### TRAVAUX

DU

## CENTRE DE RECHERCHES ET D'ÉTUDES OCÉANOGRAPHIQUES

I, QUAI BRANLY, PARIS-VIIe



Tél.: Suffren 55-70

OCÉANOGRAPHIE PHYSIOUE

# CIRCULATION SUPERFICIELLE DES EAUX DANS LA PARTIE ORIENTALE DU BASSIN OCCIDENTAL DE LA MÉDITERRANÉE

PAR

J. LE FLOCH,

CHARGÉ DE RECHERCHES A L'O. R. S. O. M.

ΕT

V. ROMANOVSKY,

DIRECTEUR DU CENTRE DE RECHERCHES ET D'ÉTUDES OCÉANOGRAPHIQUES

La Méditerranée, *Mare Nostrum* des Anciens, entourée des plus vieilles civilisations mondiales, est pourtant, l'une des mers les moins bien connues de l'hémisphère boréal.

Les seules données hydrologiques que nous possédons sur le bassin occidental de la Méditerranée sont relatives aux campagnes océanographiques des Danois (THOR, en 1908-1910 et DANA en 1928-1930). Malheureusement dans le golfe de Gênes et à l'ouest de la Sardaigne les stations sont peu nombreuses. Ces études hydrologiques ont amené NIELSEN à dessiner une carte des courants superficiels de la Méditerranée. C'est la seule carte des courants que nous possédons actuellement.

De nombreux océanographes ont essayé par la suite de vérifier le tracé de NIELSEN par des mesures directes. L. MARINI entre 1914 et 1922 et G. MARINELLI entre 1924 et 1928 ont effectué des lâchers de bouteilles dérivantes, principalement dans la mer Tyrrhénienne. Malheureusement, la quantité de bouteilles immergées (381 par L. MARINI et 136 par G. MARINELLI) étant relativement faible, les résultats obtenus ne sont pas très convaincants.

Nous avons repris l'étude des courants par bouteilles dérivantes et entre 1951 et 1953, procédé au lâcher de

3 000 bouteilles dans l'ensemble du bassin occidental de la Méditerranée. Le pourcentage de bouteilles retrouvées oscille entre 10 et 25 % suivant les régions. Ce pourcentage est maximum dans le golfe de Gênes et la mer Tyrrhénienne qui constituent justement le sujet de la présente étude.

Tout dernièrement, et sur notre demande, N. DELLA CROCE effectua un important lâcher de bouteilles dans le golfe de Gênes et la mer Tyrrhénienne.

Les résultats obtenus à la suite de ces essais sont très intéressants et nous aurons l'occasion d'y revenir.

I. — EXISTENCE D'UN MOUVEMENT GÉNÉRAL DE ROTATION TOURNANT EN SENS INVERSE DES AIGUILLES D'UNE MONTRE AU NORD-OUEST DE LA CORSE

Les trajectoires des flotteurs ont été tracées sur les cartes présentées (fig. 1 à 7) correspondant aux quatre périodes étudiées : hivers 1951 et 1952 et étés 1951 et 1952. Le tracé de ces trajectoires comporte évidemment une part d'interprétation personnelle puisque l'on

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

= £1500

connaît seulement le point de départ et le point d'arrivée de chaque flotteur; cependant le rôle laissé à l'imagination du dessinateur reste assez faible et ne porte que sur des points de détail qu'il serait sans doute intéressant de connaître mais qui ne sont pas nécessaires à la compréhension des résultats. Il est évident que la courbure de nos trajectoires pourrait être modifiée. Par contre l'aspect général de celle-ci nous semble être le seul tracé possible, compatible avec l'ensemble des résultats obtenus. Quand, sur une série de bouteilles lâchées au nord-ouest de la côte Corse, assez peu au large de celle-ci (fig. 7), certaines sont retrouvées dans le golfe de Gênes, près de la frontière franco-italienne, et d'autres sur la côte ouest de l'Italie, comme le montre la figure 7, il est difficile d'admettre un tracé très différent de celui que nous proposons (fig. 7). Quant à faire passer ces bouteilles par le sud de la Sardaigne ou les bouches de Bonifacio, cela conduit dans le premier cas, à une vitesse de courant invraisemblable, et dans l'autre à un tracé bien difficile à justifier, car il faut tenir compte des résultats obtenus grâce aux autres bouteilles lâchées en d'autres points et dans certains cas à quelques heures d'intervalles seulement des premières. D'autre part, les points de lâchers sont nombreux et répartis à peu près uniformément sur la zone étudiée, ce qui permet un tracé plus précis en réduisant la part d'interprétation personnelle. Les résultats de l'été 1952 ont été portés sur quatre cartes différentes pour la clarté du dessin et montrent la méthode employée (fig. 4 à 7).

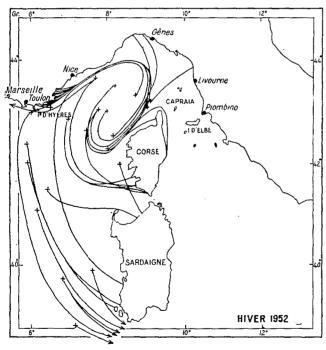


Fig. 1.

L'ensemble de ces tracés (été 1952) conduit à admettre l'existence d'un mouvement général de rotation des eaux dans le sens inverse des aiguilles d'une montre au nord-ouest de la Corse. Le centre de ce tourbillon serait situé approximativement au milieu d'une ligne reliant le Cap Corse à Nice ou peut-être à un point situéplus à l'ouest. Le long de la côte nord-ouest de la Corse, le courant porte au nord-est. Au nord du Cap Corse, il. est rejoint par les eaux ayant franchi le canal Corse-Elbe, dont le mouvement général se fait vers le nord. Il s'infléchit ensuite vers l'ouest pour s'écouler parallèlement à la côte. A partir de la longitude du Cap Camarat une branche du courant descend vers le sud pour reprendrele mouvement que nous venons de décrire. Mais plus à l'ouest (vers la longitude de Toulon) le courant portant au sud continue sa trajectoire jusqu'au sud de la Sardaigne où il tourne vers l'est pour entrer en mer Tyrrhénienne (ce que nous vérifierons par la suite). Au delà de Toulon, devant Marseille par exemple, il ne reste donc plus qu'une faible partie des eaux ayant passé devant Nice. Ce courant se dirige, toujours parallèlement à la côte, vers l'ouest.

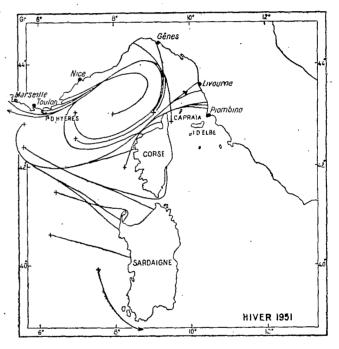


Fig. 2.

La carte (fig. 8) résume les résultats relatifs à l'été 1952. Ces résultats sont confirmés dans leurs grandes lignes et précisés par les mesures de l'été 1951 et des hivers 1951 et 1952.

Sur la figure 8 nous avons placé la limite sud-ouest du mouvement tourbillonnaire (extrémité du grand axe de l'ellipse représentant ce mouvement) un peu à l'ouest du méridien de Nice, ce qui est peut-être un peu arbitraire. Ce tracé est en accord avec la trajectoire de flotteurs allant jusqu'à la côte ouest de la Sardaigne (fig. 6). Par contre la figure 4 suggérait une influence de ce mouvement un peu plus vers l'ouest.

