

**Institut Scientifique et Technique des Pêches
Maritimes**

R. Le Men

Contrat 72/454

Pêche électrique en mer.

**Etude de l'attraction anodique des sardines,
Sardina pilchardus (Walb.), par un stimulus
électrique impulsionnel**

**Travaux de recherches effectués au titre du
contrat 72/454 entre le Centre National pour
l'Exploitation des Océans et l'Institut
Scientifique et Technique des Pêches
Maritimes**

Rapport scientifique

janvier 1976

- S O M M A I R E -

	page
<u>INTRODUCTION</u>	1
 I - <u>MATERIEL D'ETUDE</u>	2
1. Capture et acclimatation des poissons	2
2. Bacs expérimentaux	3
 II - <u>METHODES DE TRAVAIL</u>	5
1. Quelques mesures préliminaires	5
2. Méthode expérimentée sur des mulots	6
a) présentation de la méthode	6
b) résultats	7
c) critique de la méthode	10
3. Remarques	11
4. Méthode appliquée sur des sardines	12
 III - <u>RESULTATS OBTENUS AVEC LES SARDINES</u>	13
1. Dans un plan d'eau horizontal	13
2. Dans un plan d'eau vertical	14
a) avec un système d'électrodes à axe horizontal	14
b) avec un système d'électrodes à axe vertical..	16
 IV - <u>ETUDE DE LA PENETRATION DES SARDINES DANS LA</u> <u>ZONE DE PECHE</u>	17
1. Observations dans un plan d'eau horizontal	18
2. Observations dans un plan d'eau vertical	19
 V - <u>QUELQUES PRECISIONS SUR LA TETANIE DES SARDINES</u> <u>AU PROCHE VOISINAGE DE L'ANODE</u>	21
 <u>CONCLUSION</u>	24

-- -- -- -- --

I N T R O D U C T I O N

Le présent travail fait suite au rapport scientifique intitulé "Pêche électrique en mer - Etude des comportements de poissons marins soumis à un stimulus électrique impulsif" par R. LE MEN et N. DINER. Ce rapport, remis au CNEXO en février 1974, faisait alors le point de nos derniers travaux sur la pêche électrique. Un certain nombre d'expériences sur des mulots, des bars, des lieus, des sardines et aussi quelques anchois avaient permis d'établir les courbes des seuils de taxie et de tétanie en fonction de la fréquence et de la durée des impulsions, de l'espèce considérée et de la taille des individus ainsi que de la température et de la salinité de l'eau de mer.

De nombreuses observations dans un champ électrique uniforme, puis dans un champ croissant, avaient également apporté différents renseignements sur le comportement des poissons placés dans un champ électrique impulsif. La vitesse de nage des poissons, la fatigue manifestée par ceux-ci dans un champ uniforme avaient particulièrement été étudiées, ainsi que le phénomène de la tétanie lorsque l'animal était soumis à des gradients de potentiel plus élevés au proche voisinage de l'anode.

Mais toutes ces expériences avaient été réalisées dans des rigoles expérimentales ou dans des bacs de dimensions réduites, si bien que les réactions de fuite ou d'évitement qu'auraient pu manifester les poissons n'apparaissaient pas avec netteté, car elles étaient le plus souvent masquées ou perturbées par la proche présence des parois des différents bacs. C'est pourquoi, il a été décidé de procéder à de nouveaux travaux, dans des bacs de plus grandes dimensions et donc mieux adaptés à l'étude de la qualité des attractions par taxies anodiques. Il s'agissait avant tout de déterminer si les fréquences les plus basses et donc les plus économiques sur le plan énergétique, étaient aussi capables de déclencher des taxies suffisamment coercitives pour être utilisées dans un système de pêche par lumière, champ électrique et pompe aspirante. Il fallait également étudier la pénétration des poissons dans la zone de pêche lorsque les électrodes étaient sous tension afin de savoir si un système de pêche en continu était envisageable. Le présent rapport rend compte de ces expériences qui, après avoir été réalisées sur des mulots et quelques petits bars, ont ensuite porté uniquement sur des sardines.

I - MATERIEL D'ETUDE

1.- Capture et acclimatation des poissons

Les expériences décrites dans ce rapport ont été effectuées dans les laboratoires du Centre de Recherche de l'ISTPM à La Trinité-sur-Mer où l'on dispose d'eau directement pompée en mer.

Les premiers essais ont été réalisés sur des mulots, Mugil labrosus (Risso), et sur quelques petits bars, Dicentrarchus labrax (L.). Ces poissons étaient capturés à marée basse dans les bassins des ostréiculteurs morbihannais.

Mais l'essentiel du travail a porté sur des sardines, Sardina pilchardus (Walb.), de 13,5 cm ($\pm$ 0,5 cm) capturées à la senne tournante par le "Roselys II" dans la baie de Quiberon le 3 septembre 1975 (photo 1). Quatre cents sardines, prélevées sur la pêche, ont été transportées jusqu'au laboratoire. Elles ont été acclimatées dans un bac cylindrique de 600 litres, en plastique moulé, alimenté en eau de mer courante (photo 2). La mortalité notée au cours de cette opération n'a affecté qu'une cinquantaine d'individus.

Comme le bac semblait trop chargé en poissons, la moitié des sardines a été transférée dans un bassin parallélépipédique (3,00 m x 1,20 m x 1,00 m) en ciment. Il est intéressant de noter que, contrairement à ce qui est préconisé pour la construction des viviers à bord des thoniers à l'appât vivant, les angles de ce bac n'étaient pas arrondis, ce qui n'a pas empêché les sardines de s'adapter fort bien.

Par la suite, il a fallu prévoir un troisième bac pour recevoir les sardines qui avaient subi des effets électriques. En effet, ces individus ne devaient plus servir à nos expériences pour éviter qu'une accoutumance éventuelle ne fausse les résultats. Elles devaient néanmoins être maintenues en vie pour permettre à un autre chercheur de l'ISTPM d'expérimenter de nouvelles techniques de marquage. Afin d'économiser la consommation d'eau de mer ces poissons ont été placés dans un bac cylindrique de 600 litres, non plus alimenté en continu mais simplement pourvu d'un aérateur. L'eau était entièrement renouvelée tous les jours ou même parfois tous les deux jours. Nous avons été étonnés de pouvoir conserver ainsi jusqu'à 200 sardines à la fois pendant une période atteignant 20 jours pour les premiers individus placés dans ce bac. En effet, d'après les pêcheurs qui pratiquent la pêche à l'appât vivant



Photo 1 : sardines, Sardina pilchardus (Walbaum),
de 13,5 cm, vues derrière la face en plexiglas
d'un bac expérimental.



Photo 2 : sardines dans un bac cylindrique de
600 litres utilisé comme vivier.

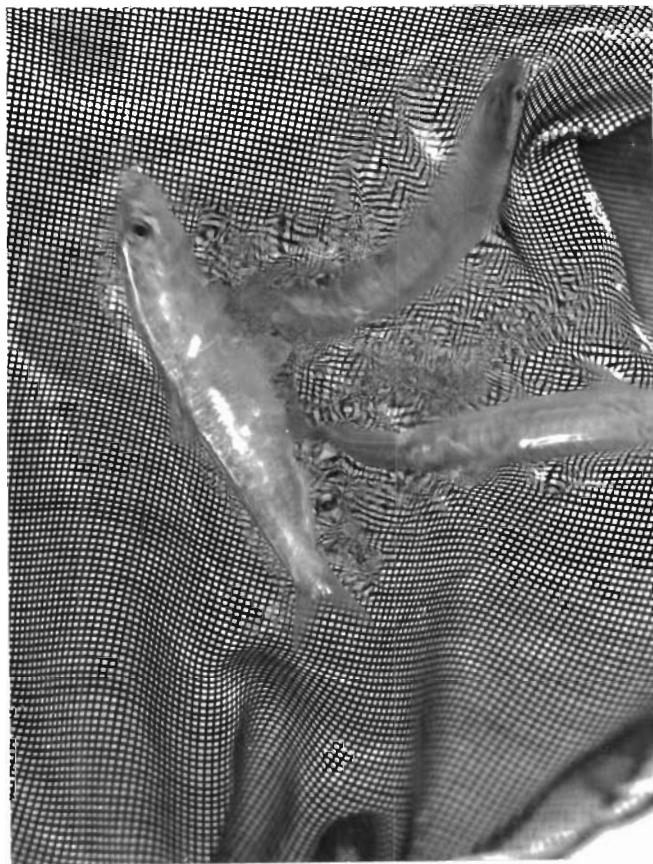


Photo 3 : sardines dans une épuisette réalisée
en grillage fin de P.V.C. pour éviter qu'elles
s'écailent.

il est important d'éviter la présence de bulles d'air dans les viviers. L'expérience aurait certainement pu être prolongée avec succès, mais le bassin de ciment se trouvant libéré, les sardines ont été remises en eau courante.

Tous ces poissons ont vécu sans problème jusqu'au 3 novembre 1975, date à laquelle ils ont été marqués. Les sardines étaient nourries une fois par jour environ avec de la roque de morue.

Au cours des expériences, elles étaient manipulées à l'aide d'épuisettes réalisées en grillage fin de P.V.C. afin d'éviter qu'elles s'écaillent (photo 3).

2.- Bacs expérimentaux

Le système nerveux d'un poisson ne présente pas une symétrie cylindrique. Il n'est donc pas certain que les réactions d'un poisson soumis à un champ électrique soient les mêmes dans un plan vertical et dans un plan horizontal. Or, jusqu'à présent toutes nos études ont porté sur des poissons placés dans des bacs de faible profondeur. C'est dire que seules les réactions dans un plan d'eau horizontal ont pu être observées. Par ailleurs, la puissance électrique du générateur dont nous disposons pour nos expériences ne nous permet pas de travailler à une échelle suffisamment grande dans un volume d'eau de mer à trois dimensions. Pour apporter une solution à ce problème, M. PERCIER, Conseiller technique du CNEXO, a suggéré d'opérer d'abord dans un "bac horizontal" avec une hauteur d'eau réduite, puis dans un "bac vertical" contenant une tranche d'eau relativement profonde mais de faible largeur.

Le "bac horizontal" (4 m X 2 m X 0,25 m) a été réalisé en version démontable, constitué d'une armature en cornières et contreplaqué recouverte par une feuille de butyl (fig. 1 - photo 4). Le "bac vertical" (3,50 m X 0,25 m X 1,10 m) a été construit en 2 parties jointives par un système de serrage étanche afin d'en faciliter le transport. Deux faces sont en P.V.C. et les 2 autres sont en plexiglas pour permettre des observations latérales. Des renforts lui assurent une bonne rigidité (fig. 2 - photo 5).

.../...

