

Avril 1966

TENEUR EN HALOGENES ET SALINITES

par R. RAIMBAULT

I -- Teneur en halogènes (Cl, Br, I)

Généralités.--

Quand on fait agir du nitrate d'argent sur une eau contenant des halogènes (Cl, Br, I) on obtient un précipité d'halogénures d'argent jusqu'à épuisement des halogènes. GAY-Lussac dès 1832 utilisa cette réaction comme base d'une méthode de dosage volumétrique. Par la suite un précieux complément fut apporté par MOHR : quelques gouttes d'une solution de chromate de potassium (ajoutées à l'échantillon) permettent de déceler d'une façon relativement nette la fin de la réaction. On trouvera dans n'importe quel manuel d'analyse le détail des phénomènes chimiques qui entrent en jeu au cours de ces opérations.

Les eaux marines et lagunaires contiennent toujours les ions halogènes Cl, Br et I; étant donné que d'une manière très générale la quantité de brome et d'iode ne représentant que quelques millièmes du total des halogènes il est devenu habituel de désigner le résultat du dosage comme étant "la teneur en chlore". On peut retenir cette façon de parler universellement pratiquée tout en sachant qu'elle comporte une part de convention.

Bien qu'admettant des modalités différentes dans la façon de procéder, toutes les techniques chimiques courantes pour doser les halogènes contenus dans les eaux salées reposent fondamentalement sur la méthode de MOHR, avec emploi de nitrate d'argent et généralement du chromate de potassium comme indicateur coloré.

Les deux modes d'expression : Cl<sup>o</sup>/oo et Cl/l.--

Sur ce chapitre des teneurs en chlore des eaux lagunaires un point particulier suscita la controverse au cours du colloque; il s'agissait de décider s'il était mieux d'exprimer les résultats en grammes de Cl par kilogramme d'eau ("chlorinité" des océanographes : Cl<sup>o</sup>/oo) ou en grammes par litre d'eau ("chlorosité" des océanographes : Cl/l).

Chez les auteurs qui traitent des eaux lagunaires les deux modes d'expression sont utilisés et il arrive parfois que le système adopté n'est pas clairement spécifié. En particulier le symbole Cl<sup>o</sup>/oo, étant donné son ambiguïté (pour mille grammes et pour mille millilitres) est parfois employé dans les deux sens, ce qui crée des confusions ou des incertitudes regrettables. Certes la différence entre les deux types de données est infime pour les eaux à très faibles teneur en Cl ; elle est déjà d'environ 0,1 g pour les teneurs en Cl de l'ordre de 10 g ; pour les teneurs doubles elle atteint le demi-gramme et, si l'on arrive à des concentrations de 30 g de Cl, la différence dépasse légèrement un gramme.

Dans cet exposé, adoptant les conventions bien établies des océanographes, on admettra que Cl<sup>o</sup>/oo signifie la teneur en chlore pour mille grammes d'eau et que les teneurs par litre seront symbolisées par Cl/l.

En réalité les confusions entre les deux modes d'expression sont liées à l'adoption de deux types de techniques d'analyse différentes qui s'ignorent mutuellement ; les unes aboutissent directement aux résultats en grammes par litre, les autres en grammes par kilo. En particulier ce dernier mode d'expression relève de méthodes qui sont propres à l'océanographie et qui sont ignorées de la généralité des chimistes qui ne se sont pas spécialement initiés aux techniques particulières d'analyse des eaux marines.

#### Méthodes donnant Cl<sup>o</sup>/oo.-

L'ensemble du processus et des modalités suivies par les océanographes pour le dosage du chlore forme un tout très élaboré qu'on désigne souvent sous le nom de méthode de KNUDSEN ou de MOHR-KNUDSEN. On en trouvera la description détaillée dans tous les ouvrages qui traitent de la chimie des eaux marines, avec l'exposé des principes qui ont présidé à la mise au point de cette méthode (voir BARNES 1959 par exemple ou ROUCH 1946).

