

**Institut Scientifique et Technique des Pêches
Maritimes**

R. Le Men
N. Diner

Contrat n°72/454

**Pêche électrique en mer.
Etude des comportements de poissons
marins soumis à un stimulus électrique
impulsionnel**

**Travaux de recherche effectués au titre du
contrat n°72/454 entre le Centre National pour
l'Exploitation des Océans et l'Institut
Scientifique et Technique des Pêches
Maritimes (juin 1972)**

Rapport scientifique

Février 1974

S O M M A I R E

	Page
<u>INTRODUCTION</u>	1
I.- <u>MATERIELS ET METHODES</u>	3
II.- <u>OBSERVATIONS DANS UN CHAMP ELECTRIQUE UNIFORME</u>	6
1.- <u>Mesures des seuils de taxie et de tétanie en fonction de la fréquence et de la durée des impulsions</u>	6
a) lieux jaunes.- <u>Pollachius pollachius</u> (L.)	7
b) bars.- <u>Dicentrarchus labrax</u> (L.)	7
c) mulets.- <u>Mugil labrosus</u> (RISSO)	8
d) sardines.- <u>Sardina pilchardus</u> (WALBAUM)	9
2.- <u>Etude des trains d'impulsions</u>	11
3.- <u>Mesures des seuils en fonction de la température et de la salinité</u>	12
a) température	12
b) salinité	13
4.- <u>Mesures des seuils en fonction de la longueur et de l'espèce des poissons</u>	14
a) longueur	14
b) espèce	16
III.- <u>OBSERVATIONS DANS UN CHAMP ELECTRIQUE NON UNIFORME</u>	17
IV.- <u>OBSERVATIONS COMPLEMENTAIRES SUR LES PHENOMENES DE TAXIE ET DE TETANIE</u>	20
1.- <u>Taxie</u>	20
2.- <u>Tétanie</u>	22
<u>CONCLUSION</u>	23

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

Depuis plusieurs années, un système de pêche par lumière, champ électrique et pompe, est étudié à l'I.S.T.P.M. avec la collaboration financière, successivement, de la D.G.R.S.T. et du C.N.E.X.O. Le principe de cette technique a été décrit dans diverses publications et le bilan des recherches accomplies a fait l'objet d'une récente série d'articles.*

Au cours de ces premiers travaux la distribution spatiale du champ électrique a été étudiée pour différents types d'électrodes. Afin d'arrêter les caractéristiques exactes du système le plus approprié, il importe de connaître de manière précise le comportement de poissons d'eau de mer soumis à un champ électrique et plus particulièrement celui des espèces auxquelles doit s'appliquer cette technique de pêche. C'est justement l'objet des études définies dans l'annexe scientifique jointe au contrat C.N.E.X.O./I.S.T.P.M. n° 72/454 dont le présent rapport rend compte.

Un certain nombre de données a guidé nos travaux. En effet, pour des raisons à la fois énergétiques et physiologiques, le stimulus électrique doit être impulsif et nous avons restreint le domaine de nos recherches au courant rupté. L'électrode de pêche étant l'anode, seuls les phénomènes anodiques ont été étudiés. Pour des raisons également énergétiques il est souhaitable que le seuil de taxie, ainsi que le "duty-cycle"**, soient les plus faibles possibles. Par ailleurs, pour un stimulus donné,

.../...

* Pêche à l'électricité avec lumière artificielle et pompe, par G. KURC
Choix du stimulus approprié à la pêche à l'électricité en mer, par
M. BLANCHETEAU - Etude du champ électrique nécessaire à la taxie anodique du poisson, par N. DINER et R. LE MEN -

Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 35 (1), 1971, p. 5-34.

** Le "duty-cycle" est égal au produit de la fréquence par la durée d'impulsion.

la zone de pêche sera d'autant plus importante que le rapport du seuil de tétanie au seuil de taxie sera grand. C'est pourquoi, afin de déterminer les meilleurs stimuli, les seuils ont été mesurés dans un champ électrique uniforme, systématiquement en fonction de la fréquence et de la durée des impulsions. Ces mesures ont été effectuées en tenant compte de l'espèce et de la taille des poissons, ainsi que des conditions de milieu.

Avec ce système de pêche, les poissons subiront au moment de leur capture un champ électrique croissant et devront nager en taxie sur plusieurs mètres. Nous avons donc procédé à des mesures de vitesse sur des distances relativement importantes et complété ces travaux par des observations de comportements dans un champ électrique non uniforme. Cette technique de pêche est destinée à capturer des espèces pélagiques et plus particulièrement des clupéidés.

Etant donné que ces poissons sont fragiles et délicats à manipuler, les premiers essais ont porté sur des espèces plus résistantes et s'adaptant mieux à la vie en aquarium (bars, mullets). Les divers modes opératoires nécessaires à ce type d'étude ont ainsi pu être mis au point, tout en recueillant un certain nombre de résultats intéressants. Grâce à l'expérience ainsi acquise, il nous a ensuite été possible de procéder à des observations sur des sardines. Notons cependant que leur grande fragilité n'a permis d'adapter correctement en aquarium qu'un nombre limité d'individus et c'est pourquoi certains travaux prévus sur ces poissons n'ont pu être réalisés que partiellement.

I.- MATERIELS ET METHODES

Trois bacs dont les formes et les dimensions ont été spécialement étudiées en fonction des différents types d'observations à effectuer ont été utilisés :

- un bac comprenant essentiellement une rigole de section constante (0,10 m X 0,10 m), longue de 1,50 m, pourvue de deux embouts cylindriques (fig. 1 et 2). Dans ce bac, les seuils de taxie et de tétanie anodiques ont été mesurés dans un champ électrique uniforme en fonction de la fréquence et de la durée des impulsions, mais aussi de l'espèce et de la taille des poissons ainsi que de la température et de la salinité de l'eau. Un inverseur de tension permet de faire jouer indifféremment le rôle d'anode à l'une ou l'autre des électrodes.
- une rigole expérimentale constituée d'une partie à section constante (0,30 m X 0,30 m), longue de 4 m, à laquelle est fixé un embout triangulaire de 1 m de long (fig. 3 et 4). Le champ électrique est donc uniforme sur 4 m, puis il croît dans la partie terminale à l'extrémité de laquelle est placée l'anode. Dans cette rigole les expériences s'effectuent dans des conditions voisines de celles de la pêche en vraie grandeur. Il est possible de mesurer, en fonction des caractéristiques du stimulus électrique appliqué, les vitesses de nage des poissons en taxie anodique et d'apprécier la fatigue qui en résulte. Celle-ci peut, en effet, avoir une certaine influence sur le phénomène de tétanie observé dans l'élément triangulaire.
- un troisième bac de forme sensiblement trapézoïdale, long de 1,90 m, les largeurs respectives de l'anode et de la cathode étant de 0,06 m et 1,00 m (fig. 5 et 6). Le gradient de potentiel croît de manière logarithmique de la cathode vers l'anode au voisinage de laquelle il est environ 10 fois plus élevé que sur la cathode. Il est donc possible de régler la différence de potentiel entre les électrodes de manière à obtenir trois zones présentant des caractéristiques différentes. Dans la première, proche de la cathode, le gradient de potentiel est inférieur au seuil de taxie, dans la

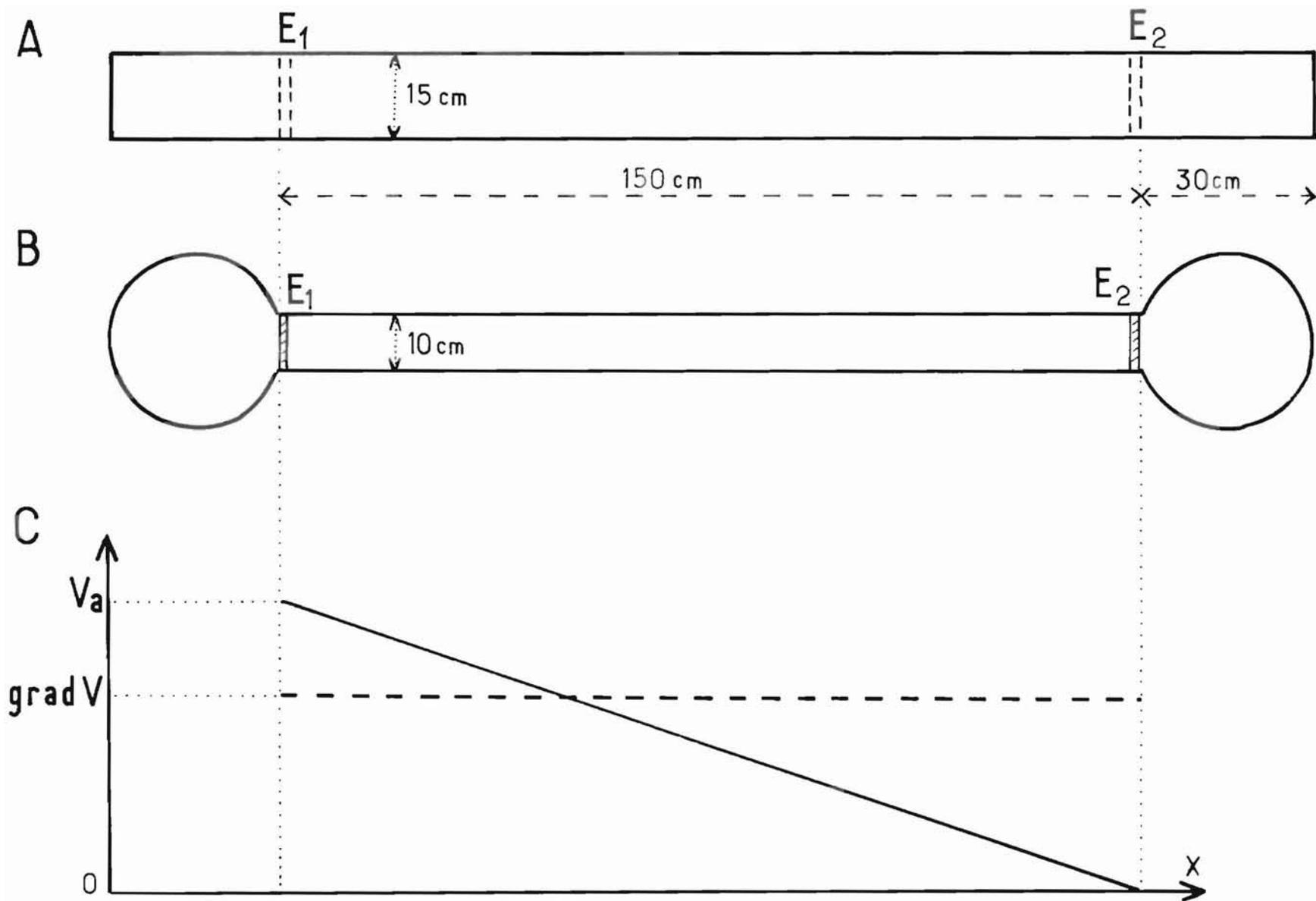


Fig.1: Ce bac expérimental comprend une rigole à section constante et deux extrémités cylindriques. Les électrodes E_1 et E_2 peuvent coulisser dans un plan vertical afin de laisser passer le poisson. Ce dernier est alors aisément récupéré dans une des extrémités.
 A: vue de profil B: vue de dessus C: variation du potentiel V (trait continu) et du gradient de potentiel $\text{Grad}V$ (tirets) entre les électrodes.

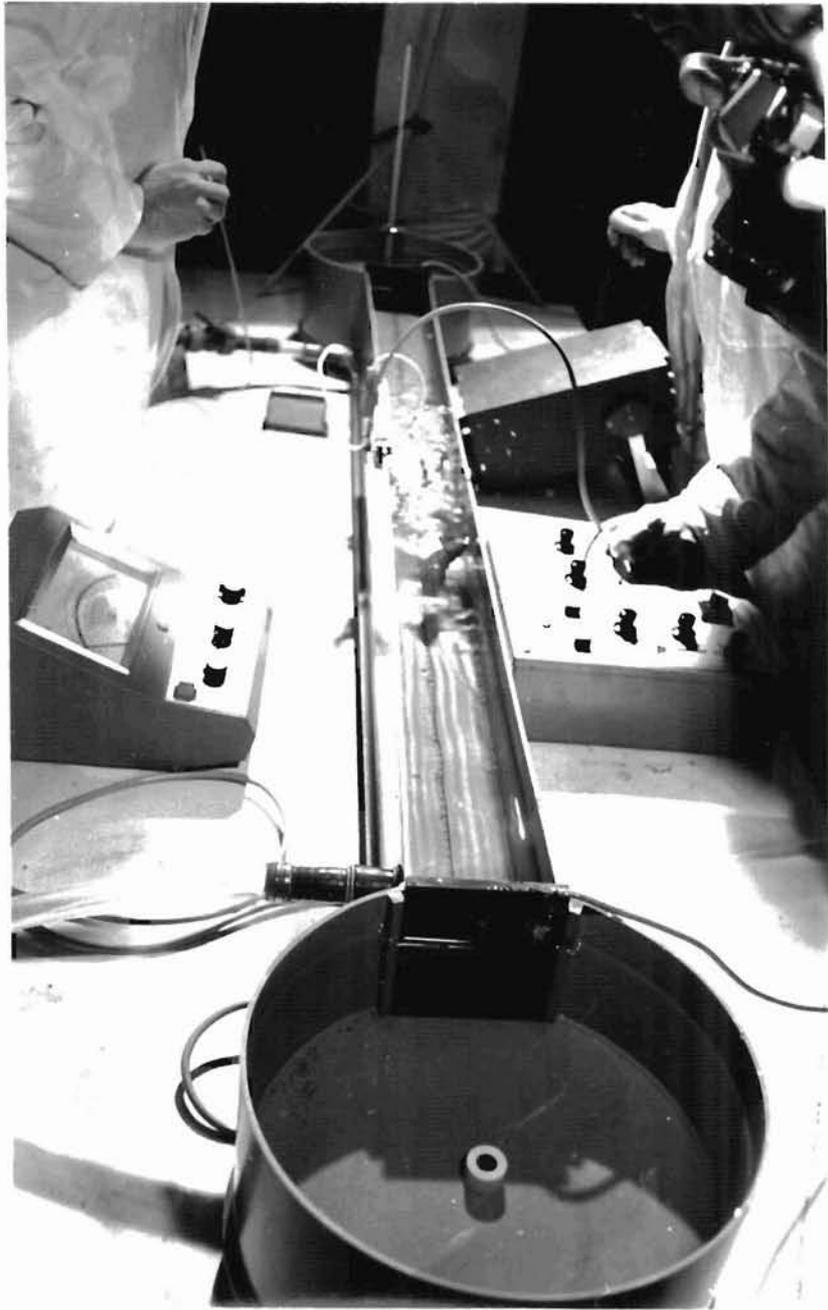


Fig.2: Photographie montrant le bac représenté sur la Fig.1.
Un mulet en taxie peut être observé au milieu de la rigole.

