

EXTRAIT

RAPPORTS ET PROCÈS-VERBAUX DES RÉUNIONS DU CONSEIL
PERMANENT INTERNATIONAL POUR L'EXPLORATION DE LA MER
VOL. LXX, 1931



TRAVAUX
DE LA STATION
DE BIOLOGIE
MARITIME DE
LISBONNE
N° 24



P. 129

Contribution à l'Étude Océanographique du Golfe de Gibraltar.

Par A. RAMALHO, Directeur de l'Aquarium Vasco da Gama et L. DENTINHO, Commandant de l'«Albacora».

Nous considérons comme Golfe de Gibraltar la pénétration de l'Atlantique au sud de la Péninsule Ibérique et au nord-ouest du Maroc, dont les limites sont: à partir du Cap Saint Vincent les côtes méridionales du Portugal et de l'Espagne jusqu'au Déroit de Gibraltar et, ensuite, la côte du Maroc jusqu'à la hauteur de Mazagan. Les coordonnées géographiques extrêmes sont: latitude, 33° et 37° N., longitude, 9° et 6° W. Greenwich.¹⁾ La surface de ce Golfe est, approximativement, de 3000 milles nautiques carrés ou 10.300 km². La topographie du fond, pour autant qu'on en puisse juger par les cartes, est assez régulière, sauf dans le voisinage du Déroit de Gibraltar. Dans l'ensemble il présente une dépression largement ouverte vers l'ouest, avec des profondeurs augmentant dans la même direction, sans atteindre pourtant l'isobathe de 4000 m, qui ne se trouve qu'à l'ouest de 9° de longitude W.G.

Cette région, qui a été parcourue par un grand nombre de navires océanographiques, présente l'intérêt très particulier d'être le théâtre du mélange des eaux d'origine méditerranéenne, qui viennent par la partie profonde du Déroit, avec celles d'origine atlantique, sous l'influence de mouvements ou courants profonds des couches intermédiaires. Ces phénomènes et leurs caractéristiques ne sont cependant limités au Golfe en question, mais ils s'étendent à l'ouest de la côte occidentale du Portugal et, vers le nord, jusqu'à des régions assez éloignées, comme par exemple, au sud-ouest de l'Irlande.

Le Comité du Plateau Continental Atlantique en sa réunion de Septembre 1924, la première à laquelle assistèrent des représentants de l'Espagne, proposa que les conditions océanographiques du Golfe de Gibraltar devraient être étudiées, en collaboration, par l'Espagne et le Portugal. Bien que certaines observations aient été réalisées antérieurement, par l'un et l'autre des deux pays, c'est seulement en 1927 que le Portugal put aborder la réalisation intégrale du programme établi en 1924, par la croisière de l'«Albacora» depuis le Cap Saint Vincent jusqu'à Casablanca.²⁾ L'année suivante, en 1928, l'«Albacora» réalisa une seconde croisière, en Mai—Juin, dans la même direction et suivant une autre ligne, plus à l'est, presque parallèle, entre l'embouchure du Guadiana et Larache. Enfin, en 1929, d'abord en Février—Mars, ensuite au mois d'Août, deux autres croisières de l'«Albacora» répétèrent les observations antérieures tout en élargissant, pourtant, le champ d'investigations jusqu'au Déroit de Gibraltar. Ce sont les résultats de ces travaux portugais qui sont exposés dans cette étude (fig. 48).³⁾

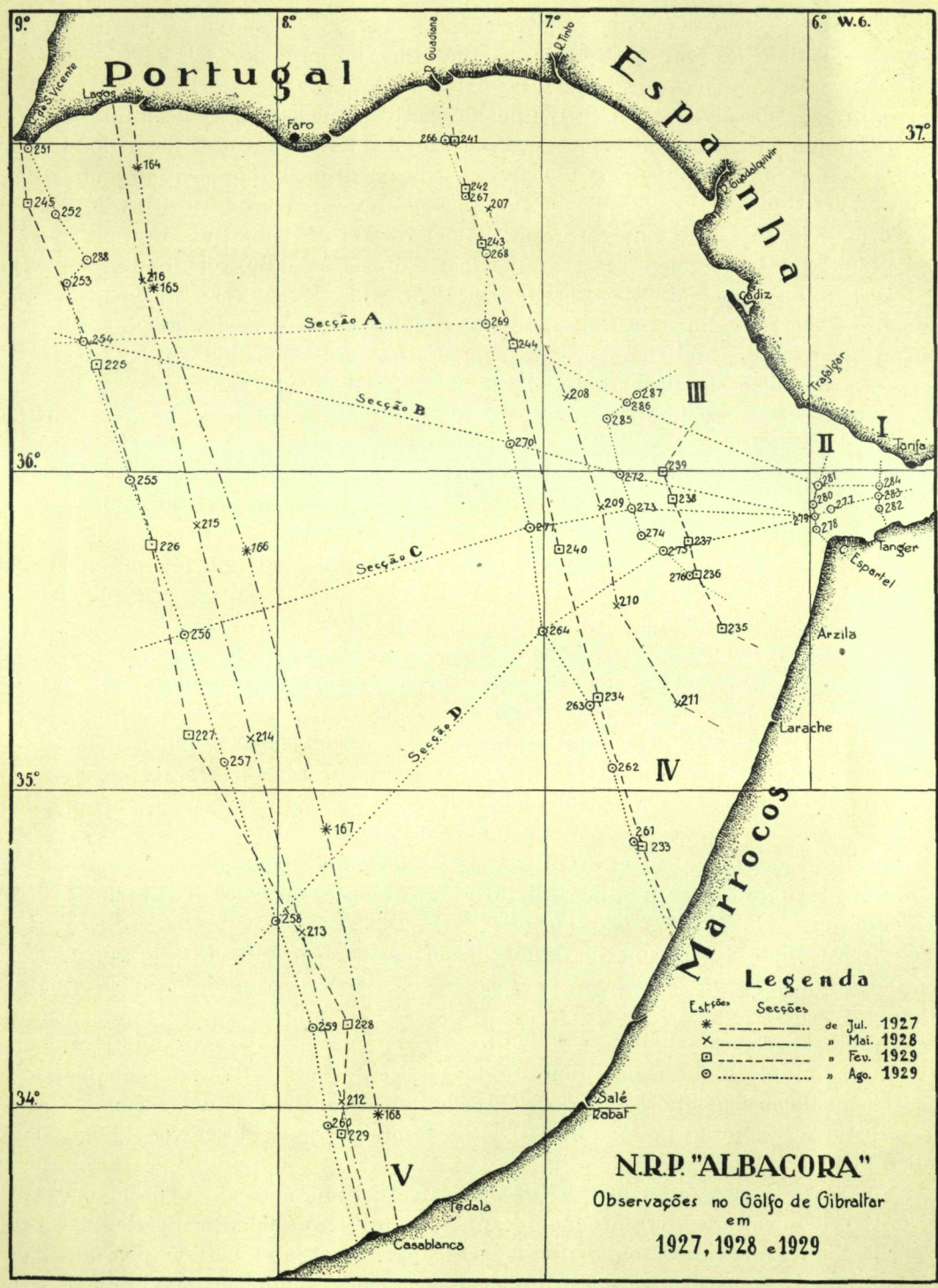


Fig. 48.

La sortie d'eau d'origine méditerranéenne par le Déroit de Gibraltar et son influence soit dans les limites du Golfe de Gibraltar, soit en dehors, est bien connue depuis longtemps, comme le prouvent ces lignes de NIELSEN:⁴⁾

"In 1684 already, Dr. TH. SMITH put forward the suggestion, that an undercurrent flowed through the Straits of Gibraltar from the Mediterranean into the Atlantic. This hypothesis gained some adherents but also raised a great deal of opposition and nothing of any value towards the solution of the question appeared until DUMONT D'URVILLE showed in 1826, that the temperature in the deep water of Cadiz Bay was considerably higher than at the same depth in the other parts of the Atlantic. The final proof of the existence of this undercurrent was given in 1870, when CARPENTER showed, that not only the temperature but also the salinity was higher in the deeper water of Cadiz Bay than in the Atlantic, and that both the temperature and the salinity approximated to the values found in the deep water of the Western Mediterranean.

The indirect proof for the existence of the undercurrent must be considered as far more decisive than the direct current-measurements made by CARPENTER and later investigators and which probably have all been bound with great difficulties owing to the fact, that the surface-current runs in a contrary direction with a considerable velocity. Even if these current-observations are otherwise reliable, they are yet too few in number to give information regarding the periodic-and unperiodic variation in the extent and velocity of the undercurrent."

NIELSEN lui-même (op. cit.), utilisant les observations du «Thor», et se basant sur les conditions météorologiques de la Méditerranée comme aussi sur le débit des cours d'eau qui s'y jettent, aboutit aux conclusions qui peuvent être résumées de la façon suivante:

1) Il y a dans l'ensemble de la Méditerranée un excès d'évaporation sur la quantité totale d'eau douce reçue, excès qu'il évalua à environ 3000 (\pm 1000) km³ par an.

2) Comme la quantité totale de l'eau de la Méditerranée est pratiquement constante, dans les limites de l'époque actuelle, il s'ensuit que la perte par évaporation doit être nécessairement compensée par un apport d'eau.

3) Cet apport ne peut être fait que par la masse d'eau atlantique pénétrant par le Déroit de Gibraltar, ce qui concorde avec l'existence d'un courant superficiel dirigé vers l'est qui a été observé directement.

4) En même temps que le volume d'eau de la Méditerranée reste constant, la quantité des sels en dissolution se maintient la même. Mais, comme l'eau de compensation qui pénètre dans la Méditerranée (eau de l'Atlantique) apporte une quantité considérable de sels (sa salinité est de l'ordre de 36 ‰), il est nécessaire qu'il y ait une sortie concomitante d'une même quantité de sels, ce qui ne peut se réaliser que par le déplacement d'eau de salinité supérieure à celle qui entre. C'est ce déplacement d'eaux qui constituera le courant profond du Déroit de Gibraltar qui se dirige vers l'ouest, dans la direction de l'Atlantique.

5) NIELSEN évaluait la quantité totale d'eau atlantique entrée à environ 59.200 km³ par an et celle d'eau méditerranéenne devant sortir (avec une salinité supérieure) à près de 56.200 km³. Ces chiffres sont naturellement approximatifs et l'erreur possible, dans les conditions les plus défavorables du calcul, peuvent atteindre au maximum le tiers

du volume calculé des eaux. S'il n'y avait pas de sortie d'eau méditerranéenne, la quantité de l'eau atlantique entrée, d'après ses données, serait suffisante pour surélever de 20 m par an le niveau de la Méditerranée.

En plus de ces considérations qui, indirectement, rendent très vraisemblable l'hypothèse des courants opposés d'eau atlantique et méditerranéenne dans le Déroit de Gibraltar, NIELSEN utilisa aussi des faits tirés de la distribution de la salinité et de la température dans la région du Golfe de Gibraltar constaté par le «Thor». Avec ces observations il établit, pour deux saisons (Février 1909 et Juin 1910) une première section approximativement transversale (à partir de Cadix, vers le sud-ouest) et une seconde longitudinale (depuis la Méditerranée jusqu'au Cap Saint Vincent, et plus au nord, contournant la côte du Portugal, jusqu'au Golfe de Gascogne et sud-ouest de l'Irlande.⁵) Il décrit alors, confirmant les interprétations d'auteurs précédents, la masse d'eau dont les caractères thermiques et de salinité sont expliqués par la présence d'un constituant d'origine méditerranéenne.

Il trouva cette masse d'eau à une profondeur comprise entre 700 et 1200 m dans la Section de Cadix. D'autre part, dans la section longitudinale, il l'observa vers l'ouest et, dans le segment parallèle à la côte occidentale du Portugal, il la suivit se prolongeant vers le nord, bien que modifiée au point de vue de salinité et de température, jusqu'au sud-ouest de l'Irlande où elle se trouve encore à environ 1000 m de profondeur.

Presque en même temps le «Michael Sars» explora le Golfe de Gibraltar jusqu'au Déroit et même la Méditerranée adjacente, et HELLAND-HANSEN présenta le rapport préliminaire des travaux océanographiques exécutés.⁶) La distribution de la température et de la salinité observée dans les couches profondes (vers les 1000 m) lui permirent d'admettre des conclusions analogues à celles de NIELSEN.

Le «Michael Sars» toutefois fit d'autres observations plus importantes, à savoir, la détermination directe des courants dans une station située en plein Déroit de Gibraltar (St. 18, Lat. 35°56' N., Long. 5°43' W.G.), qui dura du 29 au 30 Avril 1910. La conclusion générale des mesures fut que, dans les couches superficielles, jusque vers 100 m de profondeur, le courant observé était presque toujours dirigé vers l'est et atteignait la vitesse de 118 cm par seconde (2,3 nœuds). A partir de 180 m de profondeur le courant, bien que de vitesse variable, se faisait toujours vers l'ouest, dans la direction de l'Atlantique, et dans la couche la plus profonde étudiée, avec une vitesse qui atteignait 227 cm par seconde (4,4 nœuds).

Récemment, IDRAC⁷) vérifia également au sud de Tarifa, par 600 m de fond (Lat. 35°57',9 N., Long. 5°36',1 W.G.) et au mois de Mars, avec un rhéomètre de son invention que, à partir de 100 m de profondeur, il y avait un courant vers l'ouest dont la vitesse était: à 200 m, 1,1 nœud; à 300 m, 1,2; à 400 m, 0,9; et à 500 m, 0,5 (de 61 à 25 cm par seconde).

FRIDTJOF NANSEN⁸), en 1913, établissant une section d'orientation générale nord-sud, depuis la côte du Maroc dans le Golfe de Gibraltar jusqu'au canal des Faeroe—Shetland, confirme d'une manière générale cette extension de l'eau résultant du mélange de l'eau atlantique avec celle de provenance méditerranéenne, jusqu'au sud-ouest de l'Irlande, à une profondeur voisine de 1000 m.

Tout récemment, HELLAND-HANSEN et FRIDTJOF NANSEN⁹⁾ dans une étude aussi étendue qu'importante, réunient les observations de l'«Armauer-Hansen» et des autres navires océanographiques, pour élaborer de nombreuses cartes et sections qui donnent une idée beaucoup plus complète de la distribution de cette influence de l'eau méditerranéenne dans l'Atlantique Oriental. Le Golfe de Gibraltar n'était pas l'objet principal des recherches, mais cependant il figure sur les cartes publiées.

