

### III

## ETUDE DU CHAMP ELECTRIQUE NECESSAIRE A LA TAXIE ANODIQUE DU POISSON

par Noël DINER et René LE MEN

L'étude et le principe d'un nouveau procédé de pêche par pompe, lumière et électricité ont déjà fait l'objet d'une publication (KURC, 1971). Ce travail met en évidence la nécessité d'un champ électrique pour assurer un relai entre l'attraction des poissons par la lumière et l'action du champ hydrodynamique de la pompe.

En effet, l'énergie lumineuse se propage avec une faible atténuation et se diffuse suffisamment bien dans l'eau pour présenter un grand rayon d'action. Par contre l'atténuation du champ hydrodynamique est considérable et la pompe ne présente une attraction efficace qu'au voisinage immédiat de son embouchure. Il faut donc contraindre les individus qui se maintiennent dans la zone dite de « photopréférendum » à pénétrer dans la zone de succion.

L'énergie électrique trouve ici son application. En effet, un gradient de potentiel déclenche chez les poissons des manifestations orientées de la motricité à caractère coercitif. La pêche électrique utilise ce phénomène et plus précisément la taxie anodique qui se traduit par une « nage forcée » en direction de l'électrode positive. Il suffit alors, en principe, de faire jouer à l'embouchure de la pompe le rôle d'anode pour constituer un piège au pouvoir de capture pratiquement infini.

L'action du courant électrique s'explique par la neurophysiologie des poissons et a été expliqué dans un article précédent (BLANCHETEAU, 1971).

La valeur du gradient de potentiel doit être supérieure à un certain seuil afin de déclencher le phénomène de taxie mais elle ne doit cependant pas dépasser une certaine limite. En effet pour des valeurs supérieures, le gradient de potentiel n'est plus attractif mais au contraire immobilise les poissons en les tétanisant.

Nous verrons que les effets de la tétanie se font surtout sentir au proche voisinage de l'anode. Le champ électrique créé doit donc être tel que la zone de taxie obtenue soit aussi étendue que possible et celle de tétanie suffisamment réduite pour pouvoir être recouverte par le volume de succion.

L'eau de mer possède une faible résistivité et l'établissement d'une différence de potentiel dans un milieu marin exige de très grandes puissances. En particulier, les installations électriques doivent pouvoir supporter de très forts ampérages.

L'impédance de charge du générateur mais aussi la valeur et la répartition du champ électrique fonction de la position, de la forme et des dimensions des électrodes présentent dans le cas de la pêche électrique un intérêt fondamental. Une étude approfondie de divers systèmes d'électrodes et des champs électriques qui en résultent se révèle nécessaire avant d'entreprendre toute réalisation pratique.

Nous allons tout d'abord rappeler les données de base dont nous disposons, puis nous décrirons les méthodes théoriques et expérimentales utilisées, enfin nous indiquerons les résultats auxquels nous sommes parvenus.

## A. - Bases de travail.

### *Données physiologiques.*

#### a) *Concentration des poissons autour de la source lumineuse.*

La pêche électrique ne peut s'appliquer qu'aux poissons photophiles car ce mode de capture fait appel, nous l'avons vu, au pouvoir attractif de l'énergie lumineuse.

La concentration des poissons auprès des lampes dont la stabilité et la densité dépendent de nombreux facteurs tant hydrologiques que météorologiques (DINER, 1969) possède sensiblement la même forme pour toutes les espèces.

De nombreuses observations nous ont permis d'établir la configuration approximative du volume où se regroupent les poissons et celle-ci a déjà été décrite dans un article précédent (LE MEN, 1971). Dans un plan horizontal sa forme rappelle celle d'une ellipse dont le lamparo serait l'un des foyers. Elle s'étend sensiblement entre 2 et 25 m derrière les lampes et fait 15 à 20 m de large.

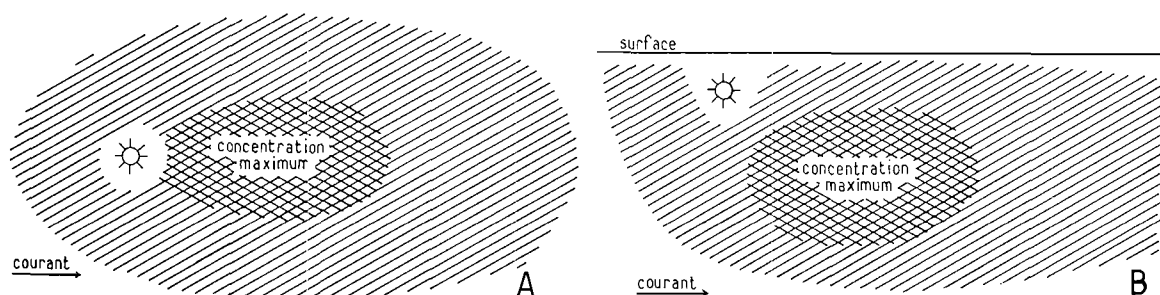


FIG. 1. — *Forme approximative de la concentration des poissons près de la source lumineuse. Vues en plan (A) et en coupe (B). La concentration maximum se situe en arrière du lamparo par rapport au courant marin et à un niveau légèrement inférieur.*

Le volume où la probabilité de présence des poissons semble maximale peut encore être précisé. Sa longueur atteint environ 15 m et sa largeur dépasse rarement 7 à 8 m (fig. 1). Son niveau peut varier en fonction des facteurs de milieu.

C'est dans ce volume qu'il faut établir le champ électrique provoquant la taxie anodique. Il ne convient donc pas de centrer les zones d'attraction hydrodynamique et électrique sur la source lumineuse, au voisinage immédiat de laquelle les poissons ne se concentrent pas. Il est plus judicieux de placer l'anode et l'embouchure de la pompe à environ 2 m derrière les lampes et au niveau de la concentration maximum.

#### b) *Gradient de potentiel électrique.*

Les avantages et les inconvénients des différents stimuli électriques destinés à provoquer la taxie anodique ont été exposés dans un article précédent (BLANCHETEAU, 1971). De multiples raisons d'ordre physiologique motivent le choix du courant rupté. Mais les caractéristiques de ce courant impulsionnel restent à préciser en fonction de l'espèce et de la taille des poissons que l'on veut pêcher.

Afin d'expérimenter et de mettre au point l'appareillage de pêche électrique, les premiers essais de l'I.S.T.P.M. porteront sur la capture des sardines.

Dans ce cas, des fréquences de 200 à 50 et même 30 Hz doivent donner d'excellents résultats. Une durée d'impulsion d'une milliseconde (ms) semble constituer une assurance raisonnable d'efficacité stimulante. Le seuil de taxie anodique est alors de l'ordre de 10 à 12 V/m tandis que la tétanie risque de se manifester vers 30 V/m (BLANCHETEAU, communication personnelle, 1970).

Pour que ce procédé de pêche s'avère efficace, il faut donc concevoir et réaliser un système d'électrodes, grâce auquel on puisse établir un gradient de potentiel compris entre 10 et 30 V/m, dans un volume aussi important que possible.