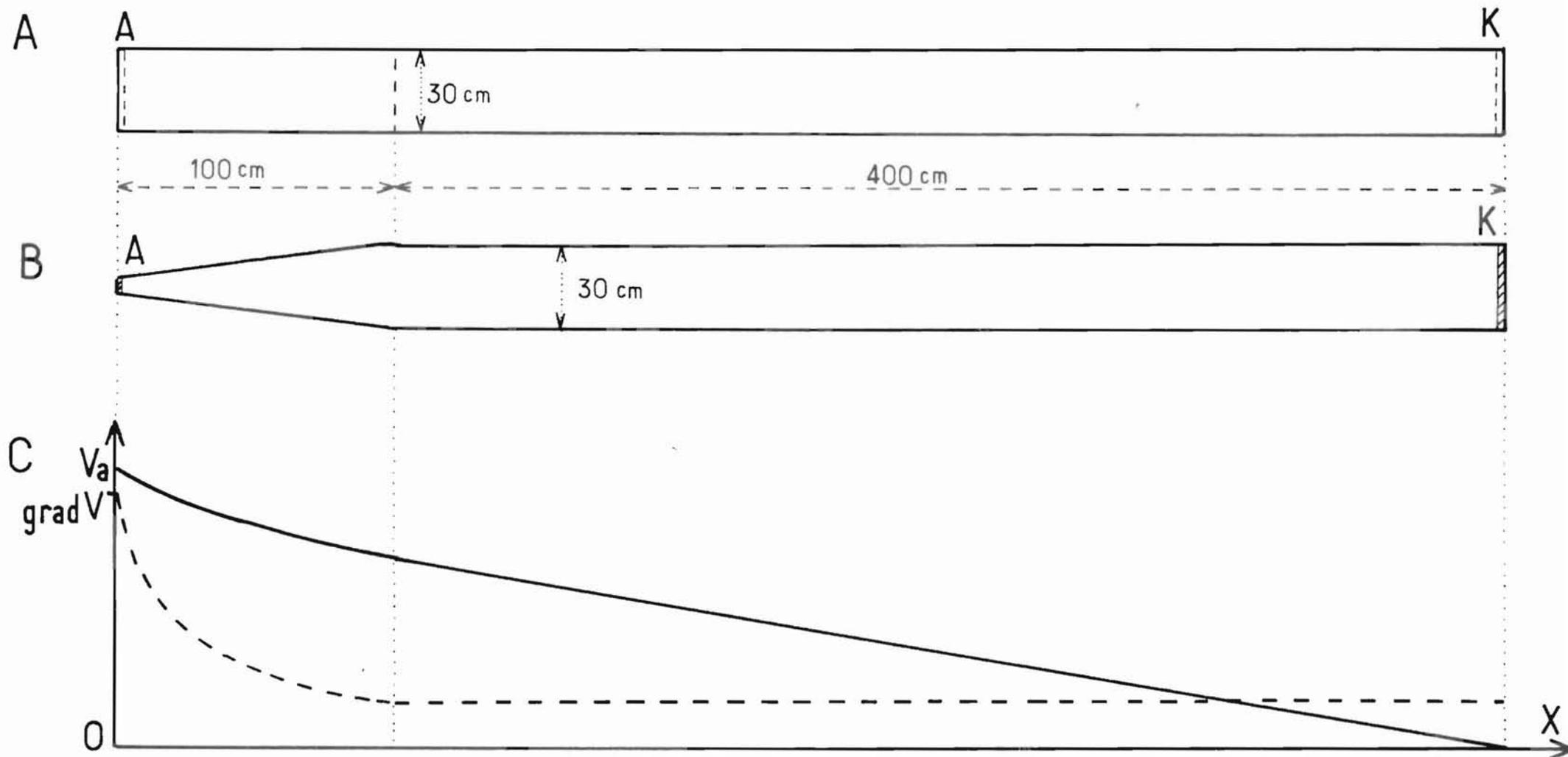


Fig.3: Rigole expérimentale comprenant une partie rectiligne à section constante et un embout triangulaire à l'extrémité duquel est fixé l'anode A.
 A: vue de profil B: vue de dessus C: variation du potentiel V (trait continu) et du gradient de potentiel $\text{Grad}V$ (tirets) entre l'anode A et la cathode K.



Fig.4: Photographie montrant la rigole représentée sur la Fig.3.
(les électrodes ne sont pas sous tension et les muets qui se trouvent dans la rigole sont donc au repos).

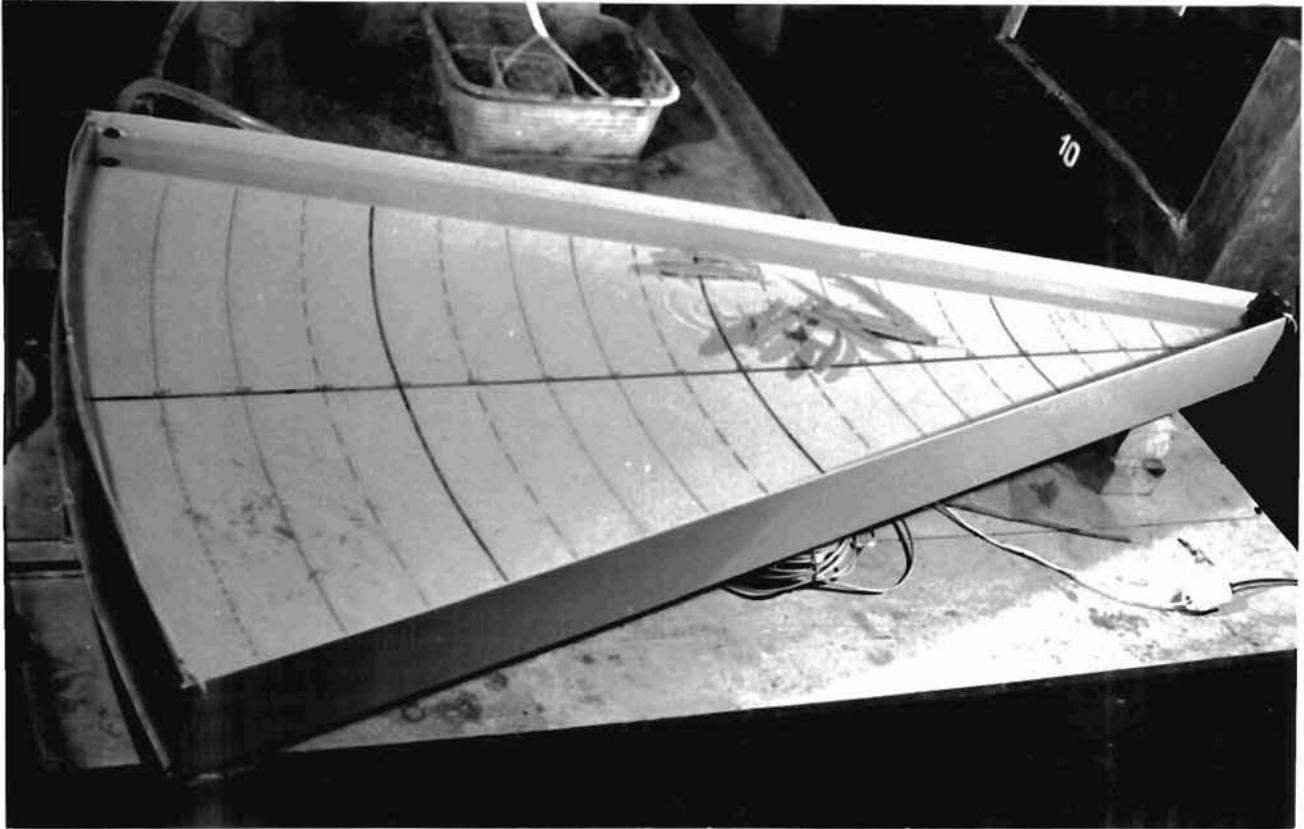


Fig.6: Photographie montrant le bac trapézoïdal de la Fig.5:
(les électrodes ne sont pas sous tension et les mulets
qui se trouvent dans le bac sont donc au repos).

seconde, qui correspond à la partie centrale, il se trouve compris entre les seuils de taxie et de tétanie et dans la troisième, au voisinage de l'anode, le gradient dépasse le seuil de tétanie. Ce bac permet d'étudier les réactions des poissons soumis à un champ électrique croissant et non plus uniforme. Il est possible d'observer le comportement des individus qui, se trouvant dans la première zone, s'approchent de la deuxième, ou bien qui passent de la seconde dans la troisième.

Ces bacs ont été maintenus en eau en circuit ouvert afin d'éviter l'accumulation de produits électrolytiques. Ces produits, dus à la décomposition de l'eau de mer, auraient en effet pu perturber le comportement des poissons. De même, afin d'éviter la production de sels toxiques, les anodes métalliques ont été écartées au profit d'électrodes en graphite.

Un générateur impulsionnel, construit pour cette étude par les A.C.B. (Ateliers et Chantiers de Bretagne) fournit l'énergie électrique nécessaire à la mise sous tension des bacs. Ce générateur comprend une alimentation en courant continu constituée par un pont mixte à thyristors (fig. 7). Le courant délivré par le pont est filtré par une batterie de condensateurs et un système électronique effectue la mise en forme des signaux de commande des impulsions. Le circuit de puissance se compose essentiellement de 5 transistors en parallèle commandés à saturation par les créneaux de tension issus de l'électronique. Un inverseur permet de changer la polarité des bornes de sortie et la tension crête délivrée par l'appareil est lue sur un voltmètre numérique incorporé à l'armoire métallique contenant le générateur. Cet appareil délivre son énergie sous la forme d'impulsions rectangulaires dont la tension crête est réglable de 0 à 110 V continûment ou par plots, au pas de 1 V. La fréquence et la durée des impulsions sont réglables suivant deux plages distinctes, respectivement de 10 à 50 Hz et 0,1 à 10 ms ou 50 à 200 Hz et 0,1 à 4 ms. De plus, il est possible de moduler un stimulus donné par une fréquence plus basse et dans un rapport variable afin d'obtenir des trains d'impulsions (fig. 21). Les commandes de mise sous tension, de variation du potentiel, de réglage en fréquence, de durée d'impulsion et de modulation ainsi que de changement de polarité sont disposées sur un pupitre transportable, relié à l'armoire par un câble multiconducteur de 6 m de long.

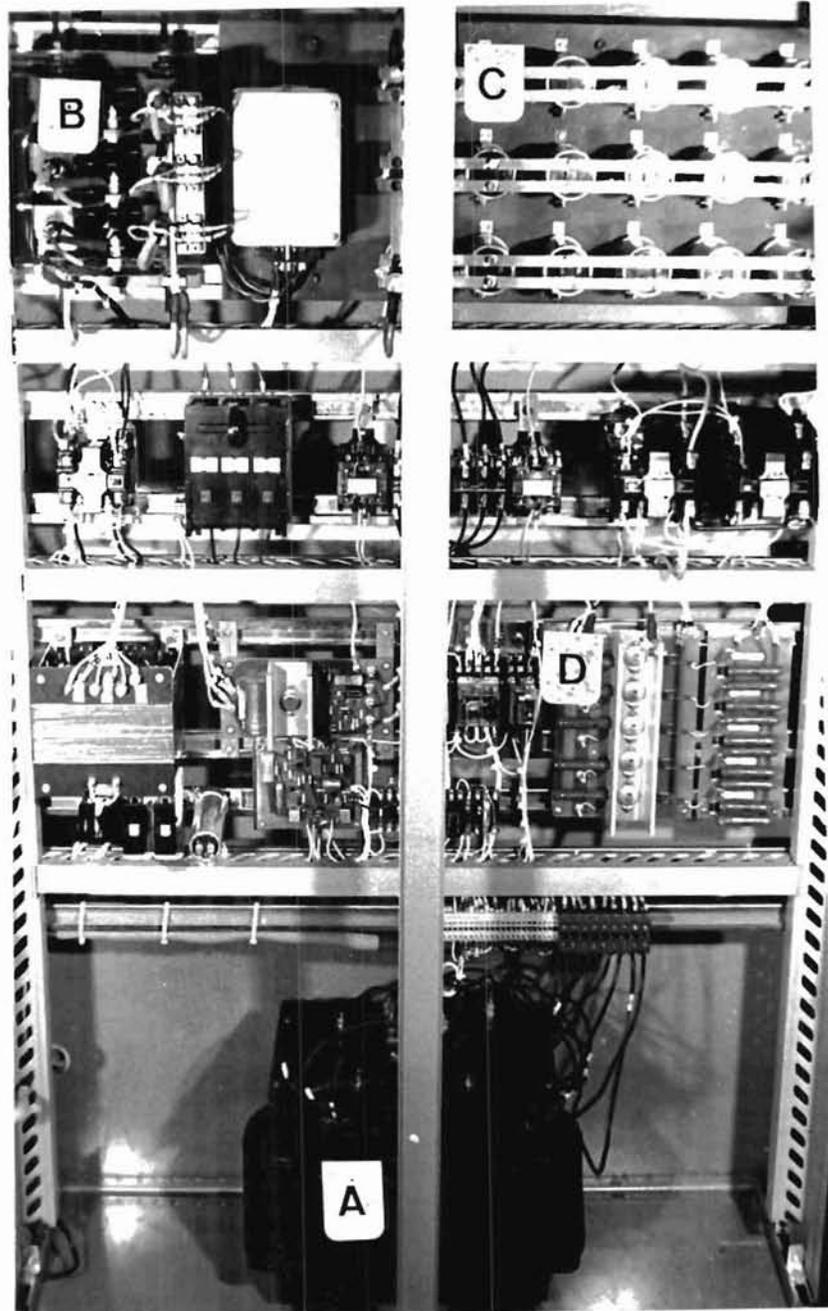


Fig.7: Photographie du générateur impulsionnel (signaux rectangulaires).

- A: transformateur triphasé.
- B: pont mixte à thyristors.
- C: batterie de condensateurs.
- D: circuit de puissance.

Il est nécessaire de connaître exactement le gradient de potentiel subi par les poissons au moment des expériences. Pour faire abstraction des phénomènes de polarisation, le gradient est relevé "in situ" en mesurant la différence de potentiel entre deux électrodes passives dont l'écartement est connu. La tension ainsi enregistrée est lue sur un oscilloscope (fig. 8). Avant chaque expérience la température et la conductivité de l'eau sont relevées, ce qui permet d'en déduire la salinité.



Fig.8: Photographie montrant l'ensemble du montage expérimental utilisé pour mesurer les seuils de taxie et de tétanie des poissons.

S: système permettant de réguler en température et en salinité l'eau d'alimentation de la rigole de mesure (les poissons devant subir une adaptation en température ou en salinité pour certaines expériences sont maintenus dans ce bac le temps nécessaire).

R: rigole expérimentale montée en série avec le bac précédent.

G: générateur impulsionnel enfermé dans son armoire étanche.

P: pupitre de commande (les différents paramètres caractérisant les stimuli utilisés sont affichés sur ce pupitre).

E: électrodes passives permettant de mesurer le gradient de potentiel dans la rigole sans avoir à tenir compte des effets de polarisation dus aux électrodes actives.

O: oscilloscope cathodique.

C: conductimètre.

T: thermomètre.

II.- OBSERVATIONS DANS UN CHAMP ELECTRIQUE UNIFORME

Dans le système de pêche, tel que nous l'avons conçu, le gradient de potentiel, pour être efficace, doit être compris entre les seuils de taxie et de tétanie anodiques. Ces seuils ont donc tout d'abord été mesurés dans la rigole expérimentale prévue à cet effet. Le seuil de taxie correspond à la valeur minimale du gradient de potentiel capable de déclencher des réactions natatoires coercitives suffisamment soutenues pour obliger le poisson à traverser la rigole. Au contraire, le seuil de tétanie est la valeur minimale du gradient de potentiel capable d'immobiliser le poisson par raideur tétanique à la mise sous tension de la rigole. Ces seuils ont été déterminés en augmentant systématiquement la tension jusqu'à l'obtention de la taxie ou de la tétanie selon les cas étudiés. Pendant les réglages de tension la rigole était mise hors circuit et le poisson se trouvait alors au repos.