Nous rappellerons seulement, que dans cette méthode, le dosage se fait sur des échantillons de 15 ml; on utilise une burette KNUDSEN qui, entr'autres particularités assurant une grande précision dans l'évaluation du volume écoulé, comporte une graduation dont chaque unité correspond à 2 ml, et est elle-même sous-divisée en dixième et en centième; le titre de la solution de nitrate est tel que théoriquement le volume lu sur la burette correspond au nombre de grammes de Cl par kilogramme d'eau; de plus, pour chaque série d'analyses, le nitrate est étalonné sur une eau standard (dite "Standard Sea Water" ou "Eau Normale"), préparée et délivrée par le laboratoire Hydrographique de Charlottenlund au Danemark et dont le titre en Cl<sup>o</sup>/oo est précisé sur chaque ampoule.

Ainsi en suivant ce procédé on obtient directement la teneur du chlore en Cl par kilogramme d'eau (le facteur de correction pour tenir compte de l'étalonnage sur l'eau normale est donné dans les tables de KNUDSEN).

Cette méthode de MOHR-KNUDSEN prise dans son intégralité, avec utilisation de l'eau normale, des pipettes et burettes spéciales a été élaborée en vue d'obtenir la précision relativement poussée nécessaire aux océanographes physiciens. De nombreux laboratoires français et étrangers qui étudient les lagunes et eaux saumâtres d'un point de vue biologique et écologique ont cependant adopté cette méthode telle quelle; ils obtiennent donc ainsi une précision plus que suffisante.

Pour les eaux lagunaires cependant il n'est pas rare qu'on soit obligé d'apporter une modification à la méthode de MOHR-KNUDSEN; en effet les teneurs en Cl des diverses mers se tenant généralement entre 16 et 24‰ les burettes du type KNUDSEN ne sont graduées que pour les valeurs comprises dans cet intervalle. En conséquence elles ne sont plus utilisables pour les eaux où la concentration du Cl est inférieure à 16‰, ce qui arrive fréquemment pour les eaux lagunaires. Dans ces cas il est toujours possible de recourir à des burettes ordinaires donnant le degré de précision désiré. On doit se rappeler que chaque gramme de Cl par kilo d'eau correspond à l'écoulement de 2 ml de nitrate; ainsi avec une burette dont les ml sont gradués au 1/20, chaque division correspond au 1/40 de gramme (soit 25 mg).

#### Méthodes donnant Cl/l 20°

Si l'on veut évaluer les teneurs en Cl par litre il suffit de suivre les méthodes classiques de l'analyse volumétrique, en se servant d'une solution de nitrate d'argent de titre rigoureusement connu. Ce titre peut être quelconque; d'un point de vue pratique il est évidemment préférable qu'il soit d'une normalité du même ordre de grandeur que celle du chlore contenu dans les eaux à analyser. Connaissant la normalité C du nitrate, le volume V qui a réagi avec le volume V' de l'échantillon, on aura la normalité C' du Cl par la relation classique  $CV = C' V'$ ,

Les précautions à prendre et les modalités à suivre (choix des burettes, volume de l'échantillon etc...) dépendent de la précision qu'on désire obtenir. En utilisant une solution de nitrate d'argent préparée avec une ampoule titrée du commerce ("Titrisol" produit Merck), nous avons dosé directement, et sans précautions spéciales, une série d'échantillons dont la teneur en Cl avait été déterminée par la méthode de MOHR-KNUDSEN (et convertie en Cl/l); la gamme de ces teneurs allait approximativement de 3 à 19 g/l. La plus grande différence observée entre deux dosages était de 0,1 g/l; dans la plupart des cas elle n'était que de quelques centigrammes. C'est donc une précision qui est largement suffisante pour les recherches écologiques.

Pour des travaux d'hydrologie demandant une grande précision (ou si l'on prépare soi-même la solution de nitrate d'argent) il convient d'étalonner la solution de nitrate. C'est ainsi que STRICKLAND et PARSONS (1960) qui même pour les eaux marines proprement dites donnent la préférence au dosage du chlore en Cl/l, décrivent une adaptation de la méthode de MOHR-KNUDSEN à ce mode d'expression. Le titre en Cl‰ de l'eau normale de Copenhague sert encore de référence; après avoir converti

sa valeur en Cl/l. 20° la solution de nitrate d'argent est ajustée de telle sorte qu'une division de la burette de KNUDSEN corresponde à 1 gramme de Cl par litre et non plus par kilo. On obtient donc de cette façon des données en Cl/l ayant le même degré de précision qu'en suivant la méthode de MOHR-KNUDSEN proprement dite.