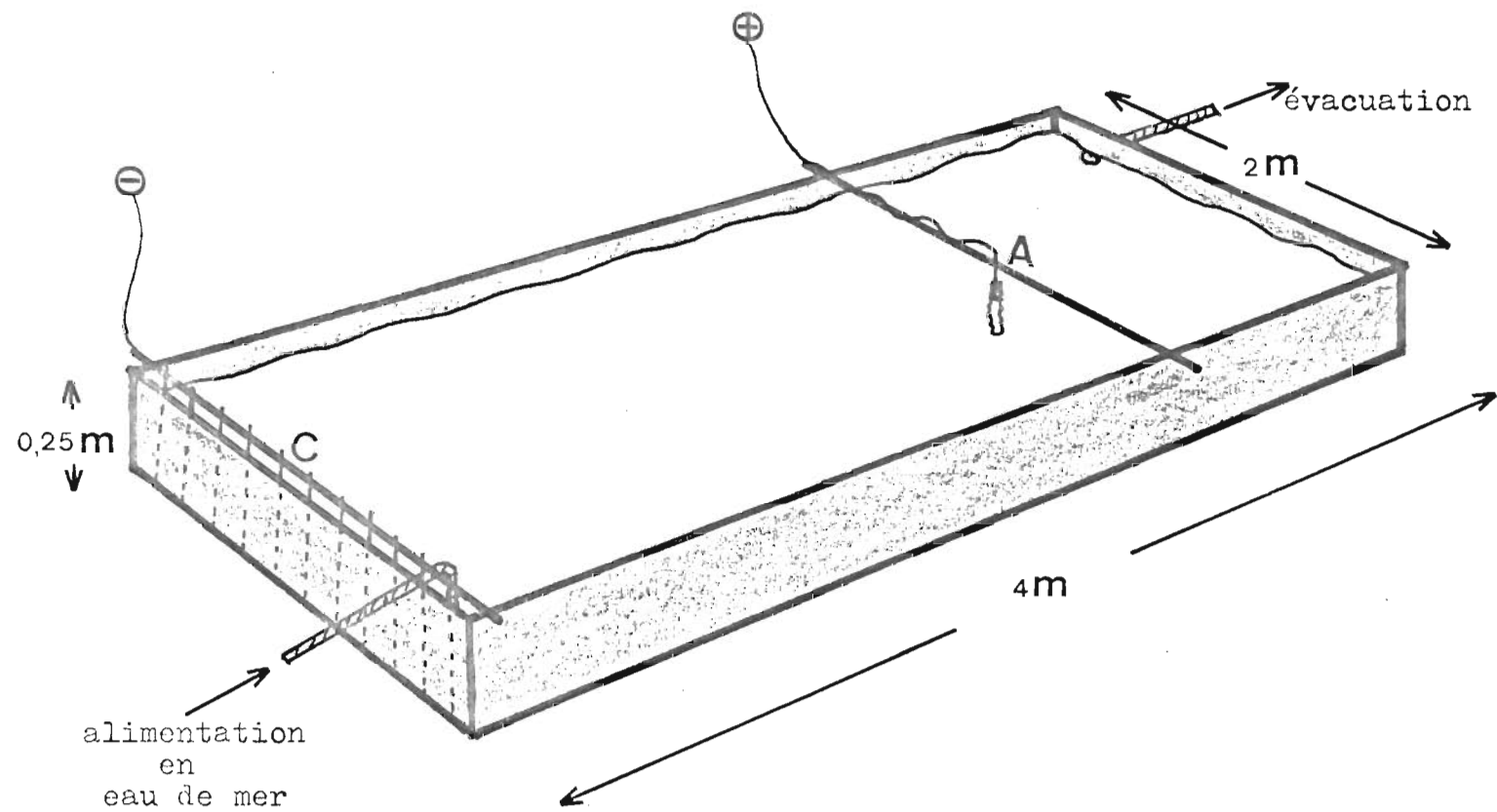


Fig.1: Bac utilisé pour l'étude du comportement des poissons dans un plan d'eau horizontal.

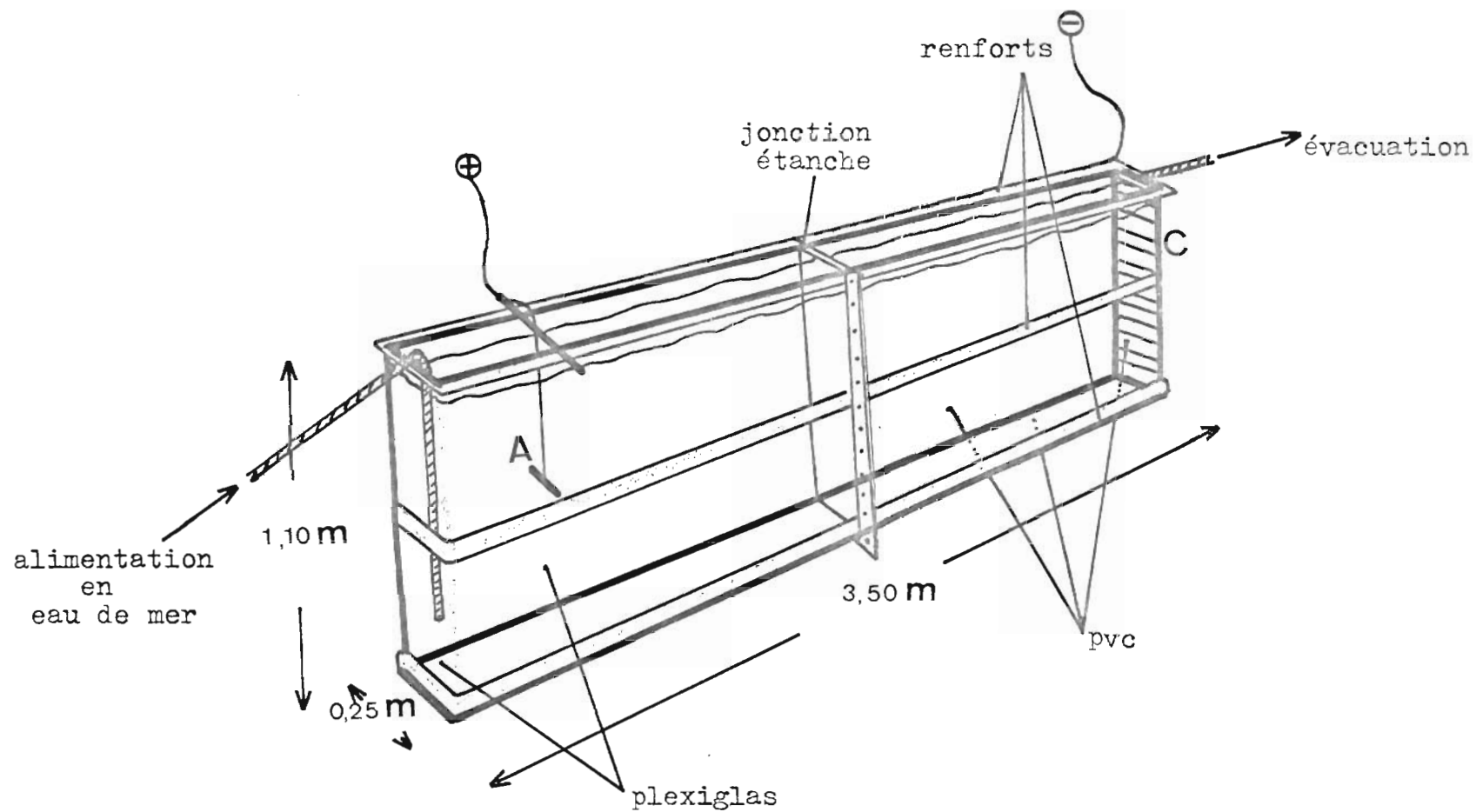


Fig.2: Bac utilisé pour l'étude du comportement des poissons dans un plan d'eau vertical.

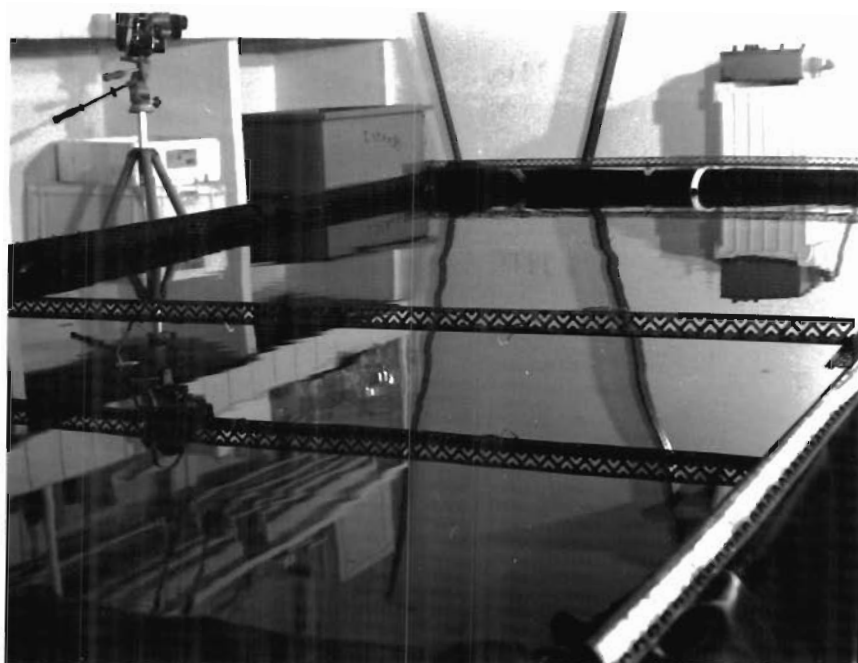


Photo 4 : "bac horizontal" . On distingue le pupitre de commande du générateur électrique et la caméra au moyen de laquelle ont été filmées certaines expériences.



Photo 5 : "bac vertical", avec le "bac horizontal" en premier plan. On distingue une vingtaine de sardines ainsi que l'anode suspendue à son câble d'alimentation.

Les cathodes (C) des figures précédentes sont réalisées avec des morceaux de fil de cuivre dénudé, soudés entre eux à l'étain. Nous avons constaté que la forme et les dimensions de l'anode avaient une influence sur la distribution des lignes équipotentiellles et par conséquent sur la valeur des gradients de potentiel. Par exemple, les figures 3,4 et 5 représentent les lignes équipotentiellles et les valeurs des gradients relevées sur l'axe médian des électrodes dans le "bac horizontal", pour une différence de potentiel de 80 V et pour les anodes respectives suivantes : une plaque de graphite rectangulaire (16,5 cm X 22 cm), la même plaque isolée au dos et enfin un barreau de graphite ($\varnothing = 2$ cm) isolé au dos. Nous constatons que c'est dans ce dernier cas que les lignes équipotentiellles se resserrent le plus sur l'anode et que les gradients sont donc les plus élevés au proche voisinage de celle-ci. C'est cette configuration qui a été utilisée pour les expériences sur les sardines. Sur l'axe médian des électrodes le champ est uniforme sur 2,50 m, puis commence à croître très fortement à 60 cm en avant de l'anode. La valeur du gradient décroît brutalement derrière l'électrode et s'annule à environ 70 cm au-delà de celle-ci.