Ces travaux ont d'abord porté sur des lieus, des bars et des mullets à la Station Biologique de Roscoff, dont le Directeur a aimablement accepté de nous héberger, puis sur des sardines à l'Ecloserie-Expérimentale-pilote de l'I.S.T.P.M. à l'île d'Yeu.

Les expériences n'ont été effectuées que sur des poissons bien adaptés à la vie en aquarium. Par ailleurs, en respectant une période de repos d'environ 5 heures entre deux mesures sur un même individu, nous avons vérifié que les résultats étaient répétitifs dans le temps.

1.- Mesure des seuils de taxie et de tétanie en fonction de la fréquence et de la durée des impulsions.

Afin d'éliminer le facteur taille, des lots de poissons de même longueur ont été sélectionnés pour ce travail. Pour chaque espèce les expériences ont été réalisées à température et à salinité pratiquement constantes.

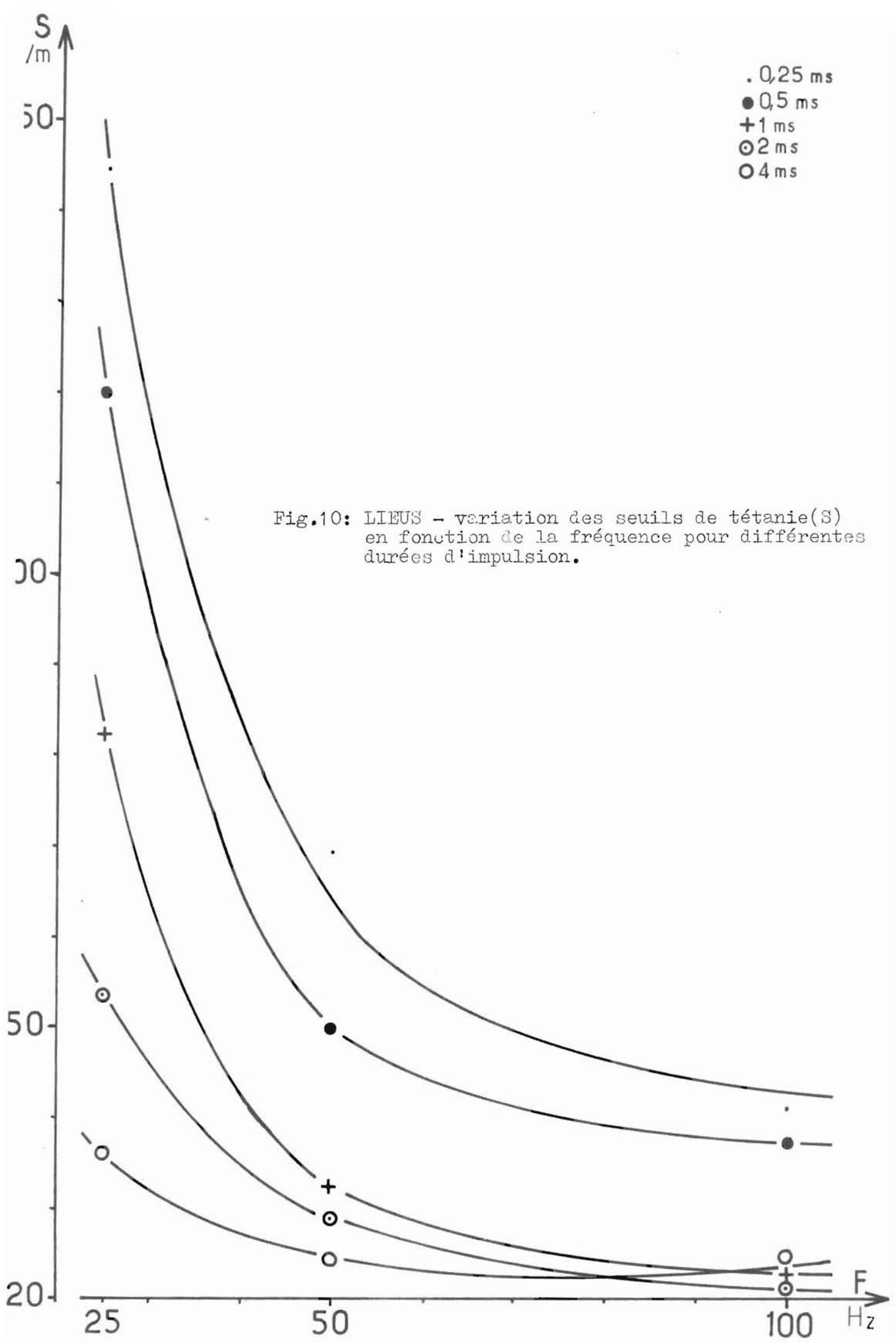
a) Lieus jaunes. - Pollachius pollachius (L.)

Des premiers essais, destinés à mettre au point les méthodes expérimentales, ont d'abord été effectués sur des crénilabres et des jeunes lieus de 14 cm ($\pm 0,5$ cm). Les expériences sur les lieus ont été suffisamment nombreuses pour fournir une certaine quantité de résultats. Les seuils de taxie ont été mesurés pour trois fréquences : 25 - 50 et 100 Hz et pour cinq durées d'impulsion : 0,25 - 0,5 - 1 - 2 et 4 ms. La température, la résistivité et la salinité de l'eau avaient pour valeurs moyennes respectives $10^{\circ}7$ - $25,8 \Omega \cdot \text{cm}$ et 35 ‰. Les résultats obtenus sont représentés sur les figures 9 et 10. Il s'agit de valeurs moyennes, chaque stimulus ayant été testé sur 3 poissons au moins.

A 50 et 100 Hz nous avons observé de belles taxies, tandis qu'à 25 Hz la nage devenait peu ondulée, semblait moins coordonnée et manquait d'énergie. Notons également qu'à 100 Hz, le phénomène de tétanie provoquait l'ouverture des ouïes et une cambrure très marquée de la colonne vertébrale au niveau des vertèbres cervicales. Les seuils les plus bas correspondent aux fréquences les plus élevées et aux durées d'impulsion les plus longues. Nous avons déjà insisté sur l'intérêt d'un seuil de tétanie (S) élevé et d'un seuil de taxie (s) faible. Pour étudier ce paramètre, nous avons tracé les courbes $K = \frac{S}{s}$ en fonction de la fréquence pour différentes durées d'impulsion (fig.11). Ces courbes montrent que le rapport K est maximum à 25 Hz.

b) Bars. - Dicentrarchus labrax (L.)

La gamme des fréquences étudiées, dans ce cas, a été étendue de 12,5 à 200 Hz. La température, la résistivité et donc la salinité de l'eau de mer étaient les mêmes que pour les lieus. Les bars sélectionnés pour ce travail mesuraient 18 cm ($\pm 0,5$ cm) et 4 poissons différents ont été étudiés pour chaque stimulus. Les résultats moyens obtenus sont représentés sur les figures 12 et 13. A 12,5 Hz les réactions sont trop peu marquées pour pouvoir en tenir compte. Si nous excluons



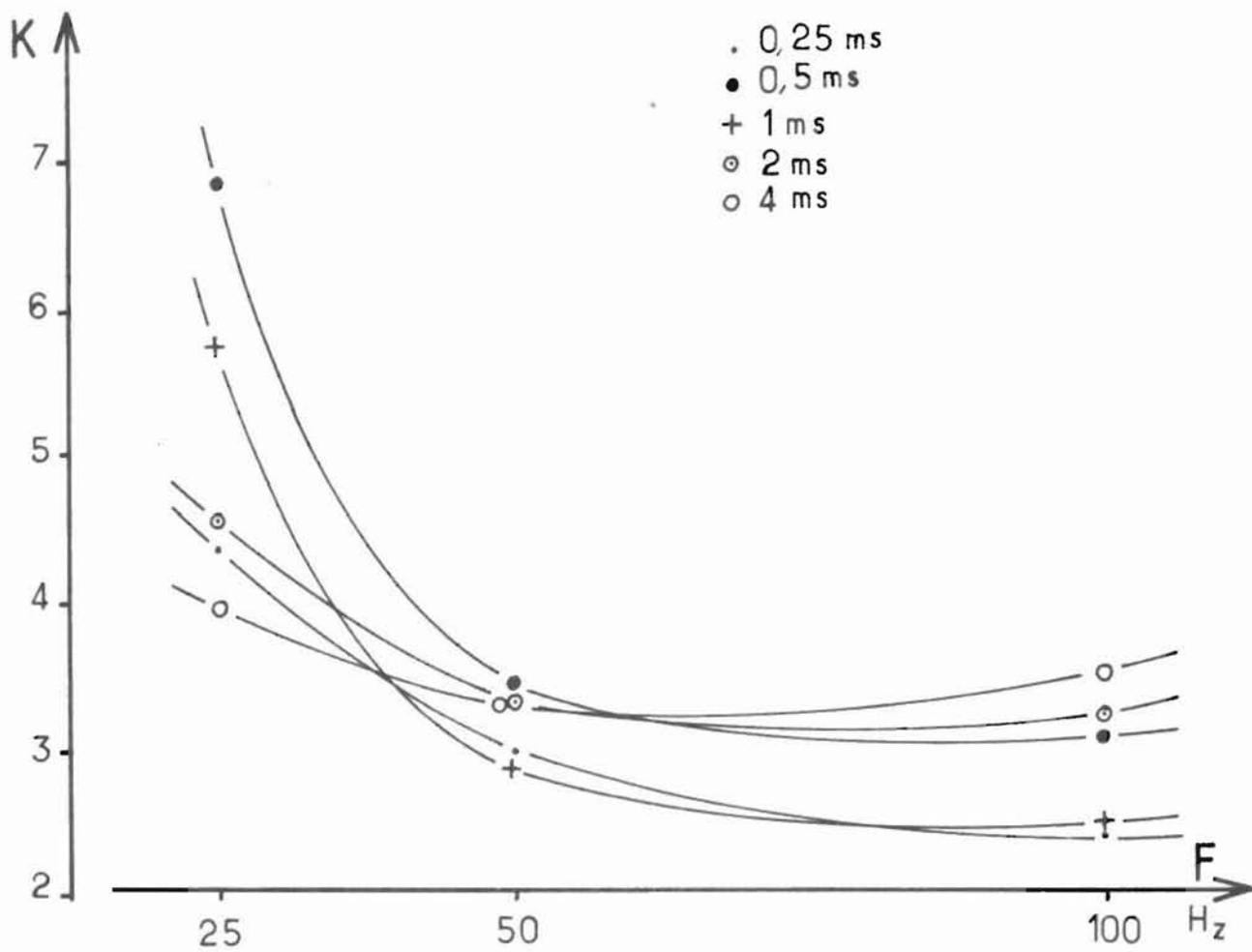


Fig.11: LLEUS - variation du rapport $K = \frac{S}{S}$ en fonction de la fréquence pour différentes durées d'impulsion.

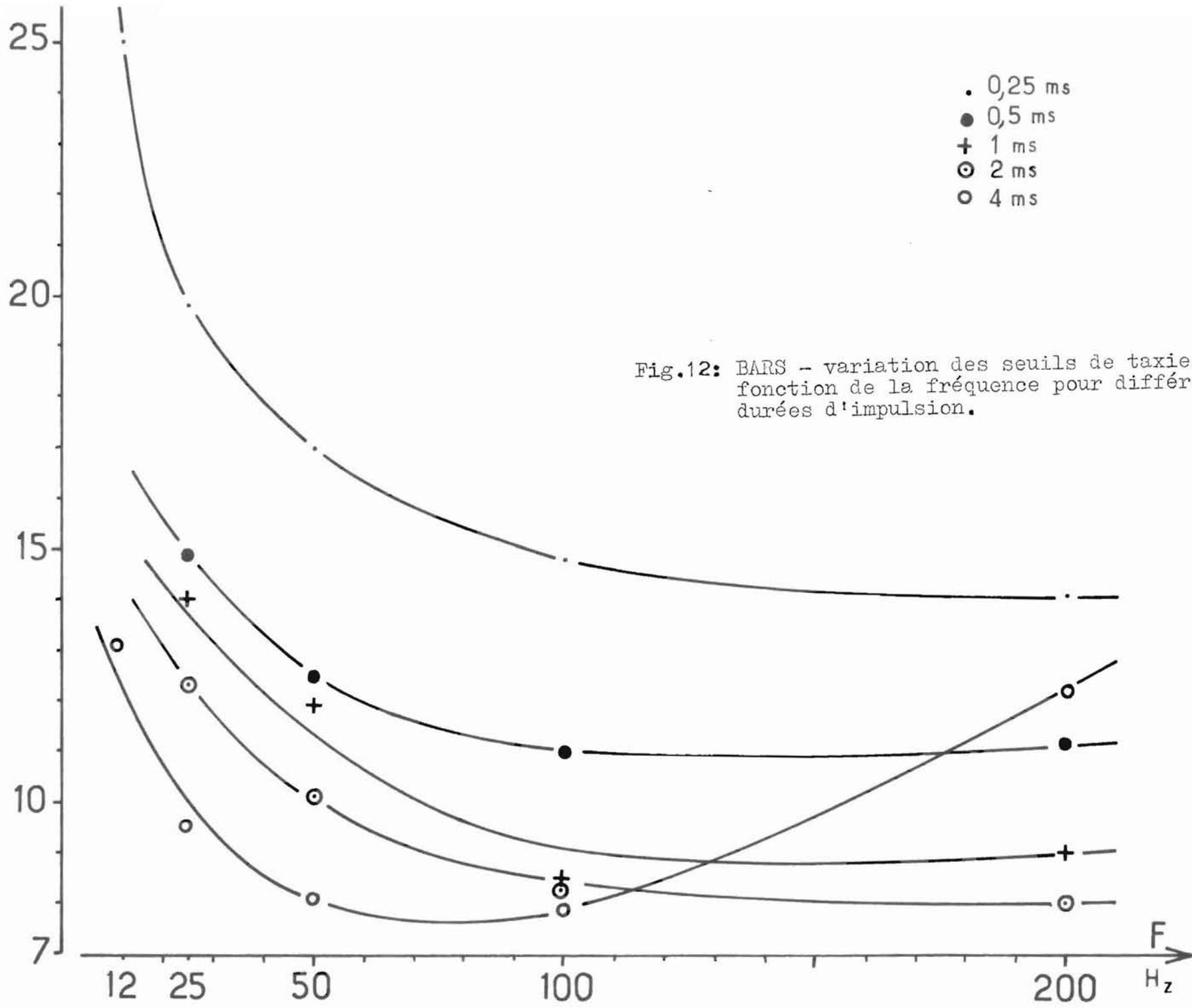


Fig.12: BARS - variation des seuils de taxie(s) en fonction de la fréquence pour différentes durées d'impulsion.