Commençant par l'examen des cartes de la distribution de la température et de la salinité à 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400 et 2000 m, ils montrent comment, jusqu'à vers 400 m, dans l'Atlantique situé à l'ouest du Golfe de Gibraltar, la salinité et la température vont augmentant graduellement vers le sud-ouest, ce qu'ils attribuent "chiefly to an admixture of saltier and warmer water from more southern latitudes, and also, to some extent, to the direct absorption of heat rays" (p. 35). A 600 m, du côté du Portugal, "a new factor begins to assert itself . . . , namely very salt and relatively warm water coming from the east. This is the first distinct indication of Mediterranean water in this region (Pl. 42)." Dans les cartes suivantes, pour 800, 1000, 1200 et 1400 m au contraire, la température et la salinité augmentent dans la direction du Cap Saint Vincent (et en général vers les côtes ouest et méridionale de la Péninsule). C'est seulement vers les 2000 m de profondeur que cette forme de distribution disparaît presque complètement, mais, même ainsi, les plus fortes valeurs de salinité se trouvent encore au sud-ouest de Portugal et dans le centre du Golfe de Gibraltar.

Complétant ces données, les auteurs établirent des cartes des anomalies de la salinité, c'est-à-dire: la différence entre la salinité observée et celle qui devrait correspondre à la température observée, utilisant comme base la courbe empirique que HELLAND-HANSEN obtint antérieurement (1916) par un grand nombre d'observations en divers points de l'Atlantique. Ces cartes montrent que, surtout pour les profondeurs de 1000 et 1200 m, mais aussi pour celles de 1600 et 2000 m, comme dans le cas de la distribution des cartes antérieures, il existe dans le voisinage de l'angle sud-ouest de la Péninsule, un centre d'anomalies positives qui révèlent l'existence d'eau qui, pour sa température, a une salinité exagérée, ainsi qu'il arrive, d'une façon encore plus accusée, dans la Mer Méditerranée.

Enfin, les sections de la distribution de la température, de la salinité et de l'anomalie de salinité, montrent encore mieux¹⁰⁾ les détails de la répartition de ces eaux ayant un pourcentage plus ou moins élevé d'eau d'origine méditerranéenne.

Tel était l'état des connaissances sur ces phénomènes océanographiques dans le Golfe de Gibraltar et l'Atlantique adjacent, lorsque, en Juillet 1927, le Prof. RAFAËL DE BUEN publia son travail¹¹⁾ et prétendit contester la valeur de la théorie généralement admise sur la sortie et la dispersion de l'eau méditerranéenne par le Détroit de Gibraltar. Tout d'abord il nia, plus tard, toutefois, dans de nouveaux travaux, il s'est limité à émettre simplement des doutes ou à diminuer l'importance et l'extension du phénomène. Le Prof. G. SCHOTT¹²⁾ reprenant les données utilisées par R. DE BUEN et s'appuyant d'autres, infirma la plupart des conclusions fondamentales émises par l'océanographe espagnol. L'un et l'autre de ces auteurs se servirent de nombreuses observations océanographiques

du «Dana», dont SCHOTT a publié quelques données numériques, mais qui nous sont encore, actuellement, incomplètement connues.¹³⁾

C'est pour ce motif qu'il nous a paru intéressant d'apporter cette contribution à l'étude des phénomènes océanographiques, peut-être les plus caractéristiques du Golfe de Gibraltar, n'utilisant guère que les observations faites par l'«Albacora». Les travaux des autres navires et expéditions seront parfois utilisés comparativement aux nôtres, mais il est bien entendu que, même quand ils ne sont pas cités, ils nous ont servis d'orientation. Si nous ne les mentionnons toujours c'est uniquement à fin de ne pas allonger exagérément notre exposé.

- Description des sections océanographiques.

Août 1929. Ce rapport commence par les observations faites au mois d'Août 1929, parcequ'elles constituent un ensemble plus complet que celles obtenues par les croisières antérieures. On a utilisé, en premier lieu, les sections orientées nord-sud et commençant par la plus orientale, qui est située en plein Déroit de Gibraltar, sur la première crête transversale (fig. 48 et 49). Cette section I est formée par les St. 282 à 284.

Par le diagramme respectif (fig. 49) on voit que la salinité diminue dans la couche comprise entre 0 et 100 m, depuis 36,36—36,56 ‰ à la surface, jusqu'à 36,02—36,09 ‰ à 100 m. A partir de ce niveau la salinité augmente vers le fond, atteignant 38,42 ‰ à 250 m de profondeur dans la St. 283, et 38,39 à 350 m dans la St. 284.

Soit pendant l'exécution des stations de cette section, soit avant et après, pendant la même journée, on observa de bord que le courant superficiel était très fort et avançait vers l'est. Ces deux ordres de faits, réunis, permettent affirmer que jusque vers 100 m de profondeur, l'eau devait provenir de l'ouest, du côté atlantique, mais que, à partir de ce niveau il se trouvait, tout d'abord, une zone de mélange d'eau du type atlantique avec une eau du type méditerranéen et, ensuite, à 250 m de la St. 283 et à 300 et 350 m de la St. 284, une eau de ce dernier type pratiquement pure (sans indications appréciables de mélange avec l'eau atlantique).

Le température dans cette section est très élevée à la surface (21° à 22°,7) mais diminue rapidement en profondeur (14° à 100 m et 13°,6 à 150 m); à partir de 150 m elle varie peu et ne descend jamais au dessous de 13°,2.

On peu remarquer que les isohalines ne sont pas horizontales, mais obliques, montant de la St. 284 vers la St. 283 et s'abaissant ensuite, avec une inclinaison moindre, vers la St. 282. Connaissant l'existence des fortes oscillations verticales que les diverses couches d'eau dans le Déroit subissent périodiquement pendant une même journée et qui se traduisent par des variations de salinité et de température¹⁴⁾, il est bien évident que notre diagramme n'a pas le caractère de représentation des conditions océanographiques moyennes de la saison (Août); il n'en est qu'une figuration approximative.

A la St. 277 (fig. 56), qui se trouve entre les sections I et II, dans la fosse comprise (profondeur maxima 500 m environ) entre la première crête transversale du Déroit, à l'est, et la seconde, à l'ouest (aucune d'elles ne présentant des profondeurs supérieures

à 350 m), les conditions océanographiques observées furent, dans l'ensemble, intermédiaires entre celles des deux sections. Ainsi, le minimum de salinité se trouvait à 200 m (35,97 ‰) et le maximum profond, voisin du fond, à 450 m (38,21 ‰) était inférieur au maximum observé dans la section I. Par suite: de 0 à 200 m l'eau était du type atlantique; de 200 à 450 m elle se présentait comme le résultat de mélange du type supérieur avec celle du type méditerranéen, mais de manière que le pourcentage de ce dernier s'élevait

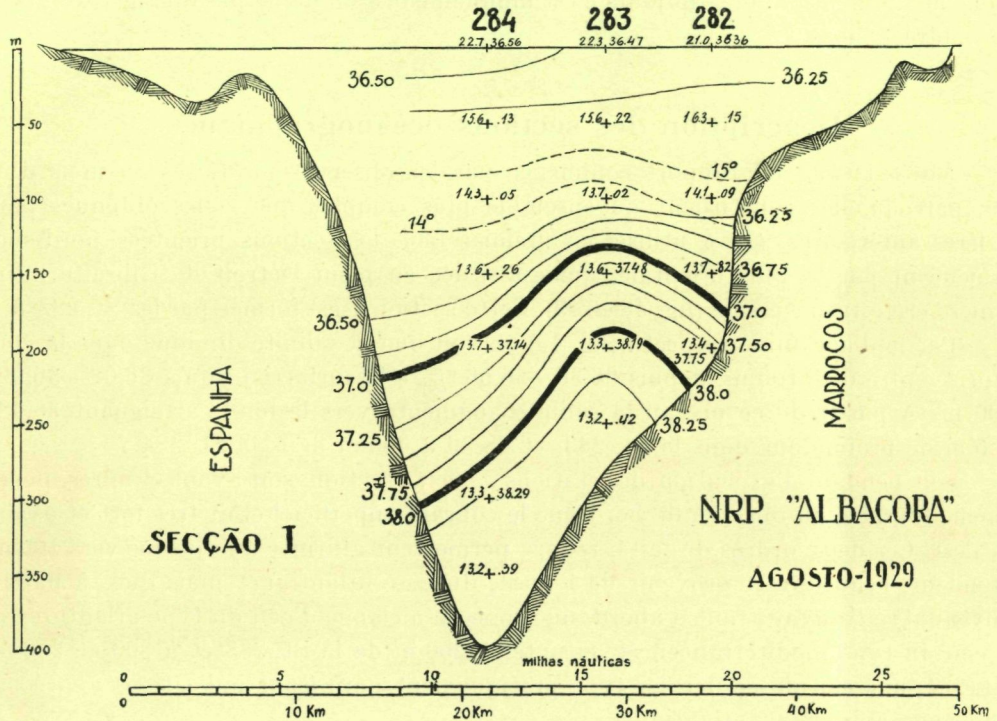


Fig. 49.

graduellement au fur et à mesure que la profondeur d'observation augmentait. A 450 m, le pourcentage de l'eau de provenance atlantique devrait être minimum, puisque la salinité observée était presque la normale pour une eau méditerranéenne non mélangée. Il est possible qu'il existe encore, au-dessous de 450 m, plus près du fond (la profondeur de la St. 277 étant 480 m), une eau méditerranéenne pure, mais nous n'avons pas pu l'observer. Les températures à la St. 277 sont, en général, identiques à celles trouvées dans la section I et disposées de la même façon.

La section II, formée par les St. 278 à 281, correspond à la ligne qui passe par le Cap Spartel et le Cap Trafalgar (approximativement 6° W.G.) et se trouve sur la seconde crête transversale du Détroit, traversant le haut-fond "The Ridge". Pour ce motif, le profil du fond, représenté dans le diagramme (fig. 50) la divise en deux parties, une au nord et l'autre au sud, plus profonde. La St. 279, située au milieu de la partie sud

(Profondeur 380 m), est toutefois un peu à l'est du sommet de la crête, donc encore sur le versant de la fosse où se trouve la St. 277. Cette section est à environ 12 milles de la section I.

Le diagramme (fig. 50) montre bien la disposition des isohalines et isothermiques. Dans la partie sud de la section le minimum de salinité, dans la verticale, se trouve à 200 m (35,8 ‰). Le maximum profond est à 350 m dans la St. 279 (37,99 ‰). On voit par suite que, comme à la St. 277, il existe une eau de type atlantique de 0 à 200 m,

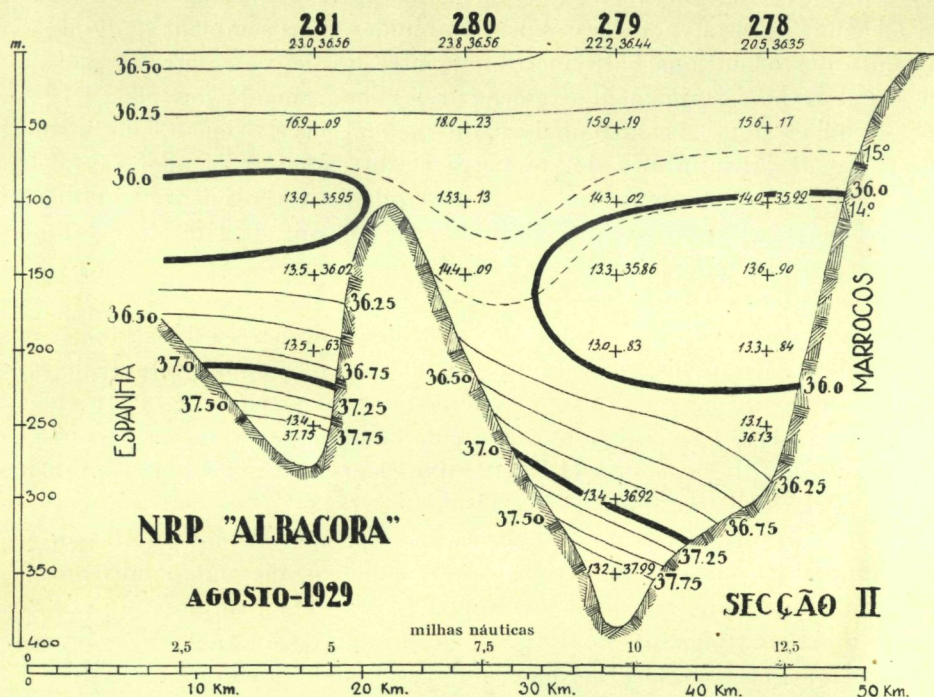


Fig. 50.

et que, à partir de ce niveau jusqu'au fond, il y a une eau qui est incontestablement un mélange de type atlantique et type méditerranéen.

Nous pouvons essayer d'évaluer le pourcentage de l'eau méditerranéenne qui se trouve dans les différentes couches, en supposant que l'eau de la Méditerranée, dont les caractères typiques sont: $S = 38,3-38,4$ ‰ et $T = 13^{\circ},4$, s'est mélangé avec une eau dont la salinité et la température seraient respectivement $35,8$ ‰ et à peu près 13° . On trouve une eau ayant ces derniers caractères, dans la moitié sud de la section II, entre 150 et 200 m. Si on admet cette hypothèse, simplement comme approximation grossière, on obtient par les calculs, pour la St. 279, à 350 m une eau renfermant environ 85 ‰ d'eau du type méditerranéen, et à 300 m environ 44 ‰.

Dans la partie nord de la section II, le minimum de salinité est placé vers les 100 m de profondeur (35,95 ‰) et le maximum profond, près du fond, à 250 m (37,75 ‰). Si cette dernière valeur n'atteint pas le maximum trouvé dans la partie sud, elle est ce-

pendant bien supérieure à celles obtenues au même niveau de cette dernière partie. L'évaluation du pourcentage, faite comme pour le cas précédant, montre que dans la couche de 250 m il y aurait environ 76 % d'eau méditerranéenne mélangée à de l'eau atlantique.

Il semble résulter de cette différence de valeurs entre les points les plus profonds du canal nord et du canal sud, qu'il se ferait une moindre pénétration d'eau méditerranéenne par le canal nord, ou que la quantité d'eau atlantique qui court vers l'est est plus grande, ou, enfin, que la violence des processus qui déterminent le mélange des deux types d'eau est ici plus forte, tout au moins par rapport aux masses soumises au mélange. Chacune de ces hypothèses, isolées ou réunies, nous semblent pouvoir se justifier par l'inégalité des conditions bathymétriques entre les deux canaux, et par l'influence que celles-ci doivent certainement exercer sur les mouvements des eaux.¹⁵⁾

Quoi qu'il en soit, cet essai d'analyse, qui ne peut pas être encore qualifié de quantitatif, par suite de l'insuffisance de ses bases et du caractère élémentaire des calculs, permet une conclusion générale, confirmant d'ailleurs les résultats obtenus par des auteurs précédents: c'est-à-dire que, c'est dans le Déroit de Gibraltar lui-même que l'eau méditerranéenne qui déborde vers le Golfe entre en mélange intime avec celle de l'Atlantique, ce qui, dans cette région, produit surtout une grande diminution brusque de la salinité primitive, comme le montrent les valeurs observées dans la succession des mélanges produits. Toutefois, en se rapprochant de la seconde crête transversale du Déroit, près du fond on trouve encore une salinité de presque 38.00 ‰.