Théoriquement les données en Cl/l doivent être accompagnées d'une indication de température. C'est qu'en effet à l'inverse de la masse, le volume d'un liquide varie en fonction de la température. L'importance de cette indication est, là encore, fonction du degré de précision désirée pour les données. Les remarques suivantes inspirées de STRICKLAND et PARSONS (1960) permettent d'apprécier cette influence de la température.

1°/ Si les deux liquides impliqués dans le dosage du Cl (échantillon et nitrate) sont à une même température se situant entre 14 et 26°, aucune correction de température n'est à apporter pour exprimer les données en Cl/l 20°; on peut admettre que la dilatation des deux liquides est la même.

2°/ Si la température des deux liquides n'est pas la même, l'importance de la correction est fonction de la différence des températures et du volume de nitrate nécessaire pour le dosage; avec une différence de température de 5° et un volume de nitrate de 22 unités, la correction est de l'ordre de 3 centigrammes.

Ces précisions montrent que dans la majorité des cas, pour les eaux lagunaires, où les échantillons sont dosés après un certain temps de séjour au laboratoire (et du fait même sont à la même température) et dans un but écologique, il n'y a pas à se soucier de cette correction de température; les données peuvent être considérées comme exprimées en Cl/l 20°.

#### Mode d'expression recommandé par le colloque.-

Il résulte de tout ce que nous venons d'exposer que les modalités d'analyse du Cl sont nombreuses; elles aboutissent à l'établissement des teneurs en grammes de Cl, soit par kilogramme d'eau, soit par litre d'eau; dans les deux cas il est possible d'atteindre à un haut degré de précision. Cependant il reste à décider si l'un des deux modes d'expression est préférable et doit être recommandé.

La majorité des participants du colloque de Messine donnèrent leur préférence à l'expression des résultats en Cl/l 20°. De bons arguments militent en faveur de cette façon de faire. D'une part, quand il s'agit de corps en solution, les données exprimées en quantité par litre sont plus parlantes et c'est de cette façon que la teneur de toutes les autres substances dissoutes est habituellement évaluée (certains laboratoires cependant ont actuellement tendance à s'exprimer en termes d'équivalence ou de milliéquivalence; les avantages ou inconvénients de ce système ont été à peine abordés lors du colloque; sans doute eut-il valu la peine qu'on s'y arrête plus longuement). D'autre part, étant donné leur intérêt, aussi bien du point de vue de l'écologie que de l'hydrologie proprement dite, on est couramment conduit à prendre en considération, non seulement la valeur absolue des teneurs, mais les rapports entre ions (Ca/Cl, Mg/Cl par exemple etc...); pour établir ces rapports les deux termes doivent évidemment être chiffrés dans le même système d'unité; donc en toute hypothèse il est nécessaire de connaître les teneurs du chlore en Cl/l.

Cette dernière considération suffirait à justifier la recommandation faite par le colloque d'exprimer les teneurs de Cl en grammes par litre : Cl/l 20°.

Remarque importante.

Les données obtenues en Cl°/oo sont très faciles à convertir en Cl/l 20° et réciproquement; en conséquence le fait d'avoir à exprimer les résultats en Cl/l 20° ne nécessite aucun changement d'habitude de la part de ceux qui utilisent la méthode MOHR-KNUDSEN; de même ceux qui obtiennent directement leurs données en Cl/l 20° et qui désirent faire des comparaisons précises avec les teneurs en Cl°/oo, peuvent opérer la conversion par l'un des moyens suivants :

Théoriquement on peut toujours recourir à la formule de THOMPSON :

$$\text{Cl}^\circ/\text{oo} = 0,008 + 0,99980 \text{ Cl}/\text{l} - 0,001228 \text{ Cl}/\text{l}^2$$

Il est beaucoup plus pratique soit de se servir de l'abaque de conversion (Cl°/oo  $\leftrightarrow$  Cl/l 20°) de CARTER et TULLY (1937), soit de recourir à l'usage combiné des tables de STRICKLAND et PARSONS (1960) et des "Hydrographical Tables" de KNUDSEN. Ce dernier procédé nous paraît le plus simple et le plus rapide.

Résumé.

Tous les procédés qui relèvent de la méthode de MOHR (dosage par le nitrate d'argent et utilisation du chromate de potassium) sont admis.

La teneur en chlore sera exprimée de préférence en grammes par litre d'eau; Cl/l 20°.

