

502/11



Publications du
CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS
(C N E X O)

Série: Rapports scientifiques et techniques

N° 03 - 1971

OPERATIONS DE DRAGAGES EN MER PROFONDE
OPTIMISATION DU TRAIT ET DETERMINATION DES TRAJECTOIRES
GRACE AUX TECHNIQUES ULTRASONORES

par

Lucien LAUBIER, Jacques MARTINAIS, Daniel REYSS



C N E X O

Rapport Scientifique et Technique n° 3

**OPERATIONS DE DRAGAGES EN MER PROFONDE
OPTIMISATION DU TRACT ET DETERMINATION DES TRAJECTOIRES
GRACE AUX TECHNIQUES ULTRASONORES**

par

Lucien LAUBIER, Jacques MARTINAIS, Daniel REYSS

Centre Océanologique de Bretagne
B.P. 337 - 29N, Brest

OPERATIONS DE DRAGAGES EN MER PROFONDE
OPTIMISATION DU TRACT ET DETERMINATION DES TRAJECTOIRES
GRACE AUX TECHNIQUES ULTRASONORES

Depuis une dizaine d'années, l'emploi de pingers a profondément modifié les méthodes de travail en mer profonde.

D'abord utilisés pour localiser, par rapport au fond, des engins descendus à la verticale d'un navire (EDGERTON et COUSTEAU, 1959 ; EDGERTON, COUSTEAU, HERSEY et BACKUS, 1960, pour des caméras profondes - NALWALK, HERSEY, REITZL et EDGERTON, 1962, pour des dragues à roche) les pingers ont aussi été utilisés avec succès pour surveiller la descente de chaluts à panneaux (BACKUS, 1966) ou de chaluts à perches (ROWE et MENZIES, 1967).

Dans toutes ces méthodes, le pinger permet de connaître avec précision le moment du contact avec le fond et le temps pendant lequel la drague ou le chalut a travaillé. En général, l'aide apportée par un pinger augmente considérablement les chances de succès d'une opération abyssale (MENZIES, 1964).

Les abaques proposées par KULLENBERG (1951) d'après ses calculs théoriques sur le comportement d'un câble dans l'eau, peuvent être adaptées, en ce qui concerne la longueur de câble nécessaire pour atteindre le fond (ROWE et MENZIES, 1967).

Ces améliorations importantes des techniques de travail sur les fonds abyssaux sont restées relativement empiriques et d'un autre côté, toutes les possibilités offertes par les pingers n'ont pas été utilisées.

Pendant la campagne "NORATLANTE" du N. O. Jean Charcot, en août-septembre-octobre 1969, dans l'Atlantique Nord, nous avons eu l'occasion d'effectuer de nombreuses opérations abyssales qui nous ont permis de perfectionner des techniques déjà utilisées.

(*) Contribution n° 48 du Groupe Scientifique du Centre Océanologique de Bretagne.

I - FORME THEORIQUE DU CABLE

Les considérations théoriques de KULLENBERG de 1951 pour la préparation de la campagne de la GALATHEA sont une excellente base de départ (voir annexe I où nous rappelons l'essentiel du raisonnement de KULLENBERG qui aboutit aux équations du câble dans l'eau).

Il convient d'abord d'insister sur les hypothèses simplificatrices de départ : le mouvement est décrit dans un plan vertical et est considéré comme stationnaire, c'est-à-dire que la forme du câble dans l'eau reste identique à elle-même. Cela suppose qu'il n'y a ni filage, ni virage du câble et que l'ensemble bateau-câble-engin tracté, forme une figure géométrique stable qui se déplace horizontalement à vitesse constante. Cette approche du problème permet, dans une première étape, de cerner les paramètres importants. L'expérience nous dira si ce modèle est significatif dans tous les cas.

La théorie montre que, dans le cas très simple d'un câble seul, c'est-à-dire ne tractant aucun engin, la forme du câble est rectiligne. On définit ainsi l'angle β du câble avec l'horizontale, angle qui joue un rôle important dans le cas général et que nous appellerons angle asymptotique du câble. Il ne dépend que des caractéristiques du câble et de la vitesse du bateau.

Dans le cas général du modèle retenu, la forme du câble est la solution d'une équation différentielle de second ordre par rapport aux coordonnées, puisque le système auquel on aboutit exprime une relation entre la différentielle logarithmique du rayon de courbure R et la coordonnée curviligne s .

La famille des courbes, solution générale de cette équation différentielle dépend donc de deux paramètres, fixés par les conditions aux limites en un point particulier du câble.

Ce point particulier ne peut être que l'extrémité inférieure du câble. A cet endroit, la force nécessaire pour imposer à l'engin tracté le mouvement horizontal de vitesse constante et égale à celle du bateau, est entièrement déterminée. Sa composante verticale est égale au poids de l'engin, sa composante horizontale, à la résistance à l'avancement de l'engin dans l'eau. Les équations (9) et (10) permettent donc de déterminer en ce point, l'angle α_0 du câble avec l'horizontale et le rayon de courbure R_0 .

L'intégration de l'équation différentielle (8) le long du câble en remontant vers le bateau permet de montrer que l'angle α tend vers l'angle asymptotique β , quelle que soit la valeur de α_0 . Mais, si α_0 est plus grand que β , c'est-à-dire si le rapport du poids à la résistance dans l'eau de l'engin est plus grand que celle d'un élément de câble, la concavité est tournée vers le bas. A l'inverse, si l'essentiel de la traction sur l'engin est constitué par sa résistance à l'avancement, ce qui se produit par exemple, quand nous avons un chalut ou une drague qui repose sur le fond, l'angle α_0 est voisin de 0 et la concavité du câble est tournée vers le haut.

L'annexe (II) montre que, pendant cette intégration de l'équation différentielle le long du câble, l'angle α tend vers l'angle β , la courbure $\frac{1}{R}$ tend vers 0 quand l'abscisse tend vers l'infini.

Par conséquent, si nous partons d'un angle α_0 différent de β , la valeur $\alpha = \beta$, $\frac{1}{R} = 0$ ne sera jamais atteinte pour une longueur finie de câble.

Autrement dit, il n'est pas possible de concevoir une forme de câble présentant un point d'inflexion (en un point d'inflexion, la courbure s'annule et change de signe). On doit tenir compte de cette remarque pour schématiser un câble dans l'eau.

II - CONSEQUENCES PRATIQUES

Les méthodes que nous avons mises au point permettent d'effectuer dragages et chalutages sur un fond donné avec le moins de câble possible. En effet, compte-tenu de la vitesse de déroulement du treuil, le temps nécessaire au filage et au virage est important sur grands fonds, et le temps de station peut être en conséquence considérablement réduit.

L'annexe (III) montre une famille de courbes représentant les diverses possibilités de forme d'un câble par une certaine vitesse du bateau et une longueur déterminée de câble dans l'eau, le paramètre étant la composante verticale de la traction du câble sur l'engin. Si nous observons le lieu de cet engin dans le plan vertical lié au bateau, nous voyons que la profondeur de l'engin augmente régulièrement avec son poids.