La section III du mois d'Août 1929, comme on le voit dans la carte (fig. 48), se trouve assez éloignée de la section II, même dans leurs points les plus rapprochés (25 à 30 milles). D'après le diagramme (fig. 51), l'isohaline de 36 ‰ se trouve à deux niveaux, comme dans la section précédente: d'abord à une certaine distance de la surface, à un peu moins de 200 m, elle suit une trajectoire presque régulièrement horizontale sauf à l'extrémité sud, du côté du Maroc où elle remonte vers 100 m. Au dessus d'elle la salinité augmente toujours, atteignant 36,58 ‰ au nord et 36,33 au sud. Cette ligne est plus ou moins accompagnée par l'isotherme de 14°. Le second niveau de l'isohaline de 36 ‰ est plus profond, variant entre 350 m et 500 m, et dans l'intervalle vertical la salinité est inférieure; elle atteint les minima absolus vers les 400 m (35,66 à 35,70 ‰ avec la température 11°,9) dans les St. 285, 273 et 274. Dans les autres stations 286, 272 et 275), le minimum n'est pas si accusé ni situé si profondément (35,74 à 35,79 ‰ et vers les 300 m). Au-dessous de l'isohaline profonde de 36 ‰ la salinité et la température augmentent vers le fond, atteignant respectivement de 36,24 à 36,91 ‰ et 13°,1.

Si, négligeant les moindres détails de la distribution de la salinité et de la température, on ne prends en considération que l'ensemble de ses caractères généraux comparés à ce qui apparait dans les sections I et II, il est bien difficile de ne pas admettre en conclusion que l'augmentation de la salinité dans le voisinage du fond ne peut avoir d'autre explication que dans un certain mélange d'eau d'origine méditerranéenne avec l'eau atlantique. Le pourcentage d'eau méditerranéenne varie certainement suivant les stations et suivant les profondeurs, mais il est toujours d'autant plus grand que l'observation se fait plus près du fond.

On a vu, dans la partie sud de la section II, à 350 m de la St. 279, qu'il existait une eau de salinité 37,99 ‰, et à 300 m 36,92. La St. 275 de la section III, qui est la plus voisine de la St. 279 et se trouve immédiatement à la sortie, mais un peu au nord du fossé profond qui vient du Déroit en direction est-ouest, est précisément celle qui, à 550 m, présente la plus forte salinité, ce qui s'explique facilement par sa position sur la ligne, ou très près, de plus fort écoulement d'eau ayant un plus grand pourcentage

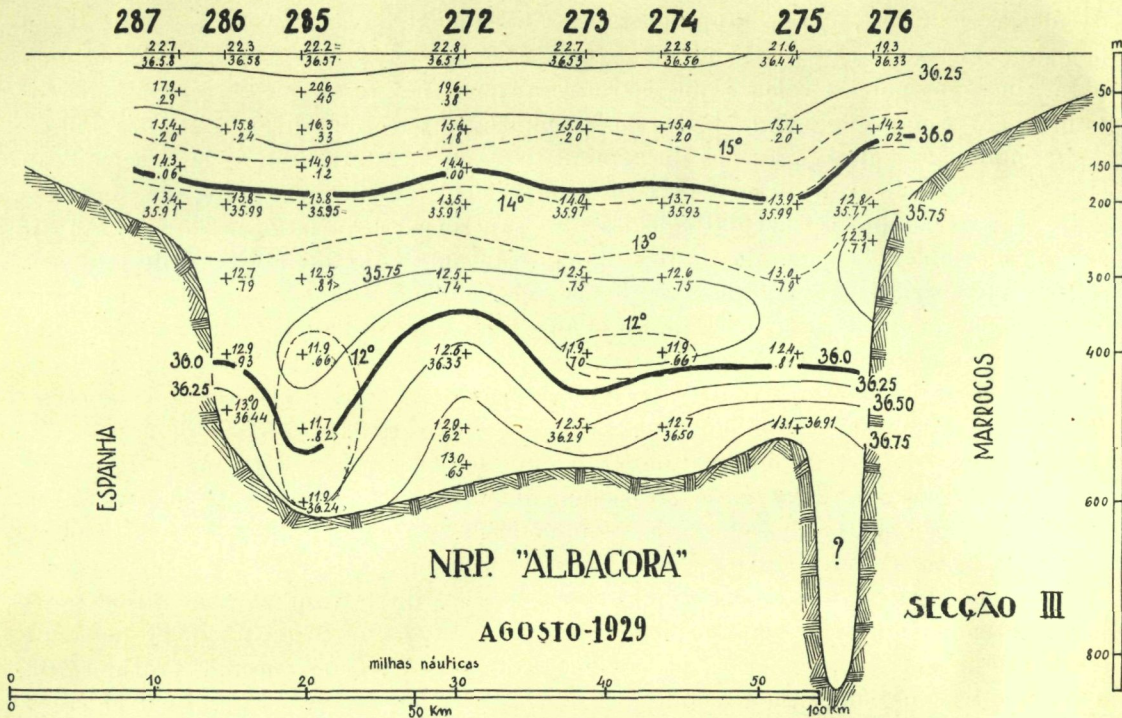


Fig. 51.

d'eau méditerranéenne. Nous disons près de la ligne de plus fort écoulement, parce que les cartes hydrographiques semblent indiquer l'existence d'une dépression plus profonde au sud de la St. 275 (800 m environ), dans laquelle nous n'avons malheureusement aucune station. Cette dépression, qui est indiquée dans le diagramme par un point d'interrogation est, peut-être bien, la voie suivie par la ligne de plus fort écoulement.¹⁶⁾

D'autre part, on doit remarquer encore, que dans cette section III l'eau profonde avec une salinité supérieure à 36 ‰ se trouve au-dessous de 400 m, par suite à un niveau inférieur à celui du seuil du Déroit où existe une eau du type méditerranéen pratiquement pur. Cette descente provient évidemment de la différence de densités entre celle des eaux mélangées et celle du type atlantique qui se trouve dans les autres couches de cette section. En effet, les valeurs de σ_t de l'eau mixte varient de 27,20 à 27,88 et on ne trouvera une valeur égale qu'à 1400 m de profondeur, beaucoup plus à l'ouest, par exemple dans la section V.

Cette descente des eaux mixtes, immédiatement à la sortie du Déroit de Gibraltar, apparait très nettement, comme on peut se rendre compte, par les diagrammes des Sections de direction générale est-ouest établies avec des stations de cette même croisière du mois d'Août (figs. 55 à 58), entre les St. 283 et 284, d'un côté, et les St. 275, 272, 273 et 286 de l'autre.

Pour calculer le pourcentage de l'eau méditerranéenne de certaines couches de la section III, il faut modifier un peu, pour l'eau atlantique, les valeurs choisies dans le cas de la section II. On se rapprocherait probablement davantage de la réalité si, au lieu de $S = 35,8 \text{ ‰}$ et $T = 13^\circ$, on prenait $S = 35,6$ et $T = 12^\circ$. Cette modification paraît indiquée par les valeurs qui se trouvent dans une grande partie du Golfe de Gibraltar, entre moins de 400 m et plus de 600 m. Dans la section II, par suite des profondeurs moindres et de la présence du courant de l'eau méditerranéenne, la couche d'eau atlantique ne peut avoir qu'une épaisseur relativement faible et, par suite, ses caractères doivent correspondre à ceux des couches plus superficielles du large, à l'ouest. Au fur et à mesure qu'on s'éloigne du Déroit, l'augmentation de profondeur et la descente des eaux mixtes permettent une plus grande épaisseur de l'eau atlantique qui a, d'une façon générale, comme on le sait, une salinité et une température d'autant plus faibles que la profondeur augmente. De là, la diversité des valeurs choisies maintenant pour un des extrêmes dans la détermination tentée pour le cas de la section III. Ces valeurs correspondent d'ailleurs aux minima observés dans cette section.

Partant de cette hypothèse, on trouve que le pourcentage d'eau méditerranéenne dans les couches profondes varie grossièrement entre 46 ‰ à 500 m de la St. 275, où la salinité est de 36,91 ‰, et 23 ‰ à 600 m de la St. 285, où $S = 36,24 \text{ ‰}$. Ce résultat, même admis avec toutes réserves, indique une dilution considérable de l'eau méditerranéenne pendant le débordement par-dessus le seuil du Déroit et pendant le trajet immédiatement après, puisque la distance entre les St. 283 et 275 est à peine de trente sept milles. Dans la première il existe encore de l'eau méditerranéenne pratiquement pure, tandis que, dans la seconde, le plus fort pourcentage est un peu inférieur à 50 ‰.

Si on passe à la section suivante, la IV (fig. 48 et 52), on trouve une disposition différente des couches ayant un certain pourcentage d'eau méditerranéenne. En effet, si on néglige les conditions existantes de 0 à 200 m, qui d'ailleurs sont en général assez analogues à celles de la section antérieure, on voit que de 200 m à 400 m la salinité et la température diminuent régulièrement en direction verticale dans toute la section, mais que, à partir de 400 m, les moitiés nord et sud deviennent dissymétriques.

Dans la partie nord la salinité et la température augmentent sensiblement plus ou moins près du fond dans toute les stations, atteignant des valeurs de 36,83 ‰ dans la St. 280 à 800 m; 36,38 dans la St. 268 à 450 m; 36,36 à 550 m de la St. 269; 36,13 à 1000 m de la St. 271, et même, à 1100 m de la St. 264, qui est la plus profonde de toutes, on trouva 35,90. De même la température s'élevait à $12^\circ,4$; 13° ; $12^\circ,6$; $10^\circ,8$ et $9^\circ,6$.

Dans la partie sud il n'y avait rien d'analogue pour ce qui concerne l'augmentation absolue des plus fortes valeurs observées, bien que la salinité soit de 35,62 près du fond, à 800 m, dans la St. 263, supérieure à 35,57 et 35,56 trouvées à 700 et 600 m.

La ligne des valeurs minima de la salinité dans la section, commence à 300 m à la St. 268 et passe à 400 m de la St. 269 pour atteindre 600 m dans la St. 270, niveau qu'elle conserve jusqu'à la St. 263, la plus rapprochée de la côte du Maroc.

En somme, on voit par cette section que l'eau profonde renfermant le plus fort pourcentage d'eau méditerranéenne se trouve surtout le long du talus nord du Golfe de Gibraltar où elle occupe une zone assez considérable, zone qui est bien mise en évidence par l'isohaline correspondante de 36 ‰. Il est clair, soit dit en passant, qu'en aucun cas, nous ne prétendons pas affirmer que cette isohaline représente la limite de l'eau mixte. Au contraire, par le graphique T-S (fig. 67) correspondant aux stations des sections IV, non seulement de celle du mois d'Août 1929 mais aussi des autres de Mai 1928 et Février 1929, on voit clairement qu'il y a dans toutes les stations, à partir de 600 m, une perturbation par augmentation de salinité, parfois très faible — St. 234, 240 et 263 —, d'autres fois plus forte, et atteignant le maximum à la St. 270. C'est l'isohaline de 35,7 ‰, et peut-être plus encore celle de 35,60, qui marquerait le plus exactement la limite supérieure, dans cette section, de l'influence de l'eau méditerranéenne.

L'évaluation du pourcentage de l'eau méditerranéenne dans les couches profondes de la section IV, faite comme pour la section III, indique encore 44 ‰ à 800 m de la St. 270, et près de 30 ‰ pour les observations plus profondes des St. 268 et 269. Dans les autres stations le pourcentage est moindre, environ 19 ‰ pour la St. 271 et 11 ‰ vers 1000 m de la St. 264.

A propos de cette section on peut rappeler le mécanisme imaginé par le Prof. RAFAËL DE BUEN pour expliquer, sans recourir à l'influence méditerranéenne, l'existence d'eau de salinité élevée et de température supérieure à celle des couches voisines, près du fond de la partie septentrionale du Golfe de Gibraltar.

Quoique ingénieux, ce mécanisme ne nous paraît admissible. D'après le Prof. R. DE BUEN, ce mécanisme consisterait en une « descente des eaux de haute salinité que nous trouvons toujours en surface dans la Mer d'Espagne »; et il ajoute: « l'origine de cette descente des eaux salées de surface peut s'expliquer, comme nous l'avons déjà signalé plusieurs fois, par le choc avec les eaux de température et de salinité inférieures occupant la région côtière. Aussi l'augmentation de la température dans la couche salée profonde peut être expliqué simplement par la conservation des caractères des eaux de surface pendant leur descente, qui doit permettre que ces eaux aient une température supérieure de celle des couches d'eaux avec lesquelles elles arrivent à se mettre en équilibre. »¹⁷⁾

Nous ne tiendrons compte, pour le moment, que de la descente des eaux invoquée par le Prof. R. DE BUEN et négligerons la cause: le choc des eaux diverses près des côtes du Portugal, qui d'ailleurs nous ne comprenons pas bien.

Nous avons essayé de reconnaître l'extension en profondeur du processus de convection dans le sens vertical et la variation de salinité qui en résulte, convection qui est, comme on le sait, produite par le refroidissement hivernal de l'atmosphère sur les couches superficielles qui, pendant l'été, se présentent très fortement salines.