Les mêmes relevés ont été effectués dans le "bac vertical". La forme et les dimensions de l'anode ont une influence moins sensible dans ce bac sur la distribution des lignes équipotentiellles. La figure 6 représente ces lignes équipotentiellles ainsi que les valeurs des gradients sur l'axe médian des électrodes pour une différence de potentiel de 80 V et pour une anode constituée par un barreau de graphite ($\varnothing = 2$ cm) isolé au dos. Comme dans le cas précédent, le champ est uniforme sur 2,50 m, puis commence à croître très vite à 50 cm en avant de l'anode. Il chute brutalement derrière l'électrode et s'annule à environ 30 cm derrière celle-ci.

Pendant les expériences, ces bacs étaient alimentés en eau de mer courante qui étaient ensuite évacuée par un trop plein. Au cours de nos études la température de l'eau était comprise entre 18° et 19° et la salinité entre 33,5 ‰ et 35,6 ‰.

Les systèmes d'électrodes étaient mis sous tension par le générateur impulsif déjà décrit dans notre précédent rapport scientifique.

.../...

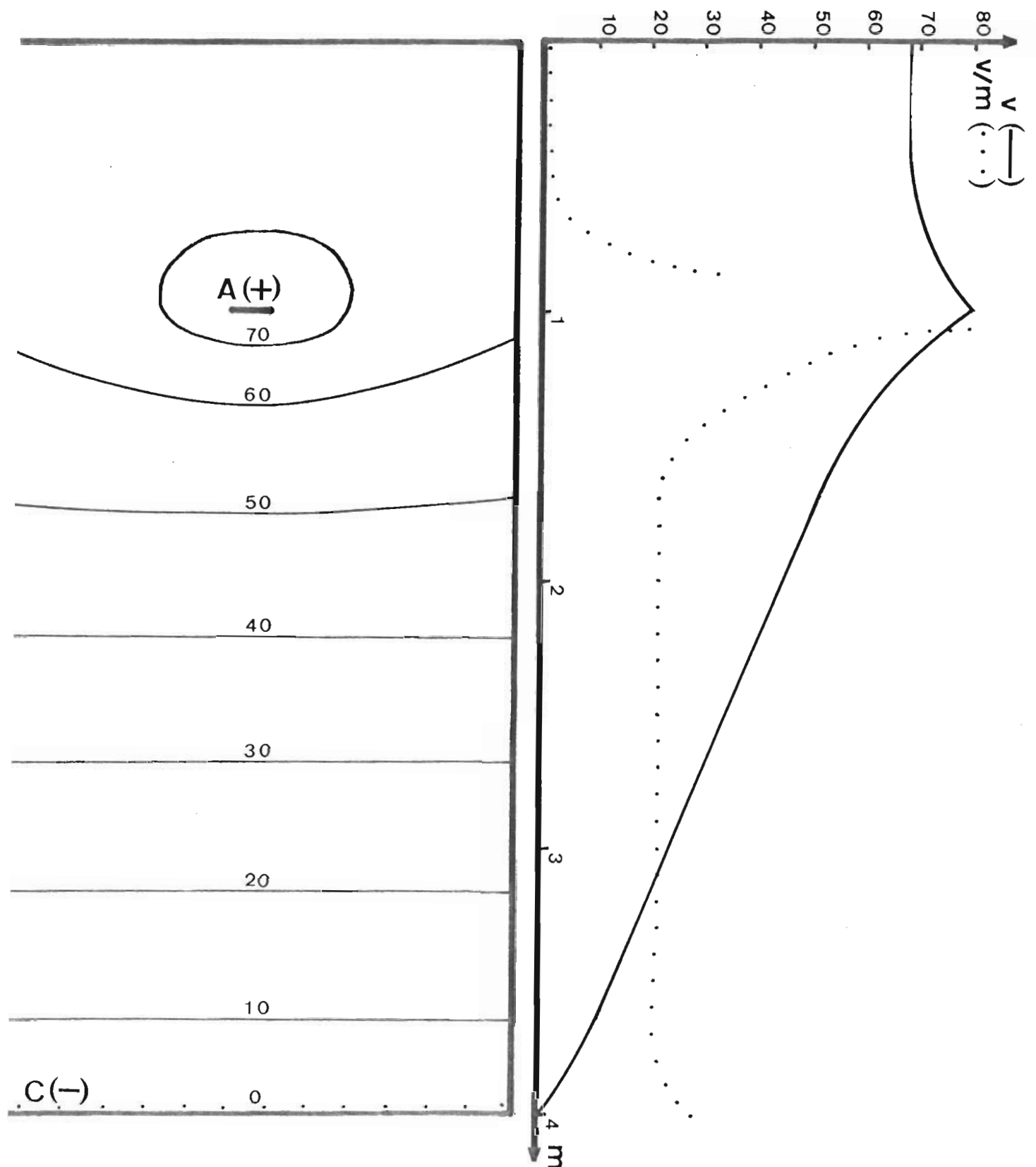


Fig.3: "Bac horizontal" vu de dessus.

La distribution des lignes équipotielles est indiquée pour une anode constituée par une plaque de graphite rectangulaire (16,5cmx22cm) et pour une différence de potentiel de 80 V entre les électrodes.

Le graphique indique la variation du potentiel (—) et du gradient de potentiel (···) sur l'axe médian des électrodes.

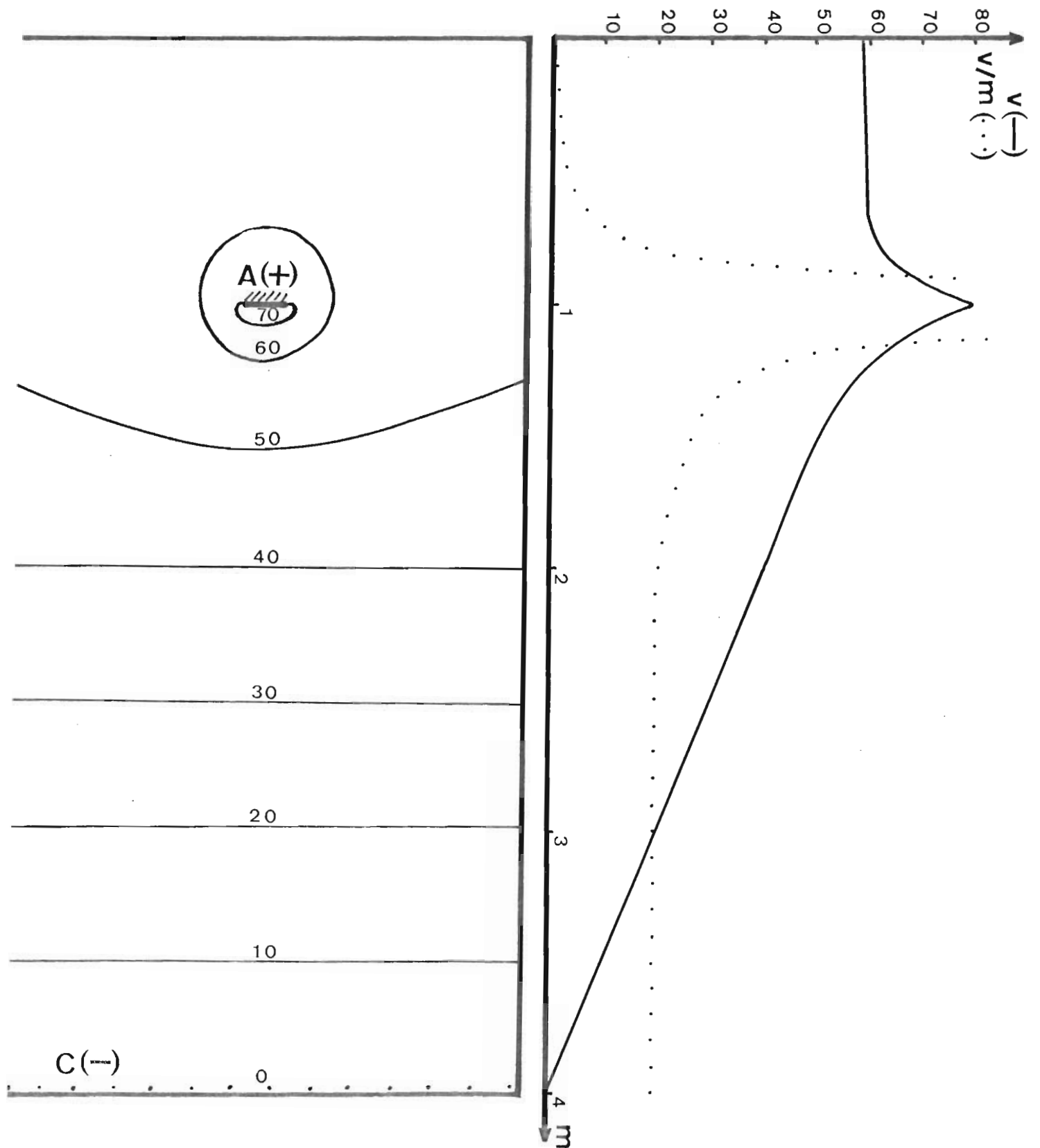


Fig.4: "Bac horizontal" vu de dessus.

Les conditions expérimentales sont les mêmes que pour la Fig.3
mais cette fois l'anode est isolée au dos.