Il est probable que cette extension vers l'ouest du mouvement tourbillonnaire soit sujette à des variations. Ce point est évidemment difficile à préciser puisque l'on

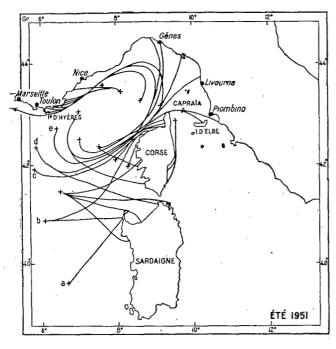


Fig. 3.

Toulons

RUTYERES

CORSE

CORSE

SARDAIGNE

ETÉ 1952

Fig. 4.

ne connaît pas la trajectoire exacte des flotteurs. Cependant quelques indications peuvent être fournies par l'examen des résultats des hivers 1951 et 1952 et de l'été 1951. En effet, si pendant ces différentes périodes, les trajectoires des flotteurs ont la même allure que pendant l'été 1952 et permettent de conclure à un mouvement général de rotation au nord-ouest de la Corse, on note cependant quelques différences.

Pendant l'hiver 1952, le nombre des bouteilles retrouvées au sud de la Corse, en Sardaigne et jusqu'en Tunisie et Tripolitaine, assez important, permet un schéma plus complet de la circulation à l'ouest de la Corse (fig. 1). D'après la carte (fig. 1) le mouvement de rotation s'étendait au sud jusqu'à la latitude des bouches de Bonifacio et à l'ouest jusqu'à environ 6,30° de longitude. A l'ouest de ce méridien, le courant portant au sud, partant des côtes de Provence est très net, et montre en particulier qu'au sud de la Sardaigne le courant porte à l'est (du moins pendant la période considérée) et non à l'ouest (Nielsen). Sur la figure 1 les trajectoires terminées par des flèches au sud-ouest de la Sardaigne aboutissent le long de la côte est de Tunisie et en Tripolitaine.

Par contre, pendant l'été 1951, cette branche de courant partant au sud n'apparaît pas (fig. 3). Ceci n'est pas dû au hasard (bouteilles non récupérées), le tracé des trajectoires est différent. Ainsi parmi les bouteilles lâchées en a, b, c, d, e (fig. 3) pendant l'hiver 1952, celles qui étaient récupérées étaient retrouvées uniquement en Tunisie et Tripolitaine, ou au sud de la Sardaigne.

Aucune n'est arrivée en Corse ou, à plus forte raison dans le golfe de Gênes. Par contre, pendant l'été 1951, les bouteilles parties de ces points sont retrouvées uniquement sur la côte nord de la Sardaigne, sur les côtes nord et ouest de Corse (une partie de c) et une partie de b) et dans le golfe de Lion (une bouteille partie de b et deux parties de c). Le mouvement tourbillonnaire s'étendrait donc à l'ouest pendant l'été 1951 jusqu'au

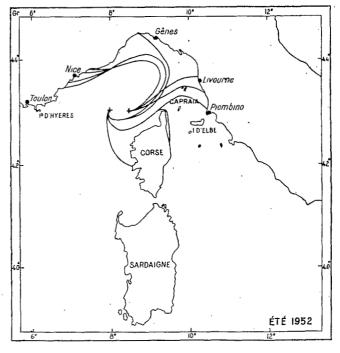


Fig. 5.

méridien de Toulon et même peut-être de Marseille, Le courant sud partant de la région de Toulon n'atteint pas le sud de la Sardaigne comme pendant l'hiver 1952 mais seulement la latitude des bouches de Bonifacio (au maximum) et remonte ensuite vers le nord-est. Il est possible qu'une branche de ce courant sud très peu importante se dirige vers le sud, sud-est pour passer au sud de la Sardaigne mais rien ne permet de l'affirmer. Ce dernier cas semble vérifié, en ce qui concerne l'hiver 1951 (fig. 2). Les résultats de cette saison sont très voisins de ceux de l'été 1951, le mouvement de rotation au nord-ouest de la Corse s'étend jusqu'à la longitude de Marseille.

## II. — COURANT PARTANT AU SUD, AU LARGE DE LA COTE OCCIDENTALE DE SARDAIGNE

L'existence de ce courant a été étudiée au paragraphe précédent à propos de la limite ouest d'extension du tourbillon situé au nord-ouest de la Corse. Son existence n'apparaît clairement que pendant l'hiver 1952, et beaucoup moins nettement en été 1952 et en hiver 1951. Partant des côtes de Provence devant les îles d'Hyères, il atteint le sud de la Sardaigne pour se diriger ensuite vers l'est avec le courant général. La partie est de ce courant se dirige ensuite vers l'est à la latitude des bouches de Bonifacio et remonte ensuite vers le nordest formant ainsi une partie du tourbillon étudié au paragraphe précédent. Seule, cette branche est observée pendant les quatre saisons étudiées, l'autre continuant plus au sud, n'étant nette que pendant l'hiver 1952.

#### III. — COURANTS EN MER TYRRHÉNIENNE

Le courant général entre la Sardaigne et la Tunisie porte à l'est. Ce courant se divise ensuite en deux branches, l'une franchissant le détroit de Sicile, pénètre en Méditerranée orientale, l'autre pénètre en mer Tyrrhénienne. Ce dernier courant est certainement faible à la fin de l'hiver 1952 puisque les bouteilles passant à l'ouest de la Sardaigne (fig. 1) le traversent pour aller s'échouer sur la côte est de Tunisie ou en Tripolitaine.

Il semble d'ailleurs, d'après l'ensemble des résultats, que ce courant entrant entre la Sardaigne et la Sicile soit toujours faible. Signalons d'abord que le courant superficiel sortant que NIELSEN situe au sud-est de la Sardaigne, n'est jamais mis en évidence par nos observations. Et d'autre part, son existence est contredite par des tracés tels que celui de la figure l. Les eaux superficielles entrant par le sud en mer Tyrrhénienne sortent principalement par le canal Elbe-Corse au nord (fig. 8). Or le courant dans ce canal, qui est évidemment plus rapide que le courant moyen entrant entre la Sardaigne et la Sicile, est lui-même assez faible puisque de très nombreuses observations montrent que les bouteilles entraînées par le courant nord-est longeant la côte nord-

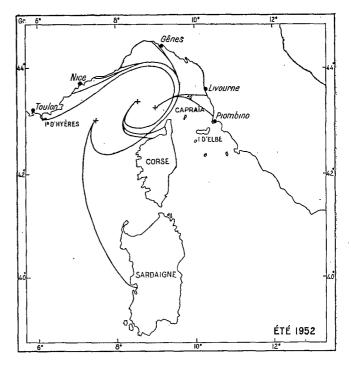


Fig. 6.

ouest de Corse, traversent ce courant pour aller s'échouer sur la côte Italienne (fig. 4, 5, par exemple) ou sont reprises par le contre-courant passant par le canal de Piombino (fig. 7).

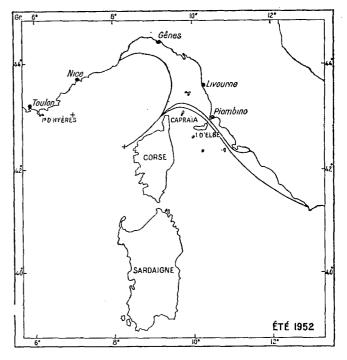


Fig. 7.

Un certain nombre de lâchers de bouteilles ont été effectués en mer Tyrrhénienne. Mais les points de lâcher sont moins nombreux et surtout leur répartition est beaucoup moins dense que dans la région étudiée précédemment. Par suite, certains tracés de trajectoires seront difficiles à établir. Cependant des résultats intéressants quant à l'allure de la circulation sont obtenus. Quant aux points douteux, ils mettent en évidence quelques problèmes qu'il serait intéressant de préciser à l'avenir.