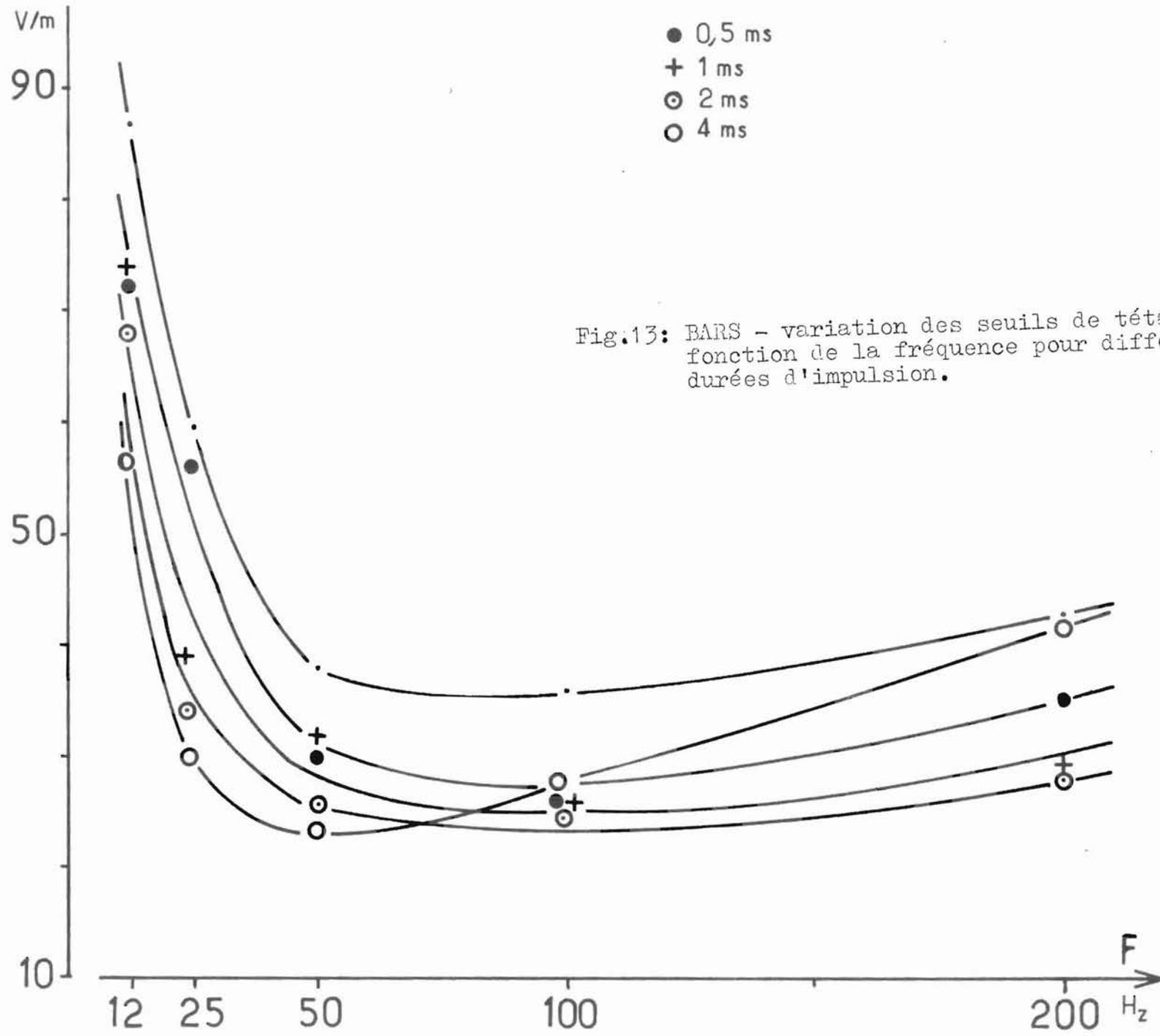


Fig.13: BARS - variation des seuils de tétanie(S) en fonction de la fréquence pour différentes durées d'impulsion.

la courbe représentant la durée d'impulsion 4 ms, nous constatons que, comme pour les lieux entre 25 et 100 Hz, les seuils de taxis décroissent lorsque la durée d'impulsion ou la fréquence augmente. Entre 100 et 200 Hz, les seuils restent relativement constants. Par contre, la courbe 4 ms présente un minimum vers 80 Hz, puis remonte assez fortement jusqu'à 200 Hz.

La mesure des seuils de tétanie s'est révélée délicate, car l'ouverture des ouïes, que nous avons constatée pour les lieux à 100 Hz, s'est produite de façon encore plus marquée et quel que soit le stimulus appliqué. Dans certains cas les opercules sont même restés bloqués en position ouverte après la coupure du courant, ce qui a généralement entraîné la mort du poisson dans l'heure qui suivait. A noter que le bar est le seul poisson sur lequel ce phénomène a été observé. Il peut d'ailleurs être l'objet de ce type de réaction même en l'absence de stimulus électrique.

Les courbes donnant $K = \frac{S}{S}$ en fonction de la fréquence et de la durée des impulsions ^S n'apportent aucune indication particulière pour cette espèce (fig. 14).

c) Mulets. - Mugil labrosus (RISSO)

Ce travail a été effectué sur un lot de poissons mesurant 20 cm (\pm 1 cm). La température, la résistivité et la salinité de l'eau avaient pour valeurs moyennes respectives 10°C - 26,3 Ω .cm et 35 ‰. Les seuils ont été mesurés aux fréquences 20 - 30 - 40 - 50 - 75 - 100 - 150 et 200 Hz. Pour chacune de ces fréquences, nous avons étudié les durées d'impulsion 0,5 - 0,75 - 1 - 2 - 3 et 4 ms. Quarante-huit stimuli différents ont donc été testés sur ces poissons et chaque seuil a été déterminé pour 2 individus au moins.

Les courbes des seuils de taxis en fonction de la fréquence présentent un minimum vers 125 Hz, à l'exception de la courbe 4 ms qui, comme pour les bars, passe par un minimum vers 80 Hz (fig. 15).

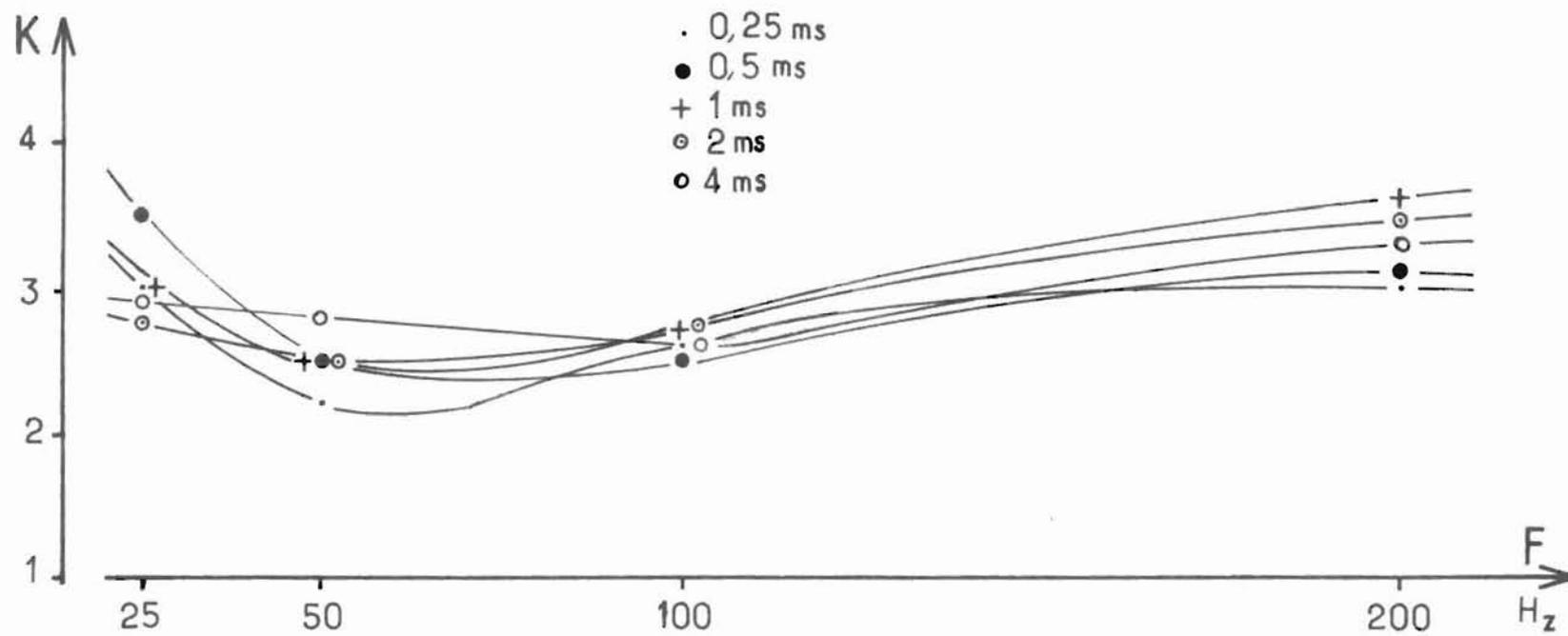


Fig.14: BARS - variation du rapport $K = \frac{S}{s}$ en fonction de la fréquence pour différentes durées d'impulsion.

Pour les durées d'impulsion inférieures à 3 ms, les seuils remontent très rapidement aux basses fréquences.

Entre 40 et 200 Hz, les seuils de tétanie varient très peu. Seule, la courbe 4 ms croît légèrement avec la fréquence (fig.15). Par contre, pour les fréquences inférieures à 30 Hz, les seuils de tétanie augmentent très rapidement quelle que soit la durée d'impulsion.

Les courbes représentant la variation du rapport $K = \frac{S}{S}$ en fonction de la fréquence mettent en évidence des valeurs élevées pour les fréquences inférieures à 30 Hz (fig. 17). Entre 100 et 150 Hz, la courbe 3 ms semble également intéressante.

Il faut noter qu'à 20 Hz les taxies diffèrent de celles observées pour les fréquences supérieures à 30 Hz. Dans ce cas, les nages sont peu ondulées. Par ailleurs, le poisson ne semble pas perdre tout à fait le contrôle de sa motricité et il n'est pas certain que ces taxies soient réellement directionnelles, bien que, pour des durées d'impulsion supérieures ou égales à 3 ms, elles deviennent relativement énergiques.

d) Sardines.- Sardina pilchardus (WALBAUM)

Les sardines étudiées mesuraient 12 cm ($\pm 0,5$ cm) et correspondaient à un moule de 70 individus par kilogramme. La température, la résistivité et la salinité de l'eau atteignaient respectivement 20°C - 21,6 Ω .cm et 33 ‰. Pour ces poissons, les stimuli aux basses fréquences manquent d'efficacité et à 20 Hz aucun phénomène marqué n'a pu être observé. Nous avons donc travaillé aux fréquences 25 - 30 - 40 - 50 - 100 et 200 Hz pour les durées d'impulsion 1 - 2 - 3 et 4 ms (fig. 18 et 19). Il faut signaler que, d'une manière générale, ces poissons ont réagi de façon assez médiocre aux stimuli électriques et présenté des taxies peu vigoureuses, sauf aux fréquences les plus élevées, proches de 200 Hz. Pour cette espèce, l'appréciation des seuils de taxie, qui souvent a

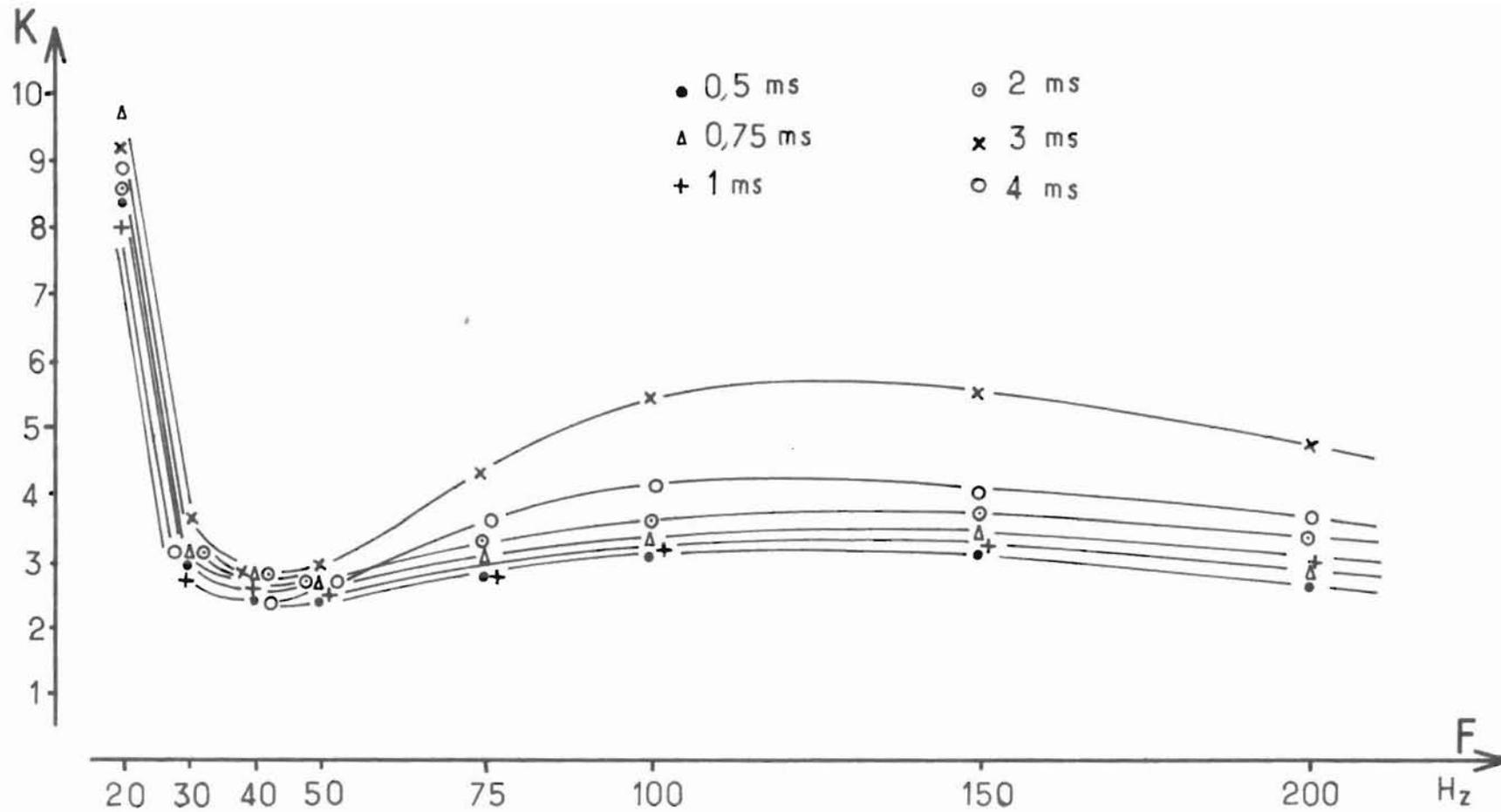


Fig.17: MULETS - variation du rapport $K = \frac{S}{S}$ en fonction de la fréquence pour différentes durées d'impulsion.

