

Lever de la carte bathymétrique de la mer Ligure

par

Jean ALINAT, Jacques-Yves COUSTEAU, Günter GIERMANN,
Olivier LEENHARDT, Christian PERRIEN et Serge PIERROT

Musée océanographique, Monaco



(Manuscrit reçu le 9 octobre 1968)

Descripteurs retenus pour cette étude :

Ligure (mer), bathymétrie — Radionavigation — Missions *Calypso*
— Mission *Espadon* — Missions *Winnaretta-Singer*.

INTRODUCTION

Le Musée océanographique a été chargé par la Délégation générale à la recherche scientifique et technique (Comité exploitation des océans) du lever d'une carte topographique sur la zone couverte par le réseau de radionavigation du C.O.M.E.X.O. lors de sa première implantation. Les conventions 62-FR-007 et 67-00-553 ont permis d'exécuter ce travail, qui est édité dans le cadre du contrat.

La zone couverte est sensiblement un rectangle limité par les méridiens $06^{\circ} 50' E$ et $09^{\circ} 20' E$, les parallèles $42^{\circ} 30' N$ et $43^{\circ} 45' N$.

I — SYSTÈME DE RADIONAVIGATION

La navigation et la localisation des navires en cours de sondages ont été faites à l'aide de la chaîne de radionavigation RANA type H, qui fait partie de l'équipement océanographique national [PERRIEN, 1965].

A - Principes

Cette chaîne se compose de deux réseaux comprenant chacun deux émetteurs, distants de 10 à 20 km, rayonnant des ondes entretenues pures rigoureusement synchronisées en fréquence et en phase. La comparaison des phases de ces ondes définit un lieu de position du mobile, qui est une hyperbole ayant pour foyers les deux émetteurs d'un même réseau.

En fait, chaque réseau engendre un faisceau d'hyperboles homofocales correspondant à des valeurs données de la différence de phase. L'écart entre deux hyperboles de différences de phases nulles constitue un « chenal » hyperbolique dont la largeur est fonction de la longueur d'onde et représente une variation de 360° (ou un tour) de la différence de phase.

Pour la localisation, on mesure les phases avec une précision de $1/100$ de tour, mais cette mesure n'est faite qu'à un nombre entier de tours près. Il y a donc ambiguïté sur le lieu hyperbolique coïncidant avec la position réelle du mobile.

Pour identifier ce lieu, le système RANA H comporte un dispositif de lever d'ambiguïté par superposition, dans un même réseau, de trois familles d'hyperboles ayant les mêmes foyers, mais définissant des chenaux de largeurs différentes (rapport 10). On a ainsi trois sensibilités de mesure. La sensibilité la plus fine sert à la localisation précise. Les

deux autres sont utilisées pour identifier, à partir des coordonnées du point estimé, le chenal « fin » dans lequel se trouve effectivement le navire. L'identification (ou calage) est faite une fois pour toutes à la mise en marche du récepteur. Le compte des chenaux hyperboliques franchis ensuite par le navire faisant route est automatiquement entretenu par un totalisateur.

Avec deux réseaux, on a donc en permanence et sans ambiguïté deux lieux de position. Leur intersection, sous un angle favorable, donne la position précise du mobile.

B - Caractéristiques de la couverture RANA en mer Ligure

— Emplacement des réseaux (fig. 1)

Réseau 1 : émetteur asservi : pointe de Capon (Saint-Tropez)

émetteur libre : cap Drammont

Réseau 2 : émetteur asservi : Castel d'Appio (Vintimille)

émetteur libre : cap Pino (San Remo)

— Zone couverte

8 000 milles carrés, s'étendant de la ligne cap Camarat - San Remo jusqu'au cap Corse et Calvi.

— Système de coordonnées

M.T.U., ellipsoïde international. Fuseau spécial centré sur le méridien 6° E de Greenwich.

— Triangulation des antennes

Par rattachement à des points géodésiques de premier ordre. Calculs en coordonnées Lambert III - zone sud transformées en M.T.U. Précision finale : de l'ordre de 50 cm.

— Étalonnage des réseaux

Par comparaison entre points radio-électriques et points optiques au théodolite. Nombre de points observés : 800. Cette opération, comme la triangulation des antennes, a été effectuée avec le concours du Bureau d'études océanographiques (B.E.O.) de la Marine nationale et de l'*Origny*.

— Fréquence caractéristique des émissions

3 782 kHz.

— Vitesse de propagation adoptée

299 690 km/s.

— Portées observées

de jour : plus de 250 km; de nuit : 160 à 180 km.

— Longueurs des bases (distance entre deux émetteurs d'un réseau)

Réseau 1 : 22 728 mètres; Réseau 2 : 12 613 mètres.