D'après le diagramme (fig. 53) qui donne la salinité pour chaque profondeur des stations faites soit en été (Août), soit en hiver (Février) le long de la section IV, on voit, sauf une seule exception à la St. 267, qui est d'ailleurs la plus voisine de la côte, que la

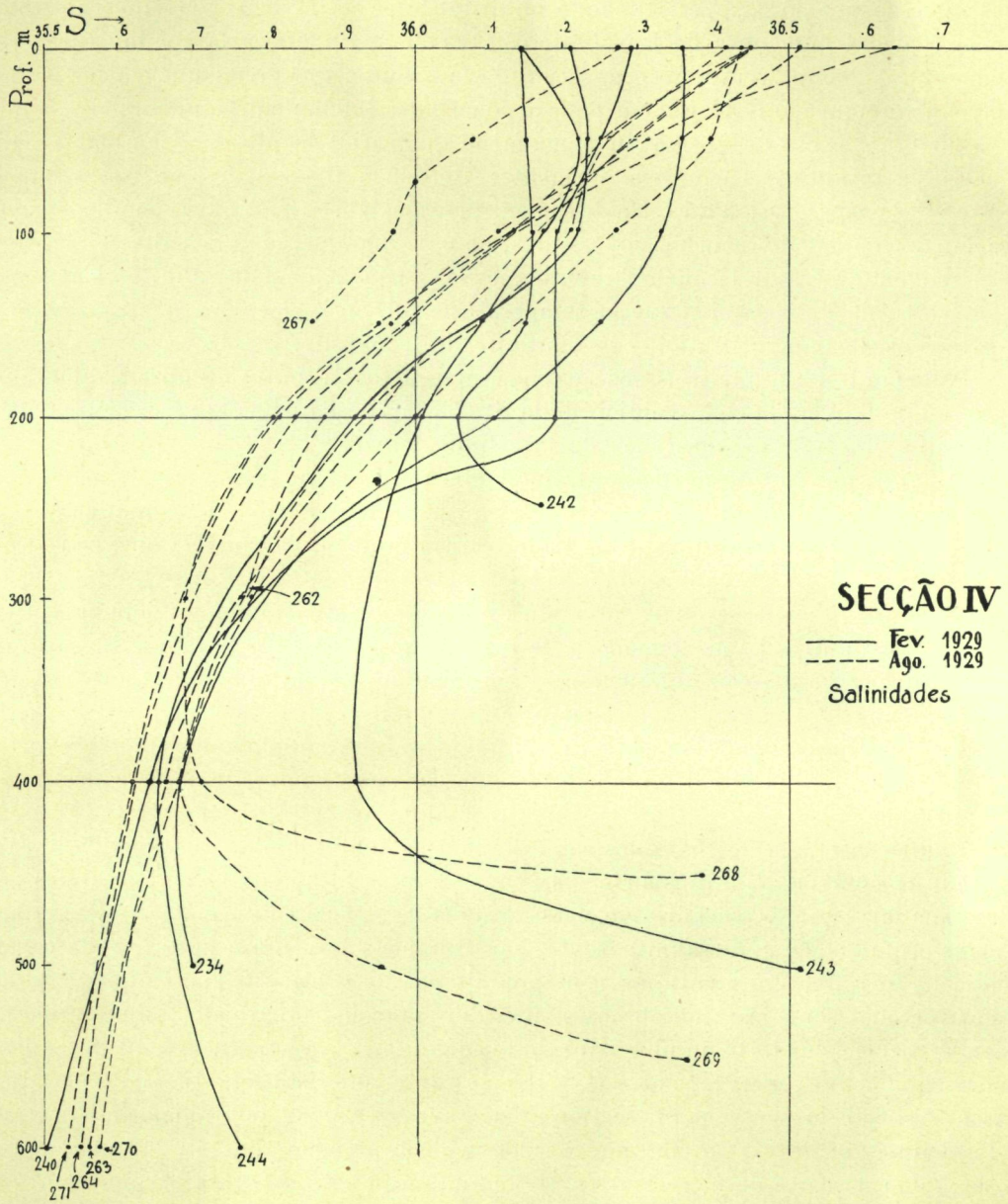


Fig. 53.

salinité, en été, atteint des valeurs très élevées en surface, variant de 36,4 à 36,65 ‰, pour diminuer régulièrement en profondeur, de façon que, à 200 m, les valeurs sont comprises entre 35,8 et 36 ‰. Vers 100 m, à mi-distance de ces niveaux extrêmes, on trouve aussi les valeurs moyennes de la salinité, 36,1 à 36,3. En hiver, la tendance générale est, entre 0 et 200 m, vers l'uniformisation de la salinité, qui prend une valeur près de la moyenne indiquée antérieurement pour la couche des 100 m de profondeur; c'est-à-dire, 35,8 à 36,0 ‰. L'interprétation du phénomène qui paraît la plus vraisemblable serait que, c'est la totalité des eaux qui forment cette couche de 200 m d'épaisseur qui est atteinte par la répercussion du refroidissement hivernal. Il se ferait ainsi, pendant l'hiver, un mélange complet des couches supérieures, de 0 à 100 m, ayant une salinité plus forte que la moyenne, avec les couches inférieures de 100 à 200 m, de salinité moindre, et cela en vertu de l'abaissement de la température qui, en surface, va de 22° environ à 15,6—16°, et de l'augmentation concomitante de la densité.

A 300 m il n'y a que trois observations, mais à 400 m toutes les observations aussi bien l'été que l'hiver, sauf l'exception de la St. 243, qui est d'ailleurs assez voisine de la côte, montre une grande constance de la salinité, environ 35,6 ‰.

Il paraît par suite, tout d'abord, que l'effet de la convection verticale ne doit pas se faire sentir directement beaucoup au-dessous de 200—300 m de profondeur et, en second lieu, que l'augmentation de la salinité résultante de la convection verticale ne dépasse point 36,15 ‰ au plus, dans cette même couche.

Pour expliquer la seconde partie du cycle des variations dans les couches autour de 200 m, c'est-à-dire l'abaissement de la salinité pendant l'été il faut admettre une montée des eaux de niveaux inférieurs, du voisinage de 300 m, qui serait, soit plus prononcée pendant l'hiver, soit moins troublée par d'autres processus pendant la saison froide. Ce mouvement ascensionnel, déjà mentionné dans une étude antérieure¹⁸⁾, pourrait être probablement de l'ordre de grandeur de 30 m par mois, en direction verticale, d'après la supputation de McEWEN pour les côtes de Californie.¹⁹⁾

D'autre part, «la descente des eaux de haute salinité» dont parle le Prof. RAFAËL DE BUEN, ne pourrait pas transporter de fortes salinités jusqu'aux couches les plus profondes sans laisser des traces de son passage dans les couches intermédiaires. Or, entre la couche profonde d'eau de salinité élevée, par exemple supérieure à 36 ‰, et la couche superficielle de caractère identique, il n'apparaît pas de continuité dans aucune de nos stations, et elles sont assez nombreuses. Bien au contraire, on trouve toujours une extension verticale, plus forte ou plus faible, où la salinité et la température ont des valeurs moindres que celles observées entre les extrêmes de chaque station. La seule exception apparente est celle présentée par la section IV de Février 1929 (fig. 60). Même en admettant que l'isohaline de 36 ‰ se continue de 200 m de profondeur des St. 244 et 243 vers plus de 400 m de cette dernière station (le minimum observé à 400 m est de 35,92 ‰), on voit que l'isohaline de 36,1 ‰ est fragmentée vers les 200 m de la St. 242, la plus voisine de la terre, et entre ses deux rameaux il y a un minimum de 36,06 ‰. Cette disposition diffère de celle de la section IV de Mai 1928 et d'Août 1929 parce qu'elle a un minimum moins accentué, mais elle concorde pour les autres caractères et ne semble pas justifier la conception de Prof. R. DE BUEN, d'autant plus qu'il s'agit d'observations

d'hiver, donc faites à une époque pendant laquelle les effets de la convection verticale antérieurement mentionnés sont les plus intenses.

En somme si on limite à 200, ou même à près de 300 m, la descente d'eaux superficielles de forte salinité (accompagnée, pourtant, d'une certaine dilution par le mélange avec d'eaux moins salines), mais due au refroidissement hivernal et non pas à un « choc d'eaux diverses », on peut être d'accord avec le Prof. RAFAËL DE BUEN sur un certain phénomène océanographique réel. Mais c'est tout. D'aucune façon, ce phénomène n'explique l'existence des eaux de salinité relativement élevée, 36,51 ‰, par exemple dans la St. 243, à 500 m, (section IV de Février 1929).

Encore au sujet de la section IV du mois d'Août (fig. 52), il importe d'attirer l'attention, dès maintenant, sur l'existence de deux maxima de salinité, l'un à 400 m de la St. 268 et l'autre à 800 m de la St. 270. La question sera reprise avec la section suivante.

La section V du mois d'Août 1929 (fig. 54), est la plus occidentale et présente des conditions océanographiques en quelque sorte de transition pour l'Atlantique voisin du Golfe de Gibraltar. La plupart des stations ont des profondeurs supérieures à 2000 m, mais les observations sont limitées à ce niveau.

On observe une distribution différente de la salinité, par rapport aux sections antérieures, car le maximum profond de salinité ne repose pas partout directement sur le fond, mais se trouve comme suspendu entre le minimum intermédiaire supérieur et les basses salinités qui se rapprochent de la valeur typique de l'eau de fond (« Bottom-Water ») de l'Atlantique.

Négligeant les conditions océanographiques supérieures, qui, d'une certaine manière, sont plus ou moins analogues à celles des autres sections, on voit presque dans toute l'extension de la section, entre 200 et 600 m environ, que l'eau varie peu de salinité et de température. C'est dans cette couche qui se trouve le minimum intermédiaire, plus ou moins profondément situé, de valeur $S = 35,6$ ‰ et $T = 11^\circ$. Au-dessous de cette ligne de valeurs minima, la salinité et la température augmentent plus fortement dans la partie nord, du côté du Portugal, la salinité atteignant 36,34 et 36,50 ‰. L'isohaline profonde de 36 ‰, qui entoure une très grande aire de la section, commence à 600 m de la St. 288, s'étend au-delà de la St. 258, déjà près du Maroc, où elle contourne les 1200 m et retourne par des profondeurs plus fortes, jusque vers 1600 m dans la St. 254. Les températures observées dans cette aire sont comprises entre 10° et $12^\circ,5$. Au-dessous de cette isohaline, la diminution soit de la température, soit de la salinité, est régulière, atteignant la première $4,5^\circ$ à 2000 m, et la dernière 35,17 et 35,39 ‰.

On observe donc encore, une dissymétrie de la distribution, spécialement de la salinité, entre le côté nord et le côté sud, comme dans la section IV. Les maxima les plus accentués sont toujours au nord.

Si on calcule, comme pour les sections antérieures, le pourcentage de l'eau méditerranéenne existant aux points de plus forte salinité, on trouve, supposant le mélange entre des eaux avec 38,40 et 35,60 ‰, qu'à 1400 m de la St. 254 il y aura encore près de 33 ‰ d'eau méditerranéenne, et 25 ‰ à 700 et 750 m de la St. 288, à 1000 m de la St. 253, et à 1200 m de la St. 254.

Si l'erreur de cette évaluation n'est pas exagéré, on peut admettre que, même

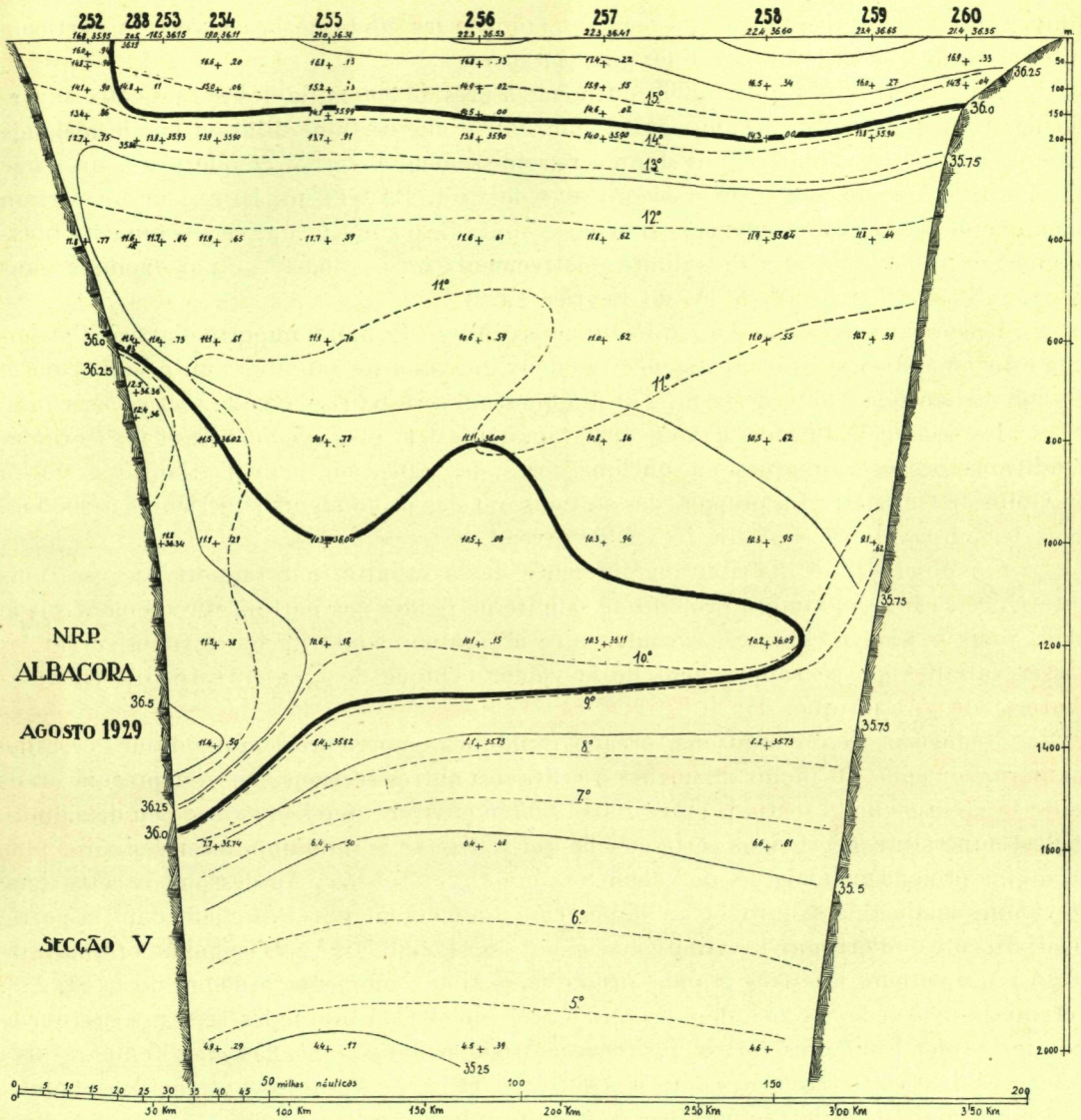


Fig. 54.

dans cette région il y a encore des couches renfermant de un tiers à un quart d'eau d'origine méditerranéenne.

Comme dans le cas de la section IV antérieure, on voit dans la section V, qu'il existe deux noyaux d'eau, près du talus nord du Golfe de Gibraltar, avec les valeurs de salinité relativement très élevée, autour de 700 m de la St. 288 at de 1400 m de la St. 254. Cette répétition parait indiquer un rapport de continuité entre les noyaux correspondants des deux sections. Il semble que le noyau supérieur qui se trouve à 450 m de la St. 268 de la section IV serait descendu, après avoir longé le talus septentrional du Golfe de Gibraltar

jusqu'à 700 m de la St. 288 de la section V. Dans le premier point la salinité est de 36,38‰ et la température 13°, dans le second 36,36‰ et 12°,4—12°,5. Le noyau inférieur serait également descendu de 800 m de la St. 270, section IV, jusqu'à 1400 m dans la St. 254 de la section V. La salinité et la température sont respectivement 36,83‰ et 12°,4 pour le premier endroit, et 36,50‰ et 11°,4 pour le second.