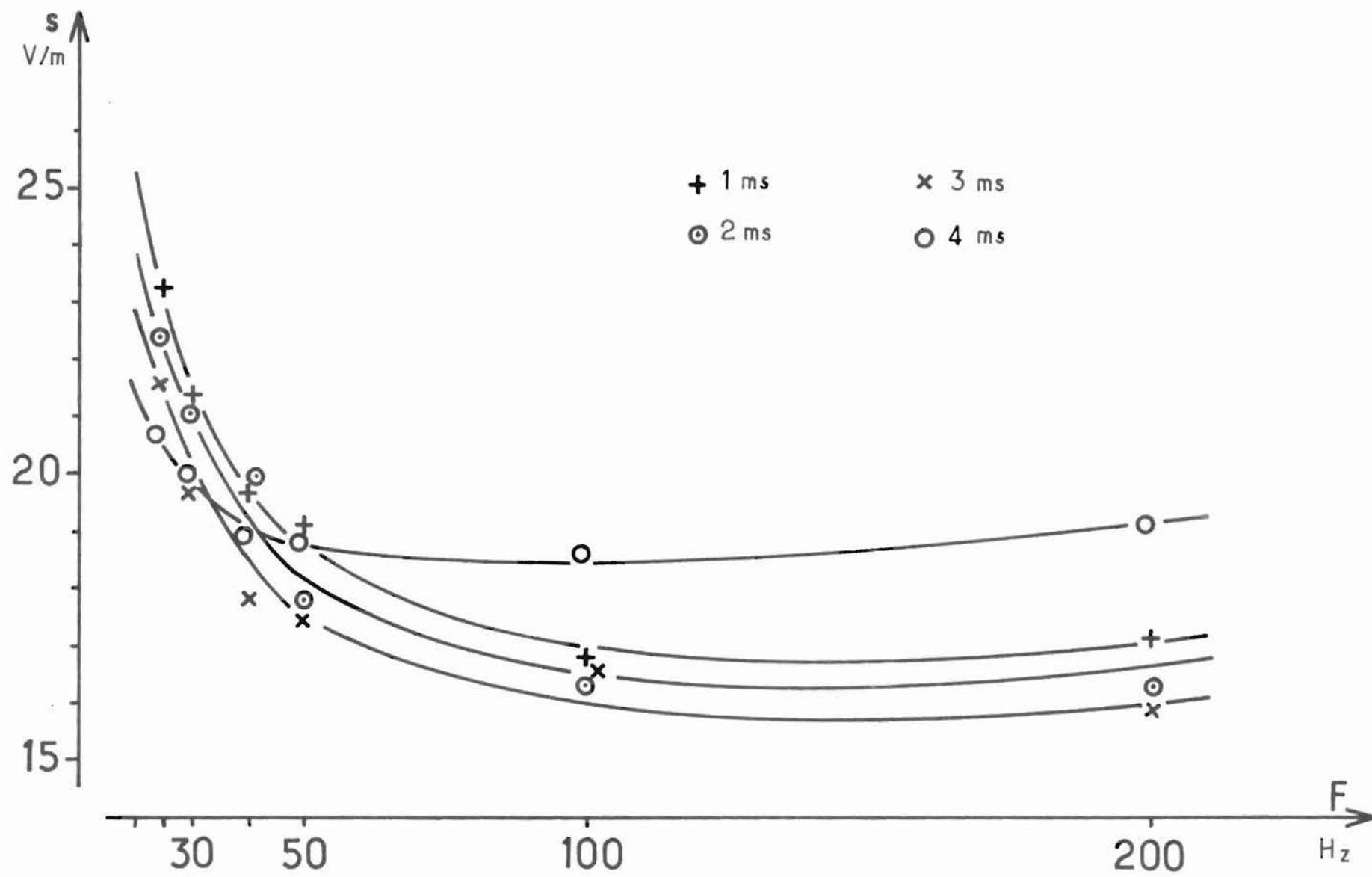


Fig.18: SARDINES -variation des seuils de taxie(s) en fonction de la fréquence pour différentes durées d'impulsion.

présenté un certain flou, s'est révélée particulièrement difficile. Les variations des seuils en fonction de la fréquence sont comparables à celles obtenues pour les bars (forte remontée pour les fréquences inférieures à 30 Hz et valeurs pratiquement constantes entre 50 et 200 Hz pour une même durée d'impulsion).

D'autre part, pour des fréquences inférieures à 100 Hz et lorsque le gradient de potentiel appliqué atteignait une valeur égale à environ deux fois celle du seuil de taxie, nous avons observé un changement dans le comportement natatoire des sardines. Brusquement, les poissons entraient littéralement en vibration. Ils continuaient néanmoins à se mouvoir rapidement en direction de l'anode, bien que cette nage "vibrée" soit plus éprouvante qu'une nage classique, telle qu'on peut l'observer à 200 Hz, par exemple.

Comme pour les autres espèces étudiées, les courbes donnant les variations du rapport K en fonction de la fréquence présentent leurs valeurs les plus intéressantes aux basses fréquences (fig. 20).

Les mesures de seuils faites sur les quelques anchois, dont nous avons pu disposer et qui présentaient des tailles sensiblement égales à celles des sardines étudiées, confirment les valeurs obtenues pour ces dernières. Les anchois présentaient cependant une nage plus saccadée et manifestaient une nette tendance à nager en surface, souvent même la tête hors de l'eau.

En résumé, ces études montrent que les valeurs des seuils de réaction varient en fonction de la fréquence et de la durée des impulsions d'une manière semblable pour toutes les espèces. Les courbes qui traduisent ces résultats sont, en effet, du même type.

La durée d'impulsion, pourvu qu'elle soit supérieure à 1 ms, intervient peu sur la qualité des taxies, sauf peut-être aux basses

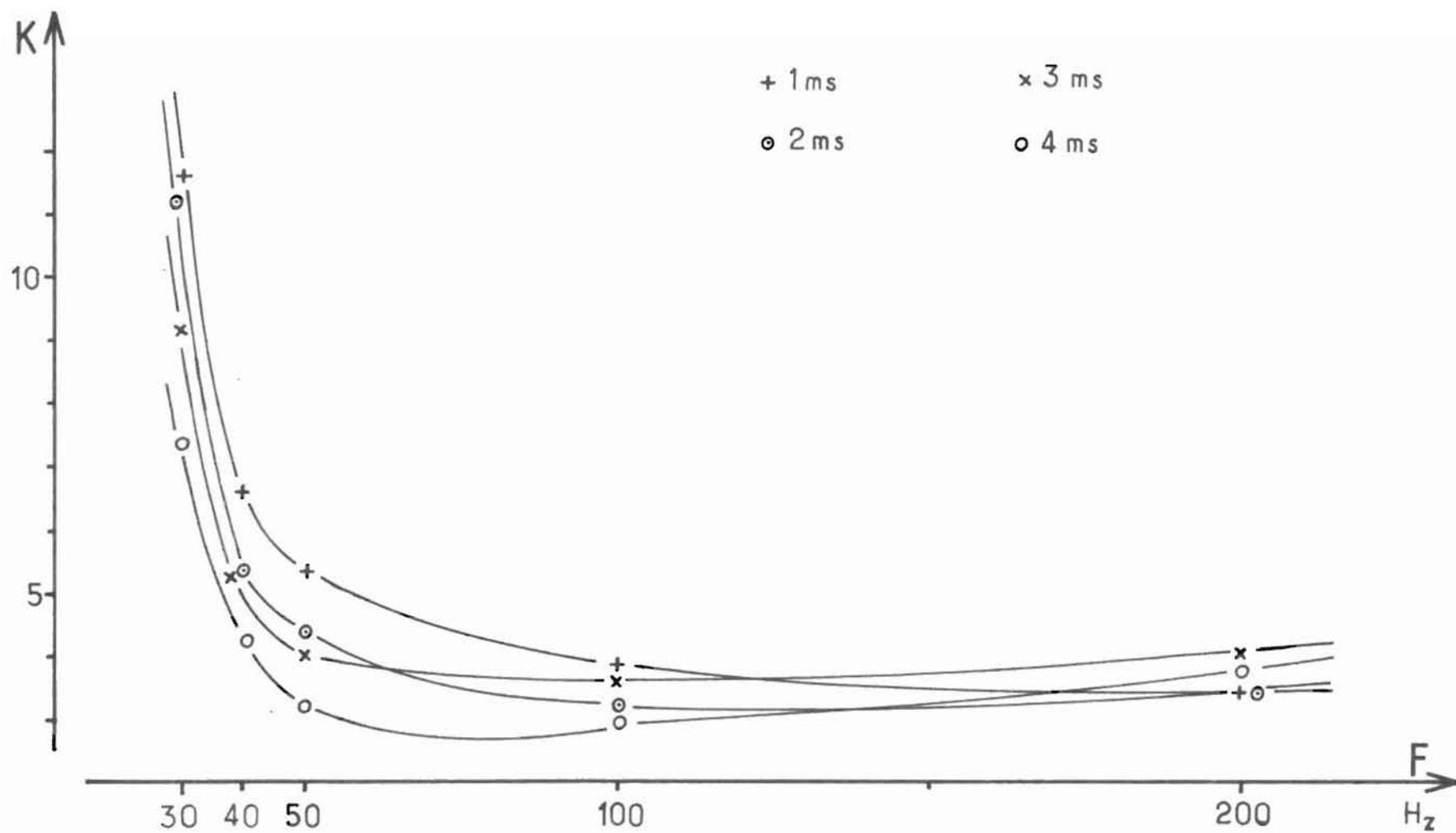


Fig.20: SARDINES - variation du rapport $K = \frac{S}{S}$ en fonction de la fréquence pour différentes durées d'impulsion.

fréquences. Par contre, la fréquence joue un rôle très important. Les rapports K des seuils de tétanie aux seuils de taxie atteignent leurs valeurs les plus élevées aux basses fréquences, qui paraissent donc les plus intéressantes. Mais il semble qu'un poisson soumis à une fréquence trop faible garde un certain contrôle de sa nage, ce qui est de nature à réduire les possibilités de capture. Il est, en effet, possible qu'un tel stimulus ne soit pas réellement coercitif et que la taxie qu'il provoque ne soit pas tout à fait directionnelle. Cette question doit encore être résolue pour que nous puissions déterminer, parmi les stimuli les plus intéressants, ceux qui sont réellement efficaces.

Si les basses fréquences ne convenaient pas, il faudrait utiliser une fréquence plus élevée, ce qui implique une dépense énergétique plus grande. Le stimulus 100 Hz - 3 ms devrait donner satisfaction, mais à puissance égale le stimulus 200 Hz - 1,5 ms semble encore mieux adapté à la capture des sardines pour lesquelles les taxies à 200 Hz étaient très nettement meilleures qu'à 100 Hz.

2.- Etude des trains d'impulsions.

Nous avons vu qu'un stimulus provoque aux hautes fréquences une nage plus dynamique qu'aux basses fréquences, mais que le seuil de tétanie est alors moins élevé. Il semblait logique de penser accroître ce seuil, tout en conservant une bonne motricité, en modulant un stimulus de haute fréquence par une fréquence plus basse (fig. 21). Pour les mulets, le seuil de tétanie augmente en effet de manière très sensible, tandis que le seuil de taxie reste pratiquement constant. Par exemple, si nous modulons le stimulus 50 Hz - 2 ms ($s = 9 \text{ V/m}$, $S = 23 \text{ V/m}$ et $K = 2,3$) pour des mulets de 20 cm) à la fréquence 5 Hz et avec un rapport $1/2$, c'est-à-dire en ne conservant que la moitié des impulsions, nous obtenons les valeurs suivantes : $s' = 10 \text{ V/m}$, $S' = 51,5 \text{ V/m}$ et $K' = 5,2$.

Ce résultat semble positif. En réalité, il n'en est rien. En effet, si le rapport K augmente très nettement, la taxie, par contre, devient médiocre. Nous rejoignons en fait le cas des taxies à

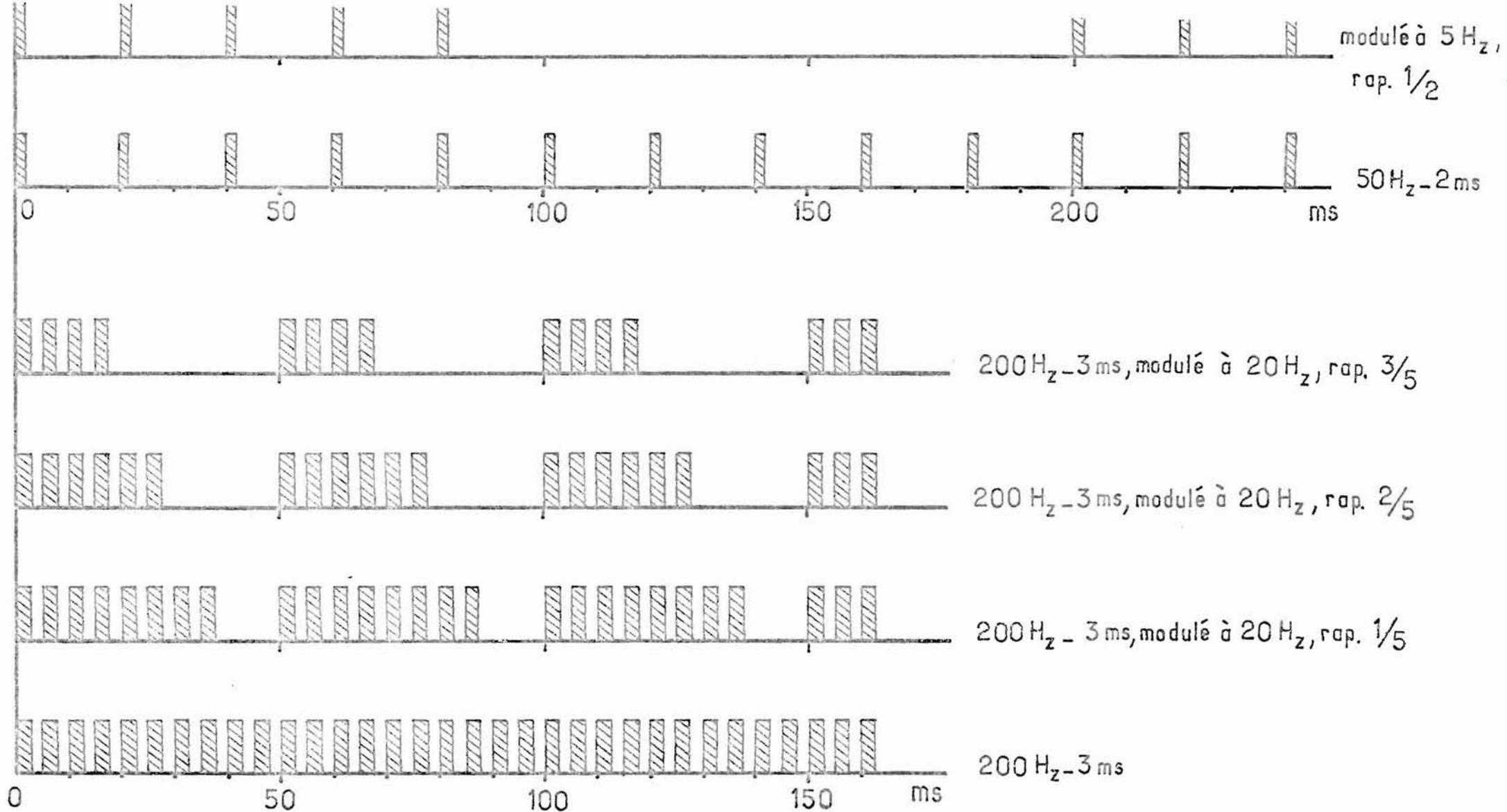


Fig.21: Trains d'impulsions - représentation schématique de stimuli modulés par une fréquence plus basse pour un rapport donné.

basses fréquences qui présentent pour les mulets un grand rapport K mais qui sont peu énergiques et dont la directionnalité n'est pas certaine.