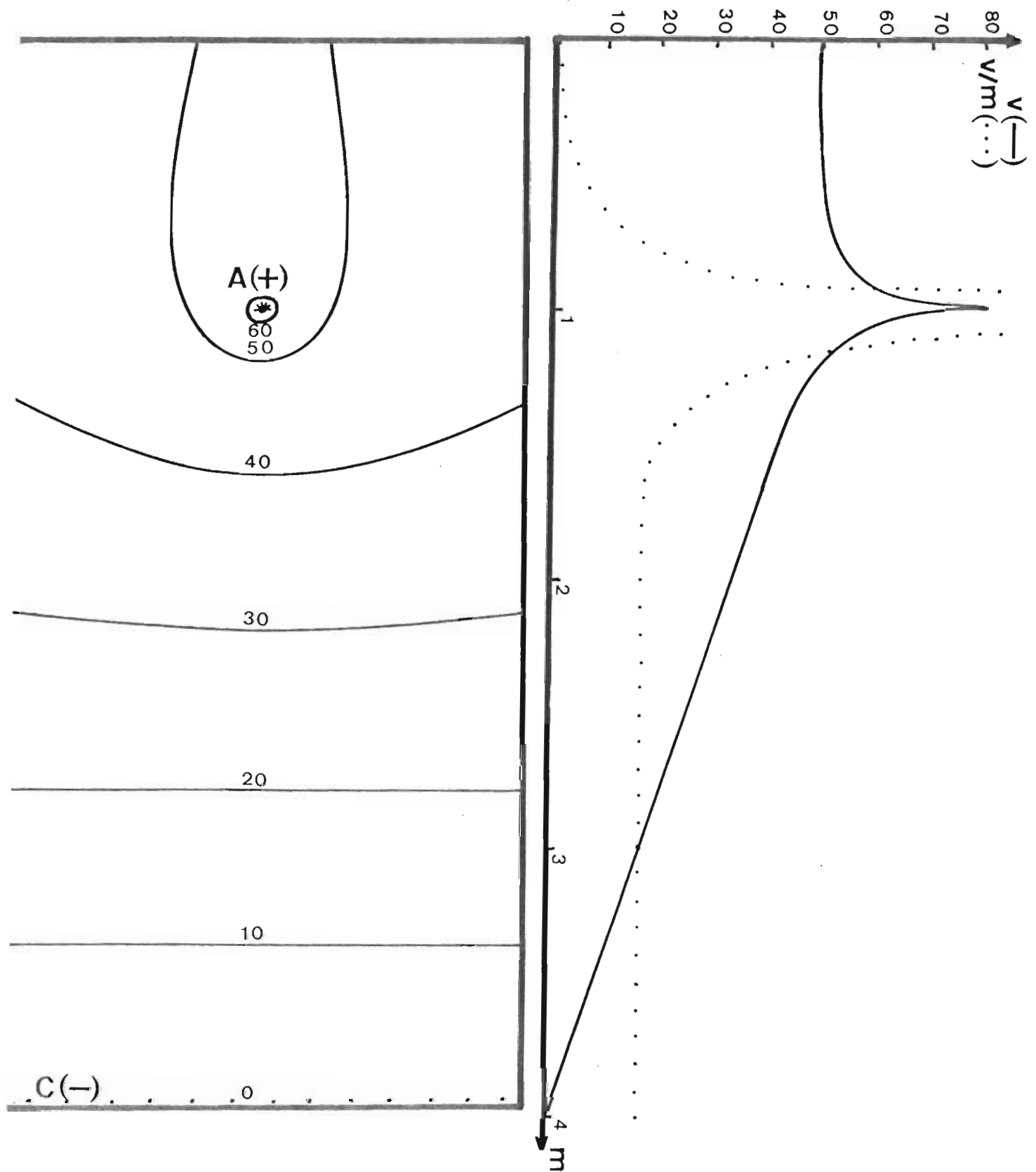


Fig.5: "Bac horizontal" vu de dessus.

Les conditions expérimentales sont les mêmes que pour les Fig. 3 et 4 mais dans le cas présent l'anode est constituée par un barreau de graphite ($\phi=2\text{cm}$) isolé au dos.

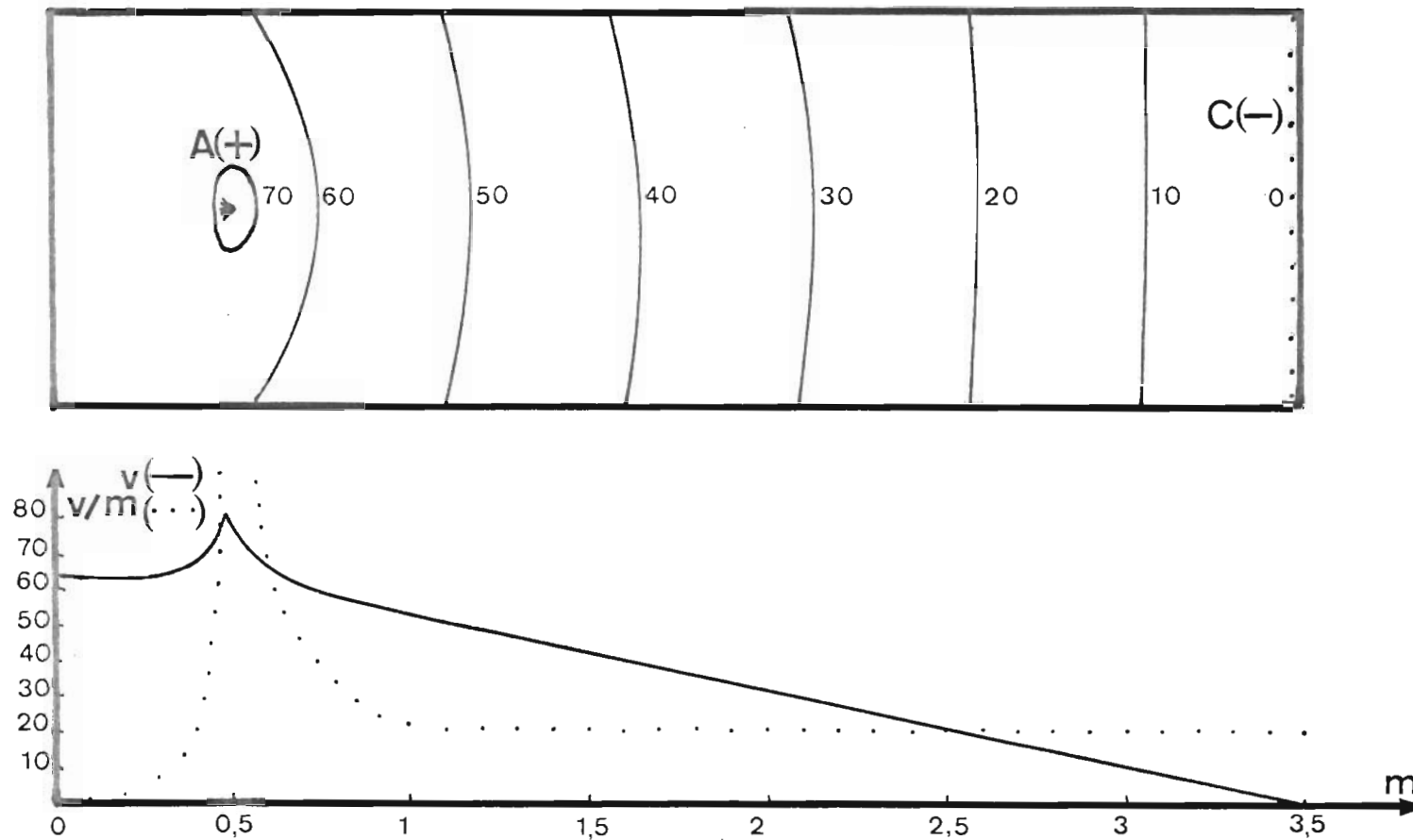


Fig.6: "Bac vertical" vu de profil.

La distribution des lignes équipotentiellles est indiquée pour une anode constituée par un barreau de graphite ($\phi=2\text{cm}$), isolé au dos, et pour une différence de potentiel de 80 V entre les électrodes.

Le graphique indique la variation du potentiel (—) et du gradient de potentiel (-----) sur l'axe médian des électrodes.

II - METHODES DE TRAVAIL

Le but de nos expériences est de connaître statistiquement en pourcentage, pour un stimulus donné, quels sont les poissons qui sont effectivement attirés par l'anode ou qui, au contraire, tendent à fuir.

1.- Quelques mesures préliminaires

Une fois les poissons adaptés à la vie en aquarium, nous avons tout d'abord mesuré quelques seuils de taxie (s) et de tétanie (S) dans la rigole expérimentale prévue à cet effet (cette rigole est décrite dans notre dernier rapport scientifique de février 1974). Pour les mulets nous avons trouvé :

Stimulus	Taille (en cm)	s (V/m)	S (V/m)
20 H _Z - 3 ms	13	15	90
50 H _Z - 2 ms	15,5	10	40
50 H _Z - 2 ms	19	8	30
50 H _Z - 2 ms	29	4,3	23,5

Ces résultats sont donc en accord avec ceux obtenus au cours de nos précédentes expériences réalisées aux laboratoires de Roscoff et de l'île d'Yeu (voir dernier rapport). De plus, les mesures faites sur le mullet de 29 cm permettent de compléter les courbes des seuils en fonction des tailles pour le stimulus 50 H_Z - 2 ms (figures 24 et 25 du dernier rapport).

Nous avons vu que les sardines pêchées mesuraient 13,5 cm $\pm$ 0,5 cm. Or, celles qui avaient servi à nos expériences à l'île d'Yeu mesuraient 12 cm $\pm$ 0,5 cm. Ne sachant pas initialement si les sardines allaient pouvoir être maintenues longtemps en vie et afin de progresser le plus rapidement possible,

la différence de taille des sardines des deux lots a été considérée suffisamment faible pour être négligée. A titre d'exemple, sur une sardine de 13,5 cm, nous avons mesuré pour $200\text{ Hz} - 1\text{ ms}$, $s = 16,5\text{ V/m}$ et $S = 58\text{ V/m}$ au lieu de $s = 17,5\text{ V/m}$ et $S = 68\text{ V/m}$ pour des sardines de 12 cm. Ces écarts sont en fait de l'ordre de ceux qui existent entre les différents points expérimentaux obtenus avec plusieurs poissons de 12 cm pour établir statistiquement les courbes des seuils en fonction de la fréquence et de la durée d'impulsion (rapport 1974). Nous avons donc décidé d'utiliser les résultats déjà acquis comme base de travail afin d'éviter de longues manipulations qui finalement n'auraient apporté aucun renseignement nouveau.

Nous avons seulement tenté de réaliser une économie d'énergie en utilisant des durées d'impulsions inférieures à 1 ms. Nous avons pour cela mesuré les seuils pour $200\text{ Hz} - 0,5\text{ ms}$ et $200\text{ Hz} - 0,2\text{ ms}$. Les valeurs trouvées sont respectivement : $s = 17,5\text{ V/m} - S = 63\text{ V/m}$ et $s = 25\text{ V/m} - S = 72\text{ V/m}$. Les seuils sont donc plus élevés quand la durée d'impulsion est plus courte. De plus, la qualité de la taxie devient alors nettement moins bonne. On a donc estimé que 0,5 ms était la longueur d'impulsion minimum au-dessous de laquelle il ne fallait pas descendre.

2.- Méthode expérimentée sur des mulets

a) Présentation de la méthode

Au cours d'essais préliminaires sur les mulets une première méthode, qui distinguait 3 cas, a été testée :

- le poisson venait de toucher l'anode. L'attraction était alors considérée bonne et le coefficient 1 lui était attribué ;
- le poisson passait à moins de 10 cm de part et d'autre de l'anode (à ce stade du travail, nous utilisions l'anode rectangulaire de la figure 4). L'attraction était jugée moyenne et le coefficient 0,5 lui était attribué ;
- le poisson passait à plus de 10 cm. L'attraction était estimée mauvaise et le coefficient 0 lui était attribué.

.../...

La limite des 10 cm était matérialisée de part et d'autre de l'anode par 2 fils métalliques isolés suspendus à la barre transversale supportant l'électrode. Ces fils affleuraient la surface mais ne plongeaient pas dans l'eau afin d'éviter de perturber le comportement des poissons.