Deux hypothèses se présentent pour expliquer cette disposition. Par la première, le noyau supérieur représenterait une veine d'eau constituée par un mélange dont l'apport méditerranéen serait venu par le canal nord du Déroit de Gibraltar, débordant à un niveau plus élevé que celui du canal sud, et qui aurait toujours suivi non seulement plus près de la côte, mais aussi à une moindre profondeur et avec une moindre salinité (v. section II, St. 281, fig. 50). Dans la section III (fig. 51), ce noyau serait représenté dans la St. 286 par l'eau trouvée à 450 m dont la salinité est de 36,44 et la température de 13°. Le noyau inférieur serait constitué par une seconde veine d'eau de mélange atlantique-méditerranéenne, dont l'apport méditerranéen viendrait par le canal sud, à un niveau inférieur, et courrait d'abord le long du ravin est-ouest pour, plus à l'ouest que dans le premier cas, se dévier vers la droite (nord). Il se trouverait ainsi à 500 m de la St. 275, section III; à 800 m de la St. 270 dans la section IV et, enfin, à 1400 m de la St. 254 de la section V.

Par la seconde hypothèse, au lieu de supposer une origine simultanée pour les deux veines d'eau, dont les noyaux seraient, en quelque sorte, les coupes transversales, ceux-ci proviendraient de la différence dans les quantités d'eau méditerranéenne extravasée et des variations saisonnières de sa vitesse aussi bien que de la répercussion des changements de l'intensité du courant opposé superficiel vers l'est. A une période de déversement minimum, permettant un mélange plus accentué, donc une dilution plus poussée — noyau supérieur — suivrait une autre période de plus fort écoulement. Celui-ci, empêchant une diminution aussi importante de la salinité du mélange final, donnerait origine à des masses d'eau qui, en vertu de sa densité plus élevée, suivraient dans son déplacement un niveau plus bas — noyau inférieur. Suivant cette hypothèse, les variations saisonnières du débit à la sortie du Déroit se feraient sentir à l'ouest, jusque même en des points assez éloignés, par des modifications des valeurs de la salinité. Dans le cas de nos observations du mois d'Août par des maxima séparés mais simultanés, dans le cas d'observations successives, par changement soit de la forme, soit de l'extension, soit de la valeur absolue de la salinité des couches plus salées.

Sans insister davantage sur ces questions hypothétiques, il convient cependant, de remarquer que, contrairement aux suggestions du Prof. SCHOTT, mais d'accord avec le Dr. NIELSEN, les sections III, IV et V de Février et du mois d'Août semblent indiquer que le plus fort écoulement de l'eau méditerranéenne, ou, plus exactement, la plus forte extension atteinte par son mélange avec l'eau atlantique, se fait, dans le Golfe de Gibraltar, pendant l'été.

Les sections A, B, C et D, de direction générale est-ouest et établies comme on peut le voir sur la carte (fig. 48), aident à compléter le tableau des conditions océanographiques dans le Golfe. Elles sont du genre de celles, bien connues, de NIELSEN, HELLAND-HANSEN, SCHMIDT, SCHOTT, etc., présentant à peine de nouveau la particularité

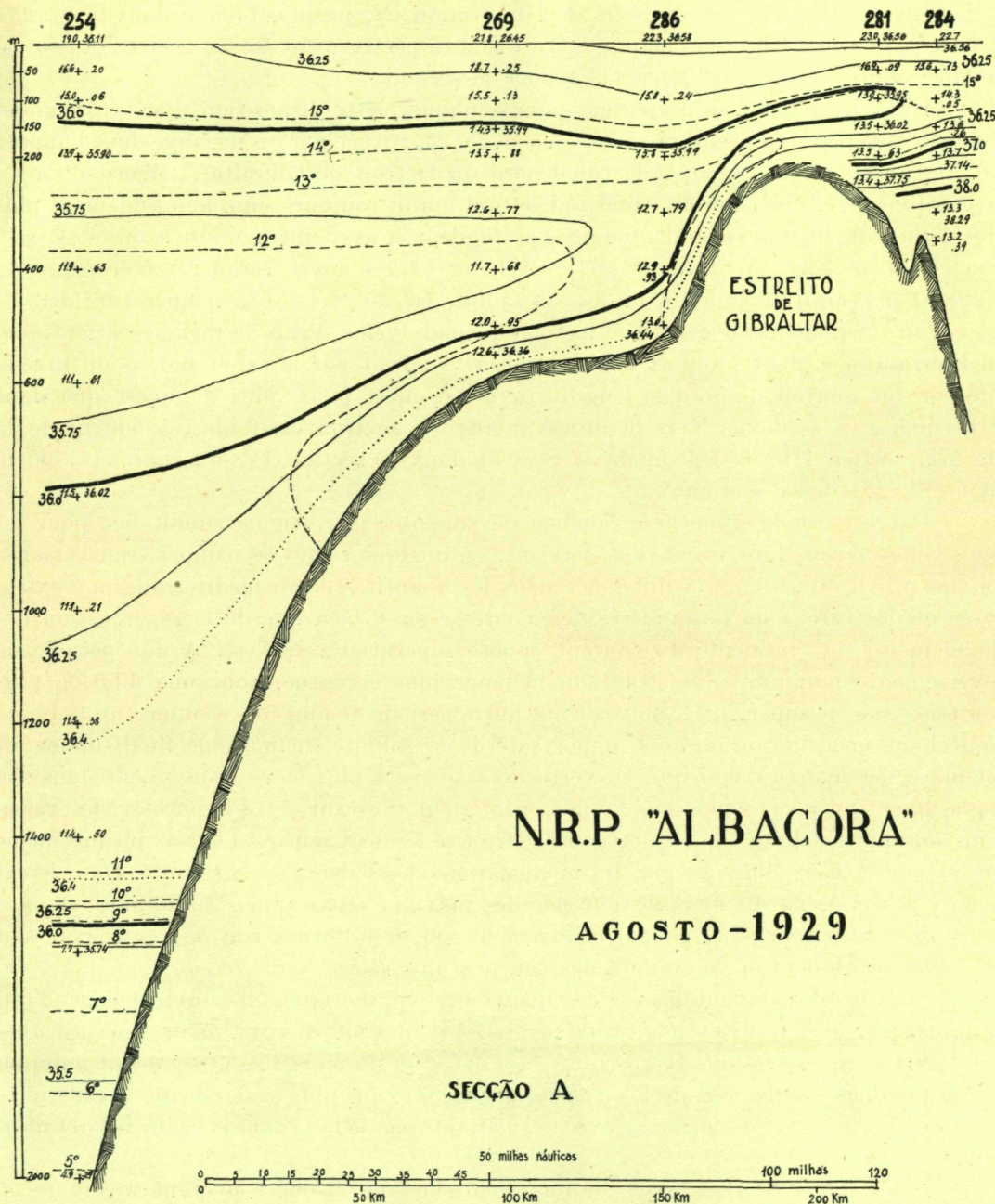


Fig. 55.

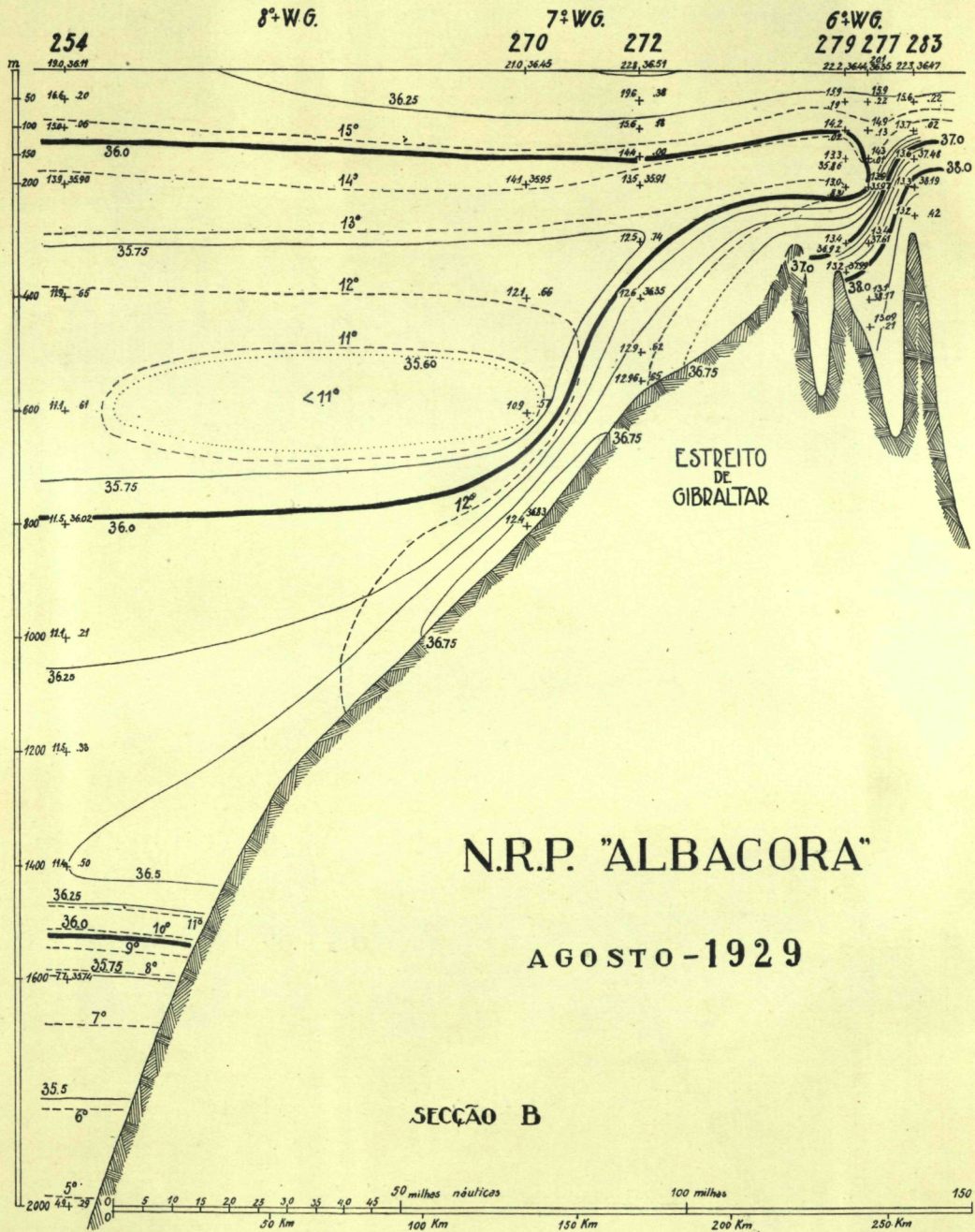


Fig. 56.

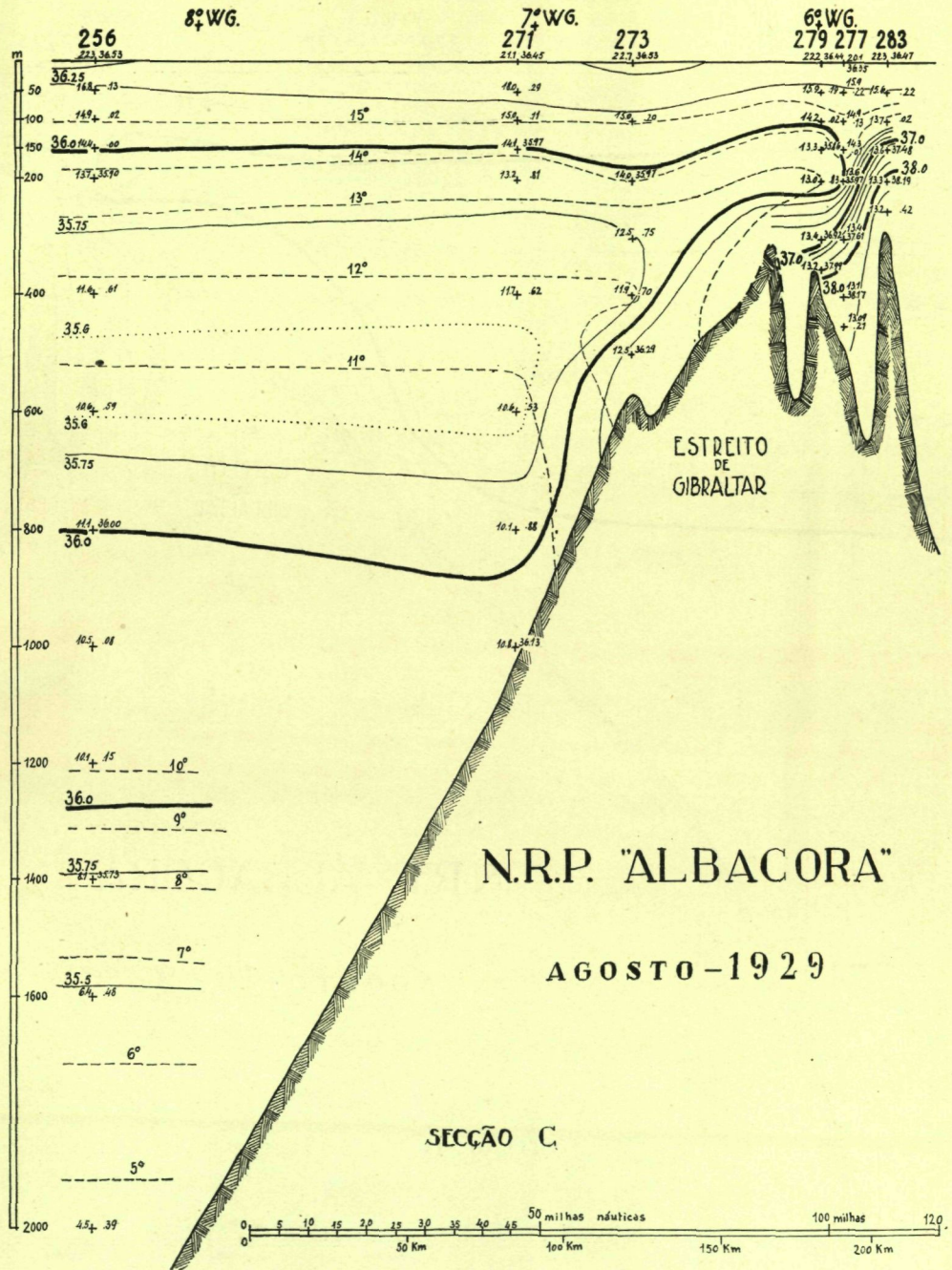


Fig. 57.

de comprendre seulement un ensemble de stations plus nombreuses faites dans une période assez limitée, un mois.