Le procédé consistant à alourdir artificiellement un chalut en fixant des poids sur le câble juste en avant de celui-ci permet donc de réduire considérablement la longueur de câble nécessaire pour toucher le fond (MENZIES et ROWE, 1967). Encore faut-il que ces poids puissent avoir une action effective et pour cela, ne pas toucher le fond. Il ne suffit pas d'utiliser de tels poids ; il faut encore s'assurer que, pendant toute la durée du chalutage, cette condition soit maintenue. Pour surveiller cette distance poids-fonds, nous avons été amenés à utiliser des pingres.

III - AUTRES AVANTAGES DE L'UTILISATION D'UN PINGER

Dans son utilisation classique, un pinger solidaire d'un engin descendu à la verticale du bateau permet d'évaluer la distance de l'engin du fond. Si l'engin, un chalut par exemple, n'est plus à la verticale du bateau, des considérations géométriques simples (voir figures 2 et 3) montrent que la différence des trajets sonores entre le pinger et le bateau, d'une part - et entre le pinger et le bateau après réflexion sur le fond, d'autre part - est égale à $2 H \sin \theta$, H étant la distance du pinger au fond et θ l'angle défini sur la figure (3).

Nous avons tenté d'utiliser le pinger pour évaluer ces deux trajets sonores et non plus seulement leur différence. En effet, la connaissance de ces deux longueurs permet de déterminer la position exacte du pinger par rapport au bateau, dans le plan vertical de l'expérience. Le pinger se trouve à l'intersection des deux cercles centrés, l'un sur le bateau, l'autre sur "l'image" du bateau par rapport au fond et de rayons respectifs $\zeta_1 =$ trajet direct et $\zeta_2 =$ trajet réfléchi. Ces deux cercles se coupent en deux points, symétriques par rapport à la verticale du bateau ; le point à retenir est évidemment celui qui est situé à l'arrière du bateau.

En toute rigueur, pour évaluer ces trajets sonores avec précision, il serait bon de disposer d'un répondeur ultra-sonore, c'est-à-dire d'un générateur d'impulsions, déclenchées par une première impulsion émise par le bateau. Il était cependant plus simple de tenter d'utiliser les

pingers existants, dont l'émission est déclenchée par une horloge interne, à condition que la stabilité de celle-ci soit suffisante.

Si nous désirons, par exemple, une précision de 15 m sur les trajets durant toute l'expérience (6 heures par exemple), nous devons avoir une stabilité d'horloge meilleure que

$$\frac{15 \text{ m}}{1\,500 \text{ m/s}} = \frac{1}{100} \text{ s}, \quad \text{soit : } \frac{1}{6 \times 3\,600 \times 100} = 0,5 \cdot 10^{-6}$$

en valeur relative. C'est le cas pour les pingers employés et pour la base de temps de l'enregistreur, tous deux pilotés par quartz. L'enregistreur et le pinger n'ayant aucune raison d'être synchronisés au démarrage, l'écho reçu (l'écho direct par exemple) s'inscrit sous forme d'une droite parallèle à l'axe de l'enregistrement si la distance du pinger au bateau est invariable. Si le pinger s'éloigne ou se rapproche, la trace de l'écho s'écarte d'un côté ou de l'autre de cette droite.

Malheureusement, si les stabilités des deux horloges sont bien suffisantes, l'égalité de leurs fréquences de récurrence ne se fait pas avec la même précision. L'une des bases de temps dérive par rapport à l'autre mais de façon linéaire. Il est donc facile d'en tenir compte.

Dès lors, nous pouvons surveiller en temps réel, la position et la vitesse du chalut dans l'eau et par conséquent, tester la validité du modèle mathématique que nous avons calculé au début et surtout, optimiser notre action sur les différents paramètres qui sont à notre disposition : mouvement du treuil, vitesse du bateau. C'est ainsi que, pour une opération de chalutage avec un grand chalut à panneaux, la pratique nous a enseigné qu'il fallait respecter les étapes suivantes :

1 - Le chalut est mis à l'eau, le bateau faisant route à la vitesse nominale de chalutage, de manière que les panneaux divergent normalement et se mettent en place dans de bonnes conditions.

2 - Le filage proprement dit du câble commence à partir du moment où les poids et le pinger sont à l'eau. Ce filage est progressivement augmenté jusqu'à la vitesse maximum permise par le treuil. La vitesse du bateau est alors diminuée jusqu'au tiers ou la moitié de la vitesse précédente. Le chalut descend presque verticalement.

3 - Quand le chalut est arrivé aux 3/4 de la profondeur, on peut évaluer avec une bonne approximation le point où il doit toucher le fond et l'instant de ce contact. On augmente alors la vitesse du bateau pour faire coïncider l'arrivée du chalut au fond et l'arrivée du bateau à la position correspondant au début du chalutage dans des conditions normales, c'est-à-dire le câble se rapprochant d'une droite inclinée de l'angle β sur l'horizontale (bien entendu, il s'agit de chalutage par grands fonds : entre 3 000 et 6 000 m).

L'augmentation de vitesse du bateau se traduit progressivement par une augmentation de la vitesse horizontale du chalut et une diminution de sa vitesse verticale, malgré le maintien de la vitesse maximum de filage. Quelques minutes avant l'arrivée au fond, cette vitesse de filage est progressivement réduite pour éviter l'emmêlement du filet, des panneaux et de la patte d'oie de traction lors de l'arrivée au fond.

4 - Quand le chalut touche au fond, la vitesse du bateau est réduite à la vitesse nominale de chalutage et, pendant que la figure formée par le câble se stabilise, la longueur filée est adaptée avec précision pour que la hauteur des poids au-dessus des fonds soit constante et située entre 5 et 10 mètres.

5 - Pour amorcer la remontée du chalut, le bateau est stoppé et le virage commencé doucement. La distance des poids au fond reste constante pendant un certain temps et le chalut continue à travailler. Quand le chalut s'approche de la verticale du bateau, on peut virer au maximum des possibilités du treuil. Pour l'arrivée en surface, une légère vitesse est redonnée au bateau pour allonger le chalut horizontalement derrière lui lors de sa reprise.

Le diagramme représentant la trajectoire du chalut dans le plan vertical de travail donnera précisément la longueur travail de celui-ci et permettra donc d'évaluer quantitativement son rendement.

IV - EXEMPLE CONCRET ET REMARQUES

La figure 6 représente un enregistrement complet (sur EDO 333 PSR) d'une opération avec un chalut double perche, dont le trajet a été dessiné selon la méthode décrite plus haut (figure 5).