On notait à chaque fois si le poisson était tétanisé (+) ou non (-) et si au moment de la mise sous tension des électrodes il se trouvait au milieu de la cathode (M) ou, au contraire, à l'une de ses extrémités (E). Chaque individu était testé successivement 3 fois (1°, 2°, 3°) pour déterminer si après avoir subi une première fois le courant électrique il réagissait différemment par la suite.

b) Résultats

Les tableaux 1 et 2 sont donnés à titre d'exemples. Les résultats indiqués ont été obtenus dans le "bac horizontal", avec la configuration de la figure 4, en utilisant le stimulus $20 H_z - 3 ms$ sur des mulets dont les tailles ont été à chaque fois notées. Dans le tableau 1 le voltage entre les électrodes était réglé pour chaque poisson afin que le gradient de potentiel soit égal à son seuil de taxie (s) à 50 cm en avant de la cathode. Dans le cas du tableau 2, le voltage était réglé de manière à obtenir une fois et demi le seuil de taxie ($s \times 1,5$) à 50 cm en avant de la cathode.

En faisant le bilan de ces deux séries d'expériences nous trouvons pour le tableau 1 :

$$\begin{aligned} 1^\circ - 3 \times 1 &+ 2 \times 0,5 + 5 \times 0 = 4 \\ 2^\circ - 1 \times 1 &+ 2 \times 0,5 + 7 \times 0 = 2 \\ 3^\circ - 2 \times 1 &+ 3 \times 0,5 + 5 \times 0 = 3,5 \end{aligned}$$

Ce qui signifiait d'après nos conventions que sur 10 poissons testés successivement chacun 3 fois, il y aurait respectivement 4 - 2 - 3,5 attractions positives.

Tailles (cm)	Cas	E	M	coeffi- cient 1	coeffi- cient 0,5	coeffi- cient 0	+	-
12,5	1°	X				X		X
	2°	X				X		X
	3°		X		X			X
14	1°		X		X			X
	2°	X			X			X
	3°	X		X				X
12,5	1°	X			X			X
	2°		X		X			X
	3°	X			X			X
12,5	1°		X	X				X
	2°	X				X		X
	3°	X				X		X
13,5	1°		X			X		X
	2°	X				X		X
	3°	X				X		X
16	1°	X		X				X
	2°	X				X		X
	3°	X				X		X
12,5	1°		X			X		X
	2°	X				X		X
	3°		X			X		X
15,5	1°	X				X		X
	2°		X			X		X
	3°	X			X			X
22	1°	X				X		X
	2°		X	X				X
	3°	X		X				X
13	1°		X	X				X
	2°		X			X		X
	3°		X			X		X
BILAN	1°	5	5	3	2	5	0	10
	2°	6	4	1	2	7	0	10
	3°	7	3	2	3	5	0	10

Tableau 1 - Poissons : mulets Stimulus : 20 Hz - 3 ms
Gradient : grad V = s à 50 cm devant C

Tailles (cm)	Cas	E	M	coeffi- cient 1	coeffi- cient 0,5	coeffi- cient 0	+	-
12,5	1°		X	X				X
	2°		X			X		X
	3°	X		X				X
16	1°	X		X				X
	2°	X				X		X
	3°		X	X				X
13	1°		X	X				X
	2°		X	X				X
	3°	X				X		X
16	1°	X		X				X
	2°	X				X		X
	3°		X			X		X
13	1°		X			X		X
	2°	X				X		X
	3°	X				X		X
13	1°	X		X				X
	2°		X			X		X
	3°	X		X				X
14,5	1°		X	X				X
	2°	X		X				X
	3°	X		X				X
13	1°	X		X				X
	2°		X		X			X
	3°	X				X		X
16	1°		X	X				X
	2°	X		X				X
	3°	X				X		X
13	1°		X			X		X
	2°	X		X				X
	3°		X			X		X
BILAN	1°	5	5	8	0	2	0	10
	2°	6	4	4	1	5	0	10
	3°	7	3	4	0	6	0	10

Tableau 2 - Poissons : mulets Stimulus : 20 H_Z - 3 ms
 Gradient : grad V = s X 1,5 à 50 cm devant C

Pour le tableau 2 nous obtenons :

$$1^{\circ} - 8 \times 1 + 0 \times 0,5 + 2 \times 0 = 8$$

$$2^{\circ} - 4 \times 1 + 1 \times 0,5 + 5 \times 0 = 4,5$$

$$3^{\circ} - 4 \times 1 + 0 \times 0,5 + 6 \times 0 = 4$$

Soit respectivement 8 - 4,5 - 4 attractions positives sur 10 poissons testés successivement 3 fois chacun. Ces deux séries d'expériences fournissent, en plus des résultats chiffrés, un certain nombre de renseignements.

Le stimulus étudié était nettement plus efficace quand le gradient de potentiel appliqué au voisinage de la cathode dépassait le seuil de taxie d'une demi-fois sa valeur. Il était 2 fois plus efficace exactement lorsque les poissons étaient testés pour la première fois. De plus, les attractions étaient soit bonnes, soit mauvaises. Le coefficient 0,5 ne figure, en effet, qu'une seule fois dans le tableau 2.

Sur un aussi petit nombre d'expériences, la place occupée par le poisson, au milieu ou à une extrémité de la cathode au moment où le courant est établi, ne donne pas de résultat statistiquement significatif.

Dans la deuxième série d'expériences, où le voltage était le plus élevé, les poissons n'étaient pas tétanisés au proche voisinage de l'anode. Ce résultat concorde bien avec nos données antérieures puisqu'à 10 cm de l'électrode, le gradient, mesuré in situ, était sensiblement égal à $s \times 8$, alors que nous avons établi que le seuil de tétanie théorique à $20 H_z - 3 ms$ était supérieur à $s \times 9$ pour les mulets (rapport de 1974).

c) Critique de la méthode

Cette méthode constituait donc une source d'informations et présentait l'avantage de se prêter à une interprétation systématique. Mais, après un certain nombre d'expériences, nous l'avons abandonnée. En effet, les résultats chiffrés finaux ne permettaient pas d'aboutir à des conclusions concrètes et ce pour plusieurs raisons :

- Il ne suffisait pas qu'un poisson nage jusqu'à toucher l'anode. Il pouvait parfois faire demi-tour avant de nager en direction de l'électrode positive

.../...

ou manifester des tentatives d'évitements latéraux qui, dans certains cas, l'amenaient à frôler ou même à heurter une des parois du bac. Il ne pouvait pas alors être classé dans les cas favorables, même si finalement il venait se tétaniser sur l'anode, car dans des conditions réelles de pêche il aurait très probablement fui.

- Il arrivait par ailleurs d'observer des poissons qui dépassaient l'anode au-delà des 10 cm, puis revenaient derrière l'électrode où ils étaient tétanisés. Ces poissons qui auraient normalement dû être affectés d'un coefficient 0, d'après nos conventions, subissaient en fait une attraction positive.
- S'il était relativement aisé de tenir compte des remarques précédentes, un autre paramètre intervenait, beaucoup plus difficile à traduire rationnellement, et directement lié au phénomène de la tétanie. En effet, le voltage entre les électrodes était réglé le plus souvent de manière à obtenir un gradient de potentiel voisin du seuil de taxie, pour chaque stimulus, au voisinage de la cathode. Or, le seuil de tétanie dépend lui aussi de la durée d'impulsion et surtout de sa fréquence. Si bien qu'aux fréquences les plus élevées il était atteint à une certaine distance de l'anode, ce qui était favorable à une bonne concentration et finalement à une immobilisation des poissons sur l'électrode. Au contraire, aux basses fréquences, le seuil était rarement atteint, comme nous l'avons vu pour le stimulus $20 \text{ H}_2 - 3 \text{ ms}$ et la concentration finale des poissons sur l'électrode n'était pas toujours sensible. Il fallait donc faire appel à une autre méthode qui permette la comparaison des différents stimuli de façon plus équitable, quelle que soit la fréquence.

3.- Remarques

Pour comparer correctement 2 stimuli, il faudrait pouvoir dissocier l'étude des réactions des poissons, dans la zone où le gradient est sensiblement constant, de celle de leurs conduites au voisinage de l'anode, où le champ croît rapidement.

.../...

Les expériences décrites jusqu'à présent, avec un gradient de potentiel sensiblement égal au seuil de tétanie près de la cathode, seraient alors avant tout destinées à apprécier la qualité des tétanisations des poissons nageant vers les champs croissants et à noter les tentatives de fuite qu'ils pourraient manifester.

Une autre série d'expériences, où le voltage serait cette fois réglé de façon à atteindre le seuil de tétanie, systématiquement à une même distance en avant de l'anode, quel que soit le stimulus étudié, permettrait de comparer la concentration finale des poissons sur l'électrode dans des conditions comparables.

Mais la tension de notre générateur, limitée à 110 V, ne permettait pas d'atteindre le seuil de tétanie à une distance suffisante de l'anode aux basses fréquences, à moins de rapprocher les électrodes l'une de l'autre. Dans ce dernier cas, la zone de pêche aurait été trop réduite pour des observations correctes et par surcroît l'intensité débitée serait alors trop élevée risquant d'entraîner la destruction du générateur.

Nous avons donc dû utiliser une méthode adaptée aux moyens dont nous disposions.

4.- Méthode appliquée sur des sardines

Nous avons été amenés à définir de nouveaux critères qui tiennent compte à la fois des observations préliminaires et des performances de notre générateur.

Aux hautes fréquences, nous avons constaté qu'un poisson qui pénétrait dans la zone où le gradient de potentiel commençait à croître ne pouvait pratiquement plus fuir et finissait, dans la très grande majorité des cas, par être tétanisé. C'est pourquoi, nous avons décidé de classer parmi les cas favorables tous les poissons qui nageraient correctement vers les champs croissants, sans retour-nement ou tentative de fuite, même s'il n'y avait pas de concentration finale sur l'anode, faute d'un gradient suffisant. Les poissons se verront alors attribuer le coefficient 1. Au contraire, les poissons qui manifesteraient, d'une manière ou d'une autre, des tentatives de fuite seront notés 0. Dans certains cas douteux nous nous sommes réservés la possibilité d'utiliser le coefficient 0,5.

Pour chaque stimulus 10 poissons ont été successivement testés. Au cours de ces expériences, les sardines ont été systématiquement prises au milieu de la cathode au moment de la mise sous tension des électrodes. Chaque cas était ainsi exactement comparable aux autres.

III - RESULTATS OBTENUS AVEC LES SARDINES

1.- Dans un plan d'eau horizontal

En utilisant le bassin de la figure 1, le système d'électrodes de la figure 5 et la méthode présentée au chapitre précédent, nous avons obtenu les résultats indiqués dans le tableau 3.