**Conditions physiques.**

a) *Champ électrique dans un milieu conducteur homogène.*

Pour créer un champ électrique dans un milieu conducteur liquide, il suffit d'y plonger deux surfaces conductrices portées à des potentiels différents. Ces surfaces sont les électrodes qui assurent la dissipation de l'énergie électrique dans le milieu conducteur. L'électrode présentant le potentiel le plus élevé est l'anode, l'autre la cathode.

La variation des potentiels rencontrés lorsque l'on passe de l'anode à la cathode peut être commodément exprimée par une succession de surface, chacune ayant tous ses points au même potentiel. Ces surfaces équipotentielles traduisent la répartition du champ électrique.

Les lignes de courant, toujours orientées dans le sens des potentiels décroissants, coupent perpendiculairement les surfaces équipotentielles, en particulier elles quittent orthogonalement l'anode et aboutissent de même à la cathode.

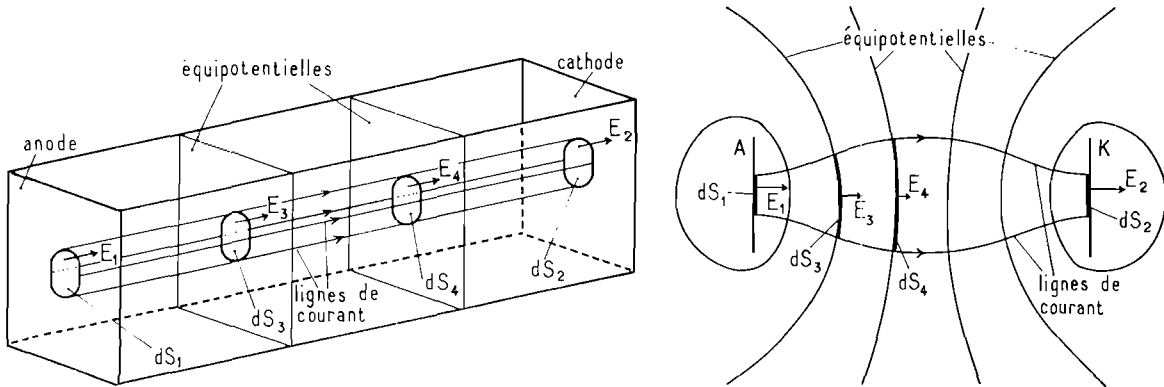


FIG. 2. — Répartition uniforme du gradient de potentiel dans le cas du conducteur linéaire. Les équipotentielles sont des plans parallèles avec électrodes (à gauche).

FIG. 3. — Répartition non uniforme du gradient de potentiel. L'anode (A) et la cathode (K), de surface finie, sont plongées dans un volume infini. L'énergie ne se dissipe plus uniquement dans le parallélépipède délimité par les électrodes mais dans un volume pratiquement infini. Les équipotentielles ne sont plus parallèles entre elles; les lignes de courant divergent à partir de l'anode et convergent sur la cathode (à droite).

Considérons sur l'anode un élément de surface  $dS_1$ . Les lignes de courant qui s'appuient sur le contour de cette surface forment un tube de force et déterminent sur la cathode un élément de surface  $dS_2$  (fig. 2 et 3). Dans un tube de force le flux du champ électrique est conservatif et nous pouvons écrire :

$$E_1 dS_1 = E_2 dS_2$$

$E_1$  et  $E_2$  étant les composantes du champ électrique respectivement perpendiculaires aux éléments de surface  $dS_1$  et  $dS_2$ .

Dans le cas de la pêche électrique, l'idéal serait d'obtenir une chute régulière du potentiel de l'anode à la cathode. Le gradient étant alors constant, le champ électrique serait uniforme et il suffirait de déterminer la tension anodique et la distance entre les électrodes afin d'obtenir la valeur du gradient de potentiel nécessaire à la taxie anodique.

Cette configuration est obtenue dans les conducteurs linéaires, par exemple dans le cas d'une cuve parallélépipédique remplie d'eau et dont les sections extrêmes font office d'anode et de cathode. Les surfaces équipotentielles sont alors constituées par des plans parallèles aux électrodes (fig. 2). Un tube de force dont les lignes de courant coupent perpendiculairement les surfaces équipotentielles, possède donc une section constante et nous avons dans ce cas :

$$dS_1 = dS_2 = dS_3 = dS_4$$

Nous avons vu que le flux du champ électrique est conservatif c'est-à-dire que :

$$E_1 dS_1 = E_2 dS_2 = E_3 dS_3 = E_4 dS_4$$

On en conclut :

$$E_1 = E_2 = E_3 = E_4$$

Le champ électrique est bien uniforme dans ce cas.

Mais d'une façon générale, la répartition des équipotentiellés est fonction de la forme, de la surface et de la disposition des électrodes et aussi du volume où se dissipe l'énergie.

Dans le cas qui nous intéresse, des électrodes, de dimensions finies sont plongées en mer, c'est-à-dire dans un milieu infini. Les équipotentiellés ne forment alors plus des plans parallèles entre eux, mais des surfaces fermées, plus ou moins concentriques autour de l'une ou l'autre des électrodes.

Les lignes de courant divergent à partir de l'anode puis convergent vers la cathode et un tube de force ne présente donc plus une section constante (fig. 3). Nous pouvons toujours écrire :

$$E_1 dS_1 = E_2 dS_2 = E_3 dS_3 = E_4 dS_4$$

mais dans ce cas :

$$dS_1 = dS_2 < dS_3 < dS_4$$

on en déduit :

$$E_1 = E_2 > E_3 > E_4$$

Dans un tube de force, le champ électrique est inversement proportionnel à la surface de la section qu'il traverse. Comme la section des tubes de force augmente rapidement quand on s'éloigne des électrodes et que le champ électrique est égal à une différence de potentiel par unité de longueur, nous voyons que le potentiel décroît rapidement quand on s'éloigne des électrodes (fig. 4). Or, nous

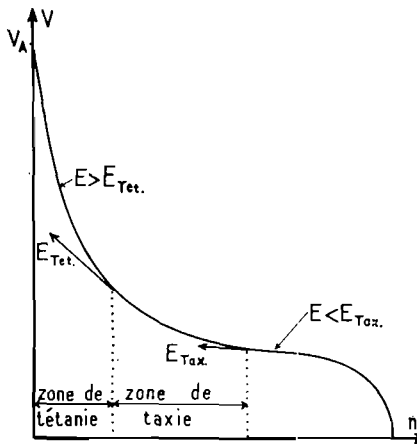


FIG. 4. — Courbe donnant le potentiel V d'un point à une distance n de l'anode, calculée le long de la ligne de courant où se trouve le point considéré. Dans la zone de tétanie, proche de l'anode, le champ électrique est supérieur au seuil de tétanie,  $E_{Tet.}$ . Dans la zone de taxie, le champ est compris entre le seuil de tétanie et celui de taxie,  $E_{Tox.}$ .

voulons obtenir une zone de taxie aussi étendue que possible, c'est-à-dire un volume important où le gradient, supérieur ou égal au seuil de taxie, reste inférieur au seuil de tétanie. Nous devons alors nous efforcer d'adoucir les chutes de potentiel au voisinage des électrodes, c'est-à-dire donner à celles-ci une surface aussi importante que possible. Ceci, vrai pour la cathode, n'est concevable que dans une certaine mesure pour l'anode. En effet, nous voulons aspirer tous les poissons dirigés par taxie vers l'anode. Si le rayon d'attraction de la pompe mesure 0,5 m par exemple, le diamètre d'une anode circulaire, centrée sur l'orifice de la pompe, ne doit pas alors dépasser 1m. Dans le cas contraire, les poissons attirés par les bords de l'électrode échapperaient à l'attraction de la pompe.