Chalut double perche (Blake)

B012 - Station 035 - Prélèvement 084

Heure	Top	Longueur câble mètres	Angle du câble	Vitesse navire noeuds	Distance parcou- rue	Trajet direct	Trajet réfléchi		
23 h 35	0	0	90°	0.6	0	0	3 180		
23 h 45	1	681	90°	0.6	19	315	2 850		
23 h 55	2	1 325	83°	0.8	35	725	2 500		
0 h 05	3	2 006	83°	2	54	1 025	2 145	Chalut au fond 36° 21'3N 8° 42'6W 2 871m	
0 h 15	4	2 690	80°	2	99	1 390	1 830		
0 h 25	5	3 043	70°	2	162	1 565	1 865		
0 h 35	6	3 145	60°	2	215	1 625	1 960		
0 h 45	7	3 325	50°	2	279	1 735	2 060		
0 h 55	8	3 511	50°	2	339	1 825	2 235		
1 h 05	9	3 699	53°	1.8	406	1 925	2 225		
1 h 15	10	3 816	55°	1.8	470	1 990	2 335		
1 h 25	11	3 867	55°	1.6	529	2 010	2 355		
1 h 35	12	3 926	55°	0.5	584	2 050	2 385		
1 h 45	13	3 679	55°	0	600	1 930	2 275		
1 h 55	14	3 407	55°	0	609	1 785	2 125		Chalut quitte le fond 36°22'8N 08°45'7W 2 875 m
2 h 05	15	3 110	60°	1	613	1 650	2 020		
2 h 15	16	2 600	60°	1	630	1 370	2 135		
2 h 25	17	2 036	60°	1	654	1 060	2 340		
2 h 35	18	1 469	60°	1	680	740	2 570		
2 h 45	19	894	60°	1	713	430	2 800		
2 h 55	20	335	40°	1	741	125	3 080		

Les trajets ultrasonores directs et réfléchis sont donnés en brasses, après corrections d'après MATTHEWS, 1939.

L'unité de distance donnée par le loch est de 1/200 mille nautique.

Une première remarque concerne la réception pour des distances horizontales importantes entre le bateau et le pinger, la réception des échos devient impossible avec un récepteur horizontal. BACKUS (1966) avait déjà souligné ce problème et proposé d'utiliser un hydrophone non directionnel pour la réception. Un récepteur orientable serait sans doute plus pratique et nous travaillons dans ce sens à BREST.

Une deuxième remarque concerne le poids à placer sur le câble pour un engin donné : la force de traction exacte de chaque appareil, en fonction de la vitesse doit être connue pour calculer le poids nécessaire à l'obtention d'un câble rectiligne, condition optimale de réduction du temps d'opération (annexe I). Finalement cette méthode permet un gain très important de la longueur de câble par rapport aux techniques classiques.

V - CONCLUSIONS

La technique que nous venons de décrire permet de réduire considérablement la durée d'une opération abyssale tout en augmentant la distance parcourue sur le fond.

De plus elle permet une estimation de la surface du sédiment couverte par la drague ou le chalut, et ainsi une première déduction de la biomasse c'est-à-dire de connaître la sélectivité de l'engin. En fait, comme l'a montré BACKUS (1966) il est ainsi possible de faire un usage de routine de chaluts ou de dragues épibenthiques, techniques indispensables pour récolter la faune benthique et les poissons de profondeurs.

DEEP-SEA TRAWLING AND DREDGING USING
ULTRASONIC TECHNIQUES (*)

by

Lucien LAUBIER, Jacques MARTINAIS and Daniel REYSS

During the past ten years, the use of pingers has profoundly modified methods of work on the deep-sea bottom.

At first used to localize, in relation to the bottom, instruments dropped vertically from a ship (EDGERTON and COUSTEAU, 1959, EDGERTON, COUSTEAU, HERSEY and BACKUS, 1960, for deep-sea cameras ; NALWALK, HERSEY, REITZL and EDGERTON, 1962, for rocky dredges) pingers have also been used with success to survey the descent of otter trawls (BACKUS 1966) or beam trawls (ROWE and MENZIES, 1967).

In all these methods, the pinger essentially gives knowledge of the precise instant of contact with the bottom, and the length of time the dredge or trawl works on it. In general, the assistance of a pinger substantially increases the chance of success in abyssal dredging (see MENZIES, 1964).

The diagrams provided by KULLENBERG (1951) according to his theoretical calculations on the behaviour of a cable towed in water, can be adapted, with respect to the length of wire needed to reach bottom (ROWE and MENZIES, 1967).

These important improvements on techniques of work on the deep-sea bottom remained relatively empirical and on the other hand, all the possibilities of the pingers hat not yet been exploited.

During the "Noratlante" cruise on the N. O. Jean Charcot, august-september-octobre 1969, in the North Atlantic we had the opportunity of making numerous abyssal operations which permitted us to improve techniques previously employed.

I - THEORETICAL SHAPE OF THE WIRE

The theoretical considerations of KULLENBERG in 1951, in preparation for the GALATHEA expedition are an excellent starting point (see appendix I, where we summarize Kullenberg's reasoning leading to the equations for a wire in water).

(*) Contribution n° 48 du Groupe Scientifique du Centre Océanologique de Bretagne.

First it is appropriate to insist on the basic simplifying hypotheses : movement is described in a vertical plane and is considered as stationary, i. e. the shape of the cable in the water remains the same. This supposes that there is no paying out nor heaving up of the wire and that the unit ship-wire-trawl forms a stable geometric figure which is displaced horizontally at a constant speed. This approach to the problem permits, at least as a first approximation, a determination of the important parameters. Experience will show of this model can be applied to other cases.

The theory shows that in the very simple case of the cable alone, i. e., without any trawling apparatus, the shape is linear. Thus the angle β defined between the cable and the horizontal, plays a very important role generally and will be called the asymptotic angle of the wire. It is solely dependent on the characteristics of the cable and the speed of the ship.

In general with the model under consideration, the shape of the wire is given by a second order differential equation expressing the relationship between the differential logarithm of radius of curvature R and the curvilinear coordinate s .

The family of curves which forms the general solution of this differential equation, depends thus on two parameters determined by the boundary conditions at a particular point on the wire.

This particular point can be none other than the inferior extremity of the cable. At this point, the force necessary to make the trawl undergo a horizontal movement of constant speed, equal to that of the ship, is entirely determined. Its vertical component is equal to the weight of the apparatus, its horizontal component to the resistance of the apparatus to advance in the water. Equations 9 and 10 thus permit determination at this point of angle α_0 , the angle of the cable with the horizontal and the radius of curvature R_0 .

Integration of the differential equation (8) along the wire proceeding towards the ship allows us to show that the angle α tends toward the asymptotic angle β whatever the value of α_0 . But if α_0 is larger than β , i. e. if the relationship of weight to resistance of the trawl in water is greater than that of an element of the cable, the concavity is turned downwards. In the opposite case, if the traction essentially consists of the resistance of the apparatus to advance as would be the case when, for example, a net or dredge is in contact with the bottom, the angle α_0 approaches 0 and the concavity of the cable is turned upwards.

Appendix,(II) shows that during this integration of the differential equation along the cable, the angle β and the curvature $1/R$ tends toward 0 when the abscissa tends toward infinity.

Consequently if we give the angle α_0 (different from β) the value $\alpha = \beta$, $1/R = 0$ would never be reached for a finite length of the cable.