— Nombre de chenaux « fins »

Réseau 1 : 574; Réseau 2 : 319.

— *Largeur des chenaux « fins » sur la ligne de base*

40 mètres.

— *Largeur des chenaux « fins » à 200 km des émetteurs*, au voisinage de la médiatrice.

Réseau 1 : 650 mètres; Réseau 2 : 1 200 mètres.

— *Précision instrumentale*

1/100 de chenal fin.

— *Lecture des phases*

Affichage permanent et enregistrement continu (largeur : 122 mm par tour, vitesse de déroulement : 15 mm/minute).

— *Sensibilités*

Sur la ligne de base : 40 cm par centième de tour.

A 200 km au voisinage des médiatrices :

6,50 mètres par centième pour le réseau 1

12 mètres par centième pour le réseau 2.

— *Stabilité observée*

2/100 de tour (90 p. cent du temps).

— *Précision globale estimée*

± 4/100 de chenal.

— *Incertitude résultante sur la position*

2 à 3/10 000 de la distance aux émetteurs.

C - Cartes d'hyperboles

Pour les besoins de la navigation, la préparation et le dépouillement des levers, on disposait de 6 cartes des réseaux d'hyperboles :

— 1 carte Grand Aigle au 1/200 000 de l'ensemble de la zone,

— 4 cartes Grand Aigle au 1/100 000,

— 1 carte Grand Aigle au 1/50 000 de la région de Saint-Tropez - Le Drammont (base du réseau 1).

II — SONDEURS ET ENREGISTREURS

— La *Calypto* (capitaine MARITANO) était équipée d'un sondeur EDO UQN/1 à 12 et 34 kHz, relié à un enregistrement Alden de 19 pouces travaillant avec une vitesse de rotation de 666 ms/tour, ce qui donne une échelle de 500 m pour une vitesse de propagation de 1 500 m/s, soit une précision de lecture voisine de 1 mm/m. Cet enregistreur ne comporte pas de programme. Il en résulte qu'une zone (feuille 9) où

la profondeur est de 2 500 m environ a été mal levée : le fond s'inscrit sur la bande de sonde, au même endroit que le signal d'émission.

Les enregistrements *Calypso* ont servi au calage de l'ensemble de l'étude.

— La *Winnaretta-Singer* (capitaine ALIBERT) travaillait avec un sondeur Atlas à 15 kHz, relié au PGR 419 d'Alden fonctionnant sur l'échelle 500 brasses (900 m).

— L'*Espadon* (capitaine TOSCANO) a effectué quelques lignes de sonde avec un sondeur Atlas 15 kHz et un 411 Alden sur échelle de 750 m.

Ces trois navires ont couvert 10 000 milles dont les deux tiers ont été levés par la *Calypso*.

III — PERSONNEL

Ont participé aux levés

— Sur les réseaux RANA :

MM. BÉRAUD, BERTHOUX, LAGORIO, MARCELIN, PERRIEN, RIVAUD, SABATIER, VERHNET.

— Sur les navires :

MM. BARGIARELLI, BERTHOUX, CARPINE, FOLCO, GIEMANN, KIENZY, LAGORIO, LEENHARDT, MARCELIN, MARIANI, PANIZZI, PERRIEN, PIERROT, RIVAUD, ROLLAND, ROLLET, SABATIER, SERVELO, TROMBETTA, VENTOUILLAC.

— Au dépouillement :

MM. ALINAT, MADRANGE, M^{me} PICARD, MM. PIERROT, REBUFFATI.

IV — TECHNIQUE ET EXÉCUTION DU LEVER

76 lignes principales, orientées suivant les parallèles géographiques et espacées d'un mille marin, ont été levées. Cette orientation, moins commode pour la navigation au RANA que des routes de sondage suivant des hyperboles, avait l'avantage de recouper le relief du seuil figure sous un angle favorable, et d'assurer une répartition uniforme des sondages.

Des profils transversaux, irrégulièrement répartis, ont également été levés le long des routes de navigation pour rallier les lignes de sondages et rentrer au port.

Pour tirer le meilleur parti des conditions de fonctionnement du RANA, les extrémités est des lignes n'étaient couvertes que de jour. On évitait ainsi de se trouver de nuit à plus de 160 km du réseau 1, distance à partir de laquelle des interférences ionosphériques risquaient de diminuer la précision des mesures de phase.

Les sondages étaient effectués à la vitesse de 7 à 8 nœuds par la *Winnaretta-Singer*, et à la vitesse de 10 à 11 nœuds par la *Calypso*.

Les enregistrements RANA et la bande de sonde étaient synchronisés par des marques de temps s'inscrivant automatiquement toutes les 5 minutes.