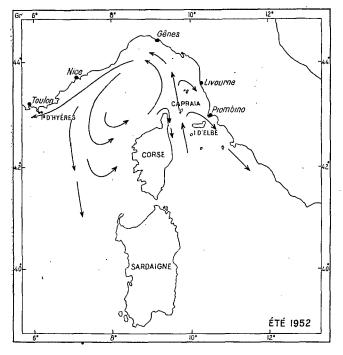


Fig. 8.

Signalons, d'autre part, que quelques lâchers de bouteilles ont été effectués par le « Centre Talassografico Tirreno », en janvier et mars 1952. La publication citée en note de N. DELLA CROCE donne les points d'arrivée des bouteilles retrouvées : ces résultats seront utilisés ici avec les nôtres pour tracer une esquisse de la circulation superficielle en mer Tyrrhénienne.

L'ensemble des résultats relatifs à l'hiver 1952 est résumé par la carte représentée figure 9.

#### a) Courant général vers le nord.

Les cartes représentant la circulation superficielle en Méditerranée et en particulier celle de NIELSEN, indiquent que le courant entrant en mer Tyrrhénienne porte à l'est, longe la côte nord de Sicile et remonte ensuite vers le nord-ouest parallèlement à la côte italienne. Ceci est vérifié en ce qui concerne le courant est au nord de la Sicile. Mais ce courant n'irait pas jusqu'à la côte italienne et ne remonterait vers le nord-ouest qu'à assez grande distance de celle-ci. On observe, en effet, le long de la côte italienne un contre-courant

partant au sud-est sur lequel nous reviendrons plus loin. De plus, il semble qu'une branche du courant général remonte vers le nord avant d'avoir atteint la Sicile.

NIELSEN, sur sa carte de la circulation superficielle fait sortir au sud de la Sardaigne, (courant ouest) une partie des eaux entrées plus à l'est en mer Tyrrhénienne. Rien dans les résultats obtenus ne permet d'affirmer l'existence d'un tel courant, et nous avons vu plus haut que son existence est très peu vraisemblable (1). Le courant général portant au nord-ouest franchit le canal Elbe-Corse et se joint au mouvement tourbillonnaire étudié précédemment. A la sortie du canal Corse-Elbe le courant n'a qu'une vitesse très faible puisque de nombreuses bouteilles parties de la région située au nord-ouest de la Corse peuvent le franchir pour aller s'échouer sur la côte italienne entre Gênes et l'île d'Elbe et parfois plus au sud. Il en résulte par continuité que le courant entrant en mer Tyrrhénienne entre la Sardaigne et la Sicile a une vitesse moyenne très faible.

#### b) Contre-courant dans le canal de Piombino.

De nombreuses observations, aussi bien à partir de flotteurs lâchés au nord-ouest de la Corse (voir par exemple figure 7) que de flotteurs provenant de la mer Tyrrhénienne, conduisent à admettre l'existence d'un contre-courant portant au sud-est dans le canal de Piombino (fig. 9). Des flotteurs partis de points tels que d et e par exemple, vont en effet s'échouer sur la côte nord de l'île d'Elbe. Certains enfin sont retrouvés sur la côte italienne beaucoup plus au sud-est du canal de Piombino, jusqu'à Naples. Ceci justifie le tracé que nous avons adopté (fig. 9).

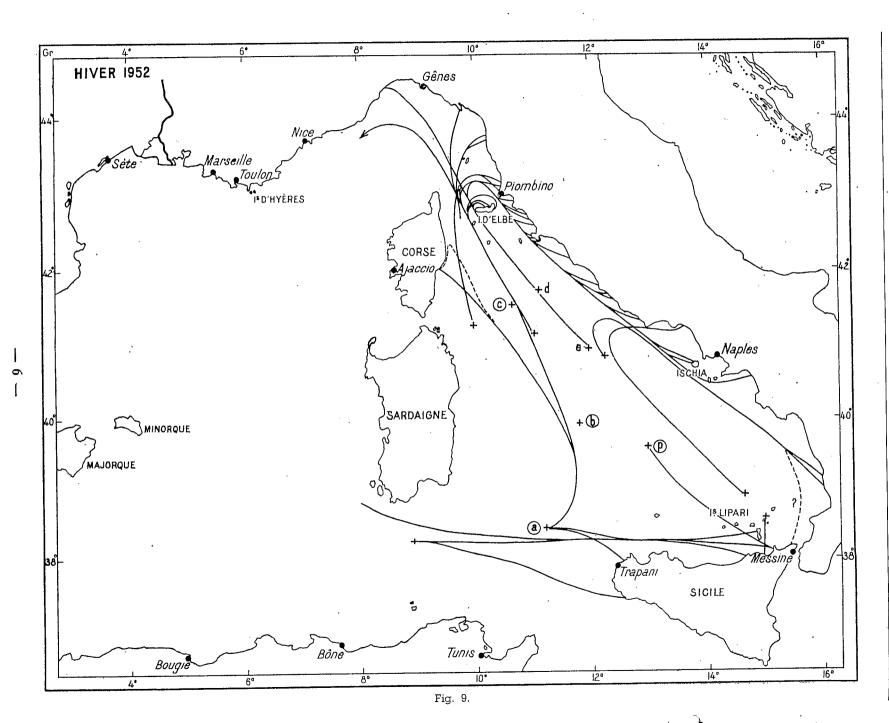
## c) Contre-courant littoral, portant au sud-est, du canal de Piombino vers le détroit de Messine.

La figure 9 montre que de très nombreuses bouteilles retrouvées permettent de prouver l'existence de ce contre-courant. Il peut arriver au sud jusqu'à une assez faible distance du détroit de Messine. Cependant en ce qui concerne la limite sud de ce contre-courant quelques points restent à préciser, ce qui nous est impossible faute de données suffisantes. En particulier des observations hydrologiques seraient très utiles,

Il est probable que le contre-courant s'incurve vers l'ouest pour rejoindre le courant général portant au nord-ouest, formant ainsi un mouvement en ellipse très aplatie dont le grand axe s'étendrait jusqu'au nord de l'île d'Elbe. Quant à l'extrémité sud de cet axe, elle est difficile à préciser. Sa position est sans doute très variable. A la station Dana 194, la faible salinité de surface exclut la possibilité pour cette eau de provenir du nord. Au moment de ce prélèvement le contre-courant n'atteignait pas la limite sud que l'on peut déduire de la figure 9 (limite qui atteint presque le détroit de Messine).

Par contre d'après la publication de N. DELLA CROCE, quatre flotteurs partis du point b (fig. 9) arrivent jusqu'à

<sup>(</sup>¹) Nous examinerons plus loin l'existence possible d'un contre-courant sud le long de la côte est de la Sardaigne. Ce contre-courant n'intéresse d'ailleurs qu'une masse d'eau très faible.



la côte nord de Sicile, près de Messine. Les autres flotteurs partis de ce point étant retrouvés en des points qui justifient le tracé que nous avons donné de la circulation, le contre-courant atteindrait donc à la fin de l'hiver 1952, la côte nord de Sicile près du détroit de Messine. A l'ouest des îles Lipari, il remonterait alors sans doute vers le nord-ouest en se mêlant au courant général.

## d) Contre-courant portant au sud le long des côtes corses et sardes.

L'existence d'un contre-courant portant au sud le long de la côte est de Corse apparaît sur les figures 1 et 3. L'arrivée sur la côte corse d'une bouteille partie de a (fig. 9) est peut-être liée à l'existence de ce contrecourant (tracé pointillé).

Cependant ce contre-courant est sans doute de faible importance et n'est pas toujours observé. Ainsi pendant l'hiver 1951 le courant porte au nord le long de la côte orientale corse (fig. 2).