Les dimensions de l'anode ne peuvent donc pas dépasser certaines limites et la tension décroît rapidement à son voisinage. Le gradient de potentiel possède une valeur relativement élevée près de cette électrode et risque donc de tétaniser les poissons.

La tension anodique, la géométrie et la distance des électrodes doivent donc être déterminées de manière à obtenir une zone de taxie aussi grande que possible, mais sans que la zone de tétanie soit trop importante par rapport au volume de suction.

#### b) Energie dissipée entre les électrodes.

L'impédance de charge du générateur est uniquement constituée par le milieu marin qui ferme le circuit entre les électrodes. L'eau de mer est une solution électrolytique et quand on y établit un champ électrique, les ions positifs et négatifs se meuvent respectivement vers la cathode et vers l'anode. La conductivité d'un électrolyte est directement liée à ce phénomène et elle varie proportionnellement au nombre mais aussi à la mobilité des ions présents dans la solution.

Dans un électrolyte fort, c'est le cas de l'eau de mer, toutes les molécules de sel dissous sont pratiquement dissociées. Le nombre des ions présents est alors proportionnel à la salinité de l'eau. Par ailleurs la mobilité des ions augmente avec la température. L'eau de mer possède donc une bonne conductivité qui croît encore quand sa salinité ou sa température augmente (fig. 5).

L'impédance de charge a donc une faible valeur. Pour que les impulsions électriques soient

efficaces, il faut qu'elles présentent une tension de crête suffisamment élevée. Il est alors nécessaire d'utiliser un générateur de puissance pouvant supporter de forts ampérages.

Or l'énergie disponible à bord d'un bateau de pêche est limitée. Il faut donc calculer les électrodes de manière à ne pas trop diminuer l'impédance de charge en utilisant par exemple une cathode de trop grande surface ou en donnant à la distance qui sépare les électrodes une valeur trop faible.

L'emploi du courant rupté, supérieur au courant continu sur le plan physiologique (BLANCHETEAU, 1971) est également avantageux sur le plan énergétique. Il permet en effet de réaliser une économie de puissance dans le rapport du duty-cycle (duty-cycle = durée de l'impulsion  $\times$  fréquence). La puissance moyenne dissipée se trouve alors considérablement réduite par rapport à celle nécessaire en courant continu et devient inférieure à 100 kw en utilisant le système d'électrodes décrit à la fin de cet article.

Mais au niveau des impulsions, la puissance de pointe reste supérieure au mégawatt (MW) et ne peut être produite directement de manière simple. L'énergie doit être préalablement accumulée dans un « réservoir » qui, chargé de manière continue, ne délivre son énergie que durant un temps très court. Nous nous trouvons alors devant un problème d'électrotechnique relatif à l'accumulation de fortes énergies et à la commutation d'intensités élevées.

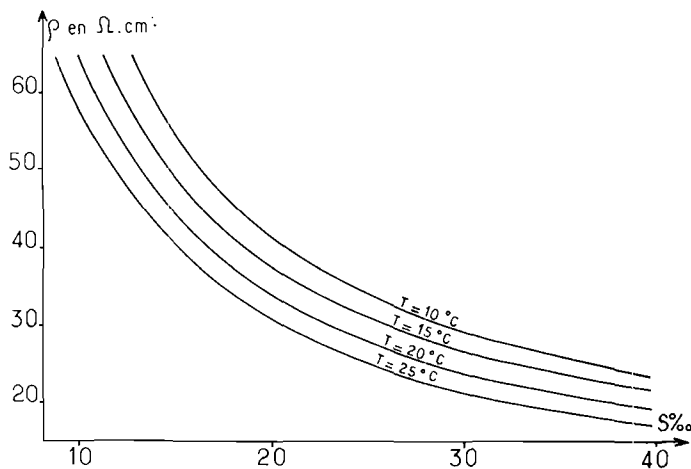


Fig. 5. — Variations de la résistivité,  $\rho$ , de l'eau de mer en fonction de la salinité,  $S$  ‰, pour différentes températures.

Après avoir étudié plusieurs systèmes qui utilisaient soit des batteries d'accumulateurs, soit des associations de condensateurs, nous avons finalement retenu la solution de l'alternateur impulsif. Cet appareil, de conception récente fait l'objet d'un brevet appartenant à la Compagnie Générale d'Electricité (C.G.E.). Ce procédé consiste à emmagasiner une énergie cinétique très importante dans le rotor à forte inertie d'un alternateur entraîné à grande vitesse. Une partie de cette énergie, prélevée sous forme électrique pendant un temps très court, permet d'obtenir après redressement des impulsions de grande puissance.

Les réglages en tension, fréquence et durée d'impulsion se font, de façon continue, à partir d'un tableau de commande électronique indépendant de l'alternateur, ce qui lui donne une très grande souplesse d'emploi.

Cet appareil, initialement conçu pour déclencher des rayons lasers, a dû être modifié, selon nos indications, par les ingénieurs de la C.G.E. pour que ses caractéristiques coïncident avec celles requises par la pêche électrique. La tension anodique est réglable de 300 à 400 V, la fréquence des impulsions de 30 à 50 Hz et leur durée de 0,2 à 10 ms. Notons que ces paramètres ne sont pas complètement indépendants car il n'est pas possible de dépasser la puissance nominale de l'appareil. Par exemple l'alternateur ne peut pas fournir des impulsions de 10 ms à 50 Hz et sous 400 V.

## B. - Méthode de travail.

### *Nécessité d'une méthode expérimentale.*

Nous avons vu qu'il est nécessaire de connaître la valeur du champ électrique en chaque point situé dans la zone de pêche. Cette valeur peut être calculée le long des lignes de courant, elles-mêmes déterminées par la répartition des équipotentielles.

Or, ce phénomène de dissipation de l'énergie potentielle dans un volume obéit à l'équation de Laplace :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0$$

V étant la fonction potentiel et x, y, z les trois coordonnées de l'espace. La résolution de cette équation n'est aisée que pour quelques problèmes simples (conducteur linéaire, par exemple) ce qui n'est pas le cas de la pêche électrique. En effet, comme nous l'avons déjà dit, les électrodes de surface finie sont plongées dans un milieu infini. Il faut donc avoir recours à une méthode expérimentale pour analyser cette dissipation d'énergie électrique, c'est-à-dire déterminer le potentiel en tous les points du liquide conducteur.

