qui permet de localiser l'animal à chaque émission devrait aussi permettre d'améliorer la connaissance du diagramme de rayonnement. Dans notre exemple, l'animal, en phase de remontée se trouvait à 0,52 m; 5,25m et 5,25m des trois hydrophones de surface et à 0,4 m de l'hydrophone de profondeur. Dans ce cas la durée du signal reçu et son amplitude varient d'une voie à l'autre dans des rapports de l'ordre de 2 (de 150 à 300 μ s en durée et de 3/1,2 V en

TRIANGULATION APPLIQUEE AUX EMISSIONS

SONAR DES DAUPHINS

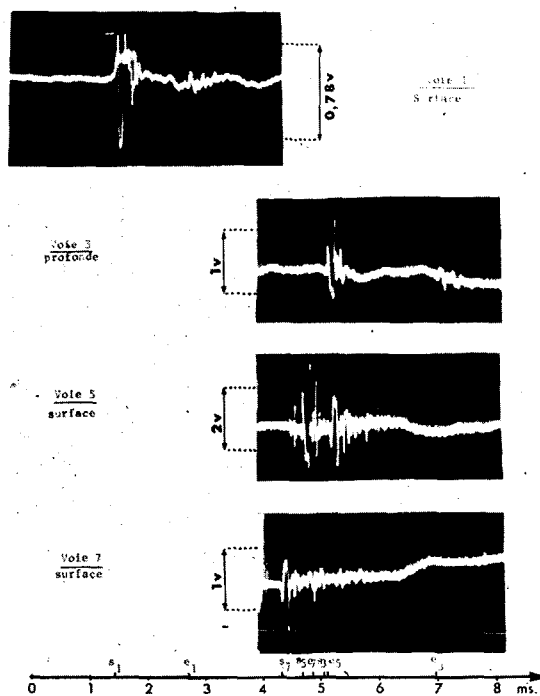


Fig. 8 : Exemple d'une émission d'écho-locution de D. delphis telle qu'elle apparaît sur les 4 voies de la base de triangulation. La disposition chronologique de signal (s_i) et de son écho (e_i) reçus par la voie i , est indiquée sur l'axe des temps.

amplitude relative). La durée T des signaux semble liée à la phase du processus d'écholocalisation et notamment à la cadence d'émission ; les premiers résultats obtenus donnent comme valeurs extrêmes 60 et 680 μ s.

III-2-b Fréquence de répétition

D'une manière générale, la cadence d'émission est nettement plus faible en phase de veille qu'en phase d'acquisition ou de poursuite ; un rapport de 10 entre phase d'acquisition et de veille semble courant, tandis qu'entre phase de



TRIANGULATION APPLIQUÉE AUX ÉMISSIONS

SONAR DES DAUPHINS

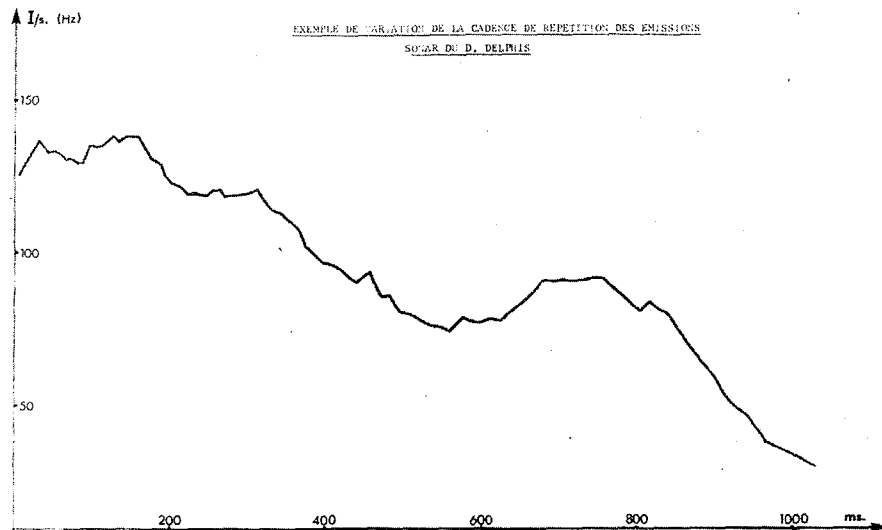


Fig 9 : Exemple de variation de la cadence d'émission sonar chez D. Delphis.