Stimulus	Seuil de taxie (s) V/m	Grad V à 50 cm devant C V/m	Résultats
200 H _z - 1 ms	17	20	10/10
200 H _z - 1 ms	17	17	10/10
200 H _z - 0,5 ms	17,5	20	5/10
100 H _z - 1 ms	17	20	10/10
100 H _z - 1 ms	17	17	8/10
100 H _z - 1 ms	17	15	4/10
100 H _z - 0,5 ms		20	6/10
50 H _z - 2 ms	18	18	5,5/10
50 H _z - 1 ms	19	19	5/10
50 H _z - 0,5 ms		20	2,5/10
40 H _z - 1 ms	20	20	3/10

Tableau 3 -

Nous constatons qu'à $200 \text{ H}_z - 1 \text{ ms}$ les résultats sont excellents. Les réactions déclenchées par la fréquence 200 H_z étaient très vives. C'est sans doute pourquoi les résultats à $200 \text{ H}_z - 0,5 \text{ ms}$ sont moins bons, car une durée de $0,5 \text{ ms}$ doit être insuffisante pour contrôler des réactions aussi énergiques. On observait des mouvements de retournements comparables aux "loopings" exécutés par des avions. A $100 \text{ H}_z - 1 \text{ ms}$, les résultats sont encore très bons. Avec 20 V/m les taxies ne semblaient pas meilleures qu'avec 17 V/m , mais d'après les résultats, le stimulus était alors plus coercitif. Avec 15 V/m nous avions encore quelques attractions apparemment positives. Ce gradient devrait être suffisant pour des sardines de plus grande taille. A $100 \text{ H}_z - 0,5 \text{ ms}$ les résultats sont comparables à ceux enregistrés pour $200 \text{ H}_z - 0,5 \text{ ms}$.

A $50 \text{ H}_z - 1 \text{ ms}$ les taxies devenaient moins nettes, mais l'attraction était encore efficace dans 50 % des cas. Il n'était pas toujours facile de classer les réactions comme "bonnes ou mauvaises", ce qui explique l'utilisation du coefficient 0,5 pour la fréquence 50 H_z .

Un tel stimulus de $50 \text{ H}_z - 0,5 \text{ ms}$ produit chez les sardines des taxies très médiocres ainsi que celui de $40 \text{ H}_z - 1 \text{ ms}$, même dans les cas favorables.

2.- Dans un plan d'eau vertical

a) Avec un système d'électrodes à axe horizontal

En utilisant le bac de la figure 2 et le système d'électrodes de la figure 6 nous obtenons les résultats indiqués dans le tableau 4.

Certains des résultats du tableau 4 ont été obtenus avec une électrode rectangulaire isolée au dos ($14 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$) au lieu du barreau de graphite, ou avec des électrodes distantes de $2,50 \text{ m}$ au lieu de 3 m . Ces légères différences, lors des toutes premières mesures, ou rendues nécessaires par la suite pour obtenir des gradients élevés, sont respectivement signalées par (1) et (2) dans le tableau.

.../...

Stimulus	Seuil de taxe (s) V/m	Grad V à 50 cm devant C V/m	Résultats
200 H _Z - 1 ms	17	25	10/10
200 H _Z - 1 ms	17	20	4/10
200 H _Z - 1 ms	17	17	5/10
200 H _Z - 1 ms	17	17 ⁽¹⁾ (2)	5,5/10
100 H _Z - 1 ms	17	25	10/10
100 H _Z - 1 ms	17	17	2/10
50 H _Z - 1 ms	19	30 (2)	8,5/10
50 H _Z - 1 ms	19	25	2/10
50 H _Z - 1 ms	19	25 (2)	2/10
50 H _Z - 1 ms	19	19 (1)	3/10
50 H _Z - 1 ms	19	19	2/10
50 H _Z - 1 ms	19	15	X

Tableau 4 -

Il est intéressant de constater que les résultats obtenus avec ces systèmes d'électrodes légèrement modifiés concordent parfaitement avec les autres mesures, ce qui démontre la cohérence de la méthode employée.

Dans un plan d'eau vertical, un phénomène nouveau apparaît. Les poissons ont une nette tendance à nager vers la surface, ce qui explique la médiocrité de certains résultats : pour 17 V/m devant C, nous trouvons 5/10 à 200 H_Z - 1ms et 2/10 à 100 H_Z - 1 ms au lieu de 10/10 pour ces 2 stimuli appliqués dans le "bac horizontal".

.../...

Afin d'obtenir de meilleurs résultats, il a été nécessaire d'augmenter le gradient de potentiel appliqué. Pour atteindre 10/10 à $200 \text{ H}_z - 1 \text{ ms}$ ou $100 \text{ H}_z - 1 \text{ ms}$, il a fallu monter à 25 V/m devant C. A $50 \text{ H}_z - 1 \text{ ms}$, 30 V/m ne permettait d'obtenir que 8,5/10 et 25 V/m seulement 2/10.

Il est curieux de noter qu'à $200 \text{ H}_z - 1 \text{ ms}$ les résultats sont légèrement meilleurs pour 17 V/m que pour 20 V/m. A $50 \text{ H}_z - 2 \text{ ms}$ nous avons également parfois obtenus des résultats légèrement meilleurs avec 19 V/m qu'avec 25 V/m. Il s'agit peut-être d'une coïncidence, à moins que des gradients légèrement supérieurs au seuil de taxie ne favorisent d'abord les remontées des poissons vers la surface et tendent à les supprimer seulement à partir d'une augmentation plus sensible du gradient.

Quelques expériences à $50 \text{ H}_z - 1 \text{ ms}$ avec 15 V/m sur la cathode n'ont donné aucun résultat positif sur des sardines de 13,5 cm.

Plutôt que d'augmenter le gradient de potentiel pour supprimer la remontée des sardines vers la surface, nous avons pensé qu'il était peut-être possible d'utiliser ce phénomène en employant un système d'électrodes à axe vertical.

b) Avec un système d'électrodes à axe vertical

Il n'avait pas été prévu de bac spécialement conçu pour cette étude. Nous avons donc utilisé le "bac vertical" comme le montre la figure 7, avec la cathode posée sur le fond et l'anode maintenue en surface. Le champ était sensiblement uniforme sur 70 cm à partir du fond, puis croissait très rapidement jusqu'à la surface. Les résultats obtenus avec ce montage sont indiqués dans le tableau 5.

Ces résultats sont très favorables, car il apparaît que, pour des taxies verticales, un gradient inférieur au seuil de taxie provoque encore de bonnes attractions : 10/10 à $200 \text{ H}_z - 1 \text{ ms}$ et 8,5/10 à $50 \text{ H}_z - 1 \text{ ms}$ pour seulement 15 V/m devant C.

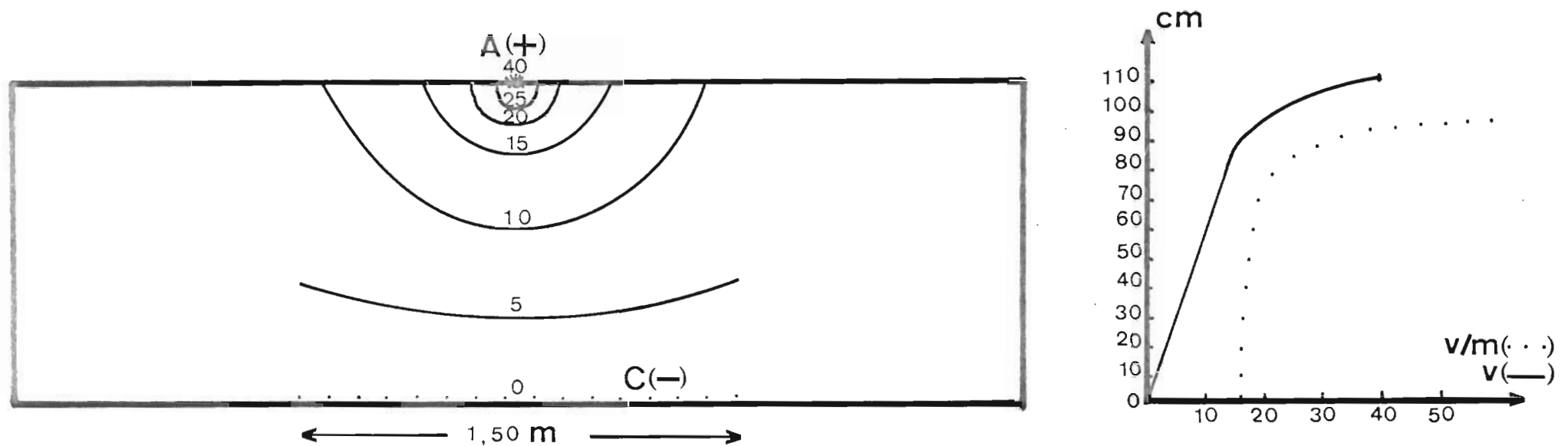


Fig.7: "Bac vertical" vu de profil.

La distribution des lignes équipotentiellles est indiquée pour un système d'électrodes à axe vertical et pour une différence de potentiel de 40 V entre les électrodes. La cathode, composée par un grillage en cuivre long de 1,50 M, est posée sur le fond. L'anode, constituée d'un barreau de graphite ($\phi=2\text{cm}$) isolé au dos, est maintenue en surface.

Le graphique indique la variation du potentiel (—) et du gradient de potentiel (· · ·) sur l'axe médian des électrodes.

Stimulus	Seuil de taxe (s) V/m	Grad V à 50 cm devant C V/m	Résultats
200 H _Z - 1 ms	17	17	10/10
200 H _Z - 1 ms	17	15	10/10
50 H _Z - 1 ms	19	19	10/10
50 H _Z - 1 ms	19	15	8,5/10

Tableau 5 -

Il serait bon de vérifier ces expériences en vraie grandeur, sur des distances plus longues. Mais ces premières observations sont très encourageantes car des sardines prises sur le fond, au milieu de la cathode, montaient franchement jusqu'à l'anode lorsque le courant était établi. Cette conduite est très nettement visible sur les prises de vues réalisées au cours de ces expériences.

IV - ETUDE DE LA PENETRATION DES SARDINES DANS LA ZONE DE PECHE

Le dispositif de pêche qui est étudié a été initialement prévu pour fonctionner "au coup par coup". C'est-à-dire que la tension ne doit être établie qu'après que les poissons aient été concentrés entre les électrodes sous l'influence d'un stimulus lumineux, dont les effets ont été décrits, notamment par KURC et BLANCHETEAU. Comme il apparaît difficile d'obtenir une zone de pêche de grande dimension, en se limitant à une dépense énergétique relativement faible, il a semblé intéressant d'étudier un système de capture capable de fonctionner en continu. Pour ce faire, il fallait savoir si les poissons pénétraient dans la zone de pêche lorsque les électrodes étaient déjà sous tension.