Que l'on utilise une méthode qui donne directement les résultats en Cl°/oo (procédés de MOHR-KNUDSEN des océanographes), ou une méthode qui les donne en Cl/l (méthodes volumétriques classiques), la conversion d'un mode d'expression dans l'autre peut se faire facilement (abaque de CARTER et TULLY; tables de KNUDSEN et de STRICKLAND et PARSONS).

## II - SALINITES

Le colloque de Messine n'a pas retenu la "salinité" parmi les données hydrologiques qu'il recommande d'établir pour les eaux lagunaires. Comme ce paramètre est étroitement lié à la teneur en chlore nous devons aborder brièvement cette question et évoquer les raisons de cette exclusion et examiner si elle se justifie ou non.

Il faut d'abord préciser que le terme de salinité peut être compris de deux manières différentes ; pour les uns il a le sens de "teneur en Cl Na" pour les autres, celui de "teneur totale des sels en solution". Si la première acception est surtout reçue chez les hydrologues des eaux continentales, il n'est cependant pas rare qu'elle soit utilisée par des auteurs traitant des eaux lagunaires et saumâtres (SCHACHTER 1950, AGUESSE 1957, NISBET, PETIT, SCHACHTER 1958 par exemple) ; cette double signification a souvent constitué et demeure encore une source de confusions.

Il faut se rappeler que dans l'un et l'autre cas la salinité n'est jamais mesurée directement, dans la pratique courante, mais seulement déduite des teneurs en chlore, de telle sorte qu'une courbe des variations de salinité ne peut être qu'étroitement parallèle à celle des teneurs en Cl.

"Salinité" en Cl Na.

La désignation des teneurs en ClNa comme salinité est purement conventionnelle et ne prétend pas représenter la totalité des sels, puisque, le chlore étant dosé, on remonte à la teneur en ClNa par simple calcul, comme si, d'une part les ions Cl étaient uniquement liés au sodium et que, d'autre part, il n'existait pas d'autres sels que les chlorures. Dans certaines méthodes de dosages on évite même tout calcul en donnant au nitrate d'argent un titre tel, que pour un échantillon de volume donné, le volume du nitrate écoulé correspond à un poids donné de ClNa par litre (BRAJNIKOV, FRANCIS-BOEUF et ROMANOVSKY 1943 - 2ème méthode, par exemple).

Il n'est pas besoin d'insister pour comprendre que ces "salinités" en ClNa, qui par principe ne peuvent exprimer la teneur totale en sels des eaux lagunaires, n'ajoutent aux teneurs en Cl aucun supplément d'information conforme à la réalité ; elles n'apportent que des données arbitraires et sont donc à exclure résolument des résultats hydrologiques. A plus forte raison ne devrait-on pas l'utiliser comme base de classification des eaux saumâtres et salées (AGUESSE, 1957).

Salinités des océanographes.

Beaucoup d'hydrologues des eaux lagunaires qui suivent la méthode de MOHR-KNUDSEN des océanographes pour doser le chlore admettent tacitement que la composition de ces eaux suit la même loi des proportions constantes que les eaux marines ; en conséquence ayant dosé le chlore, ils tirent directement des "Hydrographical Tables" de KNUDSEN la valeur de la salinité correspondante (total des sels dissous exprimés en grammes par kilogramme d'eau) ; à défaut, il la calcule à partir de l'équation de corrélation qui a servi à établir ces tables :

$$S^{\circ}/\text{oo} = 0,030 + 1,805 \text{ Cl}^{\circ}/\text{oo}$$

A l'inverse des auteurs qui retiennent comme "salinité" la teneur conventionnelle en  $\text{ClNa}$ , ceux qui expriment les salinités de cette façon pensent donc exprimer au moins de façon très approchée la teneur totale réelle des sels en solution, au même titre que les océanographes pour les mers.

Tout le problème est de savoir, en premier lieu, si les pourcentages des divers ions contenus dans les eaux lagunaires sont constants et égaux à ceux qu'on observe dans les eaux marines (la corrélation établie entre teneur en chlore et salinité repose entièrement sur ce postulat) ; en second lieu, et si la réponse à la première question est négative, il s'agit de vérifier si les différences observées permettent cependant une approximation suffisante pour que les salinités évaluées de cette façon gardent encore de l'intérêt.