In other words, it is not possible to conceive of a shape of a wire bearing a point of inflection (at a point of inflection, the curvature cancels out and the sign changes). This must be kept in mind in schematizing a cable in water.

2 - PRACTICAL CONSEQUENCES

The methods elaborated permit dredging or trawling on a given bottom with the least possible wire. In fact, taking into account the speed of the winch, the time necessary for paying out and heaving up is considerable when working at great depths, and therefore the station time can be significantly reduced.

Appendix (III) shows a family of curves representing different possibilities for the shape of the cable in water for a given speed and a given length. The parameters being the vertical component of the traction of the wire on the apparatus. If we observe the position, in the vertical plane, of the apparatus, we notice the depth of the apparatus increasing regularly with its weight.

The process consisting in artificially weighting a trawl by attaching weights to the wire permits a considerable reduction in the length of wire needed to reach bottom. (MENZIES and ROWE, 1967). It is necessary that these weights act effectively and, therefore, do not touch the bottom. It is not sufficient to use such weights ; it is also necessary to be sure that, throughout the trawling operation, the conditions are maintained. To watch the distance between the weights and the bottom we have been lead to use pingers.

3 - OTHER ADVANTAGES OF THE UTILIZATION OF PINGERS

In its classical application, a pinger fixed to an apparatus dropped vertically from a ship permits an evaluation of the distance of the apparatus from the bottom. If the apparatus, a trawl for example, is not located vertically beneath the ship, simple geometric considerations (fig. 2 and 3) show that the difference of the sonar paths between the pinger and the ship, and also, between the pinger and the ship after reflection on the bottom of the ping, is equal to $2 H \sin \theta$, H being the distance of the pinger from the bottom and θ the angle defined in the figure 3.

We have attempted to use pingers to evaluate these two sonar paths and not solely their differences. In fact, knowledge of these two lengths permits a determination of the exact position of the pinger in relation to the ship in the vertical plane operation. The pinger is found at the intersection of two circles centered, one on the ship, and the other on the "image" or reflection of the ship in relation to the bottom, whose respective radii are $\zeta_1 =$ direct path and $\zeta_2 =$ reflected path.

These circles intersect in two points, both symmetrical with respect to the vertical plane of the boat ; the good point to note is obviously that which is located astern the ship.

In the stricest sense, to evaluate these sonar paths with precision, it would be beneficial to use ultra-sonic transponder, that is to say a generator of pulses, triggered by a preliminary pulse emitted from the ship. It was, however, simpler to use existing pingers whose emissions were triggered by internal clock on the condition that the stability of the latter was sufficient.

If, for example, a precision of 15 meters along the path for the entire operation (6 hours) was desired, it would be necessary to have a stability of the clock better than

$$\frac{15 \text{ m}}{1 \ 500 \text{ m/s}} = \frac{1}{100} \text{ s, soit : } \frac{1}{6 \times 3 \ 600 \times 100} = 0,5 \cdot 10^{-6}$$

(relative value).

This was the case for the pingers used and for the base of time of the recorder both cristal-controlled.

There is no reason for the recorder and the pinger to be synchronized from the beginning. The echo is recorded as a straight line parallel to the axis of the recording if the distance pinger-ship is constant. If the pingers move away or approach, the trace of the echo deviates to one side or the other of this straight line.

Unfortunately, if the stability of the two clocks is sufficient, their frequencies of recurrence are not sufficiently close together. One of the time bases drifts with respect to the other in a linear fashion. It is easy to take this into account.

From this the position and speed of the trawl can be watched constantly in the water and, consequently, the validity of the mathematical model calculated previously can be tested, especially making use of the different parameters at our disposal : movement of the winch and speed of the ship. Such is the case for a trawling operation using a large otter trawl : experience has led us to follow these steps :

- 1 - the trawl is paid out into the water with the ship proceeding at the nominal speed for trawling, such that the otter boards diverge normally and orient properly.
- 2 - Paying out the wire begins the moment the weights and the pinger are in the water.
This paying out increases progressively until the maximum speed permitted by the winch is reached. The speed of the ship is then lessened to a third or a half of its former speed. The trawl descends almost vertically.
- 3 - When the trawl reaches $3/4$ of the depth, one can evaluate within a good approximation the point where it should touch the bottom and the moment of contact. The speed of the ship is therefore increased to make the arrival of the trawl on the bottom coincide with the arrival of the ship in the position corresponding to the beginning of trawling under normal conditions. The wire approximates a straight line inclined with an angle β to the horizontal line. The increase in speed of the ship is progressively translated into an increase of horizontal speed of the trawl and a decrease of its vertical speed in spite of paying out speed remaining maximum. A few minutes before arriving at the bottom, this rate of paying out is progressively reduced to avoid fouling the net, the otter boards and the span.
- 4 - When the trawl touches the bottom, the speed of the ship is reduced to the nominal speed for trawling and, while the figure formed by the wire stabilises, the length run out is adapted with precision so that the height of the weights above the bottom stays constant and is located between 5 and 10 meters.
- 5 - In preparation for heaving up the trawl, the ship is stopped and the winch starts slowly. The distance between the weights and the bottom remains constant for a while and the trawl continues to operate. When the trawl approaches the vertical of the whip, one can heave up swiftly. For the arrival at the sea surface, the ship slightly increases speed, so that the trawl is extended horizontally astern until it is hauled in.

The diagram, representing the path of the trawl in the vertical plane will give precisely the length of area sampled and will thus permits a quantitative evaluation of yield.

4 - CONCRETE EXAMPLE AND REMARKS

Figure 6 represents a complete record (on EDO 333 PSR) of one operation with a double-beam trawl, whose course was diagrammed by the method indicated above (fig. 5).

TABLE

Trawl double beam (Blake)
B012 - Station 035 - Sample 084

Time	Top	Length wire meters	Angle wire degrees	Speed ship knots	Distance loch 1/200 naut	Direct path Fms	Reflect. path Fms	
23 h 35	0	0	90°	0.6	0	0	3 180	
23 h 45	1	681	90°	0.6	19	315	2 850	
23 h 55	2	1 325	83°	0.8	35	725	2 500	
0 h 05	3	2 006	83°	2	54	1 025	2 145	Trawl on bottom 36°21'3N 2 871 m 8°42'6W
0 h 15	4	2 690	80°	2	99	1 390	1 830	
0 h 25	5	3 043	70°	2	162	1 565	1 865	
0 h 35	6	3 145	60°	2	215	1 625	1 960	
0 h 45	7	3 325	50°	2	279	1 735	2 060	
0 h 55	8	3 511	50°	2	339	1 825	2 235	
1 h 05	9	3 699	53°	1.8	406	1 925	2 225	
1 h 15	10	3 816	55°	1.8	470	1 990	2 335	
1 h 25	11	3 867	55°	1.6	529	2 010	2 355	
1 h 35	12	3 926	55°	0.5	584	2 050	2 385	
1 h 45	13	3 679	55°	0	600	1 930	2 275	
1 h 55	14	3 407	55°	0	609	1 785	2 125	
2 h 05	15	3 110	60°	1	613	1 650	2 020	
2 h 15	16	2 600	60°	1	630	1 370	2 135	
2 h 25	17	2 036	60°	1	654	1 060	2 340	
2 h 35	18	1 469	60°	1	680	740	2 570	
2 h 45	19	894	60°	1	713	430	2 800	
2 h 55	20	355	40°	1	741	125	3 080	

The lengths of direct and reflected ultrasonic paths are given in fathoms, with all corrections made (MATTHEW, D. J., 1939).