Février 1929. Les observations faites pendant cette croisière sont moins nombreuses que celles du mois d'Août. En tout cas, il est possible de construire avec leurs données trois sections océanographiques de direction nord-sud, plus ou moins correspondantes aux sections III, IV et V de l'été. La carte de la fig. 48 indique leur situation.

Les deux sections III, de Février et d'Août 1929, ne se superposent pas exactement. Seules les St. 236 et 276 coïncident. Les St. 237 et 275 sont assez rapprochées l'une de l'autre, mais la dernière est plus occidentale et sa profondeur plus grande. Toutes ces stations, comme il a été déjà signalé à propos des observations d'Août, sont situées au-dessus de la sorte de ravine qui vient du Détroit de Gibraltar et que semble suivre la

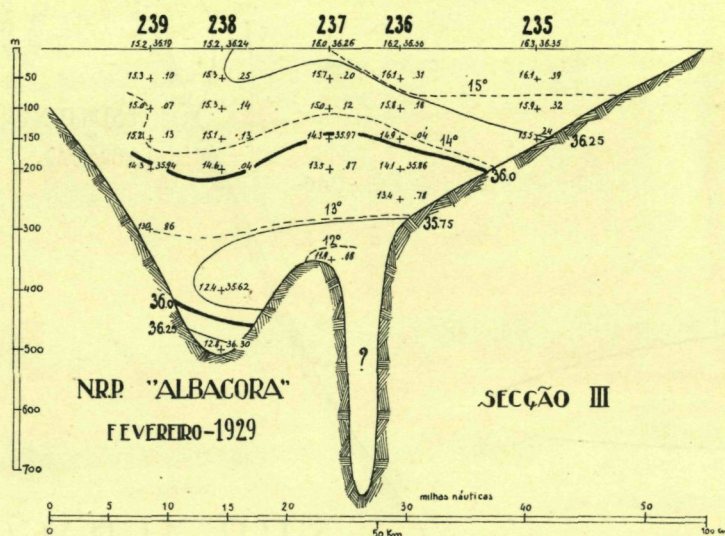


Fig. 59.

voie de plus forte extravasation de l'eau d'origine méditerranéenne. Ce qui est remarquable, dans ces conditions, c'est que, en Février 1929, nous n'ayons pas rencontré dans ces parages (St. 237) (fig. 59) des signes de la présence de cette eau aux plus grandes profondeurs atteintes. L'explication qui parait la plus vraisemblable c'est que la St. 237 a été faite un peu au nord de la-dite ravine et, en effet, la profondeur qui a été mesurée est presque inférieure à celle du seuil lui-même du Détroit. D'autre part, il est aussi très vraisemblable que la sortie d'eau méditerranéenne soit moindre pendant l'hiver ou qu'il y ait des variations assez grandes du volume des eaux qui se déversent vers l'Atlantique mais sans périodicité bien définie. Pour ce qui a trait à des variations saisonnières, l'examen des autres stations de la même section III de Février, toutes situées plus à l'est de la même section du mois d'Août, semble appuyer cette conclusion. La plus grande salinité profonde a été trouvée à 500 m de la St. 238, et, à elle seule, constitue une preuve suffisante pour montrer encore l'existence d'eau méditerranéenne dans la section III.

La section IV, presque superposée à celle de même dénomination du mois d'Août (fig. 48 et fig. 60), en diffère pourtant par sa situation un peu plus à l'est et, donc, aussi par des profondeurs un peu moindres. Tout comme pour le cas de la section III, il y a en Février une réduction considérable dans la masse d'eaux profondes de salinité élevée. C'est seulement à 500 m de la St. 243 qu'on trouve 36,51 ‰, valeur qui, fait digne de note, est même supérieur à la plus forte salinité profonde de la section III (St. 238). Dans la section suivante, la V (fig. 61), le fait se répète, car à 1000 m de la St. 225 la salinité est encore plus élevée, et égale à 36,55 ‰. Ces données confirment toujours la supposition, déjà présentée, de la moindre extravasation d'eau méditerranéenne pendant l'hiver.

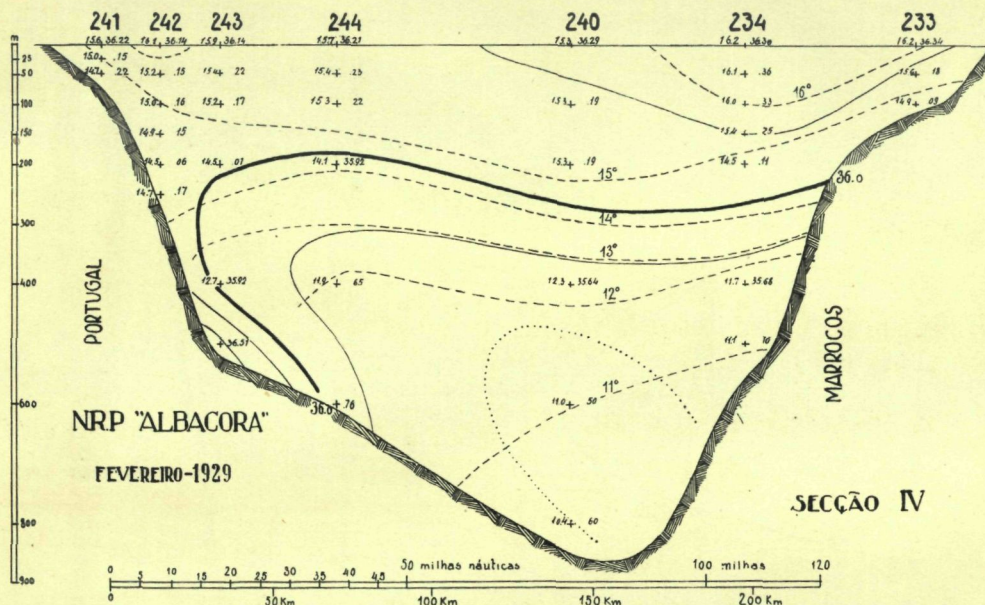


Fig. 60.

Nous avons déjà signalé aussi la continuité possible de l'isohaline de 36 ‰ au nord de la St. 243, entre 200 et 400 m de profondeur. Nous avons même discuté un peu longuement la question et il n'est pas besoin d'y revenir.

La section V (fig. 61), bien que plus incomplète que celle du mois d'Août, montre de même l'extension que prend, à cette époque, l'influence de l'eau d'origine méditerranéenne à une distance qui est de 150 milles environ du Détroit de Gibraltar. Comparativement à ce qui a été observé au mois d'Août, cette influence se fait sentir sur une aire plus faible de la section Saint Vincent-Casablanca.

L'ensemble de ces trois sections a aussi été utilisé, comme nous l'avons déjà exposé, pour étayer l'hypothèse explicative des noyaux de salinité maxima à des diverses profondeurs. Il y aurait des variations considérables dans le débit de l'extravasation de l'eau méditerranéenne suivant le fond du Détroit, variations qui se traduiraient quelque-

fois par cette sorte d'individualisation des jets successifs. Le noyau observé dans ces sections de Février correspondrait donc à la sorte de jet qui serait sorti pendant l'été ou l'automne précédent.

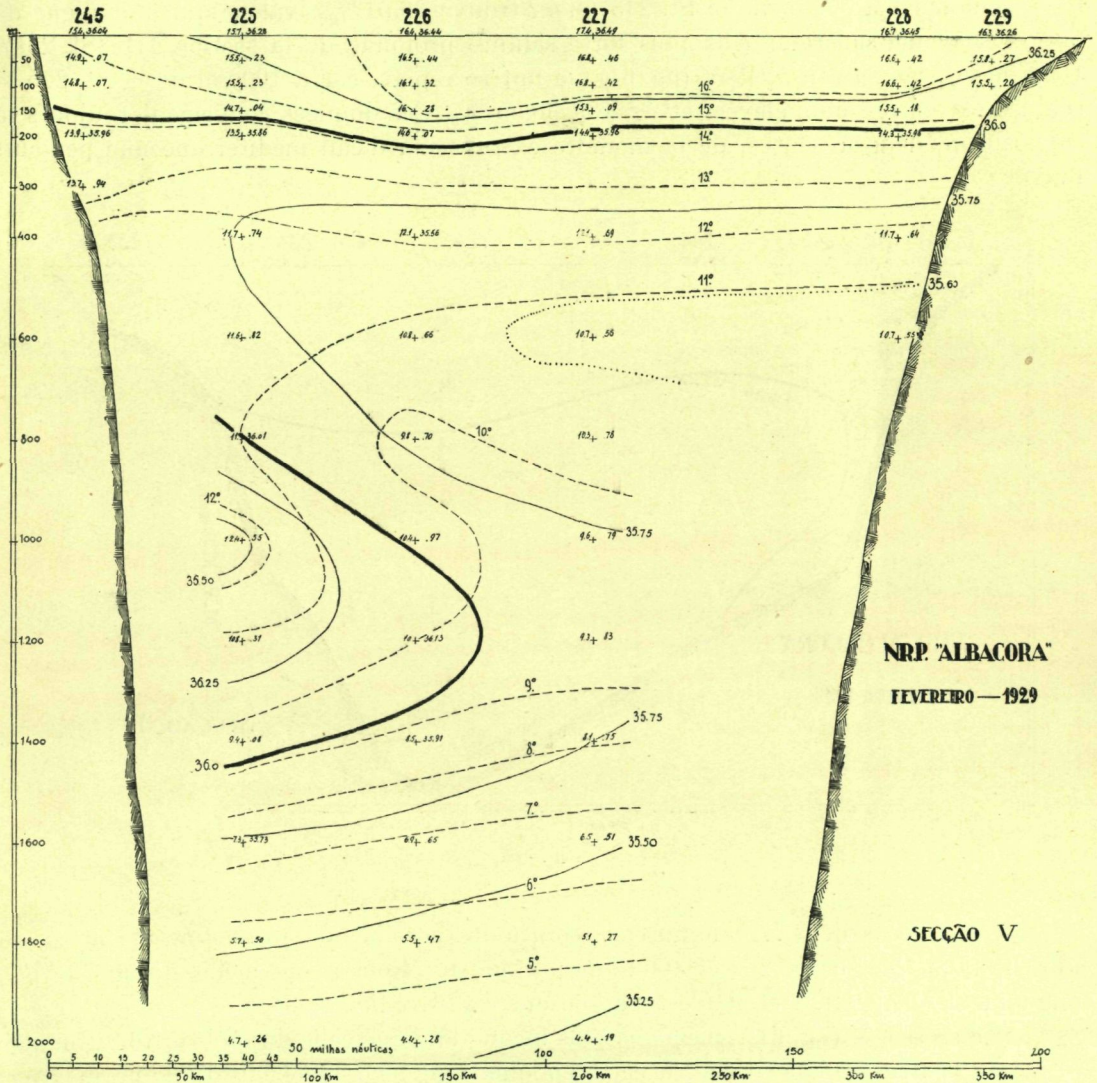


Fig. 61.

Mai 1928. On n'a fait que deux sections correspondantes aux IV et V. La première (figs. 48 et 62), située à l'est des sections IV de Février et Août 1929, montre le maximum de salinité profonde à 800 m de la St. 208, ayant une valeur de 36,27 ‰. En tout cas, même à 700 m de la St. 209, la salinité, bien que moins élevée en valeur absolue, est supérieure à celle qui a été observée à 500 m de la même station (35,78 et

35,55 ‰ respectivement). La section V (fig. 63) de Mai 1928 malgré son petit nombre de Stations par rapport à celui des sections de 1929, surtout dans le voisinage du talus européen, permet de voir que les conditions générales se rapprochent plus de celles de Février que de celles du mois d'Août.

Juillet 1927. Nous reproduisons aussi la section V de Juillet 1927 (fig. 64), mais faite à l'échelle adoptée maintenant pour toutes les autres sections, pour faciliter la comparaison des résultats obtenus. Ce fut ce premier essai des travaux de l'«Albacora» sur

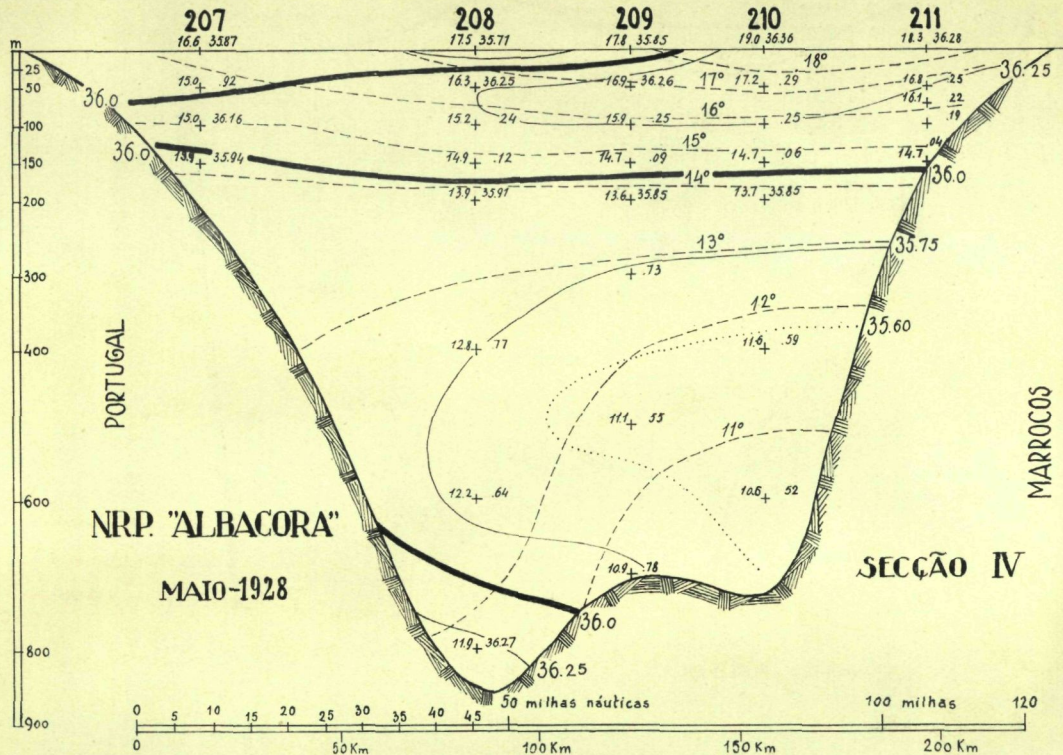


Fig. 62.

les conditions océanographiques profondes du Golfe de Gibraltar, bien que déjà confirmant les résultats des auteurs précédents, qui nous a amené à continuer les observations pendant les années suivantes, en ayant, toutefois, un soin particulier de les faire plus rapprochées, jusqu'à de plus grandes profondeurs et, enfin, à les étendre jusqu'au Détroit de Gibraltar même. Le travail de SCHOTT sur les mouvements de l'eau dans le Détroit (1928) nous a aussi, d'ailleurs, fourni des suggestions que nous avons tâché de suivre.