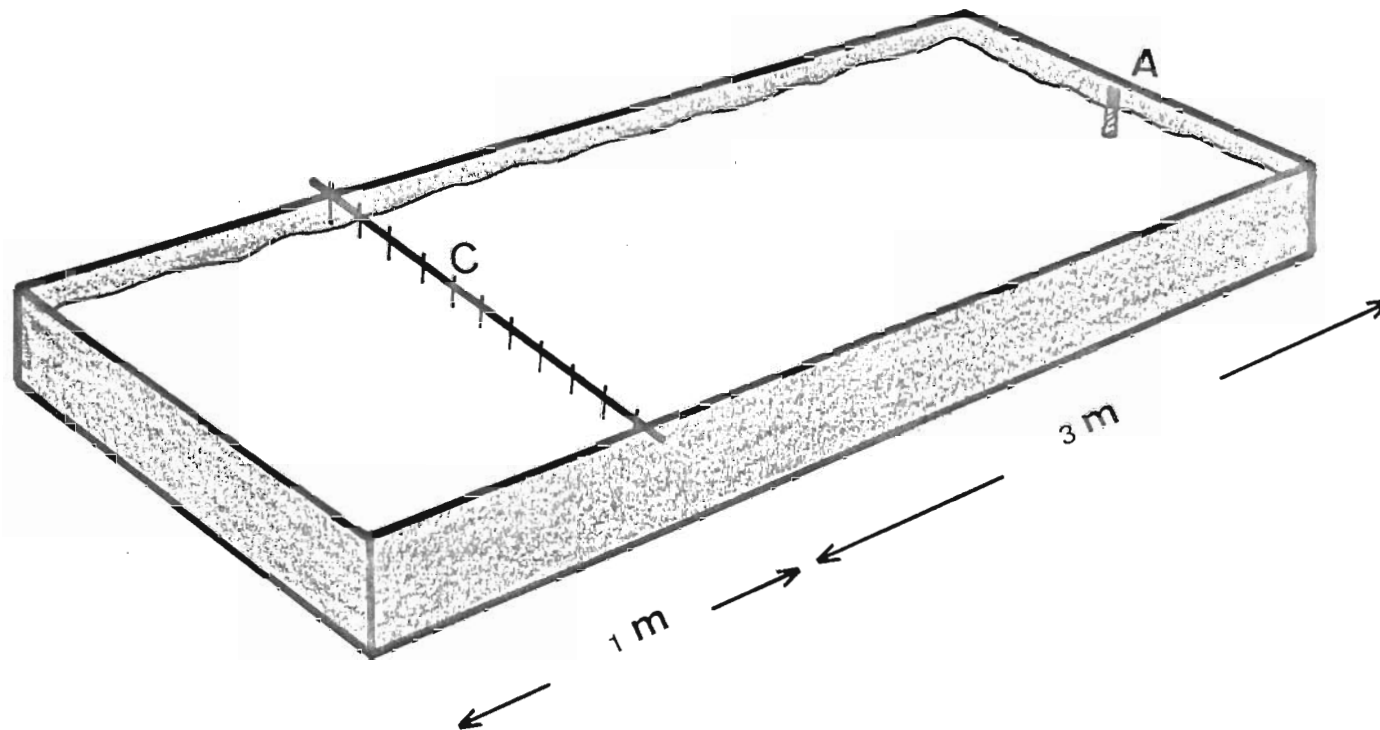


Fig.8: Nouvelle disposition des électrodes dans le "bac horizontal" pour l'étude de la pénétration des poissons dans la zone de pêche.

Pour étudier cette question nous avons fait subir une translation au système d'électrodes dans le "bac horizontal" ainsi que dans le "bac vertical", afin de ménager un espace libre entre la cathode et l'extrémité du bac (fig. 8). Dans cet espace, le gradient de potentiel était très faible (de l'ordre de 0,6 V/m pour le "bac horizontal" lorsque 17 V/m étaient appliqués près de la cathode du côté de la zone de pêche) et ne semblait pas avoir d'influence sur le comportement des poissons. Lorsqu'un poisson atteignait la cathode, ou bien il la traversait et était alors brutalement soumis à un gradient de potentiel de l'ordre du seuil de taxie, ou bien il parvenait à faire demi-tour avant d'entrer en taxie et retournait dans la zone non soumise au champ électrique.

1.- Observations dans un plan d'eau horizontal

Une fois le voltage correctement réglé pour chaque expérience et la tension établie, le poisson était placé dans la zone non soumise au champ électrique. Trois cas ont alors été envisagés :

- a) le poisson pénétrait franchement dans la zone de pêche et entraînait en taxie. Le coefficient 1 lui était attribué ;
- b) le poisson y pénétrait après quelques hésitations au niveau de la cathode ou seulement après plusieurs tentatives. Le coefficient 0,5 lui était attribué ;
- c) au bout de trois minutes le poisson n'avait pas franchi la cathode. Le coefficient 0 lui était attribué.

Avec ces conventions et en testant successivement plusieurs sardines de 13,5 cm nous avons obtenu les résultats du tableau 6.

D'une façon générale, les poissons traversent plus facilement la cathode à 50 H_z qu'à 200 H_z . Ce résultat est logique car à 200 H_z le stimulus électrique est plus rudement ressenti et donc plus rapidement détecté qu'à 50 H_z . Par ailleurs, le dégagement gazeux sur la cathode constituait une sorte de rideau de bulles beaucoup plus dense à 200 H_z qu'à 50 H_z .

.../...

Stimulus	Seuil de taxie (s) V/m	Grad V appliqué devant C (V/m)	Résultats
200 H_z - 1 ms	17	s = 17	3,5/5
50 H_z - 1 ms	19	s = 19	4,5/5
200 H_z - 1 ms	17	s/2 = 8,5	1,5/2
50 H_z - 1 ms	19	s/2 = 9,5	2/2
50 H_z - 1 ms	19	15	4,5/5

Tableau 6 -

Nous avons également étudié la pénétration des sardines dans la zone de pêche avec seulement s/2 sur la cathode. Dans ce cas, les poissons traversaient plus facilement la cathode et nageaient vers les champs de valeurs croissantes. Mais lorsqu'ils atteignaient un gradient sensiblement égal au seuil de taxie, dans la grande majorité des cas, il fuyaient latéralement ou faisaient demi-tour et sortaient de la zone de pêche, où ils revenaient parfois de façon aléatoire. Ces poissons nageaient en fait assez librement et évitaient de pénétrer dans la zone où le gradient devenait supérieur à s.

Un stimulus de 50 H_z - 1 ms, 15 V/m compris entre s/2 et s a également été testé. Ce gradient était déjà suffisant pour éviter des retours francs vers la cathode, mais dans certains cas les poissons avaient encore tendance à fuir latéralement lorsqu'ils atteignaient la valeur du champ égale au seuil de taxie. Il semble donc que même pour un système de pêche en continu il soit nécessaire d'appliquer un gradient de potentiel au moins égal au seuil de taxie sur la cathode.

2.- Observations dans un plan d'eau vertical

En procédant dans le "bac vertical" comme précédemment nous avons obtenu les résultats du tableau 7.

Stimulus	Seuil de ta- xic (s) V/m	Grad V appliqué devant C (V/m)	Résultats
50 H _z - 1 ms	19	19	4/5
50 H _z - 1 ms	19	34	1/1
50 H _z - 1 ms	19	30	5/5
----- puis -----	-----	-----	-----
200 H _z - 1 ms	17	30	1/5
200 H _z - 1 ms	17	30	2,5/5
----- puis -----	-----	-----	-----
50 H _z - 1 ms	19	30	4/5
200 H _z - 1 ms	17	25	(2,5/5) ?
----- puis -----	-----	-----	-----
50 H _z - 1 ms	19	25	(2,5/5) ?

Tableau 7 -

A 50 H_z - 1 ms les résultats sont sensiblement comparables à ceux enregistrés dans le "bac horizontal", même quand le gradient de potentiel sur la cathode est nettement plus élevé (1/1 pour 34 V/m et 5/5 pour 30 V/m).

Afin de savoir si des poissons qui avaient déjà subi des effets électriques traversaient encore la cathode, des sardines déjà testées à 50 H_z ont été reprises à 200 H_z. Le deuxième stimulus étant plus "dur" les poissons sont beaucoup plus réticents pour pénétrer de nouveau dans la zone de pêche. Mais dans le "bac vertical", d'après la disposition des brins de la cathode (fig. 2), le rideau de bulles constitué par le dégagement gazeux sur l'électrode est continu et non plus ponctuel, comme dans le "bac horizontal" (fig. 1). L'influence de ce rideau, beaucoup plus intense à 200 H_z qu'à 50 H_z, est sans doute plus sensible pour cette raison dans le "bac vertical" que dans le "bac horizontal". L'accoutumance et le passage d'un certain stimulus à un stimulus plus dur ou réciproquement jouent cependant certainement un rôle car une nouvelle série d'expériences avec 200 H_z en premier et 50 H_z en second donne des résultats différents des précédents.

Les derniers résultats pour 25 V/m sont indiqués avec réserve. En effet, l'eau ayant été insuffisamment renouvelée au cours de ces expériences, les derniers poissons testés ont présenté des signes d'intoxication, ce qui a probablement perturbé leur comportement et faussé les résultats.

En résumé, il apparaît nettement que la pêche en continu mérite d'être tentée avec le seuil de tétanie appliqué sur la cathode. Il semble établi que les poissons pénétreront d'autant plus facilement dans la zone de pêche que la fréquence utilisée sera plus basse. Il faut noter que dans des conditions réelles de pêche, les effets attractifs du stimulus lumineux sur les poissons devraient favoriser leur pénétration dans le champ électrique. De plus, en vraie grandeur les brins de la cathode seront écartés d'au moins 1 mètre et il est possible que d'éventuels effets de barrière visuels, déclenchés par les brins très rapprochés des cathodes employés au cours de nos expériences, soient alors considérablement atténués. Par contre, le dégagement gazeux sur la cathode en grandeur réelle risque d'être considérable. S'il se produisait un bouillonnement trop important sur les brins de la cathode, même espacés de 1 mètre, l'efficacité d'un système de pêche en continu pourrait être compromise. Seuls des essais à l'échelle 1 permettraient d'apporter une réponse à cette question.

V -- QUELQUES PRECISIONS SUR LA TETANIE DES SARDINES AU PROCHE VOISINAGE DE L'ANODE

Afin de savoir si les poissons pénétreront ou non dans la zone soumise à l'attraction hydrodynamique de la pompe, il est indispensable de connaître les limites d'approche de l'anode et donc de l'embouchure de la pompe. Ces limites sont, bien entendu, directement liées au phénomène de la tétanie.

Pour apporter quelques précisions sur ce point, nous avons utilisé de nouveau le bac trapézoïdal décrit sur la figure 5 de notre précédent rapport. Dans ce bac, de dimensions réduites, il est en effet possible d'obtenir des gradients relativement élevés. A pleine tension 180 V/m sont atteints à 10 cm de l'anode A avec 19 V/m sur la cathode C.