The log's unit of length is 1/200 nautical mile.

A first remark concerns reception : for significant horizontal distances between the ship and the pinger, reception of the ping becomes impossible with a horizontal transducer. BACKUS (1966) underlined this problem and proposed the use of a non-directional hydrophone for reception. An orientable transducer would be more practical, and we are working at BREST in this direction.

A second remark concerns the amount of weight to be placed on the wire for a specified apparatus : the exact traction force of each apparatus as a function of the speed must be known in order to calculate the weight necessary to obtain a straight wire, the optimal condition with respect to the duration of the operation (appendix I). Finally, the important gain in length of wire must be noted in relation to classical techniques.

5 - CONCLUSIONS

The technique which has been described permitted us to considerably reduce the length of time for abyssal operations while increasing the distance covered on bottom.

In addition it permits an estimation of the bottom surface covered by the trawl or the dredge, thus allowing a deduction of biomass, bearing in mind the selectivity of the apparatus. In fact, as BACKUS (1966) has established, it is possible to make routine use of otter trawls or epibenthic dredges in the abyssal depths, an indispensable technique for sampling benthic fauna and deep-sea fishes.

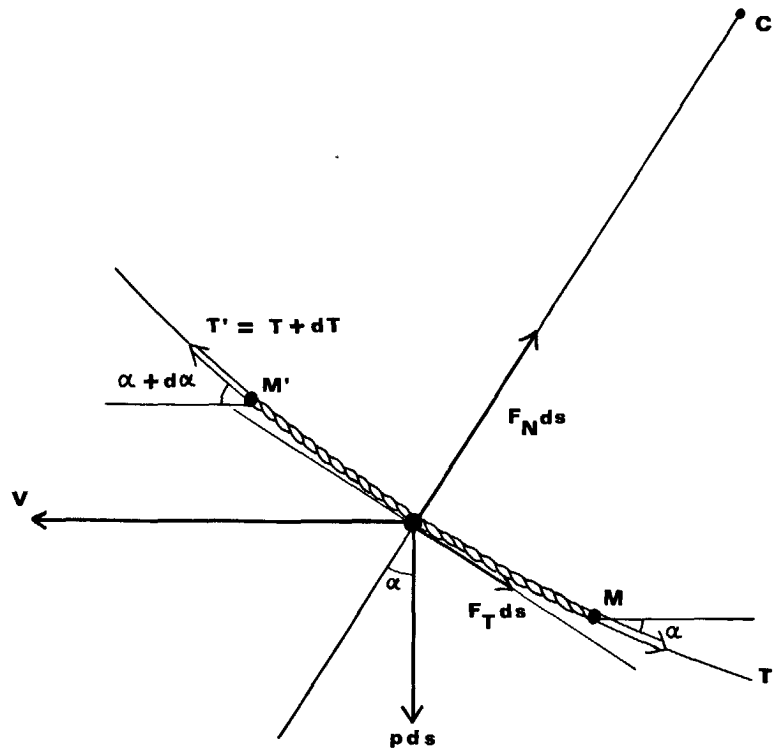


Figure 1 - Forces agissant sur un élément de câble (d'après KULLENBERG, 1951).

Strengths acting on an elementary part of a wire (after KULLENBERG 1951).

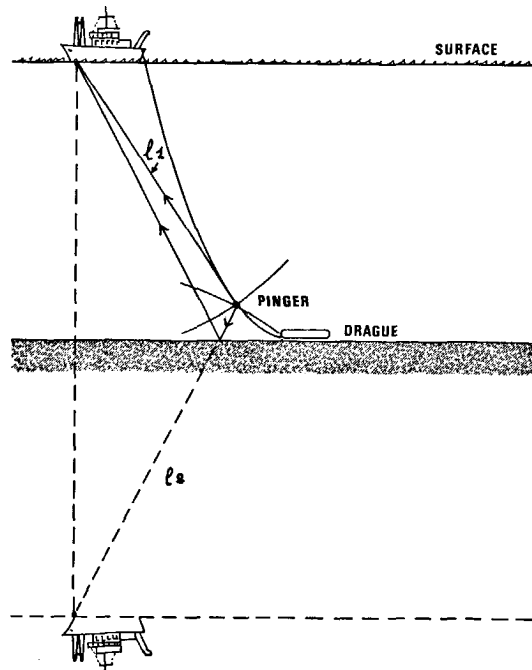


Figure 2 - Trajets ultrasonores réels et imaginaires.

Real and virtual ultrasonic paths.

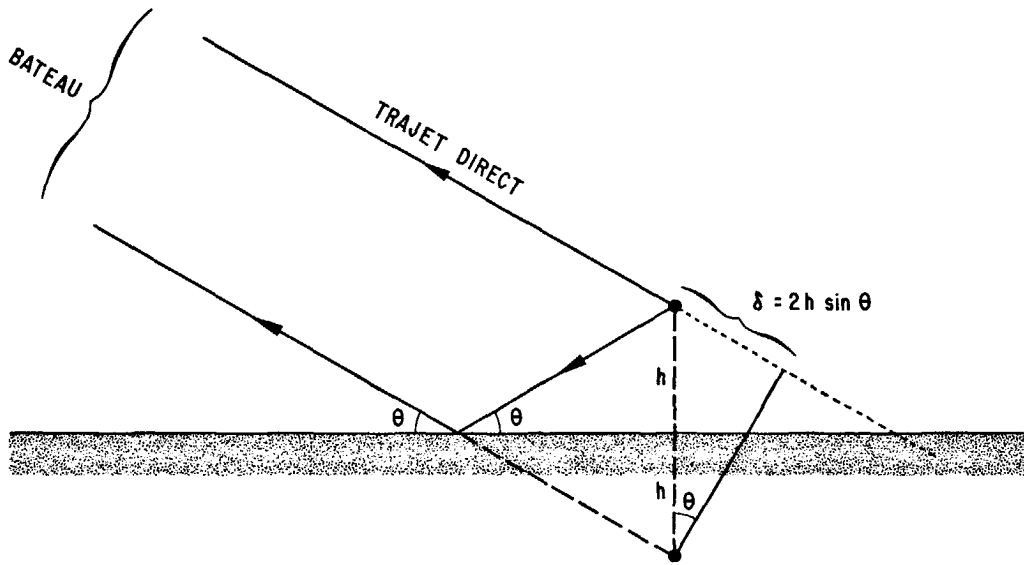


Figure 3 - Géométrie des trajets direct et réfléchi au niveau du fond (d'après BACKUS, 1966).