L'importance et l'existence de ce courant seraient donc très variables. Il semble possible que ce contrecourant puisse s'étendre vers le sud jusque le long de la côte orientale de Sardaigne. Ceci résulte du lâcher de bouteilles italien au point b (fig. 9) en mars 1952. Le courant en b porterait au nord puisque parmi les bouteilles retrouvées, quatre vérifient le tracé de la figure 9. Comme d'autre part, trois bouteilles sont retrouvées sur la côte de Sardaigne, c'est-à-dire à peu près à la latitude de départ, on doit admettre qu'après être montées vers le nord, elles ont été reprises par le contre-courant sud. Ce tracé expliquerait alors qu'une bouteille soit retrouvée à Trapani. Ayant été entraînée par le contre-courant sud longeant la côte de Sardaigne, elle a pu être reprise par le contre-courant général est au sud-est de celle-ci.

## IV. — REMARQUES SUR LE TRACÉ D'UNE CARTE DES COURANTS DE SURFACE A PARTIR DES RÉSULTATS PRÉCÉDENTS

Les résultats obtenus sont résumés par la carte présentée figure 10.

Il est certain que quelques-uns des éléments de cette carte demandent à être précisés ou même modifiés et il serait intéressant de connaître les variations dans le temps, saisonnières ou non, du régime des courants. En particulier : les variations de la limite sud-ouest du tourbillon situé au nord-ouest de la Corse.

Le courant sud partant des côtes de Provence ne semble pas toujours atteindre le sud de la Sardaigne. Dans certains cas il ne serait qu'un élément constituant le mouvement de rotation observé au nord-ouest de la Corse.

Le courant entrant en mer Tyrrhénienne entre la Sardaigne et la Sicile se divise en deux branches, dont l'une longe la côte nord de la Sicile pour remonter ensuite vers le nord-ouest. Il est très probable que le schéma de la figure 10 représentant ce mouvement doive être sujet à de très nombreuses variations dans le temps. Il semble, en particulier, que ce courant puisse atteindre le sud du golfe de Messine. Dans ce cas, quelle est la limite sud du contre-courant sud-est parallèle à la côte italienne ?

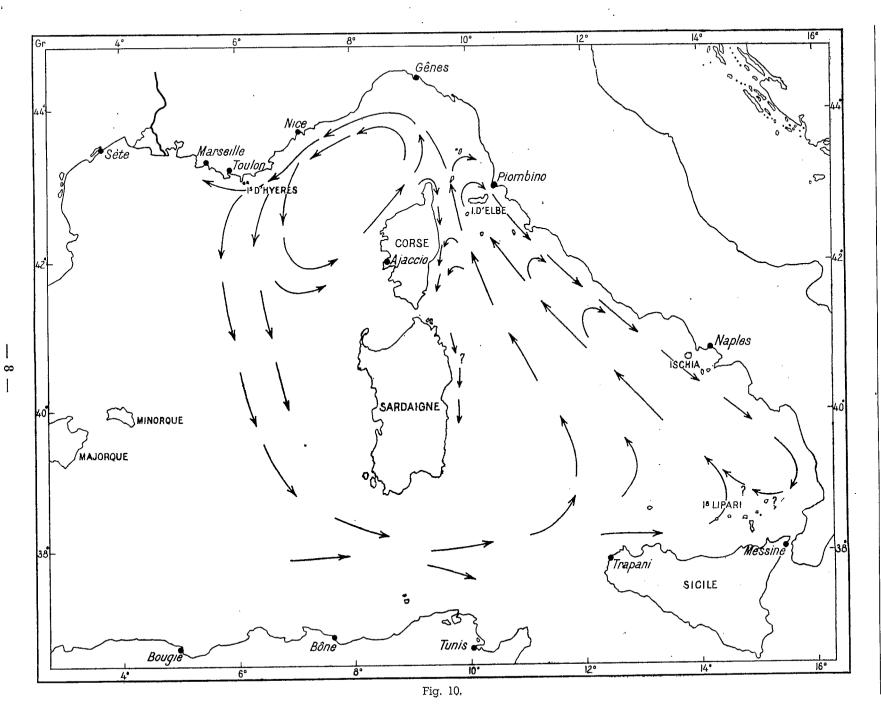
S'il reste donc de nombreux points pour lesquels de nouvelles études seront nécessaires, il nous semble cependant que la carte de la figure 10, donne une représentation assez exacte de l'allure générale de la circulation superficielle. Il nous avait paru intéressant de soumettre un avant-projet de carte des courants de surface aux commandants des paquebots des services réguliers en Méditerranée occidentale. Cette carte était analogue à celle de la figure 10 sauf en ce qui concerne la mer Tyrrhénienne pour laquelle peu de résultats étant alors parvenus, de nombreux détails nous avaient échappés. Nous citons ci-dessous les remarques les plus intéressantes qui nous ont été communiquées :

Courant sud des îles d'Hyères vers le sud de la Sardaigne : ... « nous avons fréquemment constaté l'existence d'un courant sud-est partant des côtes de Provence pour aller jusqu'en Tunisie en passant par le sud-ouest de la Sardaigne » (Ville d'Alger).

... « Nos observations paraissent s'accorder avec les lignes de courant tracées sur la carte qui nous a été communiquée. Il est bien exact que les courants orientés vers l'ouest sont parallèles à la côte sud de France et qu'une déviation se produit au voisinage de Toulon en direction de la Corse et de la Sardaigne. La vitesse de nos paquebots se rendant de Marseille à Ajaccio est assez régulièrement augmentée par ce courant » (Commandant Quéré).

De même ces résultats sont confirmés par le Sampiero Corso. Par contre le Commandant de la Ville d'Ajaccio « n'a pas remarqué le courant indiqué sur la carte comme partant des îles d'Hyères et dirigé au sud-est par le détroit de Bonifacio que nous devrions sentir en venant d'Ajaccio ». En fait sur la carte que nous avions proposée, la déviation sud, partant des côtes de Provence et dirigée vers le sud-ouest de la Sardaigne était située un peu trop à l'est et portait au début de sa trajectoire un peu trop à l'est.

A propos du mouvement tourbillonnaire situé au nordouest de la Corse, on nous signale (Commandant Quéré): « ... nous avons également constaté sur les côtes de Corse, entre Calvi et le Cap Corse, que le courant orienté vers le nord-est existe, mais il est moins fort que celui qui suit les côtes sud de France ».



## REMARQUES SUR L'HYDROLOGIE ET LA DYNAMIQUE DE LA RÉGION ÉTUDIÉE

La source la plus complète de renseignements sur l'hydrologie de la Méditerranée occidentale et en particulier de la région qui nous intéresse est toujours la série de mesures de l'expédition danoise du Thor en 1908-1910.

Malheureusement, les stations effectuées sont assez espacées dans l'espace et le temps, de sorte qu'une étude dynamique complète de la Méditerranée occidentale est pratiquement impossible. Quelques résultats intéressants peuvent cependant être obtenus. Ces remarques sont valables en ce qui concerne l'hydrologie. Des cartes détaillées des salinités de surface permettraient des remarques très utiles. Les éléments nécessaires à un tel tracé manquent actuellement.

## I. — DISTRIBUTION DES TEMPÉRATURES SUPERFICIELLES ENTRE NICE ET LA CORSE

Depuis 1952, des thermographes enregistreurs à tension de vapeur sont installés sur les paquebots des services réguliers en Méditerranée occidentale. Des cartes mensuelles donnant la distribution des températures de surface peuvent être ainsi établies. Nous ne disposons pas encore d'une série complète d'une année. Mais les cartes établies jusqu'ici montrent qu'au nordouest de la Corse les isothermes se ferment. Cette distribution des températures, particulièrement nette sur la carte représentée figure 11 (mois de novembre 1952), correspond au mouvement de rotation des eaux mis en évidence au paragraphe 2 du chapitre Ier. Il existe ainsi au nord-ouest de la Corse une zone de température minimum. On peut admettre que ces eaux plus froides correspondent dans la région étudiée à une zone de densité maximum. Les eaux de densité maximum devant être trouvées à gauche du courant, on retrouve ainsi le mouvement de rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre au nord-ouest de la Corse.