### *Expérimentation sur maquette. Formule de similitude.*

L'expérimentation sur des prototypes en vraie grandeur étant longue, coûteuse et peu pratique, les mesures ont été effectuées au laboratoire sur des maquettes aux échelles de réduction linéaire 1/25<sup>e</sup> et 1/50<sup>e</sup>. Pour déterminer le potentiel en chaque point du bassin d'essai, nous disposons d'une sonde de mesure, réglable verticalement et fixée à un support pouvant se déplacer horizontalement de manière précise dans les deux dimensions. En déplaçant cette sonde et en relevant le potentiel et les coordonnées de chaque point, il est possible d'établir une carte du potentiel dans l'espace.

La dissipation de l'énergie dans un milieu homogène est une fonction linéaire de la différence de potentiel. Cette condition n'est autre que la loi d'Ohm et l'on a donc :  $V = RI$

V est la différence de potentiel appliquée, R la résistance entre les électrodes et I l'intensité qui traverse le circuit.

Cette formule est valable pour la maquette comme pour le prototype à l'échelle 1. Une résistance a la dimension d'une résistivité multipliée par l'inverse d'une longueur. Soient R la résistance entre les électrodes en grandeur réelle,  $\rho$  la résistivité de l'eau de mer, R' et  $\rho'$  les grandeurs correspondantes de la maquette à l'échelle 1/k. Nous avons :

$$R/R' = \rho/\rho' \cdot 1/k \quad \text{ou} \quad R = R' \cdot \rho/\rho' \cdot 1/k \quad (1)$$

Le champ électrique est égal à une différence de potentiel par unité de longueur. Soient V la tension anodique et E le champ électrique en un point donné, et soient V' et E' les grandeurs correspondantes au point homologue de la maquette. Nous pouvons écrire :

$$E/E' = V/V' \cdot 1/k \quad \text{ou encore} \quad E = E' \cdot V/V' \cdot 1/k \quad (2)$$

A l'aide de ces formules 1 et 2, il est donc possible d'extrapoler à l'échelle 1 les résultats obtenus à partir des mesures faites sur la maquette.

### *Appareillage électrique.*

Bien qu'opérant à échelle réduite, nous nous sommes constamment efforcés de travailler dans des conditions aussi proches que possible de la réalité. Un générateur fournit l'énergie électrique sous forme de signaux carrés, réglables en fréquence et en durée d'impulsion et maintient une tension de crête constante entre l'anode et la cathode. Nous avons le plus souvent travaillé à 50 Hz en utilisant des durées d'impulsions comprises entre 5 et 10 ms et des tensions anodiques de l'ordre de 15 V. Un oscilloscope permet de relever la différence entre le potentiel de la sonde et celui de la cathode pris comme référence.

### Exploitation des résultats.

Connaissant le potentiel en tous les points du bac d'essai dans un plan donné on relie entre eux les points de même potentiel, on obtient les lignes équipotentiellles, intersections des surfaces équipotentiellles avec le plan considéré. Les lignes de courant, orthogonales aux lignes équipotentiellles peuvent alors être tracées. Pour chaque ligne de courant, il est possible d'établir la courbe qui indique le potentiel d'un point en fonction de sa distance à l'anode, celle-ci étant calculée le long de la ligne de courant. En un point le gradient de potentiel est égal à la pente de la courbe.

La résistance entre les électrodes est déterminée par la méthode dynamique : pour une tension anodique donnée, on mesure l'intensité qui passe entre les électrodes. La valeur de la résistance se calcule en appliquant la loi d'Ohm et la formule de similitude (1) permet de déterminer la valeur de ce paramètre à l'échelle 1.

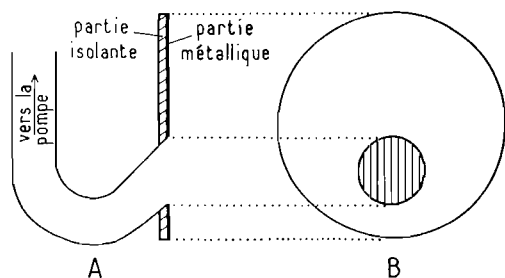
Les expériences ayant été effectuées au laboratoire à deux échelles de réduction par souci d'uniformité et pour une meilleure compréhension, les résultats ont tous été extrapolés à l'échelle 1.

### C. - Résultats.

#### Modèle retenu.

Pour définir le système d'électrodes de pêche, il faut tenir compte d'un certain nombre de paramètres et tenter de les concilier. Le gradient de potentiel présente une efficacité maximum quand le corps du poisson est parallèle aux lignes de courant, la tête en direction de l'anode. Or les poissons se maintiennent près de la source lumineuse en remontant le courant marin. L'axe anode-cathode, c'est-à-dire la direction moyenne des lignes de courant, doit donc être parallèle au courant marin.

Il faut choisir des électrodes de surface suffisamment grande pour éviter une variation trop rapide du potentiel à leur voisinage et obtenir ainsi une meilleure efficacité du gradient. Cependant la dimension des électrodes se trouve tout d'abord limitée par l'impédance de charge du générateur qui décroît rapidement avec leur surface et qui ne doit pas descendre au-dessous d'une certaine valeur. Mais, nous l'avons vu, l'anode doit être telle que toute sa surface soit soumise au champ d'attraction hydrodynamique. La zone de tétanie, fonction de la tension mais aussi de la surface anodique doit coïncider autant que possible avec le volume de succion de la pompe.



Tenant compte de tous ces facteurs, après de nombreuses expériences effectuées au laboratoire, voici le système d'électrodes que nous avons retenu :

L'anode est un disque métallique de 1 m de diamètre, isolé au dos pour éviter une dispersion inutile de l'énergie vers une zone où la concentration des poissons n'est pas très dense. L'embouchure du tuyau de pompe débouche à la surface de cette électrode et dans sa partie inférieure (fig. 6).

FIG. 6. — Anode et embouchure du tuyau de pompe. Vues en coupe (A) et de face (B). La cathode est constituée de cinq tiges conductrices, équidistantes, fixées à une boucle porteuse faisant sensiblement un arc de cercle et centrée sur l'anode. La hauteur de chaque tige est de 4,50 m et l'écartement entre les brins extrêmes de 6,50 m.

La distance entre l'anode et la cathode est réglable, mais nous avons constaté qu'une valeur d'environ 8 m donne d'excellents résultats tant au point de vue de la valeur du gradient de potentiel que de la répartition du champ électrique.

#### Réseau d'équipotentiellles.

Avec un tel système d'électrodes, on obtient les réseaux d'équipotentiellles des figures 7 et 8 dans les plans de symétrie horizontal et vertical des électrodes. Près de l'anode, la tension décroît rapidement et les équipotentiellles sont concentriques. Mais elles tendent rapidement vers des droites ; leur répartition devient presque uniforme et le gradient pratiquement constant. Au voisinage de la cathode, le potentiel chute à nouveau, mais moins fortement car la surface équivalente de la cathode ( $4,50 \times 6,50 \text{ m}^2$ ) est plus importante que celle de l'anode.