Direct and reflected ultrasonic paths near the bottom (after BACKUS 1966).

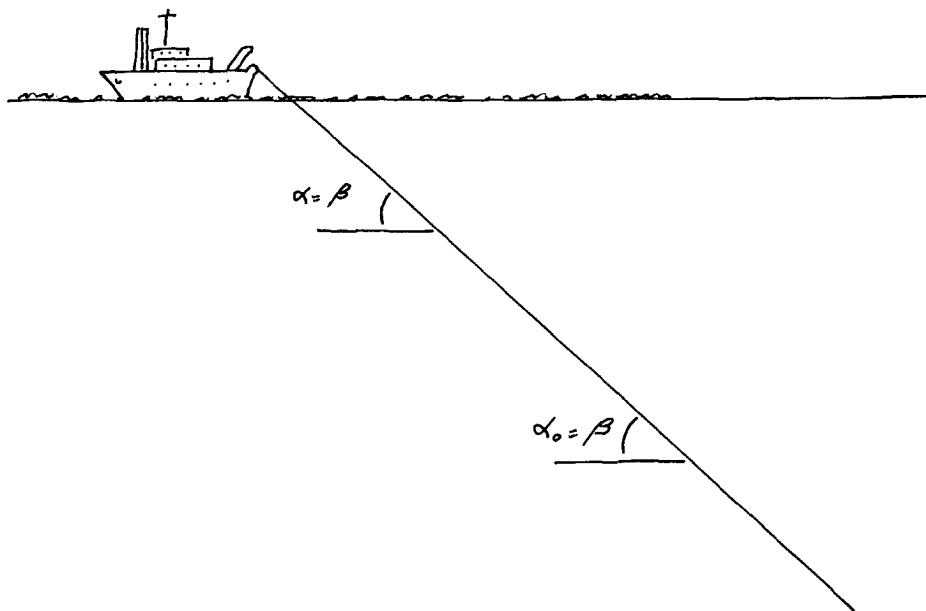


Figure 4 - Géométrie d'un câble ne traînant aucun appareil et ayant atteint l'angle asymptotique.

Configuration of a wire without any gear where it reaches the asymptotic angle.

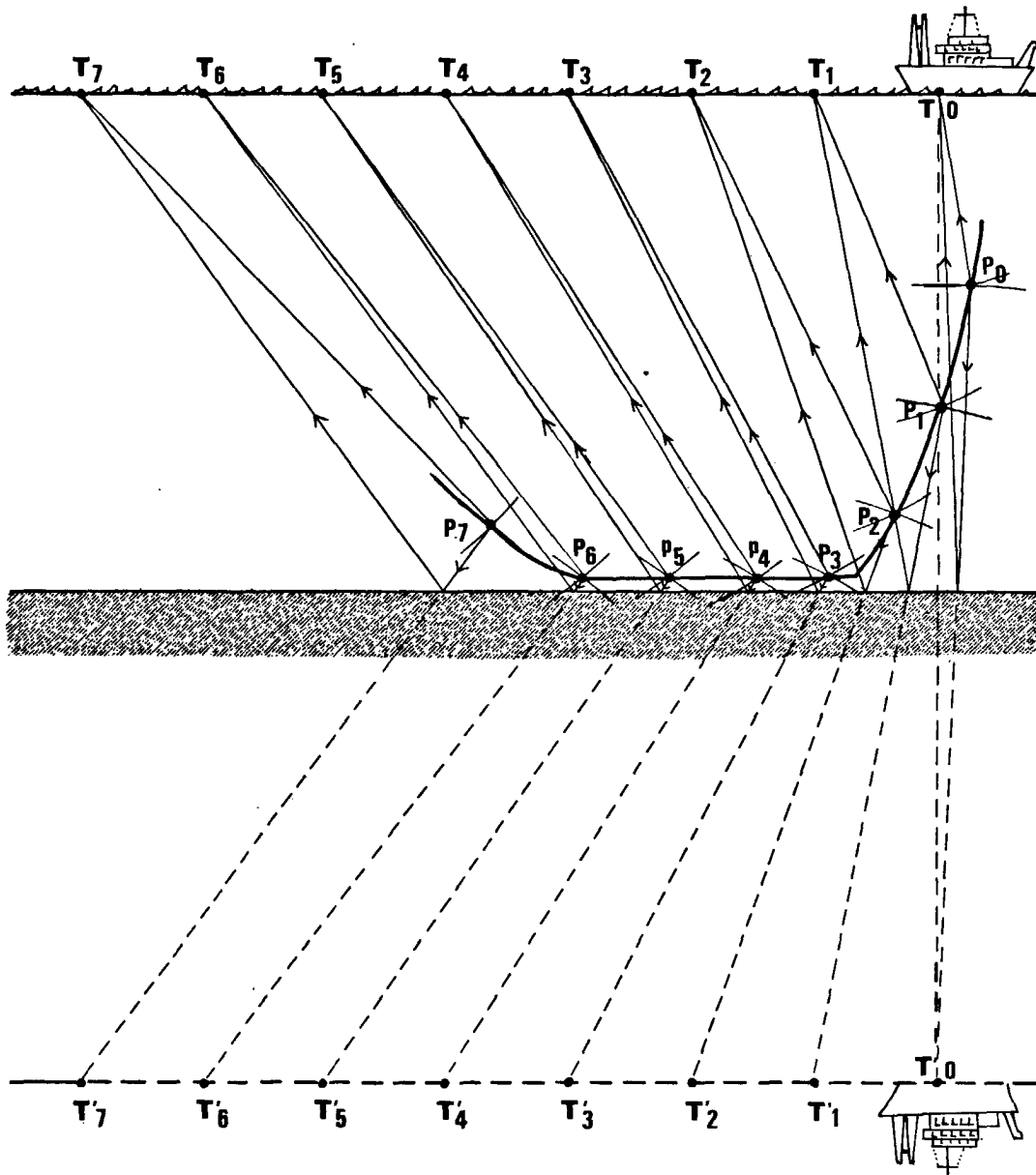


Figure 5 - Illustration de la méthode graphique de détermination du trajet d'un engin sur le fond.

Evaluation of the path of a gear on the bottom, using the graphic tecnic.