Une interprétation dynamique exacte de ce mouvement peut être faite grâce à certaines stations du Thor.

## II. — DYNAMIQUE DES COURANTS DANS LA RÉGION ÉTUDIÉE (référence 600 décibars).

Les stations utilisées sont celles des sections 7, 8, 9, et 14 de NIELSEN, c'est-à-dire les stations 115 à 133 et 139. Ces stations ont été effectuées dans un intervalle de temps suffisamment faible : la station 115 est du 28 juin 1910, la station 133 du 14 juillet et la station 139 du 20 juillet 1910.

La surface de référence 600 décibars a été choisie uniquement parce que c'était la surface la plus profonde permettant d'utiliser un nombre maximum de stations. Des anomalies de volume spécifique ont été calculées par rapport à l'eau de salinité  $34,85 \, ^{\circ}/_{\circ o}$  ( $\sigma t = 28,00$ ). Par suite de très fortes salinités, les anomalies géopotentielles, sont négatives. Elles sont exprimées sur les cartes en centimètres dynamiques. Les calculs ont été effectués en utilisant les mesures faites aux profondeurs suivantes: 0, 25, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 600 m. Ainsi que nous l'avons signalé, le nombre des stations disponibles est assez faible. Quelques stations complémentaires auraient été nécessaires pour préciser le tracé des isodynamiques, en particulier en mer Tyrrhénienne. D'autre part, dans la région occidentale de la zone étudiée on ne dispose que d'une ligne de stations Alger-Gênes. Il serait nécessaire, pour préciser le tracé, de disposer de stations au sud des îles d'Hyères, entre celles-ci et les Baléares, et d'autre part dans l'est des Baléares. Faute d'observations, différents tracés hypothétiques sont possibles. Ces tracés se ramènent à deux types.

Dans le premier (fig. 12) on admet qu'au sud-est des Baléares, jusqu'aux stations 115 et 116, indiquées — 39 cm sur la carte, le relief dynamique est très peu accentué. Les isodynamiques — 46 à — 40 partant du golfe de Gênes, s'orientent vers le sud à partir des îles d'Hyères et passent entre les Baléares et la Sardaigne pour continuer ensuite vers l'est. Quant aux isobathes dynamiques — 36 et — 38, elles suivraient approximativement le littoral français pour se diriger vers le golfe du Lion.

Dans le deuxième tracé (fig. 13), on admet comme l'indique la carte, que les isodynamiques — 40 et — 42 passent entre les stations 115 et 116 d'une part et les Baléares d'autre part. Orientées vers le nord-est, elles tournent vers l'est en atteignant la ligne Alger-Gênes pour redescendre ensuite vers le sud suivant un tracé analogue au premier. Au nord, les isodynamiques — 36 et — 38, se dirigeraient comme précédemment vers le golfe du Lion.

Dans ce dernier tracé, nous avons fait passer au sudest des Baléares, uniquement les isodynamiques — 40 et — 42. Ce tracé pourrait être légèrement modifié en y faisant passer également l'isodynamique — 44 et même — 46. On examinera par la suite quel est le tracé le plus vraisemblable.

La circulation superficielle d'après ces tracés, si l'on se place uniquement au point de vue direction du courant, sans tenir compte des vitesses, ne diffère que dans l'est des Baléares. En dehors de cette région, les directions du courant sont identiques sur les deux tracés et le schéma de la circulation obtenu est très voisin (cer-

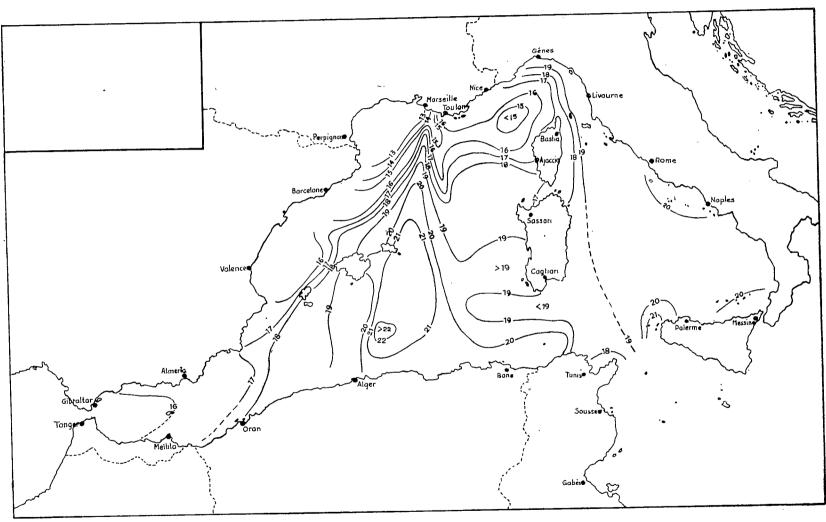
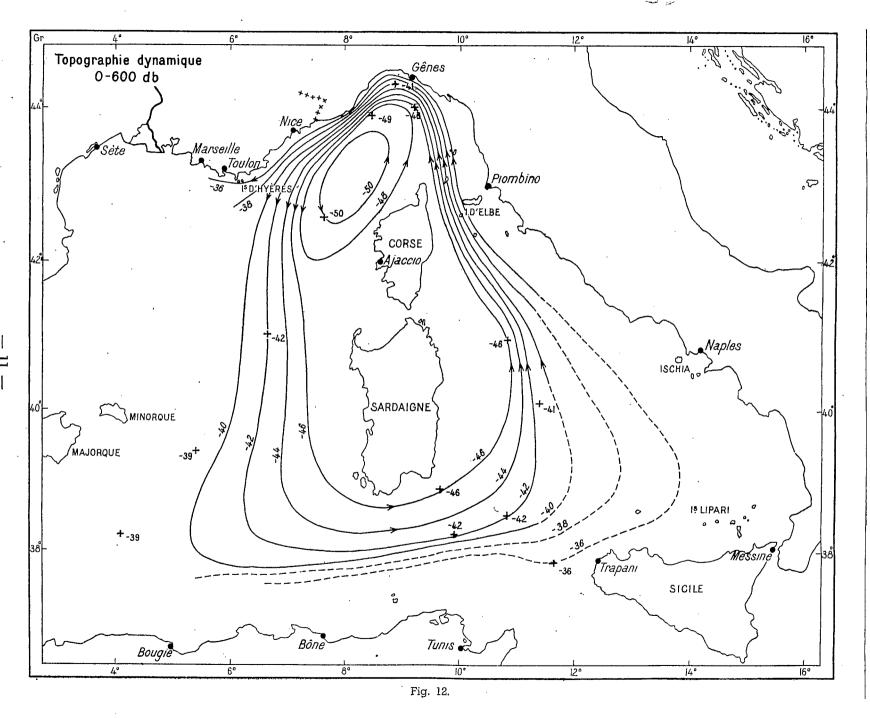
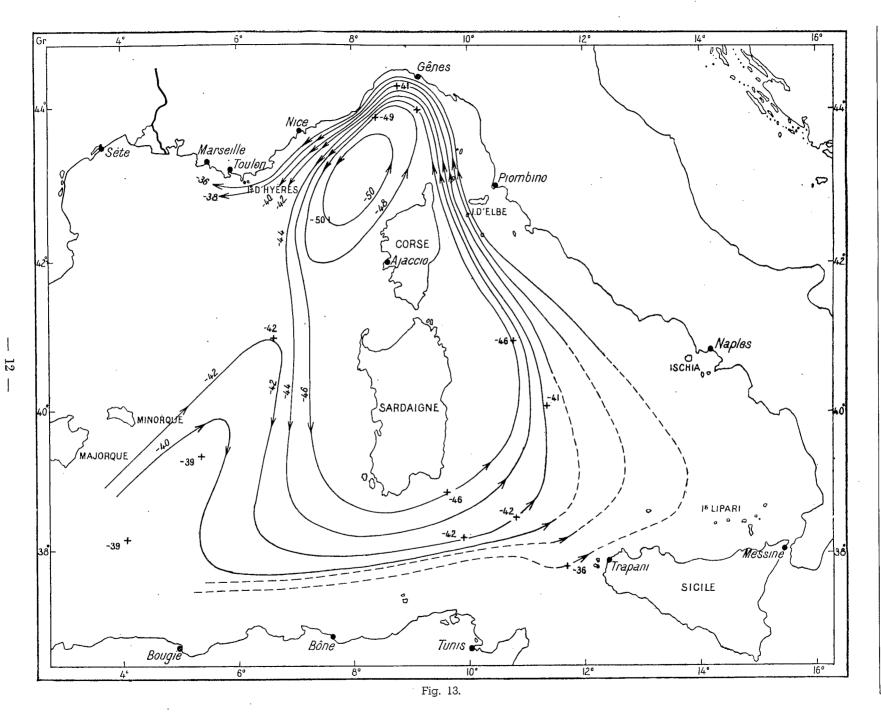