Ce phénomène est également vrai pour les sardines, mais le rapport K n'augmente pratiquement pas pour ces poissons car leur seuil de taxie croît en même temps que leur seuil de tétanie. Par exemple, pour le stimulus 200 Hz - 3 ms ($s = 16,6 \text{ V/m} - S = 64 \text{ V/m}$ $K = 3,9$) modulé à 20 Hz, nous avons obtenu avec des sardines de 12 cm les résultats présentés dans le tableau 1.

Seuil de taxie(s)	Seuil de tétanie(s)	Rapport $K = \frac{S}{s}$	Rapport de modulation
16	66	4,1	1/5
16,7	68	4,1	2/5
19	70	3,7	3/5
19,5	75	3,8	4/5

- Tableau n° 1 -

Les trains d'impulsions n'améliorent donc pas la valeur du rapport K de façon sensible d'une part, et ne sont pas intéressants au point de vue de la directionnalité, d'autre part, par rapport aux basses fréquences. Moduler un stimulus à haute fréquence par une fréquence plus basse ne semble donc pas présenter d'intérêt.

3.- Mesures des seuils en fonction de la température et de la salinité.

a) Température

L'influence de ce facteur a été étudiée pour un lot de 10 mulets de 13 cm, en utilisant le stimulus 50 Hz - 2 ms. Les poissons ont été conditionnés dans un bac dont le trop-plein alimentait la rigole expérimentale utilisée pour la mesure des seuils. L'eau de ce bac, dont la salinité s'élevait

à 35 ‰, a été réchauffée grâce à 3 chauffe-bains de 1000 W chacun, commandés à l'aide d'un thermomètre à contact par l'intermédiaire d'un relais à thyristors. La température a été élevée de 9°C à 18°C par paliers d'environ 2°C par 24 h. Chaque jour les seuils de taxie et de tétanie ont été mesurés sur 2 lots de 5 mulets. Les résultats moyens obtenus sont représentés par la figure 22.

La température n'influe pas sur le seuil de taxie. Par contre, le seuil de tétanie varie linéairement de 22,3 à 44,4 V/m lorsque la température s'élève de 9°C à 18°C et la valeur du rapport K passe donc de 2,5 à 4,9.

b) Salinité

Le bac précédent, contenant 10 mulets de 17 cm, cette fois était alimenté grâce à un mélangeur pourvu d'arrivées d'eau douce et d'eau de mer dont on pouvait faire varier les débits respectifs. Le dessalement de l'eau de mer a été effectué progressivement par paliers de 5 ‰ en moyenne chaque jour. La température de l'eau a été maintenue à 10°C et le stimulus employé était 50 Hz et 2 ms. Les résultats moyens obtenus sont résumés sur la figure 23. Un dessalement de 35 à 12 ‰ n'a fait apparaître aucune influence sur la valeur des seuils de taxie et de tétanie.

Ces études montrent que la température et la salinité n'ont aucune influence sur les seuils de taxie et que seul le facteur température a une action sur les seuils de tétanie. Des travaux analogues devaient être entrepris sur les sardines, mais ils n'ont pu être effectués étant donné le nombre limité d'individus dont nous disposions et les risques de perte que cela comportait. Etudier la variation des seuils en fonction de la température présente, de toute manière, un intérêt moindre pour les sardines qui sont des poissons assez sténothermes.

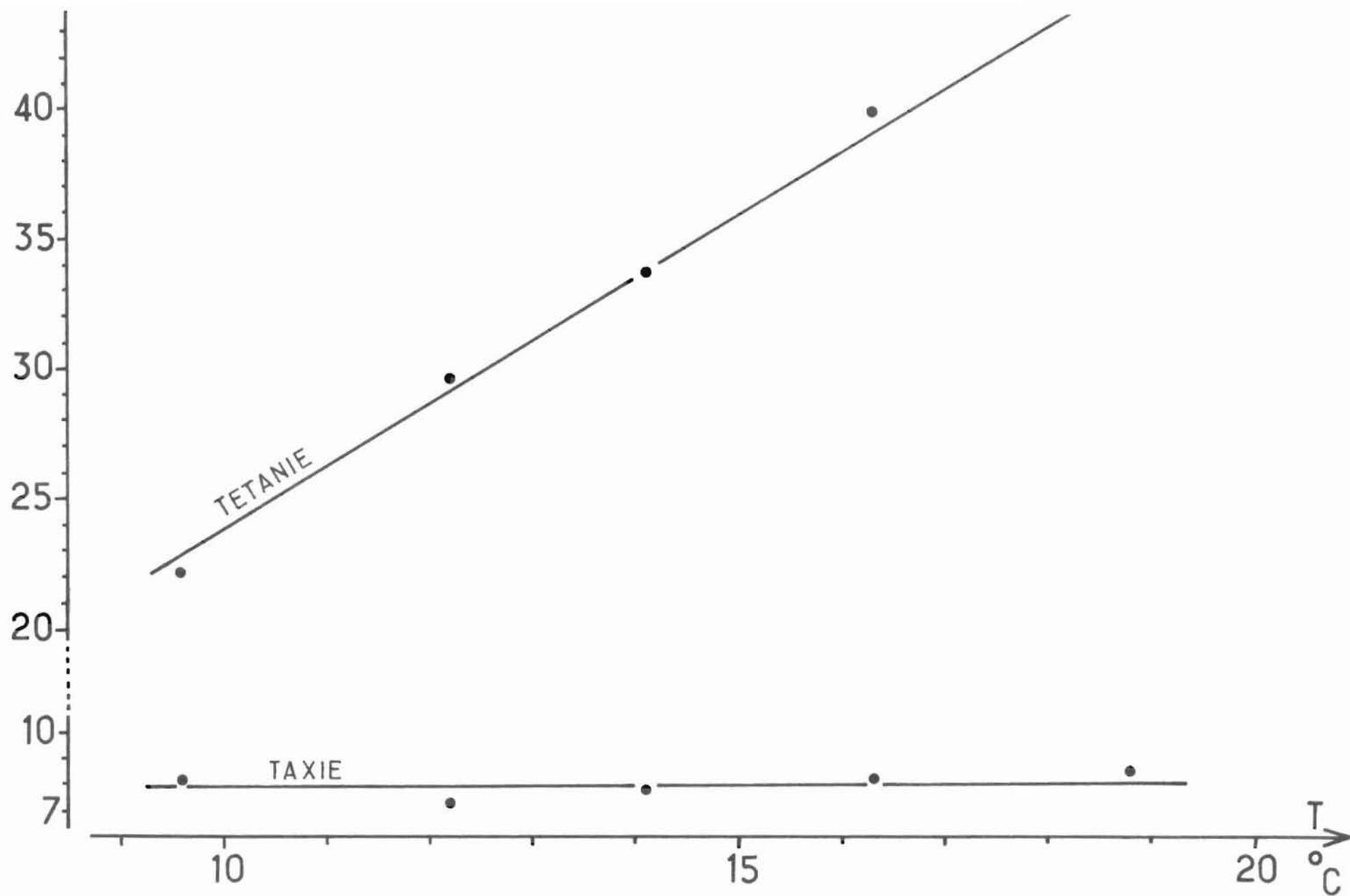


Fig.22: MULETS - variation des seuils de taxie et de tétanie pour le stimulus, 50 Hz - 2 ms, en fonction de la température.

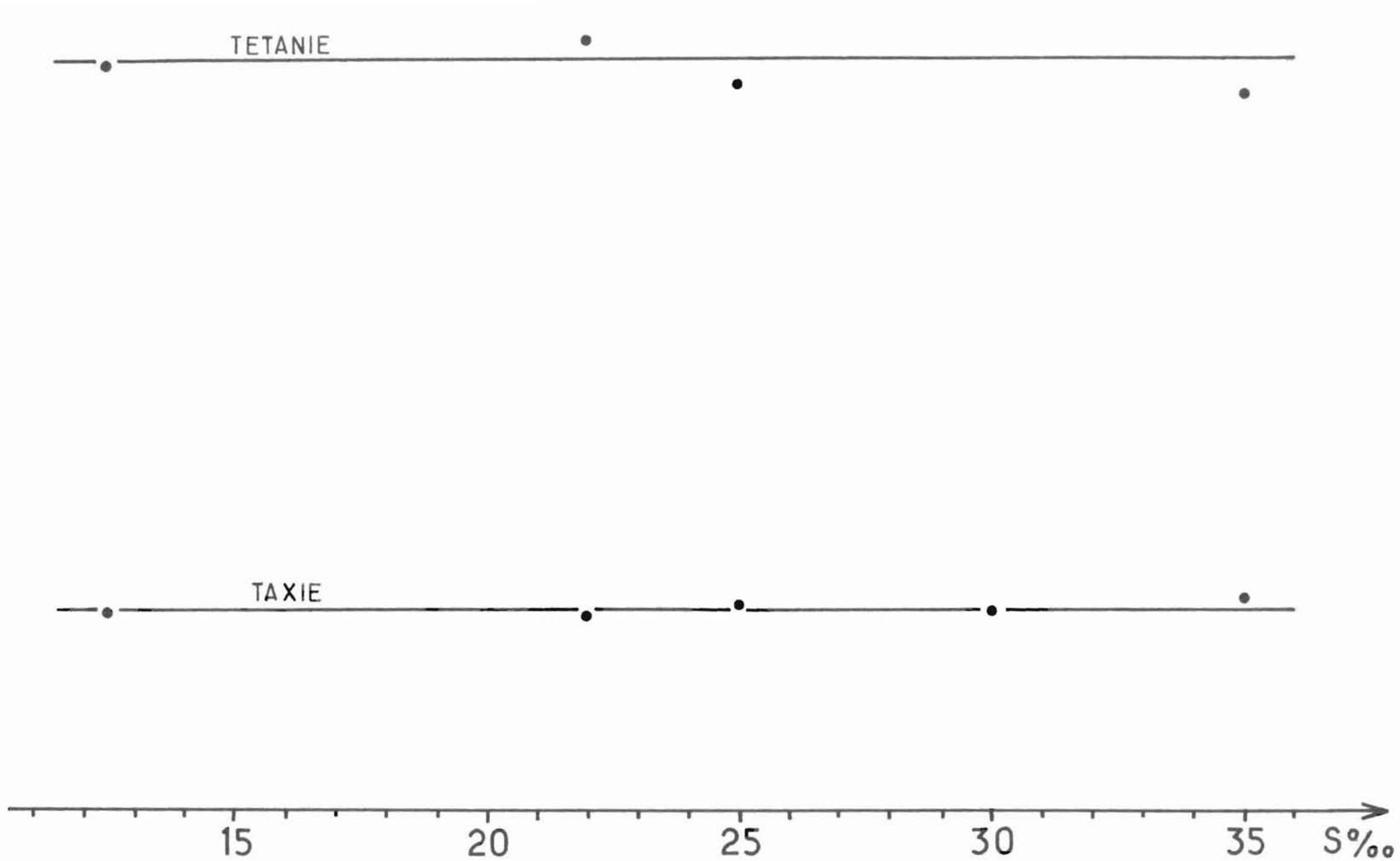


Fig.23: MULETS - variation des seuils de taxie et de tétanie pour le stimulus, 50 Hz - 2ms, en fonction de la salinité.

4.- Mesures des seuils en fonction de la longueur et de l'espèce des poissons.

a) Longueur

Ce paramètre est important car la dimension des éléments nerveux d'un poisson est généralement proportionnelle à sa taille. Par conséquent, la longueur d'un individu doit avoir une influence sur la valeur des seuils de réaction. Les seuils de taxie et de tétanie des mulets dont les tailles variaient de 4,5 à 22 cm ont été relevés pour deux stimuli : 20 Hz - 3 ms et 50 Hz - 2 ms. Les courbes des figures 24 et 25 mettent en évidence la sélectivité de l'attraction électrique. A 50 Hz et 2 ms par exemple, un gradient de 35 V/m est nécessaire pour attirer des mulets de 4,5 cm, tandis que 7 V/m suffisent pour des poissons de 22 cm. Si le gradient, à la périphérie de la zone de pêche, s'élève à 10 V/m, seuls les individus dont la taille dépassera 15,5 cm seront attirés et les mulets de tailles inférieures pourront s'échapper.

Ces résultats, traduits en coordonnées logarithmiques, montrent que les courbes des figures 24 et 25 deviennent des droites (fig. 26). Leurs équations ont été calculées par la méthode des régressions linéaires. En exprimant les seuils s et S en V/m et la longueur des poissons l en cm, nous avons obtenu les résultats suivants :