Corrélation de la température et salinité.

Après le procédé des sections, nous avons employé celui des diagrammes montrant la corrélation de la salinité et température, conçu pour la première fois par HELLAND-

HANSEN (1916 et 1926). Ce procédé a été utilisé dernièrement, par quelques auteurs, par exemple par JACOBSEN (1929). Les résultats de son application aux observations de l'«Albacora» non seulement confirment quelques-unes des conclusions déjà exposées dans le chapitre antérieur, mais aussi permettent de préciser quelques autres indications.

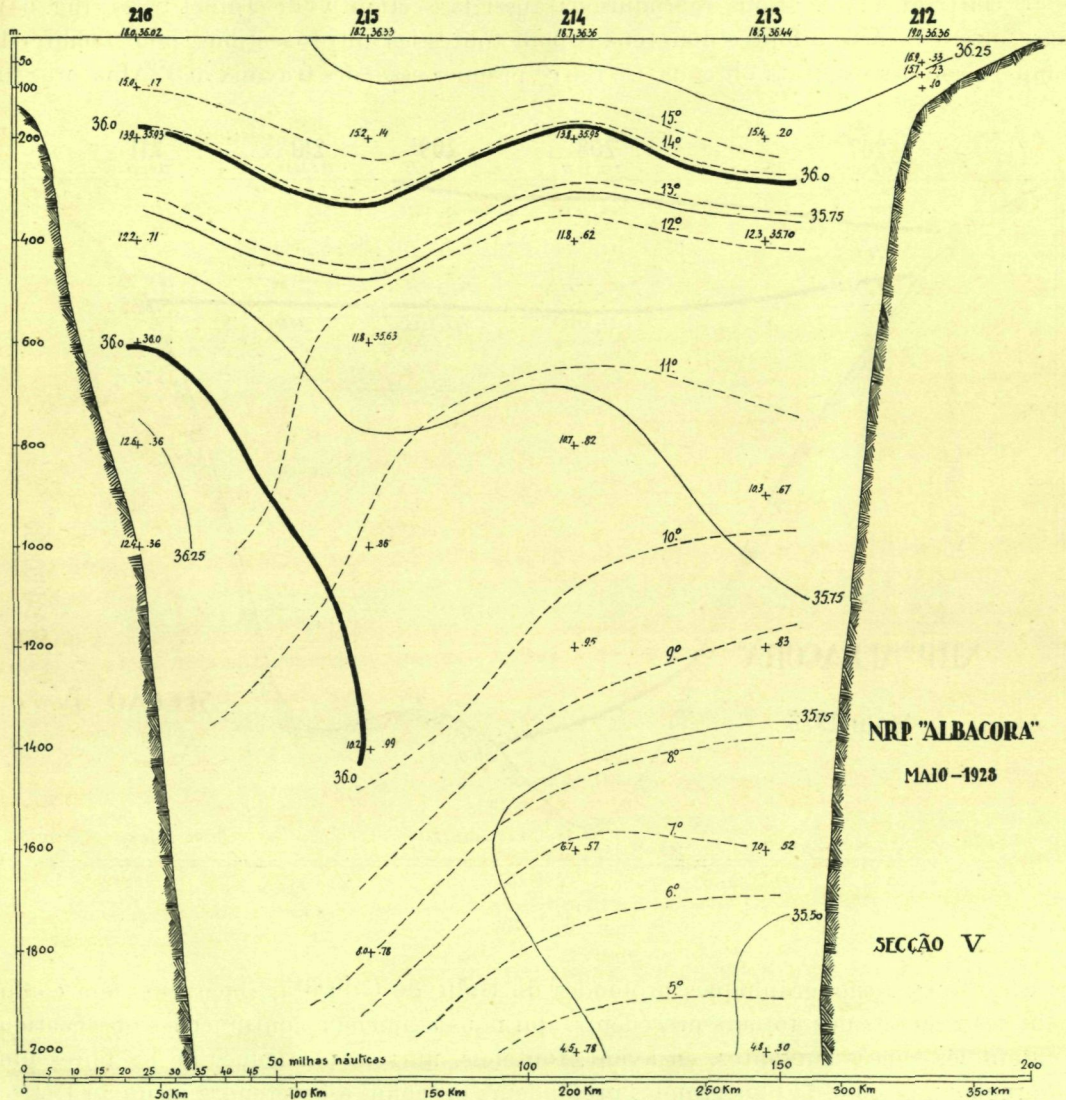


Fig. 63.

Nous avons groupé les observations d'après des sous-aires déterminées du Golfe de Gibraltar, en n'ayant pas égard à la saison pendant laquelle elles ont été obtenues. Nous avons négligé les données des couches les plus superficielles, au-dessus de 100 m pour le Détroit lui-même, au-dessus de 200 m pour les autres cas, et cela pour éviter autant que possible les perturbations d'ordre plutôt météorologique.

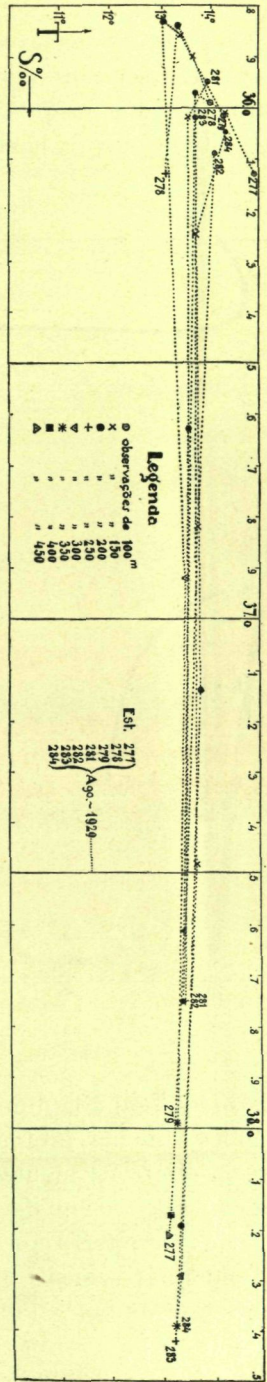


Fig. 65.

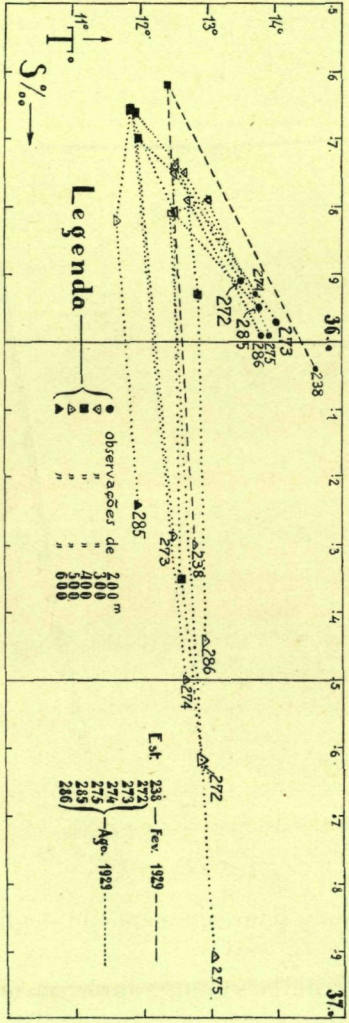


Fig. 66.

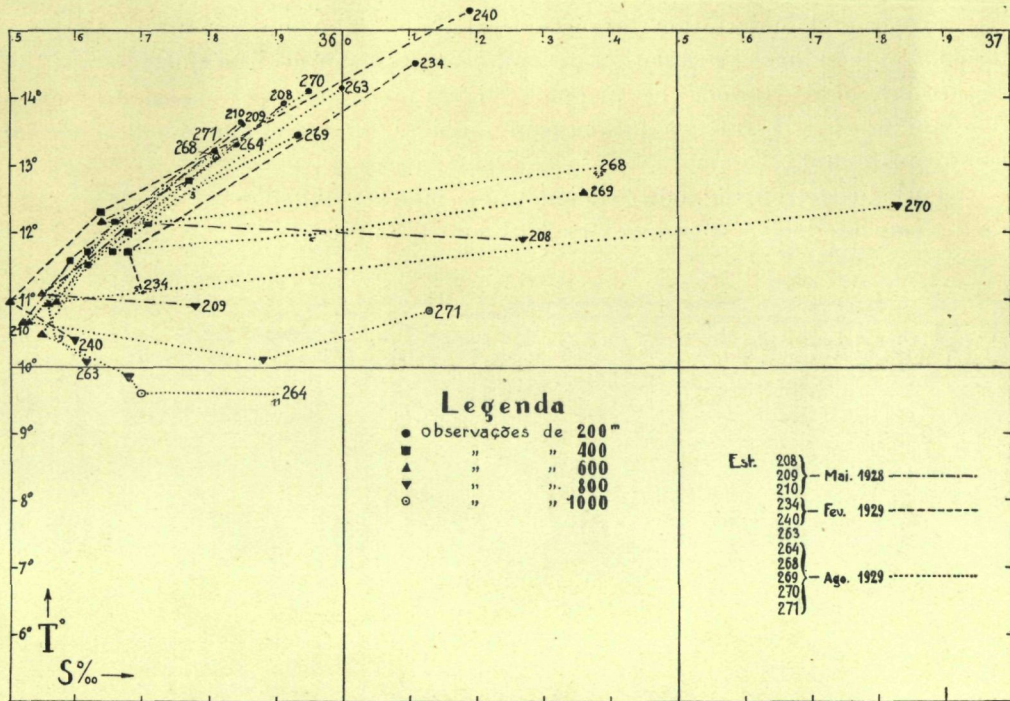


Fig. 67.

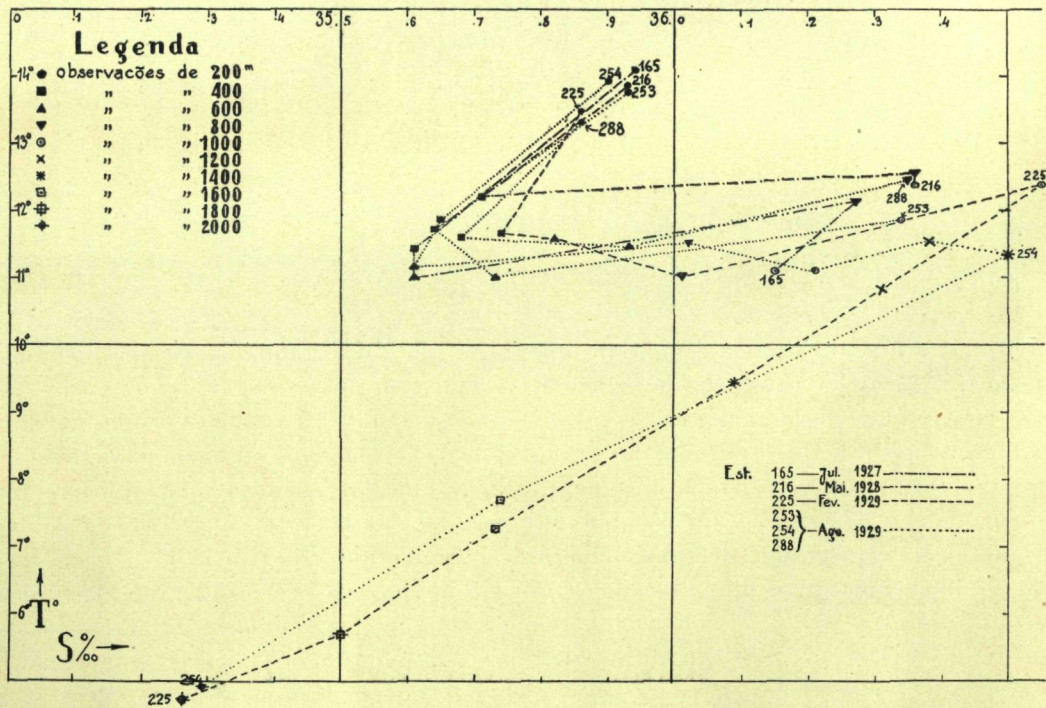


Fig. 68.

A propos de la description des sections, il a été indiqué quels résultats approximatifs on peut obtenir dans l'évaluation du pourcentage d'eau méditerranéenne aux divers points des différentes stations, et quelques chiffres même ont été donnés. Au moyen de ces diagrammes T-S, cette évaluation peut aussi se faire graphiquement d'une façon beaucoup plus simple, comme JACOBSEN (1929) l'a exposé.