Fig. 11.





tains détails en moins) de la carte de courants représentée figure 10, établie à partir des trajectoires de flotteurs.

De même que cette dernière carte, la topographie dynamique ne montre pas de courant sortant de la mer Tyrrhénienne au sud-est de la Sardaigne, contrairement à ce qu'indique NIELSEN sur sa carte des courants superficiels.

La présence de deux stations (indiquées sur la carte par — 41 et — 46) dans l'est de la Sardaigne, permet d'établir qu'une branche de courant entrant en mer Tyrrhénienne, remonte immédiatement vers le nord après avoir franchi la ligne *îles Agates-cap Carbonnara*. Ces deux stations permettent en effet un tracé plus précis des isobathes dynamiques — 42, — 44 et — 46 cm. Quant aux isodynamiques — 36 à — 40 leur tracé est plus difficile à établir.

Quel que soit ce tracé dans les conditions au moment des mesures, on peut dire que les courants dans la portion est de la mer Tyrrhénienne (au nord de la Sicile) sont faibles. En effet, ou bien les isodynamiques — 36, — 40, pénètrent assez profondément vers l'est, dans la région située au nord de la Sicile et dans ce cas leur grand écartement indique un très faible courant; ou bien ces isodynamiques s'orientent immédiatement vers le nord (comme les isodynamiques — 42, — 46) et dans ce cas on peut admettre, malgré l'absence de mesures que, dans la région nord de la Sicile, le relief dynamique est peu marqué. Dans ce dernier cas un mouvement de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre serait possible, mais seules des mesures permettraient de résoudre cette question.

Au nord-ouest de la Corse, le mouvement général de rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre apparaît avec netteté, de même que le courant général sud-ouest, plus rapide entre ce tourbillon et la côte. Au sud et sud-ouest des îles d'Hyères, quelques stations supplémentaires auraient été nécessaires ainsi que nous l'avons vu, pour connaître exactement la topographie dynamique de cette région. De toutes façons, il ne semble pas que les isodynamiques — 36 et — 38 redescendent vers le sud. Elles restent probablement parallèles à la côte, ce qui correspond à un courant en direction du golfe de Lion, courant mis en évidence d'autre part, par les résultats obtenus à l'aide de flotteurs. Sur la figure 12 il résulte de la topographie dynamique que cette branche de courant n'a qu'un transport très faible vers l'ouest, le courant portant au sud étant plus important. Par contre d'après la figure 13, le courant ouest serait plus important, ce qui est possible.

D'après les deux tracés représentés un courant sud part des côtes de Provence et un courant de même direction est observé dans l'ouest de la Sardaigne. Sur le tracé 13, on note un courant nord-est dans la région située au sud-est des Baléares. Quant à faire passer également les isodynamiques — 44 et — 46 au sud-est des Baléares, nous verrons que ce cas ne semble pas devoir être retenu.

#### III. — VITESSES

Les résultats précédents permettent de calculer la vitesse du courant, par rapport à la surface 600 décibars.

#### a) Canal Elbe-Corse.

L'écartement des isodynamiques dans le canal, sur la figure 12 est évidemment approximatif. Dans les conditions représentées par cette carte, le courant nord, entre l'île d'Elbe et la Corse, atteint une vitesse moyenne d'environ 28 cm/s, c'est-à-dire un peu plus d'un demi-nœud (0,54 n).

#### b) Golfe de Gênes.

Du canal Elbe-Corse vers le nord jusqu'au méridien de Gênes, les isodynamiques — 46 et — 36 restent à peu près équidistantes. La variation de latitude est faible. On peut donc considérer que la vitesse à la station Thor 123 (indiquée par — 41 cm sur la carte figure 12) est d'environ un demi-nœud. Au sud de cette station, on remarque entre la station indiquée par - 49 cm et la côte un resserrement des isobathes dynamiques. Une fois de plus les distances exactes séparant celles-ci ne sont pas connues de façon précise. On peut admettre que l'écartement des isodynamiques — 36 et — 49 cm dynamiques est de 15 à 20 milles. La vitesse correspondante du courant relatif à 600 db est alors comprise entre 35 et 50 cm/s, c'est-à-dire environ 0,7 et 1 nœud. Ceci est la vitesse maximum obtenue dans l'ensemble de la région étudiée.

#### c) A partir de ce point.

Vers le sud-ouest, l'écartement des isodynamiques augmente et à partir de la frontière franco-italienne le courant devient inférieur à un demi-nœud.

#### d) Plus au sud.

Les vitesses deviennent beaucoup plus faibles. Entre la Sicile et la Sardaigne où le tracé des isodynamiques est un peu plus précis on obtient les résultats suivants :

La composante normale à la section de la vitesse moyenne à travers le détroit est de 3 cm/s. Le tracé du profil de la surface de la mer, la surface 600 db étant supposée horizontale, montre que la pente maximum de la surface de la mer est de l cm dynamique pour 14,500 km près du point de rencontre, de l'isodynamique — 40 et de la droite représentant la section. La vitesse maximum correspondante perpendiculaire à la section est de 7,3 cm/s. L'isodynamique — 40 n'est pas perpendiculaire à la section; la vitesse réelle est donc supérieure à 7 cm/s. Le tracé de cette isodynamique n'est pas précis en direction. Cependant si elle était orientée vers l'ouest, ce qui est l'inclinaison maximum sur la section, la vitesse correspondante serait d'environ 11 cm/s ce qui représente le maximum. La vitesse correspondant au tracé de la figure 12 est inférieure à 8 cm/s (soit 0,15 n).

### IV. — REMARQUES SUR LES VITESSES DÉDUITES DE LA DÉRIVE DES BOUTEILLES

Il est évident qu'en ce qui concerne les vitesses du courant peu de renseignements peuvent être obtenus de la dérive des bouteilles. En effet, celles-ci sont à terre où elles viennent s'échouer, et ne sont pas retrouvées immédiatement. De plus leur trajectoire n'est pas connue avec précision. Cependant lorsque plusieurs bouteilles arrivent à peu près au même point on peut, grâce à la première bouteille arrivée dont on connait approximativement la trajectoire, calculer la valeur minimum de la vitesse du courant. On trouve ainsi les résultats suivants :

- Au nord du golfe de Gênes et le long de la côte, jusqu'aux îles du Levant : au moins 0,5 nœud en été 1951 et en été 1952 (le calcul dynamique donne 0,5 au nord du golfe de Gênes, un maximum de 0,7 à 1 nœud à peu près à égale distance de Gênes et de la frontière francoitalienne, vitesse qui diminue ensuite plus au sud-ouest. Elle devient inférieure à 0,5 nœud à partir de la frontière.
- Dans la région sud-ouest du tourbillon situé au nord-ouest de la Corse, c'est-à-dire entre l'île du Levant et Ajaccio, les résultats conduisent en hiver 1951 et 1952 à une vitesse maximum de 0,2 nœud.
- Le courant portant au nord-est, observé le long des côtes nord et nord-ouest de Corse a une vitesse maximum de 0,5 nœud en été et en hiver 1951, et de 0,4 nœud en hiver 1952. Ceci est nettement supérieur à ce qu'indique la dynamique.