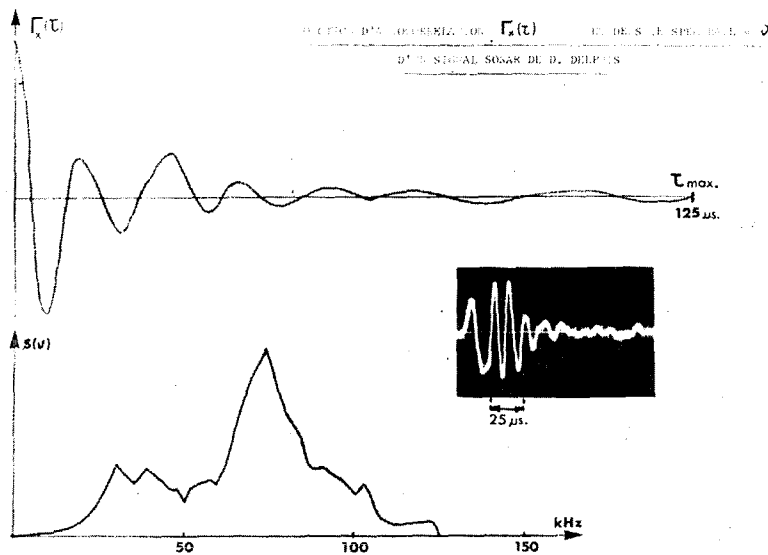


Fig 10 : Fonction d'autocorrélation et densité spectrale d'un signal sonar de D. Delphis.

TECHNIQUE LA TION APPLIQUÉE EN MÉTÉOROLOGIE
SOUS LA DIRECTION DE M. J. L. S.

poursuite et de veille, il peut atteindre 10.

Les diverses séquences analysées reflètent bien cette variabilité, dont la figure 7 donne un exemple concret. Les valeurs extrêmes que nous avons trouvées au cours de la présente étude sont comprises entre 30 et 400 (1/s) impulsions/s. Mais en général cette cadence est comprise entre 50 et 100 1/s.

2 c) Analyse spectrale

Sur la figure 10 on a représenté la fonction d'auto-corrélation $\Gamma_x(\tau)$ et la densité spectrale énergétique $S(\nu)$ du signal sonar ainsi qu'un oscillogramme du signal émis par D. delphis. On remarque en particulier que le zéro de l'enveloppe de $\Gamma_x(\tau)$ se situe vers 60 μ s, alors que la durée T du signal dépasse dans ce cas 70 μ s. Ceci traduit l'existence d'une modulation de fréquence du signal, d'ailleurs nettement visible sur l'oscillogramme.

La densité spectrale de ce signal possède une "largeur spectrale" Δ supérieure à 30 kHz. Cette largeur a été définie arbitrairement par l'intervalle où $S(\nu) \geq \frac{S_{max}(\nu)}{10}$. La densité est vraisemblablement limitée en haute fréquence par la coupure de la chaîne hydrophonique.

D'après ce qui précède (§ III-2a et III-2c) et par suite des conditions expérimentales qui étaient les ¹notres, il semble difficile de vouloir attribuer une signification précise aux valeurs des produits $\Delta \times T$ puisque pour un même signal, la durée et la bande spectrale varient avec l'orientation animal / récepteur.

La définition classique du pouvoir de résolution en distance, ne peut pour les mêmes raisons, que donner une indication minimale des capacités réelles de résolution que l'on peut obtenir avec les signaux de D. delphis. Indiquons néanmoins les valeurs de 1^m et 33 mm, comme



TRANGULATION APPLIQUEE AUX EMISSEURS
SONAR DES DAUPHINS

étant les extrêmes que nous avons obtenues durant cette étude. Ces valeurs ont été déterminées à partir de la demi-amplitude de l'enveloppe de $\Gamma_x(\tau)$ (définition classique).

CONCLUSION

Le dispositif présenté s'est avéré, pendant les trois mois d'utilisation (à des fins diverses) de la campagne "Dauphin" de la Calypso, d'une grande facilité de mise en oeuvre et d'une remarquable tenue à la mer. Il est possible d'envisager son utilisation comme base expérimentale autonome d'un bâtiment-mère, avec lequel elle entretiendrait une liaison radio permanente. La technique de capture des petits delphinidés étant par ailleurs éprouvée, des expériences en mer sur les dauphins peuvent donc être entreprises, sans pratiquement tenir compte des servitudes liées à la maintenance des animaux à terre et ce dans les conditions de propagation acoustique tout à fait bonnes.