A l'est du Déroit (fig. 66), le diagramme montre tout d'abord que le point d'inflexion des courbes de T-S se trouve vers 300—400 m, autour de $S = 35,7 \text{ ‰}$ et $T = 12^\circ$

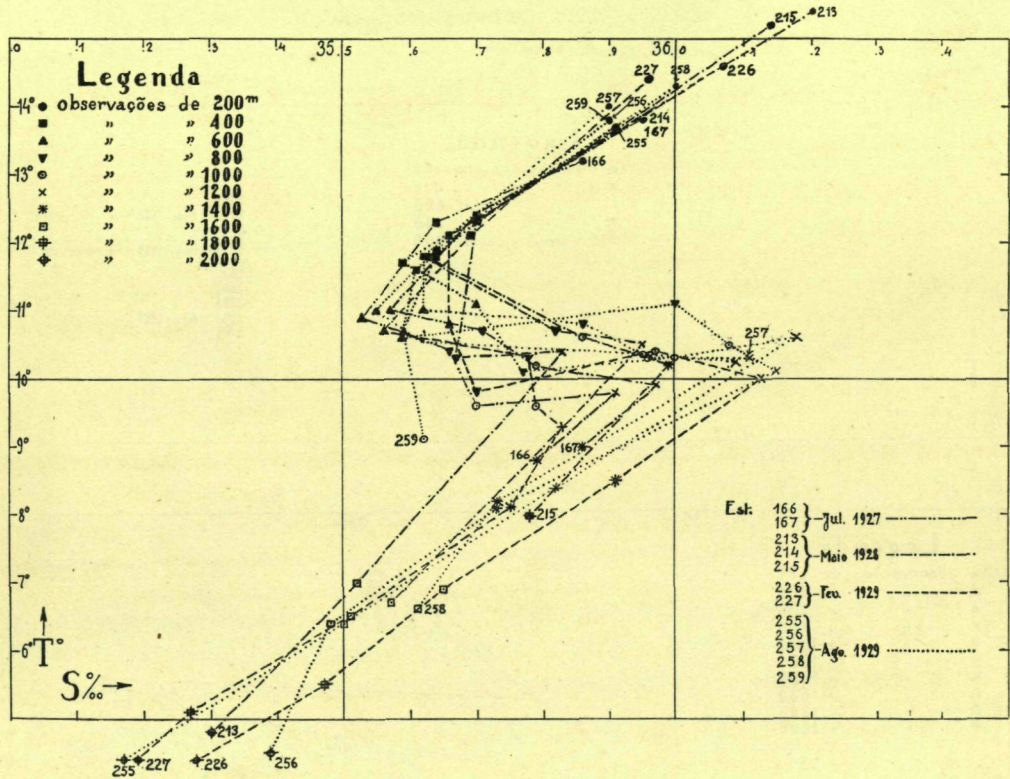


Fig. 69.

environ, c'est-à-dire, que l'eau atlantique a ici une plus grande épaisseur que dans le Déroit. A partir de ce minimum de salinité et, on peut aussi dire, de température, mais la première surtout, augmente très fortement, atteignant des valeurs voisines de 37 ‰ . Si on prolongeait la direction générale et moyenne de cette ligne d'augmentation de salinité et température, on verrait que la ligne du diagramme précédent serait coupée vers une valeur de $S = 37,5 \text{ ‰}$. Ce fait semble indiquer que, dès la sortie du Déroit et en vertu de l'intensité très grande des phénomènes de mélange qui y ont lieu, il se forme, peut-être graduellement mais d'une façon continuée, une masse assez considérable d'eau d'une certaine salinité, 37 ‰ , qui peut fonctionner comme une source aux caractères assez constants. Cette masse d'eau formerait alors, au moins pour une certaine région du Golfe, l'un des extrêmes dans les phénomènes de mélange qui s'y poursuivent.

Le troisième diagramme (fig. 67), correspondant aux stations des sections IV, tout semblablement à ce qui arrive pour celui des sections III, par rapport à celui du Détroit, montre que le minimum de salinité a encore baissé, non seulement dans la valeur mais aussi dans la position des couches d'eau où il est placé. En effet, le minimum de salinité est ici de 35,5 ‰ environ et se trouve à 600 m en général, quelquefois à 400 m seulement. La température au point d'inflexion est aussi inférieure, près de 11°. Les lignes d'augmentation de salinité dans les différentes stations sont ici plus dispersées que dans le cas antérieur, mais leur direction générale et moyenne, prolongée, irait couper la ligne du premier diagramme aussi vers $S = 37,5$ ‰.

Jusqu'à ces sections les valeurs maxima de salinité sont toujours près du fond. Les diagrammes des sections V (fig. 68 et 69), ont un aspect tout autre. Au lieu d'un seul point d'inflexion il y en a maintenant deux: un premier, à partir duquel la salinité augmente jusqu'à un certain maximum, et un second, en ce maximum, à partir duquel elle va diminuer de beaucoup. Le premier point d'inflexion marque la limite inférieure des eaux atlantiques dans la région, le second correspond à l'endroit de plus fort pourcentage de l'eau méditerranéenne diluée.

Pour les stations situées au nord de 36° N. (fig. 68) le premier point est placé à 400—600 m de profondeur; $S = 35,6$ ‰ et $T = 11$ —12°. Le maximum de salinité atteint des valeurs voisines de 36,5 ‰, avec une température de 12° environ, à 1000 m et même à 1400 m de profondeur. Pour les stations au sud de 36° N., (fig. 69) le premier minimum est aussi 35,5—35,6 ‰, avec une température de 11° environ, et placé vers 600 m de profondeur. Le maximum profond n'est pas aussi élevé que dans les stations du nord, car il est de 36,15 ‰ au plus, avec 10° de température, vers 1200 m de profondeur.

Après le maximum le segment inférieur des courbes a une direction qui, prolongée, irait vers le point qui caractérise l'eau de fond («Bottom-water») de l'Atlantique, d'après JACOBSEN (1929, p. 25 et suiv.), c'est-à-dire: $S = 34,9$ ‰ et $T = 2,5$. Comme les stations de l'«Albacora» ont atteint 2000 m de profondeur et les valeurs y trouvées sont de 35,2 ‰ pour la salinité et 4°,5—5° pour la température, il est évident que cette eau de fond est encore assez éloignée, et que, même à 2000 m il y a ici une influence encore appréciable de l'eau de la Méditerranée sortant par le Détroit de Gibraltar.

Notes.

¹⁾ Il nous paraît meilleur d'employer cette dénomination de Golfe de Gibraltar, de préférence à d'autres, comme Mer d'Espagne, de quelques auteurs très récents, à fin d'éviter certaines confusions. Ainsi, suivant O. KRÜMMEL, Handb. d. Ozeanogr., I, 1907, 21, et G. SCHOTT, Geogr. d. Atlant. Ozean, 1.° et 2.° Ed., 1911 et 1926, 42, les marins allemands parlent couramment de Spanische See pour la région océanique située à l'ouest de la Péninsule Ibérique, entre les Açores et le Golfe de Gascogne. Le Golfe de Gibraltar, tel que nous l'entendons, paraît avoir été appelé Sinus Saguti par des auteurs latins (C. PLINI SECUNDI *Naturalis Historiae*, Liber V, 8).

²⁾ Note sur les conditions océanographiques au large de la côte du Portugal, 1927; Rapport Atlantique 1927, Rapp. et Proc.-Verb., 111 et 130, fig. 85.

³⁾ Les données numériques des stations océanographiques de 1927 (St. no. 165 à 168) furent publiées dans le Rapport Atlantique 1927, p. 26 à 28; celles de 1928 (St. no. 207 à 216) dans le Rapp. de 1928 et, finalement, celles de 1929 dans le présent volume.

4) Report on the Danish Oceanographical Expeditions 1908—1910 to the Mediterranean and Adjacent Seas (»Thor«), I, 1912, p. 170 et suivantes.

5) Op. cit., figs. 22 à 25 des pl. IX et X.

6) MURRAY and HJORT, The Depths of the Ocean, Londres, 1912, p. 285—296.

7) Revue Hydrographique, Monaco 1928, V, no. 2, p. 163—166.

8) Intern. Rev. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr., Hydrogr. Suppl. zu B. IV, 1913, 56—66.

9) The Eastern North Atlantic, Geof. Publikasjoner, Oslo, 1926, IV, no. 2.

10) Cp. Sections X, XII, XIII, XIV et XVI, A et C du travail de HELLAND-HANSEN et FRIDTJOF NANSEN.

11) Résultats des Investigations Espagnoles dans le Déroit de Gibraltar, Rapport Atlantique 1926, Rapp. et Proc.-Verb., Copenhague, 1927, XLIV, p. 60—91. Cf. aussi les Rapports Atlantiques pour 1927 et 1928 et Jour. du Conseil.

12) Die Wasserbewegungen im Gebiete der Gibraltarstrasse, Jour. du Conseil, 1928, III, no. 2, p. 139—175.

13) Les conclusions présentées par JACOBSEN, Contribution to the Hydrography of the North Atlantic, The Danish »Dana« Expeditions 1920—1922, Copenhague, 1929, no. 3, n'insistent pas spécialement sur ces phénomènes dans le Golfe de Gibraltar, mais pour ce qui est des régions voisines de l'Atlantique, elles confirment et développent en diverses directions la théorie courante.

14) Cf. HELLAND-HANSEN, 1912; RAFAËL DE BUEN, 1927; G. SCHOTT, 1928, etc.

15) Cette étude était presque entièrement terminée, quand nous avons reçu, fin Avril, les données des observations espagnoles, réalisées en Septembre et Décembre 1929 et en Février 1930 par le navire »Xauen«, que le Professeur Dr. RAFAËL DE BUEN nous a aimablement communiqué. Ces données permettent d'ajouter quelques considérations à ce qui vient d'être dit.

En effet, nos collègues espagnols firent, parmi leurs stations, trois séries: la première le 15 Septembre, la deuxième le 2 Décembre 1929 et la troisième en fin de Février 1930, très voisines de la ligne de notre section II. La première de ces stations espagnoles, que nous désignerons A, est approximativement à 36°03' N. et 5°59' W.G.; prof. 99 et 105 m; elle se trouve sensiblement au nord de notre station no. 281. La seconde position, B, a les coordonnées: 35°57' N. et 5°58' W., prof. 198 et 290 m, est voisine de notre station 281 et est située dans le canal au nord de »The Ridge«. Enfin, la troisième station, C, a les coordonnées 35°51' N. et 5°56,5' W., prof. 415 et 433 m et se trouve entre nos stations 279 et 277.

Pour l'instant, des trois diagrammes que l'on peut établir avec ces trois stations, pour chacun des mois indiqués, nous retiendrons seulement ce qui concerne les plus fortes salinités rencontrées près du fond. Ainsi, dans le canal nord, station B, le »Xauen« a trouvé à 250 m de profondeur, le 15 Septembre, quinze jours après la station 281 de l'»Albacora«, 37,88 ‰; le 2 Décembre, 37,40 et en Février 37,27 à 165 m, valeurs qui sont de l'ordre du maximum de la station 281, à savoir, 37,75 ‰.

A la station C, en pleine fosse, le »Xauen« a trouvé aux mêmes époques, 38,24, 37,76 et 37,88 ‰ à 400 m, valeurs qui sont également de l'ordre des maxima de l'»Albacora« (37,99 à 350 m de la St. 279 et 38,21 à 450 m de la St. 277). Pour le reste, les graphiques concordent aussi avec celui de la section II de l'»Albacora«.

La répétition de ces observations à quatre époques successives, Août, Septembre, Décembre et Février, donnerait aussi quelques indications sur les variations des volumes d'eau d'origine diverse, méditerranéenne et atlantique, s'il ne subsistait des doutes dus à l'existence d'oscillations verticales à courte période, des couches dans le Déroit.

Si, laissant de côté momentanément ces oscillations verticales, on calcule la salinité moyenne des segments superposés de la colonne d'eau dans chaque station pour chacune des quatre époques, on obtient ce tableau:

	Août	Septembre	Décembre	Février		
Stations 281 et B	0—50 m	36,32	36,27	36,13	35,86	} Atlantique
	50—100 m	36,02	36,04	36,02	35,99	
	100—150 m	35,98	36,80	36,12	36,73	} Méditerran
	150—200 m	36,33	37,65	36,52	37,18 ¹⁾	
	200—250 m	37,19	37,76	37,09	—	

¹⁾ de 150 à 175 m seulement.

		Août	Septembre	Décembre	Février	
Stations 277 et C	0—50 m	36,28	36,22	36,06	35,83	} Atlantique
	50—100 m	36,17	36,01	36,04	35,66	
	100—150 m	36,07	35,83	36,04	35,75	
	150—200 m	35,99	35,83	36,04	36,76	} Méditerran.
	200—300 m	36,79	37,14	36,22	37,75	
	300—400 m	37,89	38,17	37,32	37,88 ¹⁾	

¹⁾ de 300 à 350 m seulement.

L'examen de ces données dans les segments les plus profonds de chaque station montre qu'il y eut une augmentation de la salinité moyenne de Août en Septembre, suivi de diminution, même relativement aux valeurs du mois d'Août, en Décembre, et une nouvelle augmentation en Février qui, fait digne de remarque, dans le segment de 200 à 300 m de la Station C, dépassa les maxima correspondants de Septembre.

Il paraît difficile de tirer de ces variations des conclusions précises sur l'intensité moyenne des courants opposés (intensité dans l'acceptation de volume d'eau transportée par unité de temps), aux différentes époques.

¹⁶⁾ Comme pour la note précédente, il convient d'ajouter quelques considérations au sujet de la station du «Xauen» faite en Décembre 1929 et en Février 1930, et dont les coordonnées sont: 35°48',5 N. et 6°12',5 W.G., mais qui a donné la profondeur de 469 m en Décembre et 326 m en Février.

Cette station, qui est située soit dans la seconde fosse soit dans la ravine qui se trouve à l'ouest de la seconde crête transversale du Déroit, est intermédiaire entre nos sections II et III. Les valeurs maxima de la salinité rencontrée près du fond sont aussi intermédiaires entre celles de la station 279 et 275 de l'«Albacora», et confirment par suite ce qui vient d'être dit.

D'autre part elles sont presque égales aux maxima profonds de la station C du «Xauen» en Décembre et Février, mais inférieures à ceux de la même station en Septembre.

Elles montrent encore la très forte influence de l'eau méditerranéenne à cette époque et à cette distance du Déroit de Gibraltar.

Une autre station du «Xauen», 35°51',4 N, 6°13',5 W.G., prof. 250 m, n'indique aucune influence de l'eau méditerranéenne, certainement parce qu'elle est située sur une espèce de crête qui prolonge vers l'ouest «The Ridge» formant une sorte de séparation entre les parties nord et sud du Déroit, et est très peu profonde. Toutefois, une station plus septentrionale, 35°55' N., 6°14' W.G., prof. 250 m, de Février 1930, située au nord du canal, révéla à 200 m la salinité de 36,65 ‰ et à 225 m 37,00 ‰. Ceci prouve encore qu'il se fait aussi par ce canal un écoulement appréciable d'eau d'origine méditerranéenne.

¹⁷⁾ RAFAEL DE BUEN, Régime Hydrographique du Secteur Sud, Rapport Atlantique 1928, Rapp. et Procès-Verbaux du Conseil, Copenhague, 1929, p. 61—62.

¹⁸⁾ RAMALHO et DENTINHO, Remarques sur les conditions océanographiques au large de la côte du Portugal 1927, Rapport Atlantique 1927, Rapp. et Procès-Verbaux du Conseil, Copenhague, 1929, LV, p. 123 (aussi Travaux Stat. Biol. Maritime Lisbonne, no. 15, Février 1928).

¹⁹⁾ G. F. McEWEN, The Distribution of Ocean Temperatures along the West Coast of North America deduced from EKMAN's Theory of Upwelling of Cold Water from Adjacent Ocean Depths. Intern. Rev. d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr., vol. V, 1912; id. Ocean Temperatures their Relation to Solar Radiation and Ocean Circulation. Miscellaneous Studies in Agric. and Biology in the Semicentennial Publications of the Univ. of California, pp. 335—421, 1918; id., The Distribution of Temperatures and Salinities, and the Circulation in the North Pacific Ocean, Bull. of the Scripps Instit. for Biolog. Research of the Univ. of California, no. 9, 1919.

BIANCO LINO A/S, KBHYN