Pour une tension anodique de 350 V et une distance entre les électrodes égale à 8 m, nous cons-

tatons en examinant la courbe qui donne le potentiel d'un point, situé sur l'axe de symétrie, en fonction de sa distance à l'anode (fig. 9), que le gradient minimum obtenu, 10,5 V/m, doit être en principe

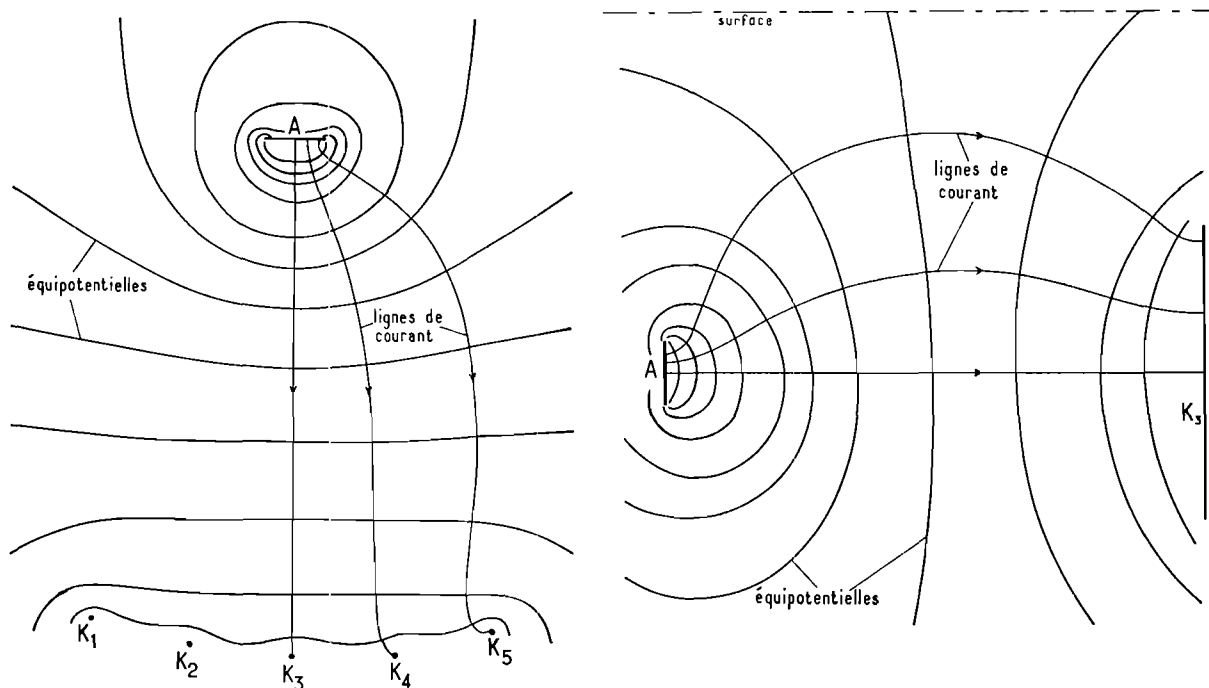


FIG. 7 et 8. — Réseau d'équipotentiellles dans les plans de symétrie horizontal (à gauche), vertical (à droite) des électrodes. A : anode, K<sub>1</sub> à K<sub>5</sub> : brins de la cathode (à gauche). K<sub>3</sub> : seul brin de la cathode dans le plan considéré (à droite).

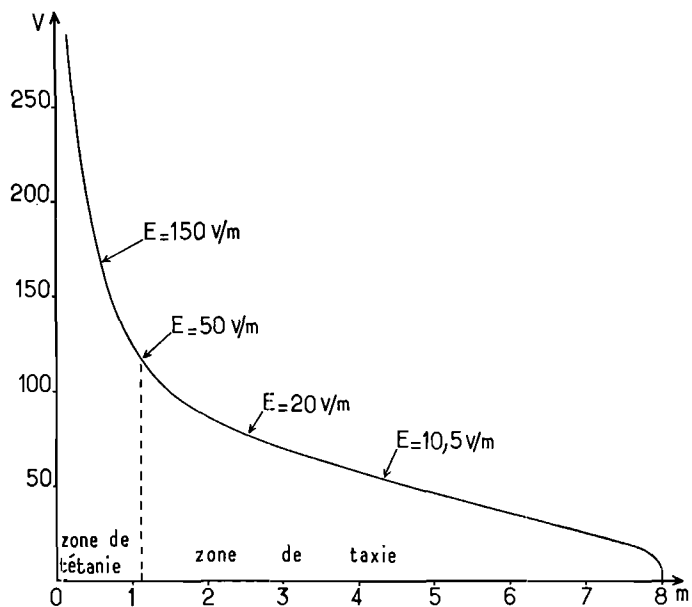


FIG. 9. — Courbe donnant le potentiel  $V$  d'un point, situé sur l'axe de symétrie des électrodes, en fonction de sa distance à l'anode. Tension anodique  $V_A = 350$  V, anode  $\varnothing = 1$  m.

suffisant pour provoquer la taxie anodique ; la tétanie, totale à 50 V/m, apparaît à 1,10 m de l'anode. Dans ce cas la zone de pêche par électricité s'étend jusqu'à 7,50 m de l'anode.



**Variations du gradient de potentiel et de l'impédance de charge en fonction du diamètre de l'anode et de la distance entre les électrodes.**

Le système d'électrodes choisi présente une grande souplesse d'emploi : il est par exemple aisé de travailler avec des anodes de différents diamètres ou de modifier la distance entre les électrodes.

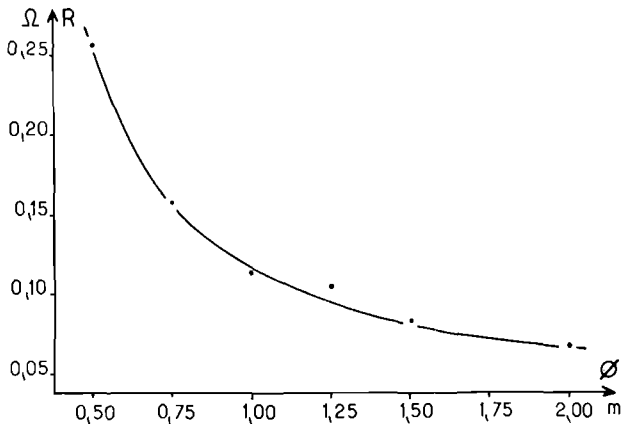


FIG. 10. — Variation de l'impédance de charge,  $R$ , en fonction du diamètre,  $\phi$ , de l'anode. Distance entre électrodes de 8 m.