De même entre la Sicile et la Sardaigne on trouve les résultats suivants :

— Courant est (flotteurs arrivant sur la côte nord de Sicile): au minimum 0,35 nœud en hiver 1951 et 0,4 nœud en hiver 1952.

## V. — INDICATIONS SUR LA TOPOGRAPHIE DYNA-MIQUE D'APRÈS QUELQUES AUTRES STATIONS DU THOR

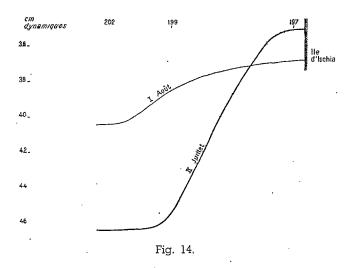
### a) A l'ouest de la Sardaigne.

Il s'agit de la section 15 de NIELSEN. Cette section part de la pointe sud-ouest de la Sardaigne et passe entre Majorque et Minorque. Entre ces dernières et la Sardaigne on dispose ainsi de deux stations profondes : 204 et 206 des 27 et 28 août 1910, qui donneront une indication sur la direction du courant. Les calculs toujours effectués par rapport à la surface 600 db, conduisent aux résultats suivants :

— A la station 204 l'anomalie de hauteur dynamique est de — 42,8 cm, tandis qu'à la station 206 elle est de — 34,5 cm. Soit une différence de 8 cm dynamiques entre les deux stations, ce qui indique un courant moyen vers le sud dont la vitesse est très peu différente de celle mise en évidence dans la même région par les mesures de juillet.

#### b) Mer Tyrrhénienne.

On dispose ici d'une transversale (section 11 de NIELSEN) allant du sud de la Sardaigne à Naples et de deux stations dans le sud-est de la mer Tyrrhénienne (fig. 13). Elles sont également du mois d'août.



Le profil de la surface de la mer par rapport à 600 db, le long de la section 11 est nettement différent du profil établi pour la même section à partir de la topographie de juillet (fig. 12). La figure 14 représente ces deux profils. La faible pente observée en août indique un courant vers le nord beaucoup plus faible qu'en juillet. L'absence de mesures entre les stations 197 et 199 cache peut-être des détails, mais même dans ce cas, le résultat précédent est valable en ce qui concerne le courant moyen entre 197 et 202.

Il y a donc une assez importante variation après un peu plus d'un mois d'intervalle entre les deux séries d'observations.

Les mesures de juillet conduisent à une carte de la topographie dynamique qui est une carte des lignes de courant du mouvement relatif (fig. 13) très voisine de la carte que nous avons établie à partir des trajectoires. On peut donc penser qu'en juillet les conditions sont quasi stationnaires. Par contre, en août, on observe d'importantes distorsions des isodynamiques.

Ceci indiquerait soit que le mouvement relatif ne peut plus être considéré comme peu différent du mouvement absolu, soit plutôt, que pendant la période où ont été effectuées les mesures, les conditions étaient assez rapidement variables. Ainsi l'isodynamique 33 (station 194, fig. 15) qui, associée à l'anomalie observée à la station 195 donne un courant entre les deux stations tout à fait vraisemblable, ne peut être raccordée aux mesures faites plus au nord : la faire passer entre 197 et la terre conduit à un courant invraisemblable. Quant à un tracé différent de celui que nous proposons, ceci conduit également à des invraisemblances.

Nous avons montré particulièrement, en étudiant la dérive des bouteilles, quelles sont les différences entre

les résultats obtenus à partir de celles-ci et les résultats établis par NIELSEN à partir de l'hydrologie.

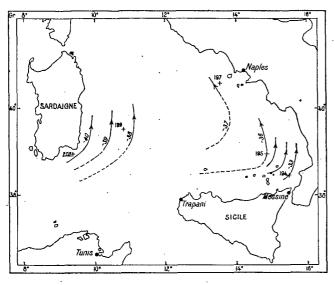


Fig. 15.

Nous avons montré également que les mesures de juillet 1910 conduisaient à une interprétation dynamique des courants en accord avec nos résultats. Il est donc utile de donner rapidement quelques indications sur les caractéristiques hydrologiques des couches superficielles, du point de vue circulation.

### VI. - DYNAMIQUE ET HYDROLOGIE

Il ne s'agit pas de reprendre ici l'étude de NIELSEN, mais uniquement de préciser certains de nos résultats, et de mettre en évidence quelques points intéressants, non résolus faute d'observations. Le nombre des mesures ne serait-ce que des salinités de surface, est en effet très faible et se limite pratiquement à celles du Thor et de la Dana.

#### a) Mer Tyrrhénienne.

Au sud-est de la mer Tyrrhénienne, au nord des côtes de Sicile ou à partir du détroit de Messine, parallèlement à la côte italienne, on observe toujours d'assez faibles salinités de surface inférieures à 38,00 °/00. Ces eaux proviendraient donc de la branche du courant nordafricain (lequel contient les eaux d'origine atlantique) pénétrant en mer Tyrrhénienne. Leur mouvement se ferait vers le nord-ouest parallèlement à la côte italienne. Le fait qu'elles pénètrent assez profondément dans la région est de la mer Tyrrhénienne montre donc que le courant sud-est parallèle à la côte, que nous avons mis en évidence précédemment, ne serait observé que dans une bande côtière étroite. Ceci est en accord avec le tracé obtenu à partir de la dérive des bouteilles (fig. 10). Quant à la largeur de cette bande elle reste à préciser.

En ce qui concerne le courant superficiel au sud-est de la Sardaigne, ce courant serait d'après NIELSEN, dirigé vers le sud-ouest, c'est-à-dire, sortant de la mer Tyrrhénienne pour remonter ensuite vers le nord, le long de la côte ouest de Sardaigne. Ceci est en contradiction avec les résultats obtenus par la dérive des bouteilles et le calcul dynamique. D'après les mesures du Thor, en août, on observe au sud-ouest, au sud et au sud-est de la Sardaigne des eaux superficielles de mêmes caractéristiques (38,20 °/00 environ) provenant de la mer Tyrrhénienne d'après NIELSEN, mais qu'il nous semble plus vraisemblable de faire provenir du nord-ouest de la Sardaigne.

Ceci est en accord avec la carte de courants telle que nous l'avons tracée (fig. 10). Il existe cependant quelques cas où les caractéristiques hydrologiques sont en désaccord avec cette carte (et avec celle de NIELSEN). En effet, certaines observations montrent près de la côte sud, au sud-est de la Sardaigne, des eaux de faible salinité: 37,83 par exemple en février (station 42). Ceci correspond avec des caractéristiques de mélange légèrement différentes, au courant partant à l'est, observé plus au sud et contenant des eaux d'origine atlantique. Dans ce cas encore et cette fois-ci de façon très nette, ceci correspond à un courant est au sud de la Sardaigne et entrant ensuite en mer Tyrrhénienne. Mais ceci correspond en ce qui concerne la région située à l'ouest de la Sardaigne, à une circulation différente de celle qui est représentée figure 10 d'après laquelle, au sud de la Sardaigne, l'eau provient du courant partant des côtes de Provence, plus ou moins mélangé avec le courant nord-africain. Dans l'exemple cité, cette influence du courant sud partant des côtes de Provence, n'est pas observée.