Il ne faut pas oublier que même pour les eaux marines la loi de DITTMAR (loi des proportions constantes) n'est qu'approchée et que la validité des tables de KNUDSEN a parfois été contestée pour certaines mers ; il est cependant admis en océanographie que, sauf de rares exceptions, elles donnent des salinités réelles une valeur suffisamment approchée pour satisfaire au but poursuivi par les chercheurs.

Dans ce domaine il est en effet capital de considérer l'objectif poursuivi. En général l'océanographe veut connaître la salinité en vue d'en déduire la densité, ceci afin de déceler des phénomènes physiques tels que les mouvements des masses d'eau les unes par rapport aux autres ; comme les différences entre ces masses sont faibles, les salinités doivent donc être évaluées avec une précision relativement élevée (on estime que les salinités doivent être évaluées avec une sécurité d'au moins 0,02 g).

Au contraire, quand il s'agit des eaux lagunaires, la quasi totalité des recherches hydrologiques visent à éclaircir des problèmes d'écologie ; il est bien évident que dans ce domaine la teneur totale des sels n'a pas besoin d'être connue avec la même précision qu'en océanographie physique ; une précision de l'ordre de + 0,5 g est en général largement suffisante et une salinité évaluée avec cette marge de sécurité constitue encore une information d'un grand intérêt.

Compte-tenu de ces observations on peut se demander si le fait d'exclure purement et simplement les salinités des résultats n'est pas une position trop absolue, qui demanderait à être revue et nuancée.

Certes il est certain que, pour les <sup>lagunes</sup> ~~lagoons~~, l'évaluation des salinités par les tables de KNUDSEN ne peut prétendre, d'une façon générale, donner la précision recherchée par les océanographes physiiciens. Au contraire la précision suffisante pour rendre compte de la présence de certaines espèces ou de telle et telle association animale ou végétale peut-être atteinte, à notre avis, dans de nombreuses lagunes par ce procédé.

Quand SCHACHTER (1950) (reprise par PETIT 1953) se prononce pour l'impossibilité d'utiliser les tables de KNUDSEN pour les eaux saumâtres, sa position s'appuie sur les analyses de 5 stations dont la plupart n'étaient que des mares d'eau temporaires ou des ruisseaux soumis aux crues du Rhône et susceptibles de s'assécher au cours de l'été. Il s'agit donc de micro-milieus assez particuliers qui ne peuvent justifier une règle générale pour l'ensemble des eaux saumâtres et lagunaires.

Par contre, en 1961, NISBET et SCHACHTER ont publié le résultat d'un important travail d'analyses faites en 1955-56 sur les eaux de 11 étangs camarguais. Les auteurs y ont trouvé la confirmation de leur position d'exclusive à l'égard des tables de KNUDSEN (NISBET, PETIT et SCHACHTER 1958).

Or si l'on examine les rapports  $\text{Ca/Cl}$ ,  $\text{Mg/Cl}$  et  $\text{SO}_4/\text{Cl}$  obtenus, on constate que, pour l'étang de Berre, ces rapports sont du même ordre de grandeur que les rapports marins et que l'amplitude de leurs variations ne dépasse pas celle qu'on observe entre les eaux des diverses mers ou océans. On peut en dire autant pour les eaux de l'étang de Fos. Les observations, faites par d'autres chercheurs dans les étangs de Thau et de Salses-Leucate aboutissent aussi aux mêmes constatations.

Au contraire dans les autres étangs étudiés par NISBET et SCHACHTER les rapports sont vraiment différents des rapports marins et parfois même ils en sont très éloignés (on peut se demander, si pour certains d'entre eux au moins, les données sont vraiment représentatives ; en effet dans ces autres étangs un seul prélèvement mensuel était opéré et la carte schématique donnée par les auteurs semble indiquer qu'il se faisait tout à fait en bordure des étangs ; ce serait à vérifier).

Ainsi parmi les unités d'eaux lagunaires et saumâtres une distinction serait à faire, d'une part, entre celles dont les caractères chimiques sont submarins et dont la salinité approchée peut être connue par les tables de KNUDSEN à partir des teneurs en  $\text{Cl}^\circ/\text{oo}$  et, d'autre part, celles qui sont trop différentes des eaux marines pour qu'une telle évaluation ait encore de l'intérêt.