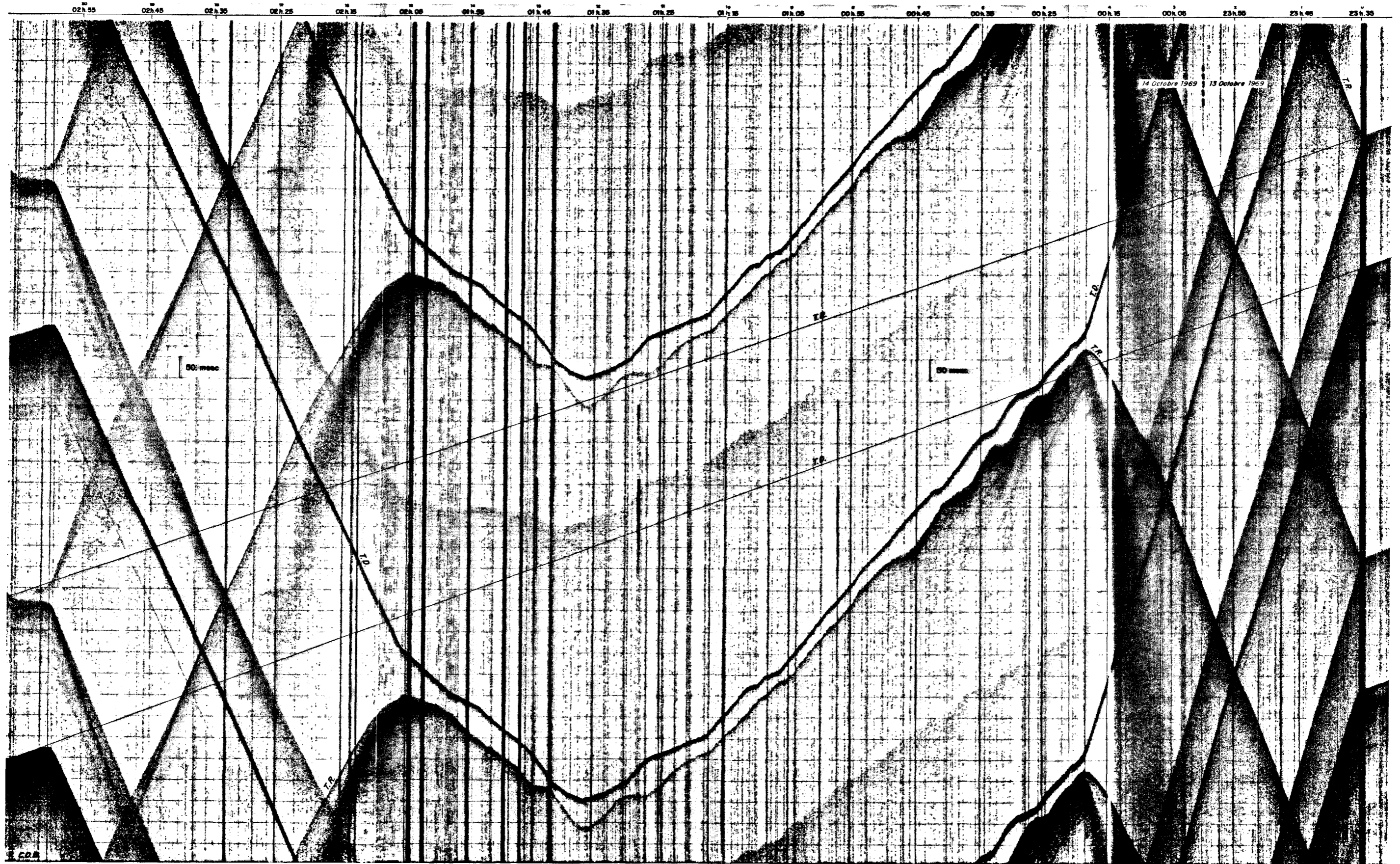


Figure 6 - Enregistrement sur EDO 333 PSR du coup de chalut à perche B 012

Record on EDO 333 PSR of beam-trawl operation B 012

A N N E X E I

Considérons (figure 1a) un élément de câble MM' de longueur ds , faisant l'angle α avec l'horizontale.

Si le mouvement est stationnaire, les forces agissant sur cet élément de câble s'annulent. Ces forces sont :

- les tractions T et T' = T + dT transmises par le câble aux points M et M' .
- le poids de l'élément ds dans l'eau : p ds si l'on désigne par p le poids par unité de longueur du câble
- la résistance hydrodynamique dont nous noterons les composantes normale et tangentielle : $F_N \cdot ds$ et $F_T \cdot ds$.

L'équilibre de ces forces s'exprime par les équations :

$$\begin{cases} (1) & p ds \cos \alpha - F_N ds = T d\alpha \\ (2) & p ds \sin \alpha + F_T ds = \alpha T \end{cases}$$

La vitesse de l'élément de câble, égale à la vitesse de l'ensemble du câble et donc du bateau est horizontale. Donc :

$$\begin{cases} (3) & F_N = k_N \cdot D \cdot (V \sin \alpha)^2 \\ (4) & F_T = k_T \cdot D \cdot (V \cos \alpha)^2 \end{cases} \left. \begin{array}{l} D : \text{diamètre du câble} \\ k_N \text{ et } k_T \text{ étant deux coefficients hydro-} \\ \text{dynamiques indépendants du câble} \end{array} \right\}$$

En introduisant le rayon de courbure $R = \frac{ds}{d\alpha}$, les équations deviennent

$$\begin{cases} (5) & R [p \cos \alpha - k_N \cdot D \cdot (V \sin \alpha)^2] = T \\ (6) & R d\alpha [p \sin \alpha + k_T \cdot D \cdot (V \cos \alpha)^2] = dT \end{cases}$$

L'équation (5) montre que pour une certaine valeur de α , le [] s'annule et donc, T gardant une valeur finie, non nulle, $\frac{1}{R} = 0$ et le câble est rectiligne. Cette valeur particulière de α est nommée angle asymptotique du câble β .

Pour éliminer T des équations (5) et (6), il faut différencier (5) et :

$$(7) \quad dT = [p \cos \alpha - k_N D \cdot (V \sin \alpha)^2] dR - R [p \sin \alpha + 2k_N \cdot D \cdot V^2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha] \cdot d\alpha$$

$$(8) \quad \frac{dR}{R} = \frac{2 p \sin \alpha + 2k_N \cdot D \cdot V^2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha + k_T \cdot D \cdot V^2 \cos^2 \alpha}{p \cos \alpha - k_N \cdot D \cdot V^2 \sin^2 \alpha} \cdot d\alpha$$

Cette équation différentielle détermine complètement la forme du câble, à condition de se fixer en un point, par exemple au point d'attache de l'engin tracté, l'angle et le rayon de courbure initiaux, α_0 et R_0 .

Si l'engin a un poids P dans l'eau et une traînée Tr à la vitesse considérée, nous avons :

$$(9) \quad \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{P}{Tr}$$

$$(10) \text{ et d'après (5) : } R_0 [p \cos \alpha_0 - k_N D (V \sin \alpha_0)^2] = \sqrt{P^2 + Tr^2}$$

A N N E X E II

Il est intéressant de se demander si une courbure avec un point d'inflexion peut représenter un câble ayant un mouvement stationnaire.