Avec un écartement de 8 m entre les électrodes et une cathode comprenant 5 brins, longs de 4,50 m, distants de 1,60 m, nous avons fait varier le diamètre de l'anode de 0,50 à 2,00 m. Dans chacun des cas, nous avons mesuré l'impédance de charge et relevé le potentiel sur l'axe de symétrie des électrodes (fig. 10 et 11). Lorsque le diamètre de l'anode passe de 0,50 à 2,00 m l'impédance décroît de 0,26 à 0,07  $\Omega$ , la résistivité de l'eau étant 21,9  $\Omega \cdot \text{cm}$  ( $T = 10^\circ\text{C}, S = 35 \text{ ‰}$ ). Pour une tension anodique de 350 V, le gradient de potentiel à 5 m de l'anode varie de 3,5 à 16,5 V/m.

L'ensemble des courbes de la figure 11 met bien en évidence la décroissance rapide du potentiel au voisinage de l'anode. Cette variation est d'autant plus forte que la surface anodique est petite. Tou-

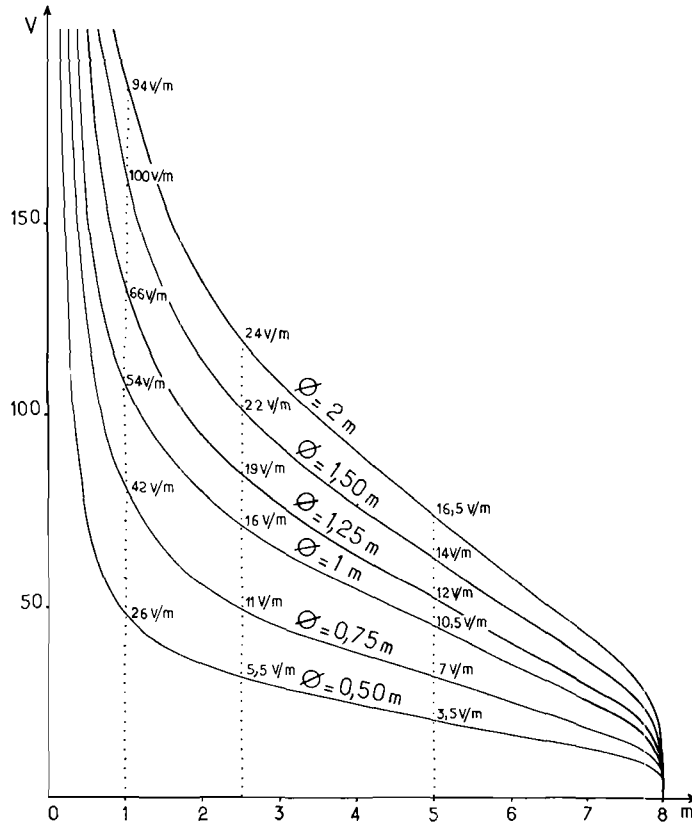


FIG. 11. — Potentiel  $V$  d'un point, sur l'axe de symétrie des électrodes, en fonction de sa distance à l'anode, pour différents diamètres,  $\phi$ , de l'anode. La tension anodique,  $V_A$ , est 350 V et la distance entre électrodes 8 m.

tes les courbes présentent entre 0,50 et 2 m un coude plus ou moins accentué, puis, entre 2,50 et 7,50 m, un palier où le gradient garde une valeur pratiquement constante.

Le choix du diamètre de l'anode a été fait en fonction de la valeur du gradient sur ce palier, valeur qui doit être au moins égale au seuil de taxie, mais aussi en fonction de la zone de tétanie (totale vers 50 V/m).

Pour les anodes de petits diamètres, le potentiel décroît rapidement et le gradient arrive très vite (à moins d'1 m de l'anode) à une valeur inférieure au seuil de tétanie. Quand le diamètre de l'anode augmente, le coude présenté par la courbe devient moins accentué, la valeur du gradient sur le palier croît, mais le seuil de tétanie est atteint à plus d'un mètre de l'électrode.

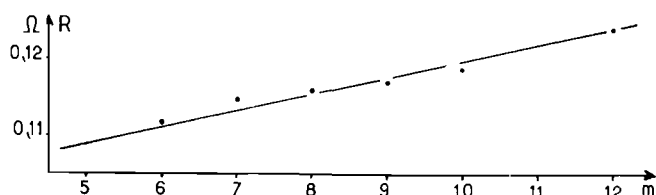


FIG. 12. — Variation de l'impédance de charge, R, en fonction de la distance anode-cathode. Anode  $\varnothing = 1$  m.

Avec des anodes de diamètres supérieurs à 2 m, on se rapprocherait du cas idéal, c'est-à-dire, de l'obtention d'un gradient constant entre les électrodes. Mais l'utilisation d'anodes de grands diamètres est exclue car le champ hydrodynamique de la pompe ne recouvre pas toute leur surface et la résistance entre électrodes devient alors trop faible ( $< 0,07 \Omega$ ).

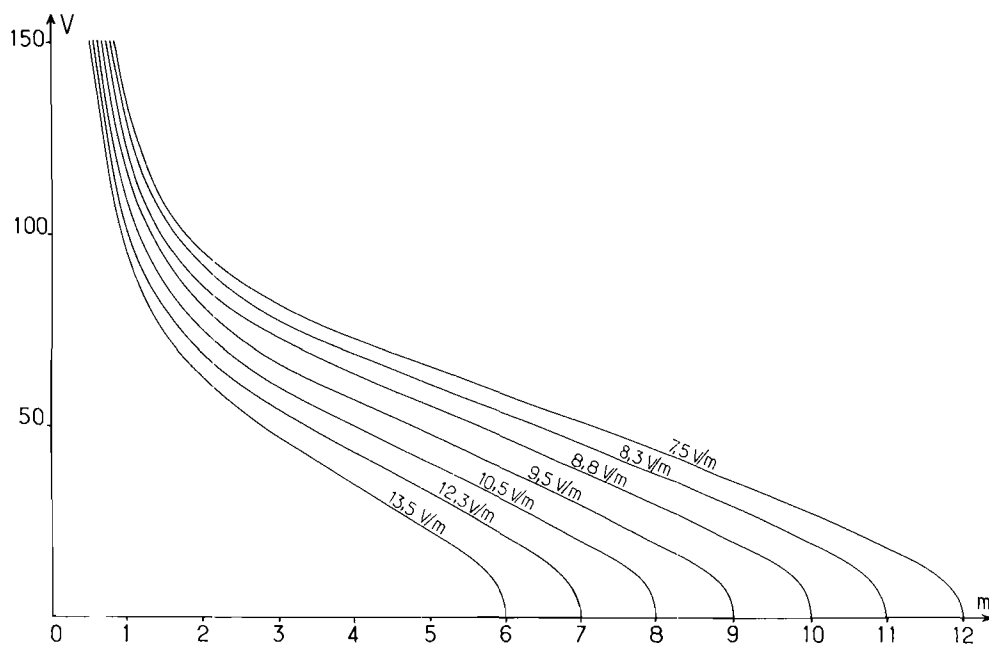


FIG. 13. — Potentiel V d'un point situé sur l'axe de symétrie des électrodes en fonction de sa distance à l'anode, pour des distances entre électrodes variant de 6 à 12 m. Anode  $\varnothing = 1$  m, tension anodique  $V_A = 350$  V.