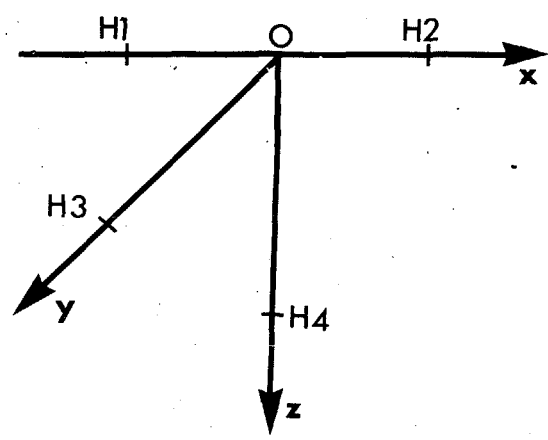
Certaines améliorations, notamment de la qualité des appareillages et de la précision du positionnement des récepteurs, seraient alors nécessaires.

TRIANGULATION APPLIQUEE AUX EMISSIONS
SONAR DES DAUPHINS

ANNEXE 1
=====

LOCALISATION PAR TRIANGULATION

Soit M (x, y, z) la position spatiale instantanée de l'animal repérée dans le système d'axes rectangulaires représenté ci-contre :



Soit l'espace temporel, défini par les écarts Δ de réception sur les hydrophones successifs. A chaque point P., ayant pour coordonnées :

$$\Delta_{12} (P) \quad \Delta_{23} (P) \quad \Delta_{34} (P)$$

Il y a correspondance directe entre M et P.

Soit par ailleurs :

- c : la célérité du son
- 2a : la longueur du côté de la base.

Les relations liant le point M avec son correspondant P sont :

$$\Delta_{12} (P) = \frac{1}{c} \left\{ \sqrt{x^2 + y^2 + z^2 + 2ax + a^2} - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2 - 2ax + a^2} \right\}$$

$$\Delta_{23} (P) = \frac{1}{c} \left\{ \sqrt{x^2 + y^2 + z^2 - 2ax + a^2} - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2 - 2a(3y + 3a)} \right\}$$

$$\Delta_{34} (P) = \frac{1}{c} \left\{ \sqrt{x^2 + y^2 + z^2 - 2a(3y + 3a)} - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2 - 2a(3z + 3a)} \right\}$$

La résolution de ce système conduit à résoudre un système de 3 équations du 4ème degré à 3 inconnues, dont la méthode directe est très laborieuse ; aussi nous avons choisi pour



TRIANGULATION APPLIQUEE A X EMISSIONS

SONAR DES DAUPIENS

determiner M, la méthode de calcul par approximations successives sur ordinateur selon le processus suivant :

A un point $M_0(x_0, y_0, z_0)$ de l'espace des M, correspond un point $P_0[\Delta_{12}(0), \Delta_{23}(0), \Delta_{34}(0)]$ de l'espace des P, soit $\Delta_{12}, \Delta_{23}, \Delta_{34}$, les valeurs instantannées mesurées, qui correspondent à la position M cherchée.

Au vecteur $\vec{P_0P}$ dont les composantes sont $\Delta_{12}(P) - \Delta_{12}(0)$, $\Delta_{23}(P) - \Delta_{23}(0)$, $\Delta_{34}(P) - \Delta_{34}(0)$ correspond un vecteur $\vec{M_0M_1}$ de composantes dx, dy, dz, auquel il est lié par la relation matricielle :

$$\begin{bmatrix} P \\ P_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M \\ M_0 \end{bmatrix} \text{ avec } \begin{bmatrix} M \\ M_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\delta \Delta_{12}(0)}{\delta x} & \frac{\delta \Delta_{12}(0)}{\delta y} & \frac{\delta \Delta_{12}(0)}{\delta z} \\ \frac{\delta \Delta_{23}(0)}{\delta x} & \frac{\delta \Delta_{23}(0)}{\delta y} & \frac{\delta \Delta_{23}(0)}{\delta z} \\ \frac{\delta \Delta_{34}(0)}{\delta x} & \frac{\delta \Delta_{34}(0)}{\delta y} & \frac{\delta \Delta_{34}(0)}{\delta z} \end{bmatrix}$$