Nous avons vu que (Annexe I - éq. 8) $= \frac{dR}{R} = f(\alpha).d\alpha$, où $f(\alpha)$ est une fonction dont le numérateur est fini et dont le dénominateur s'annule pour $\alpha = \beta$ avec :

$$f(\alpha) \sim \frac{A}{\beta - \alpha} \text{ quand } \alpha \rightarrow \beta$$

$$R = e^{\int f(\alpha).d\alpha} = e^{F(\alpha)} \quad F(\alpha) \text{ étant la primitive de } f(\alpha)$$

qui s'annule pour $\alpha = \alpha_0$

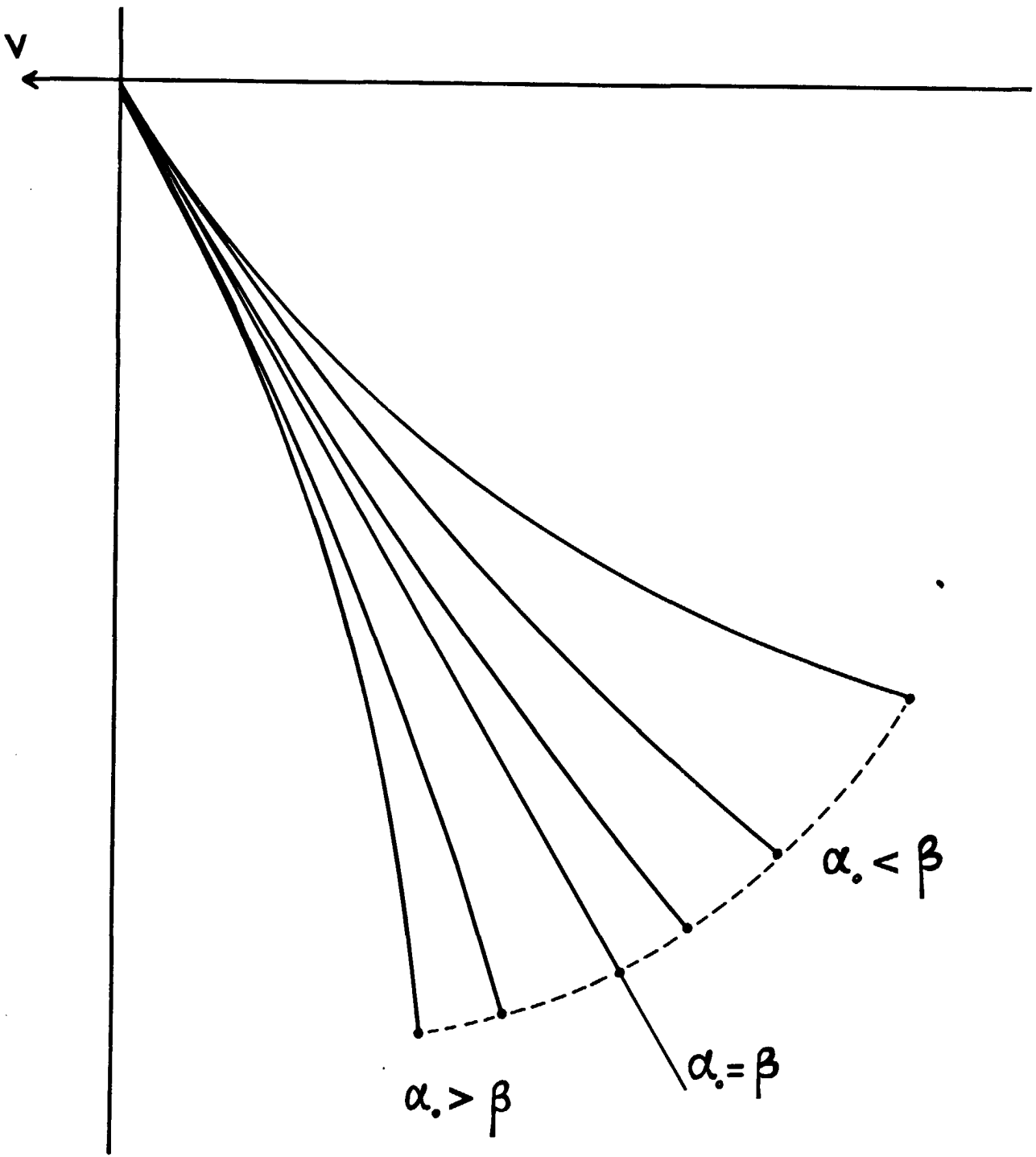
$$F(\alpha) \sim \int_{\alpha_0}^{\alpha \rightarrow \beta} \frac{A}{\beta - \alpha} . d\alpha = -A [\text{Log} |\beta - \alpha|]_{\alpha_0}^{\alpha \rightarrow \beta} \rightarrow + \infty$$

$$R = \frac{ds}{d\alpha} = e^{F(\alpha)} \sim \frac{1}{\beta - \alpha}$$

Nous pourrions également déduire cette équivalence de l'équation (5) en admettant que T doit rester finie.

Nous en déduisons que si $\alpha \rightarrow \beta$, $s = \int ds$ n'est pas convergente et donc le point où l'égalité $\alpha = \beta - x$ a lieu n'est jamais atteint.

ANNEXE III



BIBLIOGRAPHIE

- BACKUS R. H., 1966
The "Pinger as an Aid in Deep Trawling"
J. Cons. perm. int. Explor. Mer, 30 (2) : 270-277.
- EDGERTON H. E. et COUSTEAU J. Y., 1959
Underwater camera positioning by sonar.
Rev. Scient. Instrum., 30 : 1125-1126.
- EDGERTON H. E., COUSTEAU J. Y., HERSEY J. B. et BACKUS R. H., 1960
Underwater camera positioning by sonar.
WHOI Ref. 60-17, 8 pages (manuscrit).
- HERSEY J. B., 1967
The manipulation of deep-sea cameras. In Deep-sea Photography.
The Johns Hopkins Oceanographic Studies n° 3 - John Hopkins Press - Baltimore.
- HESSLER R. R. et SANDERS H. L., 1966
Faunal diversity in the deep-sea.
Deep-sea Res., 14 : 65-78.
- KULLENBERG B., 1951
On the shape and the length of the cable during a deep-sea trawling.
Rep. Swedish Deep Sea Exped., II, Zoology (2) : 29-44.
- MATTHEWS D. J., 1939.
Tables of the velocity of sound in pure water and sea water.
Hydrographic Department, Admiralty - London.
- MENZIES R. J., 1964
Improved techniques for benthic trawling at depths greater than 2000 meters.
Antartic Res. Ser., 1 Biology of the Antartic Seas : 93-109.

- NALWALK A. J. , HERSEY J. B. , REITZEL J. S. et EDGERTON H. E. , 1961
Improved techniques of deep-sea rock dredging.
Deep-sea Res. , 8 : 301-302.

- ROWE G. T. et MENZIES R. J. , 1967
Use of sonic techniques and tension recordings as improvements in abyssal trawling.
Deep-sea Res. , 14 : 271-274.

- VOSS G. L. , 1966
Biological collecting gear and its use aboard R/V Pillsbury. In the R/V Pillsbury deep-sea biological expeditions to the Gulf of Guinea, 1964-1965.
Stud. Trop. Oceanogr. Miami, 4 (1) : 61-81.

Edité par

Le Service Central de Documentation du C.E.A.

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

Septembre 1971