Nous avons retenu une solution intermédiaire, anode de diamètre 1 m, grâce à laquelle la zone de taxie est suffisamment importante et celle de tétanie pas trop étendue.

En utilisant une anode de 1 m de diamètre et la même cathode que précédemment, nous avons fait varier cette fois la distance entre les électrodes de 6 à 12 m. L'impédance de charge varie alors de 0,112 à 0,124  $\Omega$ , la résistivité de l'eau étant toujours de 21,9  $\Omega \cdot \text{cm}$  ; le gradient à 5 m de l'anode décroît de 13,5 à 7,5 V/m (fig. 12 et 13). Il faut noter la faible diminution de l'impédance lors de l'augmentation importante de la distance anode-cathode.

L'impédance entre les électrodes et le gradient de potentiel varient peu en fonction du nombre de brins de la cathode, de leur hauteur ou de leur écartement.

**Effets de la température et de la salinité sur l'impédance de charge.**

Nous avons vu que la température et la salinité ont une forte influence sur la résistivité de l'eau de mer. La valeur de l'impédance de charge dépend donc étroitement de ces deux paramètres. Le ta-

S ‰	T° C				
	25	20	18	15	10
30	0,113	0,126	0,132	0,141	0,159
33	0,105	0,116	0,121	0,129	0,145
35	0,099	0,110	0,115	0,122	0,138
36	0,097	0,107	0,112	0,119	0,134
37	0,094	0,105	0,109	0,116	0,130
38	0,092	0,102	0,107	0,113	0,128
39	0,090	0,099	0,104	0,111	0,125
40	0,088	0,097	0,102	0,109	0,122

TABLE. 1. — Variations de l'impédance de charge du générateur avec la température et la salinité.

bleau 1 montre que cette impédance est de 0,115 Ω pour une température de 18 °C et une salinité de 35 ‰ avec le modèle d'électrodes suivant :

- anode Ø = 1 m
- cathode large de 6,50 m, à 5 brins longs de 4,50 m
- distance entre les électrodes : 8 m

Elle varie de 0,088 à 0,159 Ω pour des températures comprises entre 25 et 10 °C et des salinités entre 40 ‰ et 30 ‰.

**Dispositif général.**

Le navire mouille au-dessus d'un banc qu'il a préalablement détecté au sondeur à ultra-sons et s'oriente donc face au courant marin. Le lamparo est alors immergé à l'arrière du bateau et les concentrations les plus importantes ainsi formées se situent entre 2 et 15 m environ en arrière de la source lumineuse.

L'anode est placée perpendiculairement à l'axe du navire, environ à 2 m de la source lumineuse, au niveau de la concentration maximum et la cathode est immergée sensiblement 8 m derrière l'anode. La direction générale des lignes de courant se trouve ainsi parallèle au courant marin (fig. 14). Bien entendu, cette disposition pourra être modifiée au cours des essais pratiques.

Quand la concentration est suffisamment dense entre les électrodes, on met la pompe en action et on ferme le circuit électrique, plaçant ainsi les électrodes sous tension. Lorsque tous les poissons placés dans la zone de pêche sont capturés, le circuit électrique est ouvert. Les lampes restent allumées et une nouvelle concentration peut ainsi se reformer et donner lieu à une nouvelle opération de pêche.

**D. - Corrosion et sécurité à bord.**

**Corrosion des électrodes.**

Le gradient de potentiel provoque la taxie des poissons mais aussi l'électrolyse de l'eau de mer qui porte essentiellement sur le chlorure de sodium, Na Cl, dissous. Le métal Na apparaît à la cathode autour de laquelle il donne naissance à l'hydrate basique Na OH avec dégagement d'hydrogène. A la cathode, il n'y a donc pas de corrosion électrolytique. Le chlore qui se forme sur l'anode détermine.

au moins partiellement, la production d'hypochlorite de sodium, Cl O Na. Une anode en métal ordinaire est donc rapidement rongée sous les actions combinées du chlore et de l'hypochlorite.

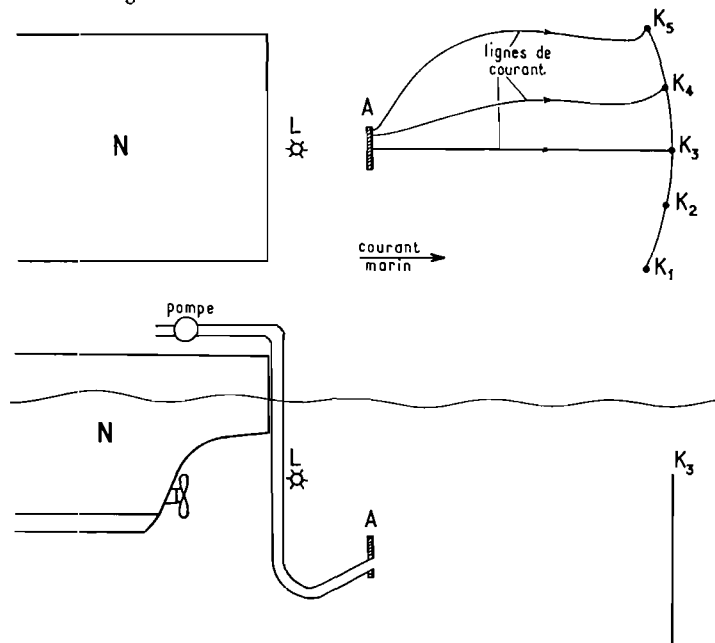


FIG. 14. — Schéma du montage général de la pêche à l'électricité.  
A : anode. K<sub>1</sub> à K<sub>5</sub> : brins de la cathode, N : navire, L : lamparo.

Nous avons fait des essais comparatifs de corrosion anodique avec 11 métaux différents. L'anode était constituée par un petit échantillon ( $4 \times 1 \times 0,2 \text{ cm}^3$ ) taillé dans chaque métal. Dans chacun des cas, nous avons établi pendant une heure une tension continue de 10 V entre les électrodes plongées dans une eau de salinité 35 ‰. Connaissant les poids P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> de l'anode avant et après le passage du courant nous avons déterminé le pourcentage de corrosion, C, par la formule :

$$C = (P_1 - P_2) / 100 P_1$$

Les résultats sont résumés dans le tableau 2. La corrosion est importante pour tous les métaux étudiés. De plus, de nombreux échantillons se couvrent de sels colorés et solubles qui se répandent en nuage autour de l'anode, ce qui interdit leur emploi. C'est en particulier le cas du cupronickel, du bronze aluinoxyda et du cuivre.

Il est possible que des alliages au plomb pré-traité donnent d'excellents résultats et de nouveaux travaux vont être entrepris dans ce sens. Des anodes composées de cet alliage se recouvrent en effet de produits de corrosion, notamment en peroxyde de plomb qui possède une bonne conductibilité électronique, mais aussi qui forme une pellicule protectrice arrêtant la corrosion.

TABL. 2. — Pourcentage de corrosion des différents métaux.