à 20 Hz - 3ms, taxie : $\log s = -1,05 \log l + 2,33$

soit encore : $s = 214 (l)^{-1,05}$

coefficient de corrélation = -0,99

tétanie : $\log S = -0,84 \log l + 2,93$

soit encore : $S = 851 (l)^{-0,84}$

coefficient de corrélation = -0,91

à 50 Hz - 2ms, taxie : $\log s = -0,99 \log l + 2,19$

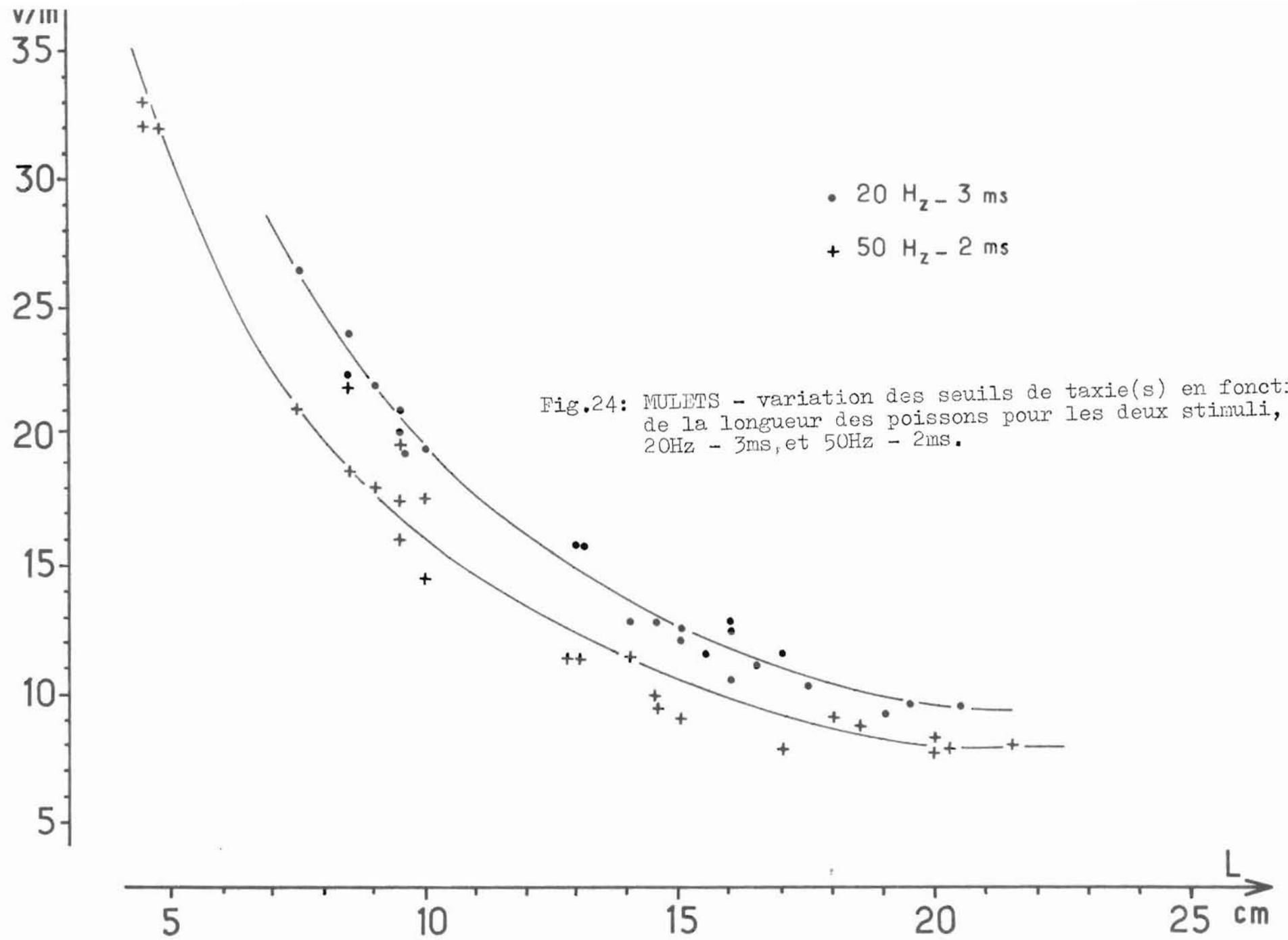
soit encore : $s = 155 (l)^{-0,99}$

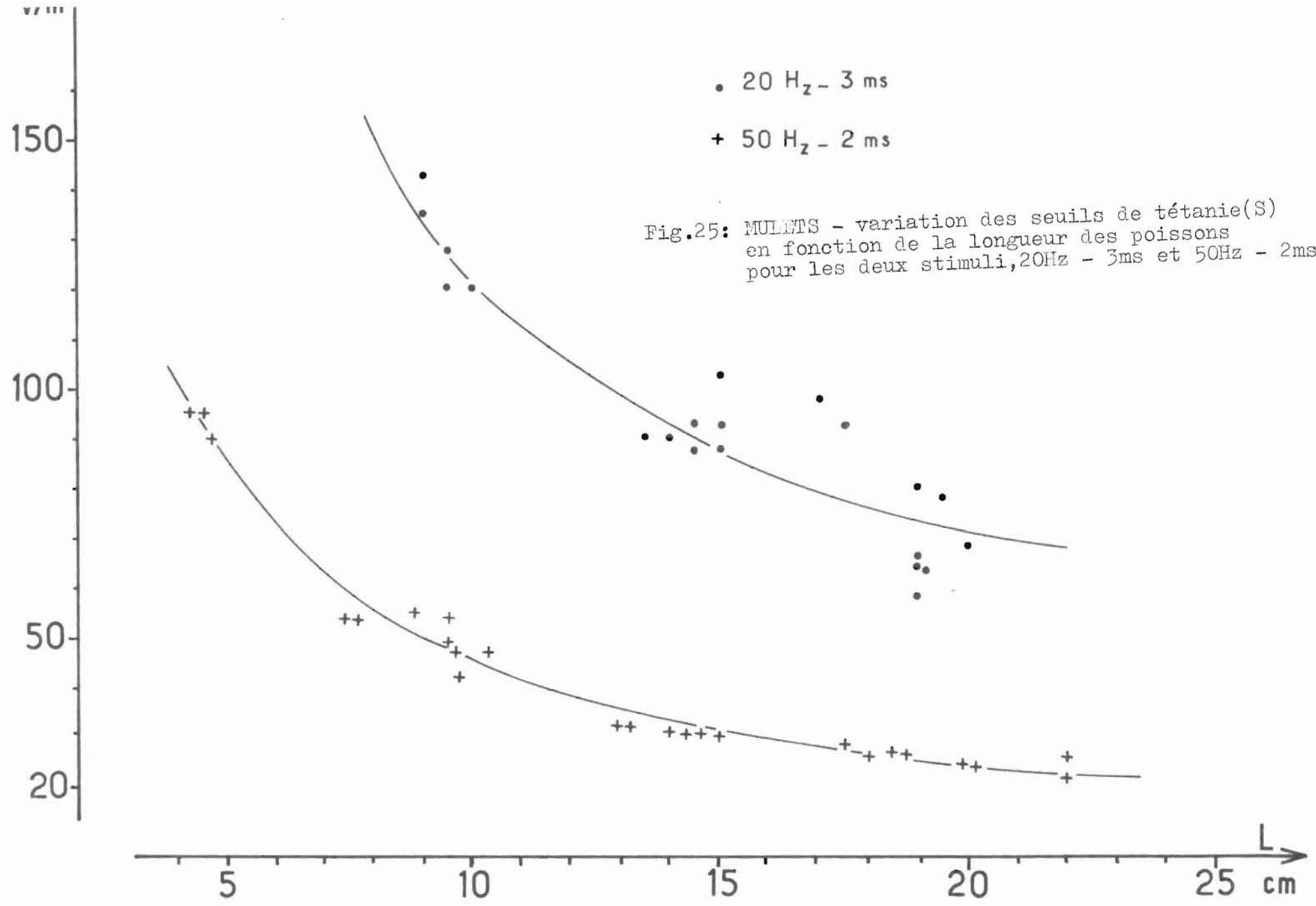
coefficient de corrélation = -0,98

tétanie : $\log S = -0,91 \log l + 2,56$

soit encore : $S = 263 (l)^{-0,91}$

coefficient de corrélation = -0,99.





Dans le cas des taxies, ces droites présentent une pente voisine de -1 et ces équations peuvent alors s'écrire :

$$s \times l = \text{constante.}$$

La valeur du produit $s \times l$ représente la différence de potentiel qu'il est nécessaire d'établir entre la tête et la queue d'un poisson pour qu'il entre en taxie. Pour un stimulus et une espèce donnés cette valeur ne dépend donc pas de la taille du poisson.

Pour la tétanie, en revanche, le produit $S \times l$ n'est plus une constante mais croît avec la taille (fig.27). Pour les droites expérimentales représentées sur cette figure nous avons calculé les équations suivantes (seuils en V/m et longueur en cm) :

à 50 Hz - 2ms, taxie : $s \times l = 1,55 \text{ V} = \text{constante}$

tétanie : $S \times l = 0,04 l + 4,05$

Le produit $S \times l$ augmente donc de 4,20 à 5,04 V lorsque la taille du poisson croît de 4 à 25 cm.

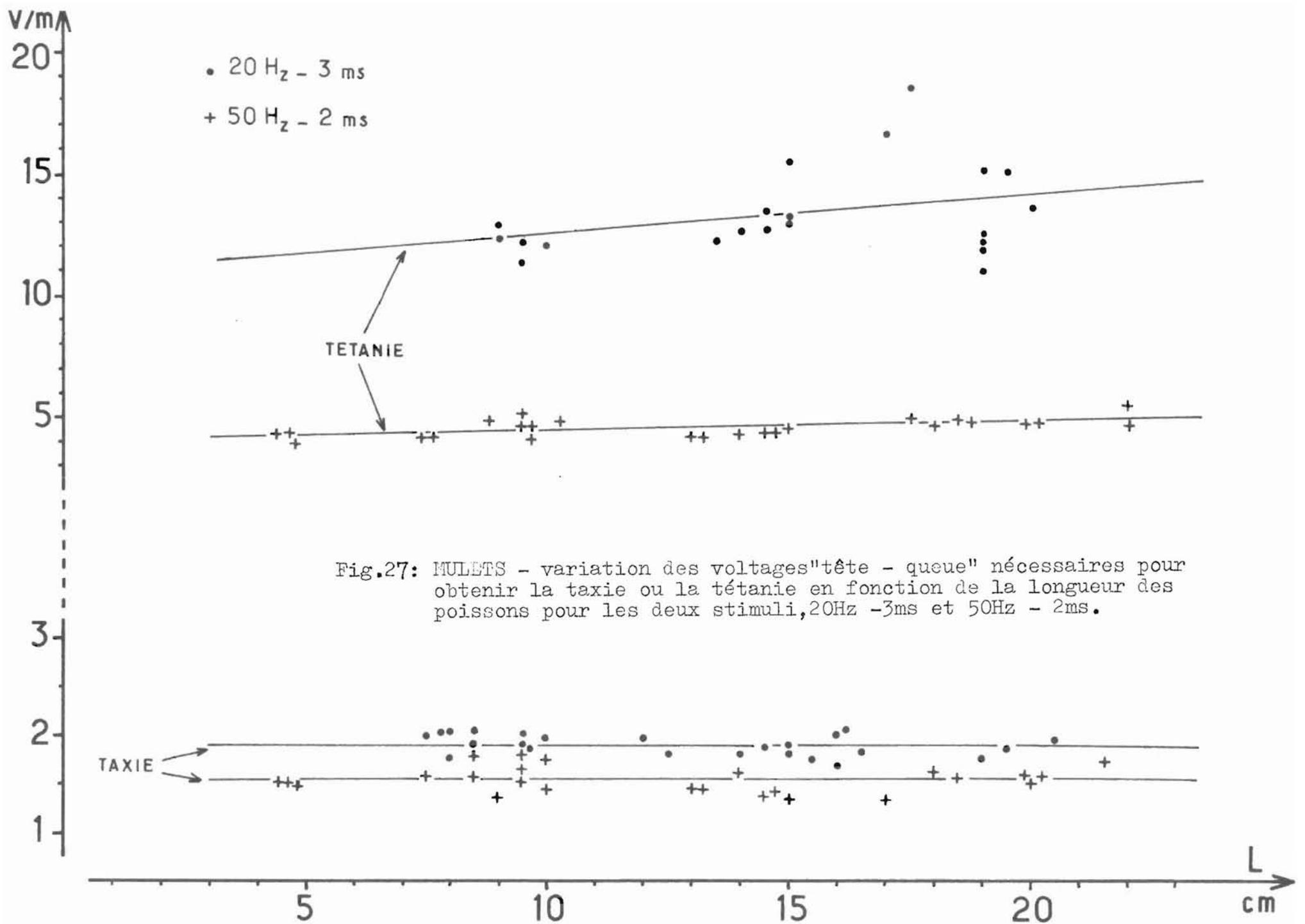
à 20 Hz - 3ms, taxie : $s \times l = 1,89 \text{ V} = \text{constante}$

tétanie : $S \times l = 0,17 l + 10,8$

Le produit $S \times l$ augmente donc de 11,5 à 15,0 V quand la taille du poisson croît de 4 à 25 cm.

Un travail aussi complet n'a pas pu être repris sur les sardines car nous n'avons pu disposer d'échantillons dont l'éventail des longueurs soit suffisant. Des mesures ont cependant été effectuées sur des sardines de 12 - 16,5 et 18,5 cm. Les quelques valeurs ainsi obtenues semblent confirmer les résultats précédents (tableau 2 et fig. 26).

.../...



1 cm		40 Hz - 3 ms	50 Hz - 4 ms	100 Hz - 4 ms
12	s	18	18,9	18,6
	S	98	57	60
16,5	s	13,7	-	-
	S	-(sardine décédée)-	-	-
18,5	s	11,0	12,6	11,8
	S	69	41	45

Tableau n° 2 : Seuils de taxie (s) et de tétanie (S) (en V/m) des sardines en fonction de leur taille pour trois stimuli différents.

b) Espèce

Nous avons vu plus haut que, pour une espèce donnée, le potentiel tête-queue nécessaire à la taxie ne dépend pas de la taille du poisson. De plus, les seuils de taxie des mulets restent constants quand la température et la salinité varient respectivement de 10 à 19°C et de 12 à 35 ‰. Si l'on admet, comme hypothèse de travail, que ceci reste vrai pour les autres poissons, il est possible de comparer les seuils de taxie des différentes espèces étudiées en les calculant pour des individus d'une même longueur, indépendamment de la température et de la salinité.

Ce travail a été effectué pour des poissons dont on a fixé arbitrairement la taille à 16 cm (fig. 28). Si nous classons les espèces étudiées dans l'ordre des seuils de taxie croissants, nous obtenons : lieus, bars, mulets, sardines. Pour le stimulus 100 Hz - 2 ms, par exemple, le seuil de taxie des sardines de 16 cm atteint environ le double de celui des lieus de même longueur. Il est donc nécessaire d'adapter parfaitement la distribution spatiale du gradient de potentiel et par conséquent le système d'électrodes de pêche, à l'espèce qui doit être capturée.

III.- OBSERVATIONS DANS UN CHAMP ELECTRIQUE NON UNIFORME

Ces observations ont été effectuées dans un bac trapézoïdal (fig. 5 et 6). Le résultat le plus important enregistré dans le cadre de ces études est un net recul du seuil de tétanie S' , mesuré en champ croissant, par rapport au seuil S obtenu en champ uniforme, alors que le seuil de taxis reste le même dans les deux cas.

Un mulet de 18 cm, à 20 Hz et 3 ms, peut atteindre l'anode en champ croissant et subir un gradient de 160 V/m sans être tétanisé. Dans ce cas S' est donc supérieur à 160 V/m alors que le seuil de tétanie S , mesuré en champ uniforme, ne s'élève pas au-dessus de 75 V/m.

De même pour des mulets de 20 cm, nous avons mesuré pour les deux stimuli suivants :

50 Hz - 2 ms :	$S = 24 \text{ V/m}$	$S' = 29,5 \text{ V/m}$
50 Hz - 2 ms :	$S = 52,5 \text{ V/m}$	$S' > 170 \text{ V/m}$

modulé à 5 Hz, rap. 1/2.

Les études effectuées sur des sardines confirment le phénomène précédent. Pour des poissons de 12 cm nous avons obtenu :

50 Hz - 3 ms :	$S = 70 \text{ V/m}$	$S' = 140 \text{ V/m}$
100 Hz - 3 ms :	$S = 60 \text{ V/m}$	$S' = 130 \text{ V/m}$

Il faut encore noter qu'en champ croissant la nage taxique est plus dynamique qu'en champ uniforme et tend à s'accélérer jusqu'à ce que la tétanie soit atteinte. L'énergie cinétique ainsi acquise permet au poisson, bien que tétanisé, de se rapprocher encore de l'anode. Par exemple, une sardine de 12 cm, soumise à un stimulus assez tétanisant (200 Hz et 3 ms) a atteint l'anode grâce à la vitesse acquise après avoir été tétanisée à environ 30 cm de l'électrode. Ce poisson a ainsi pénétré dans une zone où le gradient de potentiel dépassait 160 V/m. Ce résultat est important car plus les poissons se rapprocheront de l'anode, qui est confondue avec l'embouchure de la pompe, plus l'efficacité de notre système de pêche sera grande. Il est, en effet, nécessaire que le maximum de poissons pénètre dans la zone d'attraction hydrodynamique de la pompe.