Pour $50 H_z - 1 \text{ ms}$ les poissons nageaient facilement jusque A où la tétanie ne semblait pas toujours totalement atteinte. Pour $200 H_z - 1 \text{ ms}$, par contre, un premier blocage se produisait à environ 50 cm de A. Le gradient à cet endroit était de l'ordre de 60 V/m et correspondait donc au seuil de tétanie théorique des sardines de 12 cm mesuré en champ uniforme pour $200 H_z - 1 \text{ ms}$. Les poissons, après avoir manifesté une courte halte, reprenaient cependant une sorte de nage "vibrée" qui les amenait jusque A. Mais, il semblait que cette nage "vibrée" prenait parfois appui sur le fond du bac. On peut penser qu'en pleine eau certains poissons auraient coulé avant d'atteindre A. Afin de vérifier si ce phénomène existait également à $50 H_z - 1 \text{ ms}$, nous avons rapproché la cathode de l'anode de façon à avoir $AC = 1 \text{ mètre}$. Dans ce cas, à pleine tension, nous obtenions 50 V/m à 10 cm de C et 250 V/m à 10 cm de A. Bien que ce soit moins net à $50 H_z$ qu'à $200 H_z$, les poissons marquaient généralement un temps d'arrêt à environ 45 cm de A. Le gradient à cet endroit correspondait bien au seuil de tétanie théorique des sardines étudiées pour $50 H_z - 1 \text{ ms}$, soit 90 V/m. Même quand l'arrêt était peu marqué, nous observions une certaine modification de la nage des poissons qui finalement atteignaient A. Parfois, les poissons se mettaient sur le côté et semblaient littéralement glisser sur le fond du bac tout en vibrant fortement. Des sardines reprises à $200 H_z - 1 \text{ ms}$ avec des gradients relativement élevés atteignirent néanmoins A dans la plupart des cas, grâce à cette nage "vibrée". Il faut cependant signaler que pour $200 H_z - 1 \text{ ms}$ presque toutes les sardines qui ont été soumises à des gradients supérieurs à 200 V/m n'ont pas survécu, contrairement à celles qui ont subi un stimulus de $50 H_z - 1 \text{ ms}$.

Il est donc certain qu'un poisson soumis à un champ croissant et non plus uniforme, dépasse le seuil théorique de tétanie. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'il ne subit pas un stress brutal mais qu'il ne ressent que progressivement la totalité de la tension électrique. Il est toutefois possible qu'en pleine eau les poissons coulent avant d'atteindre A, si les gradients dépassent 200 V/m par exemple.

Afin d'obtenir quelques précisions supplémentaires à ce sujet, nous avons visionné les films réalisés au cours de nos expériences. A $200 H_z$, les sardines peuvent nager jusqu'à toucher l'anode, même lorsque le gradient

atteint environ 100 V/m à 10 cm de celle-ci. Ces poissons ne glissent pas sur le fond, ce qui serait d'ailleurs impossible dans le cas du "bac vertical". Sur l'électrode le gradient dépasse certainement 200 V/m. Les points soumis à 100 V/m et 200 V/m ne sont séparés que par 10 cm et même si un poisson de 13,5 cm est complètement tétanisé à 150 V/m, par exemple, il est bien évident qu'il viendra quand même toucher A grâce à l'énergie cinétique acquise. S'il ne butte pas dans l'anode, sa vitesse acquise la lui fera même dépasser. On peut donc affirmer qu'à 200 H_z - 1 ms une sardine de 13,5 cm peut atteindre, dans un champ croissant et en pleine eau, des gradients de 100 V/m, pour le moins, bien que son seuil de tétanie théorique, mesuré en champ uniforme, ne dépasse pas 60 V/m. Sur les vues filmées à 50 H_z - 1 ms les sardines ne subissent pratiquement jamais de tétanie anodique. Les poissons tétanisés sont généralement ceux qui après avoir tournoyé autour de l'anode se sont trouvés à certains moments la tête orientée vers la cathode. Or, il est bien connu que le seuil de tétanie cathodique est plus vite atteint que celui de la tétanie anodique.

A 50 H_z - 1 ms, les sardines de 13,5 cm, dans un champ croissant et en pleine eau, peuvent certainement atteindre des gradients de 150 V/m et probablement même des champs plus élevés. Il est clair, cependant, que ces règles ne s'appliquent qu'à des champs présentant des configurations comparables à celles de nos expériences. Dans ce genre d'étude, de nombreux paramètres sont étroitement liés et il est parfois difficile de traduire les résultats de nombreuses observations par de simples valeurs numériques. En effet, un poisson qui aurait nagé à 50 V/m sur 10 m, par exemple, n'aurait peut-être plus la force d'atteindre 150 V/m et pourrait alors être tétanisé à 100 V/m seulement.

Notons, enfin, qu'au cours de ces expériences les sardines tétanisées avaient tendance à couler et non pas à remonter en surface. Ceci apparaît très nettement sur nos vues filmées lorsque nous avons utilisé le système d'électrodes à axe vertical dans le "bac vertical". On y remarque que les poissons fortement tétanisés coulent au bout de 20 secondes environ. Ils sortent alors de la zone où le champ est le plus intense et ceux qui "récupèrent" le plus rapidement entrent de nouveau en taxi vers l'anode....

.../...

C O N C L U S I O N

Nous disposons désormais de renseignements précis sur les valeurs des gradients de potentiel nécessaires à l'attraction anodique des sardines de 13,5 cm pour différents stimuli.

Il reste à définir, à partir de ces données, un système d'électrodes qui permette d'obtenir une zone de pêche aussi grande que possible. Le voltage à appliquer entre les électrodes et la puissance consommée dépendront du stimulus utilisé, des caractéristiques du système d'électrodes et des dimensions qui lui seront données.

A la suite de nos dernières expériences, il serait tentant d'utiliser le stimulus $200 \text{ Hz} - 1 \text{ ms}$ avec 25 V/m sur la cathode. Mais dans ce cas la puissance consommée risquerait d'être considérable à moins que l'on se contente d'une zone de pêche réduite. Or, nous avons vu qu'à 100 Hz les résultats étaient sensiblement aussi bons qu'à 200 Hz . La puissance consommée se trouve alors divisée par deux. Dans un plan d'eau horizontal 17 V/m sur la cathode devrait déjà donner d'excellents résultats avec des sardines de 13,5 cm. Si en pleine eau les sardines manifestaient, comme dans le "bac vertical", des tendances à nager vers la surface, il faudrait augmenter le gradient sur la cathode jusqu'à 25 V/m environ. La dépense énergétique entre les électrodes se trouverait alors accrue dans le rapport $\left(\frac{25}{17}\right)^2 = 2,16$. On peut d'ailleurs se demander si ces remontées des sardines vers la surface ne sont pas en partie dues à l'étroitesse du bac. Il est possible que les poissons s'y sentent piégés et que lorsqu'ils perçoivent le stimulus électrique, ils tendent à s'échapper. Comme le fond est opaque, ils fuient dans la seule direction apparemment libre, c'est-à-dire vers la surface. Ceci supposerait que les poissons détectent la face transparente en plexiglas car ils ne viennent pas la heurter. En l'absence de champ électrique, certaines sardines très agitées manifestaient parfois un tel comportement. Cela signifierait alors qu'un gradient de potentiel égal au seuil de taxie n'est pas tout à fait coercitif, mais qu'il le devient s'il est augmenté de quelques volts par mètre.

Si l'étroitesse du bac se révélait hors de cause, il serait préférable d'utiliser un système d'électrodes à axe vertical. Nous avons vu que dans ce cas 15 V/m sur la cathode semblait suffire. La puissance consommée serait alors diminuée dans le rapport $(\frac{25}{15})^2 = 2,78$, ce qui est considérable. De plus, en remplaçant le stimulus de 100 H_z - 1 ms par celui de 50 H_z - 1 ms (qui dans ce cas provoque 8,5 attractions favorables sur 10), la puissance se trouverait encore divisée par 2. Il est, cependant, très probable qu'à consommation énergétique égale 100 H_z - 0,5 ms donnerait de meilleurs résultats que 50 H_z - 1 ms.

Avec un système d'électrodes à axe horizontal, le stimulus 50 H_z - 1 ms paraît nettement moins coercitif que 100 H_z - 1 ms. Dans le "bac vertical" 50 H_z - 1 ms ne donne que 8,5 attractions positives sur 10 avec 30 V/m sur la cathode tandis que 100 H_z - 1 ms produit 10 attractions positives sur 10 avec seulement 25 V/m. Le gain de puissance est alors seulement de $2 - (\frac{30}{25})^2 = 0,56$. Il se fait au prix de résultats moins bons et surtout plus douteux.

Différents systèmes d'électrodes seront prochainement étudiés sur maquette en eau douce au Centre de l'ISTPM à Nantes. Nous sommes déjà familiarisés avec ce genre d'étude. Il ne suffit pas de déterminer le gradient de potentiel sur la cathode et sur l'axe médian des électrodes. Pour définir correctement la zone de pêche, il faut connaître le gradient à chaque point du volume d'eau soumis au champ électrique. La zone de tétanie sera ainsi également connue. Lorsqu'un ou plusieurs systèmes d'électrodes auront été sélectionnés, il sera alors possible d'établir les bilans de l'énergie consommée suivant les dimensions données aux systèmes et en fonction des stimuli utilisés.

Il ne faut pas oublier que les dernières expériences ont porté sur des sardines qui mesuraient seulement 13,5 cm. Avec des sardines plus longues les seuils de taxis seront moins élevés. Par exemple pour 100 H_z - 4 ms nous avons mesuré à l'île d'Yeu $s = 18,6$ V/m pour des sardines de 12 cm et $s = 11,8$ V/m pour des sardines de 18,5 cm. La dépense énergétique nécessaire à la capture de sardines de 18,5 cm serait donc pour ce stimulus $(\frac{18,6}{11,8})^2 = 2,48$ fois plus faible que pour la capture des sardines de 12 cm.

De plus, dans le milieu naturel les poissons n'auront pas subi les perturbations qu'ont pu entraîner la pêche proprement dite, le changement de milieu et plusieurs recaptures à l'aide d'une épuisette. En mer, les sardines devraient réagir plus favorablement au stimulus électrique. En effet, quelques observations faites à l'île d'Yeu en 1973 semblaient bien montrer qu'en présence d'un stimulus photique les poissons subissaient avec plus de passivité les effets d'un champ électrique.

C'est pourquoi nous concluons que 15 V/m dans la zone de pêche devrait suffire pour assurer la capture de sardines d'un "moule" relativement gros, mais pourtant d'intérêt commercial.

Si les résultats des expériences réalisées en laboratoire avec un système d'électrodes à axe vertical se trouvaient confirmés en pleine eau, 10 V/m sur la cathode pourraient même suffire. Par ailleurs, en supposant que des harengs réagissent comme les sardines, il serait possible de capturer des poissons d'une trentaine de centimètres avec des gradients de potentiel encore plus faibles. En effet, le seuil de taxie théorique d'une sardine de 30 cm, établi pour le stimulus $100 \text{ Hz} - 4 \text{ ms}$ en extrapolant la courbe des seuils en fonction des tailles établie dans notre dernier rapport, serait seulement 7 V/m. Par ailleurs, nous avons réellement mesuré le seuil de taxie d'un mulot de 29 cm à $50 \text{ Hz} - 2 \text{ ms}$ et nous avons trouvé 4,3 V/m.

Notons pour conclure que la fréquence 50 Hz mérite certainement d'être essayée et qu'elle peut donner de bons résultats en vraie grandeur mais que le stimulus $100 \text{ Hz} - 1 \text{ ms}$ semble nettement plus coercitif. Enfin, ces dernières expériences confirment la sélectivité en taille d'un système de pêche qui utiliserait l'attraction anodique des poissons.