On en déduit donc par inversion de M, les coordonnées (x_1, y_1, z_1) de M_1 qui est le premier point approché; lorsque $\begin{bmatrix} M \\ M_0 \end{bmatrix}$ n'est pas singulière. On détermine alors les coordonnées de l'homologue P_1 de M_1 dans l'espace des écarts temporels, c'est à dire $\Delta_{12}(P_1), \Delta_{23}(P_1), \Delta_{34}(P_1)$, qui permet de déterminer une nouvelle matrice $\begin{bmatrix} M \\ M_1 \end{bmatrix}$ et un point M_2 etc ... jusqu'à ce que le module $|P_1P| \leq A(1)$ valeur fixée à l'avance, qui caractérise la précision dans la détermination de la position de M. Dès cette condition remplie, les coordonnées du point M_1 trouvé sont affichées.

On effectue ensuite le calcul pour de nouvelles valeurs de $\Delta_{12}, \Delta_{23}, \Delta_{34}$, en prenant pour M_0 le point M_1 déterminé

TRIANGULATION APPLIQUEE AUX EMISSIONS

SONAR DES DAUPHINS

précédemment. La procédure de tracking s'apparente donc en quelque sorte à une poursuite en forme de "course du chien", dont chaque point est déterminé par approximations successives et sert de départ au calcul du point suivant.

Le point M_0 choisi correspond au centre de gravité du système de triangulation, il assure la plus grande probabilité de convergence de l'approximation par itérations successives.

CRITERES DE DIVERGENCES ET PARTICULARITES DE PROGRAMME DE CALCUL.

La divergence a lieu lorsque la condition $\frac{|P_i - P_j|}{|M_i - M_j|} \leq 1$ (2)

n'est pas remplie, c'est-à-dire, lorsque M_i s'éloigne du point M cherché.

Lors du calcul, on vérifie donc que cette condition est bien respectée avec, dans le cas contraire ordre est donné de reprise du calcul au départ.

Une seconde condition limitative dans la recherche de M peut être imposée par la vitesse de l'animal, c'est à dire par la variation du module de $|M_i - M_j|$. Elle peut être imposée à priori ou calculée pour les deux positions $M_g - M_h$ qui précèdent en imposant une condition $k \cdot |M_g - M_h|$ sur la limite possible de cette variation pendant la durée du calcul, cette condition limitative est évidemment liée aussi à la rapidité de l'ordinateur.

Enfin une troisième limitation dans l'exécution du programme doit être mentionnée ; elle doit être appliquée dans la poursuite en temps réel d'un animal identifié au préalable, parmi d'autres congénères. En effet, ce système de poursuite basé sur le repérage d'après les émissions acoustiques de l'animal peut être dérouté par les émissions plus ou moins simultanées de ses congénères. Ainsi, l'identification de l'animal poursuivi est donc nécessaire.



CORRÉLATION APPLIQUÉE AUX ÉMISSIONS
SONORES DES DOLPHINS

La seconde condition limitative exposée ci-dessus permet une élimination automatique des valeurs $\Delta_{12}(P_i)$ $\Delta_{23}(P_j)$

$\Delta_{34}(P_i)$ qui ne satisfont pas à la condition imposée sur la variation de $\begin{vmatrix} M_i & M_j \\ \hline \end{vmatrix}$; néanmoins, dans ce cas il serait nécessaire d'adjoindre au programme une condition limitative supplémentaire, basée sur la cadence maximale que l'on suppose connue des émissions de l'animal.

L'identification des signaux reçus sur chaque voie, se ferait par intercorrélation, à partir d'une mémoire circulante à 4 voies, chacune d'elles étant associée à une chaîne hydrophonique.

Les réponses Δ_{12} , Δ_{23} , Δ_{34} , des corrélateurs étant transmises à l'ordinateur à travers un système de portes à seuil déclenchées pour un taux d'intercorrélation choisi, on pourrait par ailleurs utiliser la seconde condition limitative pour commander par un second système de portes, l'entrée de la mémoire circulante pendant les intervalles de temps déterminés par cette condition.

Enfin, le cas possible d'une matrice M_i singulière est également prévu; il entraîne la reprise du programme de calcul à son début.

TRIANGULATION APPLIQUEE AUX EMISSIONS

SOMAR DES DAUPIENS

ANNEXE 2

CALCUL DE LA POSITION DE L'ANIMAL A PARTIR DE DEUX
HYDROPHONES EN UTILISANT LES ECHOS DE SURFACE.