Les réactions des poissons soumis à un gradient de potentiel inférieur au seuil de taxie ont également été étudiées. On n'observe pas toujours une fuite systématique et certains poissons nagent vers l'anode, c'est-à-dire dans le sens des gradients croissants. Il faut cependant faire une distinction entre les individus qui n'ont encore jamais subi d'expérience, que l'on peut qualifier "d'électriquement neufs", et ceux qui ont déjà servi à des mesures dans un champ électrique. Les deux groupes d'individus placés dans la zone dite de fuite du bassin trapézoïdal, où le gradient de potentiel est inférieur au seuil de taxie, réagissent différemment. Les poissons "électriquement neufs" semblent peu disposés à fuir et pénètrent, au contraire, le plus souvent dans la zone de taxie. Ce phénomène a été vérifié sur de nombreux mulets observés individuellement ou en groupe : un système de pêche "en continu" et non plus au "coup par coup" peut, par conséquent, être imaginé. Par contre, ces réactions ne sont plus observées pour des poissons qui, ayant déjà subi des effets électriques, font le plus souvent demi-tour lorsqu'ils atteignent la zone où la valeur du gradient de potentiel devient égale au seuil de taxie.

Des études de directionnalité ont également été tentées pour différents stimuli. De nombreux poissons ont nagé droit vers l'anode, souvent jusqu'à toucher l'électrode, même aux basses fréquences. Mais il est honnêtement impossible de tirer des conclusions définitives à partir de ces essais. En effet, nos séries d'expérimentations nous ont démontré que ce bac trapézoïdal était mal adapté à ce type d'étude. Ses dimensions étaient trop réduites. Sa forme avait probablement tendance à guider les poissons vers l'anode et surtout il ne possédait pas de zone présentant un gradient de potentiel nul où les poissons auraient pu se réfugier. Il fallait donc recommencer ces expériences dans un nouveau bac mieux conçu. Mais cela supposait de passer à une échelle supérieure et la puissance limitée de notre générateur ne nous a pas permis d'effectuer ce travail en eau de mer.

Nous pensons néanmoins reprendre ces études très prochainement à Nantes, dans un bassin de grandes dimensions (5 m X 4 m X 0,30 m) mais en eau douce cette fois. Notre générateur présentera alors une puissance suffisante et il suffira de le modifier légèrement afin d'augmenter sa tension de sortie. Les poissons d'eau douce et d'eau de mer présentent

des réactions très voisines lorsqu'ils sont soumis à un champ électrique et les effets de fuite, provoqués par notre système d'électrodes, pourront être étudiés sur des truites, par exemple.

La qualité des taxies en directionnalité pourra également être appréciée, en fonction des stimuli appliqués, dans ce bac de grandes dimensions. Quelles que soient les espèces étudiées, nous avons observé des taxies différentes selon la fréquence des stimuli, les plus médiocres correspondant aux fréquences les plus basses. Nous devons donc logiquement retrouver ce phénomène sur les truites. Dans ce cas, les résultats de cette étude de directionnalité seront extrapolables, qualitativement du moins, aux autres espèces.

Cette solution pourrait peut-être paraître critiquable. Elle nous semble néanmoins devoir être retenue car elle permettra de donner rapidement et à peu de frais une réponse aux problèmes posés. Si l'on voulait procéder à ces expérimentations en eau de mer avec des espèces marines, il serait nécessaire d'engager, d'ores et déjà, la phase des essais "en vraie grandeur" qui exigera un nouveau contrat CNEEXO-ISTPM, que nous nous réservons de ne demander qu'après avoir acquis le maximum de certitudes.

IV.-OBSERVATIONS COMPLEMENTAIRES SUR LES PHENOMENES DE TAXIE ET DE TETANIE

1.- Taxie

De nombreuses taxies ont été étudiées pour différents stimuli dans la rigole de 5 m de long (fig. 3 et 4). Nous avons essentiellement mesuré des vitesses de nage et procédé à des observations qualitatives de la fatigue manifestée par les poissons soumis au champ électrique. Ces expériences montrent que ces vitesses qui, bien entendu, sont fonction de l'état de fatigue des poissons, dépendent de la distance déjà parcourue, du gradient de potentiel et du stimulus appliqués ainsi que de l'espèce et de la taille des individus. Quelques résultats sont représentés dans le tableau 3, à titre indicatif.

Espèce	Taille	Stimulus	Seuil Taxie	Seuil Tétanie	Gradient appliqué	Vitesse cm/s	Vitesse long./sec.
Bars	16 cm	50Hz - 4ms	9	25,9	12,4	56	3,5
					16,9	54,0	3,4
	17 cm	100Hz - 4ms	8,4	28,6	9,0	58	3,4
					11,3	39	2,3
Mulets	20 cm	20Hz - 3ms	9,8	89,3	10,6	76	3,8
					28,0	130	6,5
					34,5	72	3,6
	17 cm	50Hz - 2ms	9,8	26,2	10,0	56	3,3
					13,1	95	5,6
					19,6	44	2,6
Sardines	12 cm	40Hz - 3ms	17,9	98	20,3	41	3,4
					30,0	28	2,3
	12 cm	200Hz - 3ms	16,0	64	17,0	54	4,5
					19,6	101	8,4
					24,6	126	10,5

Tableau n°3 : Exemples de vitesses de nage moyennes exprimées en cm/s et en nombre de longueurs de poisson franchies par seconde, pour des individus d'espèces et de tailles différentes et pour plusieurs stimuli et gradients de potentiel appliqués.

Pour une espèce donnée et pour une même excitation électrique, une forme juvénile est évidemment moins rapide qu'un individu de grande taille et fatigue également plus vite. C'est pourquoi nous avons exprimé les vitesses en cm/s mais aussi en nombre de longueurs de poisson franchies par seconde, ce qui permet des comparaisons, même lorsque les poissons présentent des tailles différentes.

D'une manière générale, la vitesse tend à décroître après quelques mètres de nage et cette diminution de la motricité apparaît d'autant plus rapidement que le gradient de potentiel appliqué dans la rigole est plus proche du seuil de tétanie. Par ailleurs, cette fatigue, provoquée par le stimulus électrique, a pour effet d'abaisser la valeur du gradient de potentiel nécessaire pour produire la tétanie dans l'embout triangulaire. Dans cet élément terminal, un poisson rencontre des gradients croissants, comme dans le bac trapézoïdal, mais après avoir nagé sur 4 m dans un champ constant, son seuil de tétanie (S') n'est plus aussi élevé que dans le bac trapézoïdal. Il n'atteint plus en moyenne que 1,3 fois la valeur du seuil théorique (S) mesuré dans un champ uniforme, ce qui est encore appréciable.

Ces observations ont montré qu'un poisson peut nager, sous l'effet d'un champ électrique impulsionnel, sur une distance relativement grande. Un même individu a en effet été généralement capable de franchir, plusieurs fois consécutives, la rigole de 5 m sur toute sa longueur. De plus, nous avons constaté que les gradients croissants, établis dans l'embout terminal, provoquent une nette accélération de la nage des poissons jusqu'à ce qu'ils soient tétanisés. Par ailleurs, les vitesses de nage mesurées au cours de ces expériences sont sensiblement du même ordre que celles qui peuvent être enregistrées dans la nature.

L'influence d'un stimulus photique sur des taxies provoquées par un champ électrique impulsionnel a également été étudiée. Les poissons rencontreront, en effet, des gradients lumineux croissants au cours de leur taxie vers l'anode, située à proximité de la lampe de pêche. Or, il est connu qu'un éclairage trop intense peut avoir des effets répulsifs sur les poissons. Nous avons donc étudié, de nuit, la taxie anodique en éclairant fortement la rigole au

voisinage de l'anode. On a ainsi pu constater que le stimulus photique ne constitue pas une barrière. Au contraire, en présence de la source lumineuse, les poissons subissent plus passivement le stimulus électrique. Les vitesses de nage semblent légèrement plus faibles mais les tentatives de retournement sont moins nombreuses.

2.- Tétanie

Quelles que soient les espèces étudiées, le phénomène de tétanie se traduit par une raideur musculaire entraînant l'immobilité de l'animal. Le poisson tétanisé a ensuite naturellement tendance à couler. Il existe cependant certaines différences de comportement selon l'espèce étudiée. C'est ainsi que la tétanie provoquait chez les jeunes lieus un léger décollement des opercules et une cambrure très marquée au niveau des premières vertèbres. Comme nous l'avons déjà indiqué, dans le cas des bars, l'ouverture des opercules s'est produite de façon plus marquée quel que soit le stimulus appliqué et il est même arrivé que les opercules restent bloqués en position ouverte après la coupure du courant électrique. Aucun phénomène particulier n'a été observé au sujet des sardines, pour lesquelles nous avons enregistré un nombre extrêmement faible de décès dus à la tétanie.

Il faut enfin noter la résistance particulièrement élevée des mullets aux effets électriques. Afin d'apprécier l'influence d'un champ intense, des mullets de 13 cm ont été soumis à un gradient de 200V/m. Le stimulus employé était 50 Hz et 2 ms. Les poissons subissaient donc environ 8 fois la valeur de leur seuil de tétanie. Différents lots ont été soumis à ce gradient de potentiel pendant 10 sec., 20 sec., 30 sec., 40 sec., 1 min., 3 min., et 5 min. Aucun décès n'a été enregistré mais, avant que le poisson ne retrouve un comportement normal, il s'est écoulé un laps de temps proportionnel à la durée d'application du stimulus électrique. Par exemple, pour 1, 3 et 5 minutes, les temps de récupération respectifs ont été de 4, 15 et 35 minutes. Tous ces poissons ont, par la suite, présenté et conservé un comportement normal. Dans le système de pêche que nous étudions, aucun poisson n'aura à subir des effets électriques aussi intenses.

C O N C L U S I O N

Les études dont il vient d'être rendu compte nous ont permis de faire un nouveau pas en avant. Elles s'insèrent dans un programme de recherches pluridisciplinaires qui devrait normalement aboutir à la mise au point, puis à la réalisation d'une nouvelle technique de pêche. Ce travail a permis de préciser un grand nombre de réactions et de comportements encore peu étudiés en France, du moins en relation avec la pêche électrique en mer. Il ne s'agit pas d'un travail isolé, comme pourrait le laisser penser l'absence de référence bibliographique. Elles sont, en fait, trop nombreuses pour figurer dans un tel rapport. Des recherches sur les possibilités de pêche à l'électricité se poursuivent en effet également à l'étranger et nous suivons, tout particulièrement, les travaux en cours en U.R.S.S. et aux U.S.A.

Ces études répondent donc aux conditions fixées d'un commun accord dans le contrat C.N.E.X.O./I.S.T.P.M. n° 72/454 et doivent conduire tout naturellement à envisager désormais une expérimentation en vraie grandeur. Toutefois, avant de proposer l'élaboration du contrat de recherches, dont le principe avait été défini au début des travaux dont il a été rendu compte, certaines expériences doivent être réalisées. Celles-ci, dont le détail a été donné dans le texte, porteront notamment sur différents aspects du comportement des poissons et, en particulier, sur l'étude de la directionnalité des stimuli aux basses fréquences. Compte tenu des résultats obtenus le système d'électrodes devra alors être définitivement précisé, afin d'être adapté aux valeurs des seuils de taxie et de tétanie du stimulus qui aura finalement été retenu. Les résultats de ces travaux, qui pourront être menés à bonne fin dans le courant de l'année, seront portés à la connaissance du C.N.E.X.O. C'est seulement ensuite que pourront être envisagées la préparation d'une phase d'expérimentation en vraie grandeur ainsi que l'élaboration d'un nouveau contrat.

* *

*

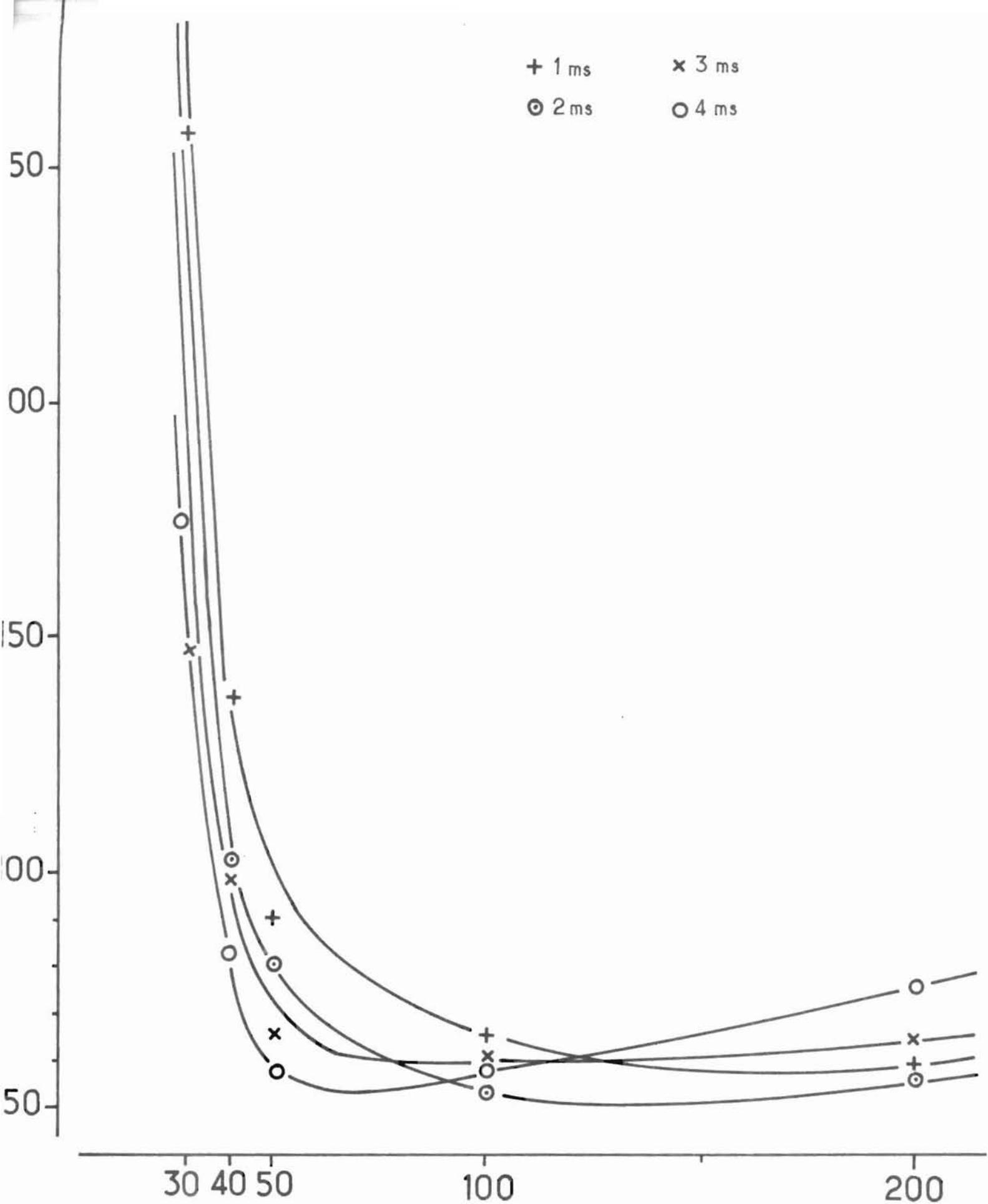


Fig.19: SARDINES - variation des seuils de tétanie(S) en fonction de la fréquence pour différentes durées d'impulsion.