#### b) Courant sud, à l'ouest de la Sardaigne.

D'après ce qui précède, l'importance de ce courant serait donc très variable. C'est ce qui résulte également des trajectoires des flotteurs qui ne montrent nettement son existence qu'en hiver 1952.

D'après la topographie dynamique du mois de juillet, ce courant sud, à l'ouest de la Sardaigne, apparaît nettement. Il est important de remarquer, à ce sujet, que sur cette carte les isodynamiques représentent à peu près les lignes de courant au moment des mesures mais ne représentent pas les trajectoires (ce qui serait le cas si le mouvement était stationnaire). La comparaison des caractéristiques de l'eau superficielle avec les résultats du calcul dynamique est à ce point de vue intéressante.

Nous avons porté sur une carte les salinités de surface des stations ayant été utilisées pour le calcul de la topographie dynamique (fig. 16). Dans la plupart des cas, ces salinités indiquent l'origine de l'eau superficielle à ces stations, en particulier pour la région située à l'ouest de la Sardaigne. Sur la même carte, la direction du courant, au moment où les stations ont été effectuées, est connue, au moins approximativement d'après la topographie dynamique (fig. 13). Ces vitesses sont indiquées par une flèche. Cette carte permet quelques remarques intéressantes. Ainsi à la station 118 et aux stations situées au sud-ouest de celles-ci, c'est-à-dire

Fig. 16. — (Pour les stations 127 et 128, voir texte.)

16

115, 116, 117, le courant, au moment où les prélèvements ont été faits, porte vers le sud. Cependant les faibles salinités observées indiquent que l'origine de l'eau à ces stations est le courant est d'eau Atlantique, entrant en Méditerranée à Gibraltar, donc ayant une origine sud, bien que le courant observé porte dans cette direction. Il est possible de reconstituer approximativement ces trajectoires : elles sont indiquées sur la carte et représentent le trajet de l'eau superficielle jusqu'au moment où ont été faits les prélèvements.

Plus au nord, les fortes salinités observées entre les stations 119 et 125, correspondent au tourbillon situé au nord-ouest de la Corse.

Quant à la salinité intermédiaire, 38,01 observée à la station 132 au sud-est de la Sardaigne, les résultats précédents permettent d'établir son origine. L'eau superficielle à cette station proviendrait du courant sud situé à l'ouest de la Sardaigne. Ce courant continue le courant sud partant des côtes de Provence, et sa salinité est par mélange, intermédiaire entre celle des eaux salées situées au nord et celle des eaux ayant remonté jusque dans l'est des Baléares, de plus faible salinité.

On remarque que les trajectoires ainsi tracées correspondent de très près au tracé de la topographie dynamique de la figure 13. Ce tracé serait donc plus vraisemblable que celui de la figure 12. Il en résulte en particulier que l'on a au sud-est des Baléares un courant partant du nord-est, courant mis en évidence d'autre part par l'hydrologie. Mais ce courant se situe un peu plus dans l'ouest que sur la carte de NIELSEN.

D'autre part, les trajectoires (fig. 16) et les lignes de courant isodynamiques (fig. 13) étant très voisines et pratiquement confondues, il en résulte que les conditions en juillet sont quasi-stationnaires.

Remarquons cependant que l'examen des caractéristiques superficielles ne conduit pas à rejeter comme impossible la topographie dynamique de la figure 12 mais uniquement à considérer l'autre tracé comme plus vraisemblable. En effet la carte 12 n'est pas incompatible avec les résultats de l'hydrologie. Mais dans ce cas les trajectoires (fig. 16) seraient très différentes des lignes de courant (fig. 12) c'est-à-dire, que les conditions ne seraient pas stationnaires.

Une autre remarque s'impose en ce qui concerne l'origine des eaux superficielles de la mer Tyrrhénienne; elle apparaît assez nettement sur la figure 16 : l'eau entrant en mer Tyrrhénienne provient au nordouest de la Sicile du courant nord-africain à faible salinité, tandis qu'au sud-est de la Sardaigne, l'eau provient de la région ouest de la Sardaigne, c'est-à-dire des eaux à faible salinité ayant franchi Gibraltar, mais dans ce dernier cas elles sont d'abord remontées vers le nord-est, au sud-est des Baléares, pour redescendre ensuite vers le sud en se mélangeant à l'eau provenant des côtes de Provence d'où augmentation de salinité.

L'examen des salinités de surface d'août (sections 11 et 15 de NIELSEN) conduit à un résultat semblable. Mais les salinités plus fortes observées au sud-ouest, sud et sud-est de la Sardaigne indiqueraient une plus forte proportion d'eau provenant des côtes de Provence.

En ce qui concerne les stations 127 et 128 de juillet, on y observe d'assez fortes salinités de surface. Il est probable que la trajectoire de l'eau observée à ces stations passe au sud de la Sardaigne. Ceci indiquerait que dans cette région le régime n'est pas stationnaire. En effet les salinités de surface en juillet, au sud de la Sardaigne sont inférieures à celles des stations 127 et 128. Avant juillet, l'eau située au sud de la Sardaigne (qui arrivera par la suite aux stations 127 et 128 au moment où seront effectuées les observations) était donc plus salée, ce qui indiquerait une plus grande influence du courant partant des côtes de Provence.

Cette situation est semblable à celle qui est observée plus tard (en août) au sud de la Sardaigne.

#### CONCLUSION

Cette étude n'a pas la prétention de résoudre entièrement le problème de la circulation superficielle de la portion orientale du bassin occidental de la Méditerranée. Grâce aux renseignements fournis par les campagnes de lâchers de flotteurs dérivants, il nous a été possible de reprendre les résultats obtenus à la suite des campagnes des navires océanographiques danois et d'aboutir ainsi à un tracé vraisemblable des courants dans cette portion de la Méditerranée.

Les lâchers de flotteurs dérivants se poursuivent au rythme de 2 000 par an. En outre, dès cette année, des campagnes océanographiques périodiques, entre la France, la Corse et l'Italie, permettront de préciser le tracé de la circulation superficielle et de commencer l'étude complète de la circulation profonde et de ses variations annuelles.

#### **BIBLIOGRAPHIE**

DELLA GROCE (N.), Lanci di galleggianti per lo studio delle correnti superficiali nel bacino tirrenico. *Cent. Talasso-grafico Tirreno*, Genova, 1952, nº 19, 7 p.

Hygrographical Observations made during the « Dana » Expedition 1928-30. The Carlsbey Found. Oceanogr. Exp. round the World 1928-30, Dana Report no 12, Copenhagen, 1937, 46 p.

MARINELLI (G.), Esperimenti e rilievi sulle correnti superficiali del Tirrenio. *Ann. R. Inst. Sup. Navale*, Napoli, 1932, 1, nº 1, p. 49-81.

MARINI (L.), Risultati dei lanci di galleggianti per lo studio delle correnti superficiali del mar ligure eseguiti negli anni 1914, 1920-22. Atti. Soc. Ligustica di Sci. e Lett., Pavia, 1927, 6, nº 3, p. 173-230.

Report on the Danish Oceanographical Expeditions 1908-1910 to the Mediterranean adjacent seas. Copenhagen 1912, 269 p.

TROTTI (L.), Ricerche Idrografiche sulle acque castiere ligustiche comprese tea l'isola Palmaria e capo Mele. *Cent. Talos*sografico Tirreno, Genova, 1951, nº 8, 29 p.) 14.005-12-53.

ARRAULT ET CIE

- TOURS (France) -

Dépôt légal : 4º trim. 1953

(Reproduction interdite.)

Le Gérant: V. Romanovsky.