Soit p_i la profondeur de

λ_i : l'écart temporel de réception sur la voie i d'un signal et de son écho de surface.

μ_j : l'écart temporel de réception d'un signal direct sur les voies i et j_0 .

A : La position de l'animal à l'instant de l'émission.

H_i : La position de l'hydrophone i (supposée fixe).

H_i' : l'image de H_i par rapport à la surface S (supposée plane).

d_i : La longueur du trajet de l'onde directe entre A et H_i .

δ_i : La longueur du trajet de l'onde écho entre A et H_i' .

z : La profondeur de l'animal

c : La célérité.

On a (figure ci-contre):

$$z - p_i = \delta_i \cos \alpha_i$$

$$\overline{PO} = \overline{PR} = \overline{RO} = \delta_i \sin \alpha_i$$

$$\delta_i^2 = (z - p_i)^2 + \overline{PO}^2$$

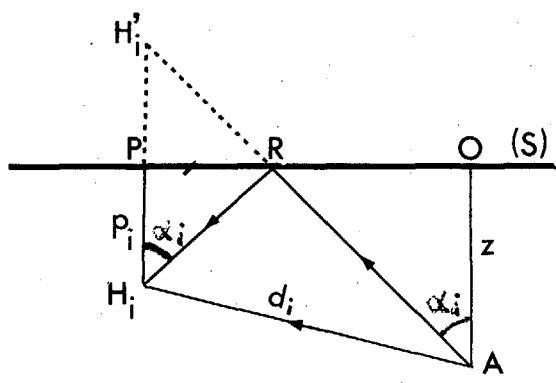
or : $\overline{PO}^2 = d_i^2 - (z - p_i)^2$

d'où : $\delta_i^2 - d_i^2 = 4z p_i$

donc : $\delta_i + d_i = \frac{4z p_i}{\delta_i - d_i}$ (1)

Or, entre les échos de

surface, on a : $\delta_i - d_i = c \cdot \lambda_i$ (2)





d'où :

$$2 d_i = \frac{4z \cdot p_i}{c \cdot \lambda_i} + c \cdot \lambda_i \quad (3)$$

Pour un couple d'hydrophones i et j , on a donc :

$$(d_i - d_j) = \frac{4z}{c} \left[\left(\frac{p_i}{\lambda_i} \right) - \left(\frac{p_j}{\lambda_j} \right) \right] + c (\lambda_j - \lambda_i)$$

et :

$$d_i - d_j = c \cdot \mu_{j/i} \quad (4)$$

donc :

$$z = \frac{c^2 \cdot \lambda_i \cdot \lambda_j \cdot (2 \cdot \mu_{j/i} + \lambda_i - \lambda_j)}{4(p_i \cdot \lambda_j - p_j \cdot \lambda_i)}$$

L'expression (4) permet alors de déterminer d_i et d_j à partir de (3), ce qui est suffisant pour localiser A.



TRIANGULATION APPLIQUEE AUX EMISSIONS
SONAR DES DAUPHINS 6

REMERCIEMENTS

En plus des membres des organismes déjà cités nous tenons à remercier ceux du laboratoire D.S.M. du Brusc et notamment Monsieur l'Ingénieur Général H. MERMOZ pour l'intérêt qu'il a manifesté à nos travaux sur les dauphins et à l'appui matériel qu'il nous a accordé à diverses reprises ainsi que Messieurs DUMONT et PRADELLE de la C.I.T et ALCATEL et DEJOB du S.T.C.A.N. pour l'aide qu'ils nous ont accordée.

BIBLIOGRAPHIE

1 - RAMESHE N. VAISHNAV et MAGRAB Edward B.

"Exact theory of tracking of moving underwater object by short base navigation system attached to an imperfectly stabilised moving ship".

J.A.S.A., 1970, 47-3, pp912-920

2- WATKINS W.A. et SCHEVILL W.E.

"Four hydrophone array for acoustic three dimensional location"
Tech. Report. Woods Hole Oceanographic Institution, 1970, Ref 71-60
WOODS HOLE MASS

3 NORRIS K.S. et EVANS W.E.

"Directionality of echolocation clicks in the rough-tooth porpoise Steno bredanensis (Lesson)"

"Marine Bio - Acoustics" 1966, Vol. 2, pp 305 - 316

Pergamon Press