	Métal ou alliage	C en %
1	TASE : alliage titane-étain .....	17,3
2	TAMO : alliage titane-molybdène ..	14,3
3	TAVA : alliage titane-vanadium ..	20,3
4	Incaloy 800 .....	22,9
5	Inox 18 - 8 .....	35,1
6	Inox 17 cr .....	38,2
7	Zirconium .....	42,1
8	Cupronickel 90/10 .....	45,5
9	Bronze alu-inoxyda 3 P .....	50,8
10	Cuivre .....	36,2
11	Aluminium .....	51,8

ne subissent aucune attaque. Mais la résistivité relativement forte et les faibles qualités mécaniques du graphite ou le prix élevé du platine font rejeter leur utilisation.

D'autres corps comme le graphite ou le platine

Dans un premier stade, une anode en métal bon marché, consommable et qui sera renouvelée à peu de frais chaque fois qu'il sera nécessaire, est la solution que nous avons retenue.

La cathode doit être réalisée en acier inoxydable afin d'éviter une trop forte oxydation due à l'eau de mer.

**Corrosion éventuelle de la coque métallique du navire.**

Compte-tenu de la disposition des électrodes, le dos de l'anode étant isolé, la coque métallique du bateau se trouve dans une zone où les équipotentielles et par conséquent les lignes de courant sont peu resserrées, c'est-à-dire où la densité de courant est minimale. La corrosion étant liée à cette densité, il pouvait y avoir des risques d'attaque électrolytique pour la coque du navire.

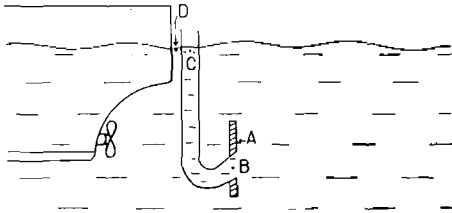


FIG. 15. — Mise en évidence de la différence de potentiel entre la coque métallique (au point D) et l'eau pompée (au point C) arrivant sur le pont du navire.

Les premiers essais effectués au laboratoire, sur une maquette au 1/25<sup>e</sup> et dans des conditions plus dures que la normale (coque non protégée par une peinture étanche, densité de courant supérieure) n'ont fait apparaître aucune trace de corrosion. Mais d'autres expériences doivent être entreprises sur des maquettes de plus grandes dimensions avec la participation des Ateliers et Chantiers de Bretagne (A.C.B.). Le résultat de ces expériences décidera de l'opportunité éventuelle d'une protection spéciale de la coque.

**Sécurité à bord lors de la pêche électrique.**

L'un des principaux risques à bord, au moment des opérations de pêche, est dû à la différence de potentiel qui existe entre le bateau et l'eau pompée à l'anode. La coque du navire se met au potentiel de l'eau où il se trouve. Le tuyau de pompe est isolant et la chute de tension à l'intérieur de ce tuyau est beaucoup moins forte que celle qui se fait directement par le milieu marin entre l'anode et le navire. L'eau pompée arriverait donc à bord à un potentiel bien supérieur à celui du bateau. Nous avons mesuré les tensions en différents points (fig. 15) :

$$V_A = 350 \text{ V}, \quad V_B = 304 \text{ V}, \quad V_C = 231 \text{ V}, \quad V_D = 95 \text{ V}$$

$V_A$  = potentiel de l'anode ;

$V_B$  et  $V_C$  = potentiels de l'eau à l'entrée et la sortie du tuyau de pompe ;

$V_D$  = potentiel de la coque du navire.

Si nous installons sur le tuyau de la pompe une partie métallique établissant un bon contact électrique entre les points C et D, nous obtenons alors :  $V_C = V_D = 95 \text{ V}$

L'eau rejetée sur le pont du navire possède alors le même potentiel que celui-ci ne créant aucun risque pour le personnel travaillant à bord.

**Conclusion.**

Nous avons mis au point un système d'électrodes qui doit permettre d'établir un gradient de potentiel capable de provoquer la taxis anodique des poissons pélagiques d'une taille voisine de celle des sardines dans un volume relativement important.

Le passage de la maquette au prototype en grandeur réelle, bien que caractérisé par des lois simples, peut cependant être un sujet d'erreur et nous faire découvrir un phénomène imprévisible à petite échelle. Mais le générateur impulsif et le dispositif d'électrodes présentent une grande souplesse d'emploi et permettront de nombreux réglages lors des essais pratiques.

Nous nous sommes entourés du maximum de chances de succès et nous pensons, dès lors, qu'il est raisonnable d'envisager la réalisation technique en grandeur réelle de ce nouveau procédé de pêche qui est l'aboutissement logique de l'évolution des techniques de pêche des espèces pélagiques.

BIBLIOGRAPHIE

- BLANCHETEAU (M.), 1968. — Contribution à l'étude des taxies en courant interrompu et alternatif. — *In Application de l'électricité à la biologie et à l'aménagement des pêches continentales. Symposium FAO - INRA, Belgrade, 1966.* p. 111-116.
- 1971. — Choix du stimulus approprié à la pêche à l'électricité en mer. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **35** (1), p. 13-20.
- BLANCHETEAU (M.) et KURC (G.), 1966. — Pêche sans filet et théorie des tropismes. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **30** (4), p. 314-316.
- DETHLOFF (J.), 1964. — Problems of electro fishing and their solutions. — *Modern Fishing gear of the world*, **2**, p. 551-556.
- DINER (N.), 1969. — La pêche à la lumière (influence des facteurs de milieu sur les concentrations de poissons). — *Science et Pêche Bull. Inst. Pêches marit.*, n° 180, 10 p.
- KURC (G.), 1971. — Pêche à l'électricité avec lumière artificielle et pompe. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **35** (1), p. 5-12.
- KURC (G.) et BLANCHETEAU (M.), 1966. — Etude théorique et pratique de la pêche à la lumière. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **30** (4), p. 289-312, bibl.
- LE MEN (R.), 1971. — Pêche électrique en mer. — *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit.*, n° 200, p. 1-14.
- MORGAN (J.H.), 1966. — Protection cathodique dans la lutte contre la corrosion. — *Théorie et pratique*, traduit par G. DECHAUX. - Paris, Dunod Edit.
- NIKONOROV (I.V.), 1969. — Behaviour of fishes with zone of light used in the caspian kilka fishery. — Acte de la conférence FAO sur le comportement du poisson en fonction des techniques et tactiques de pêche (1967). *FAO Fish. Rep.*, n° 62, **3**, p. 831-836.
- ROUSSELOT (R.H.), 1959. — Répartition du courant et du potentiel dans les électrolytes. — Paris, Dunod Edit.
- SVERDRUP (H.V.), JOHNSON (M.W.) et FLEMING (R.H.), 1942. — *The Oceans, their physics, chemistry and general biology*. — New York, Prentice - Hall, Inc.
- THOMAS (B.D.), THOMPSON (T.G.) et UTTERBACK (C.L.), 1934. — The electrical conductivity of sea water. — *J. Cons.*, **9**, p. 28-35.
-