Les lagunes ouvertes en permanence sur la mer, parfois même faiblement, semblent généralement devoir rentrer dans la première catégorie, même si, à l'instar de la mer Baltique, elles ont parfois des salinités très inférieures à celles de la mer ou qu'inversement elles présentent de fortes sursalures (étang de Fos). Au contraire les unités complètement coupées de la mer, à l'instar de la mer Caspienne ou de la mer d'Aral (ZENKEVITCH 1963) rentreraient dans la catégorie pour laquelle il serait vain de vouloir évaluer la salinité par les tables (étang de Citis et de l'Olivier par exemple).



La conclusion peut se formuler sous la forme d'un programme de travail.

Pour chaque unité géographique saumâtre et lagunaire il faudrait prélever un certain nombre d'échantillons, à diverses reprises au cours de l'année. Ces prélèvements, pour être représentatifs, devraient être opérés en pleine eau, à l'aide de bateau, comme cela a été fait par divers chercheurs dans l'étang de Berre, de Thau et de Salses-Leucate par exemple.

Les principaux ions caractéristiques des eaux marines devraient être analysés (notamment Cl,  $SO_4$ , Mg et Ca) de manière à pouvoir établir le rapport de chacun à l'ion Cl. La comparaison des rapports obtenus avec ceux des eaux marines permettrait de vérifier s'ils sont du même ordre de grandeur et s'y maintiennent constamment.

Il faudrait aussi que, pour les rapports de chaque ion, soit défini l'écart maximum avec le rapport moyen des eaux marines, écart au-delà duquel la précision suffisante, même celle recherchée en écologie, n'est plus assurée.

Ainsi deviendrait-il possible de créer sur une base solide la catégorie des lagunes à caractères submarins ; celles-ci se définiraient, moins par la valeur absolue des salinités que par la parenté qu'elles présenteraient avec les eaux marines dans leurs proportions ioniques. Il en résulterait que pour ces lagunes l'évaluation des salinités par les tables de Knudsen serait valide et recommandable.

BIBLIOGRAPHIE

- AGUESSE (P.), 1957. - La classification des eaux poikilohalines, sa difficulté en Camargue, nouvelle tentative de classification. - "Vie et Milieu", Bull. Lab. Arago, 8 (4) : 341-365.
- BARNES (H.), 1959. - Apparatus and methods of oceanography. Part one : Chemical. - Londres, Georges Allen et Unwin, 341 p.
- BRAJNIKOV (B.), FRANCIS-BOEUF (C.) et ROMANOVSKY (V.), 1943. - Techniques d'étude des sédiments et des eaux qui leur sont associées. - Paris, Hermann et Cie, 111 p.
- CARTER (N.M.) et TULLY (J.P.), 1937. - Abac for the conversion of values expressed as chlorinity per litre et an interpolation temperature of 20°C to chlorinity per kilogram (Cl°/oo). - J. Cons. Int. Explor. Mer, 12, 1 fig., p. 37.
- KNUDSEN (M.), 1901. - Hydrographical tables - Copenhague Tutein et Koch, 63 p.
- NISBET (M.), PETIT (G.) et SCHACHTER (D.), 1958. - Caractères chimiques de quelques étangs méditerranéens. Considérations sur la classification des eaux saumâtres (Note préliminaire). - Verh. Int. Ver. Limnol., 13 : 672-675.
- NISBET (M.) et SCHACHTER (D.), 1961. - Constituants chimiques des eaux de quelques étangs littoraux. - Bull. Inst. Océanogr. Monaco, n° 1207 : 1-45
- PETIT (G.), 1953. - Introduction à l'étude écologique des étangs méditerranéens. - "Vie et Milieu", Bull. Lab. Arago, 4 (4) : 569-604.
- ROUCH (J.), 1946. - Traité d'océanographie. II - L'eau de mer. - Paris, Payot, 349 p.
- SCHACHTER (D.), 1950. - Contribution à l'étude écologique de la Camargue. - Ann. Inst. Océanogr. Monaco, 25 (1), 108 p.
- STRICKLAND (J.D.H.) et PARSONS (T.R.), 1960. - A manual of sea water analysis. - J. Fish. Res. Bd. Canada, n° 125 : 1-185.
- ZENKEVITCH (L.), 1963. - Biology of the seas of the U.S.S.R. - Londres, Georges Allen et Unwin, 955 p.