Un secrétaire-opérateur assurait la surveillance du sondeur, du récepteur RANA et des différents enregistreurs, ainsi que la tenue des feuilles d'observations sur lesquelles étaient notés, systématiquement tous les quarts d'heures, et chaque fois que nécessaire :

la date, l'heure, les lectures des phasemètres des réseaux 1 et 2, les valeurs des divergences (écarts entre les différentes sensibilités d'identification), les contrôles des zéros des phasemètres et des enregistreurs, la route et la vitesse du navire, les incidents de fonctionnement du RANA et du sondeur et d'une manière générale toutes les observations relatives au déroulement du lever.

En raison des difficultés d'identification des hyperboles dans certaines parties de la zone RANA, et pour éliminer tout risque d'erreur sur la position, les navires vérifiaient le calage correct des phasemètres à chaque départ et retour au port, en des points (postes à quai, alignement des jetées, etc.) où les valeurs des phases étaient connues avec précision. Les bandes d'enregistrement RANA étaient ensuite soigneusement vérifiées par comptage des chenaux franchis entre deux points de calage sûr.

Chaque fois qu'existait un doute sur la précision du positionnement et plus généralement sur la qualité des sondages (défauts d'enregistrement, anomalies des divergences, perturbations radio-électriques, pannes RANA, mauvais temps affectant les performances du sondeur, etc.) les opérations étaient interrompues ou leurs résultats considérés comme nuls. Une vingtaine de lignes ont dû ainsi être partiellement ou totalement reprises.

V — ÉTABLISSEMENT DES CARTES

A - Dépouillement

Bandes RANA. — C'est après lecture de ces dernières que la position exacte des navires, donc des profils, est obtenue. Pour faciliter le travail, le relèvement des positions est effectué à des tops horaires réguliers dont la densité varie suivant l'échelle de la carte pour obtenir le maximum de précision.

Bandes de sondages. — Elles sont chronométrées en prenant 1 500 m/s comme vitesse du son dans l'eau — sans correction. Sur la pente où de nombreux réseaux d'hyperboles de diffraction, dus au large pinceau des sondeurs utilisés, prêtent parfois à confusion, les valeurs de la profondeur sont quelquefois approximatives. Les lignes transversales permettent dans certains cas de lever le doute.

B - Report et tracé

Sur le canevas des cartes RANA précédemment établies, on reporte la position des profils d'après les lectures faites sur les bandes RANA (intersection des hyperboles de chacun des réseaux — pour chaque top). Les tops que l'on retrouve sur les bandes de sondages permettent de reporter par interpolation les valeurs des profondeurs relevées. Le document ainsi obtenu comporte donc un ensemble de valeurs représentant les profondeurs rigoureusement positionnées. Il suffit alors de tracer judicieusement les courbes en tenant compte de toutes les valeurs afin de se rapprocher le plus possible de la configuration exacte de la topographie.

C - Sources complémentaires

Une partie de la topographie du golfe de Saint-Florent et d'une zone large de 5 milles environ entre le cap Ferrat et le cap Drammont — où les lignes sont insuffisantes — est reprise de la carte BOURCART.

Dans le quadrilatère compris entre les méridiens $6^{\circ} 52'E$ et $7^{\circ} 04'E$ et les parallèles $43^{\circ} 16'N$ et $43^{\circ} 22'N$, les isobathes ont été obtenus d'après des sondages effectués en 1968 et aimablement communiqués par le Service hydrographique de la Marine nationale.

D - Publication

La publication définitive comportera 16 feuilles au 1/50 000 et 1 carte d'assemblage avec la position des profils (fig. 2).

L'impression réalisée par l'Imprimerie nationale de Monaco est en deux couleurs. Les lignes de niveau sont en bistre. L'équidistance des courbes est en fonction de l'importance du relief pour chaque feuille. La représentation des isobathes varie suivant leur valeur (voir légende feuille 16).

Cette publication, homogène, au prix de revient peu élevé, peut se révéler d'une grande utilité. Les feuilles numérotées de 9 à 16 ont paru; les autres paraîtront dans les mois à venir.

Une publication suivant les mêmes caractéristiques comportera quatre feuilles au 1/100 000 (fig. 3).

VI — CRITIQUE

La précision des positions justifie amplement l'échelle choisie. Il serait souhaitable, dans un travail ultérieur analogue de :

- doubler, au moins, le nombre des lignes de sondage,
- de prévoir des profils transversaux systématiques plus nombreux,
- d'utiliser un sondeur à pinceau fin, pour améliorer la cartographie, en particulier sur les pentes continentales (fig. 4).

En profondeur, le contrôle par recouplement permet d'estimer que l'erreur *instrumentale* absolue est de ± 5 m, la précision relative sur de petits accidents restant de l'ordre du mètre, compte non tenu de l'approximation sur la vitesse de propagation. Le choix arbitraire de la

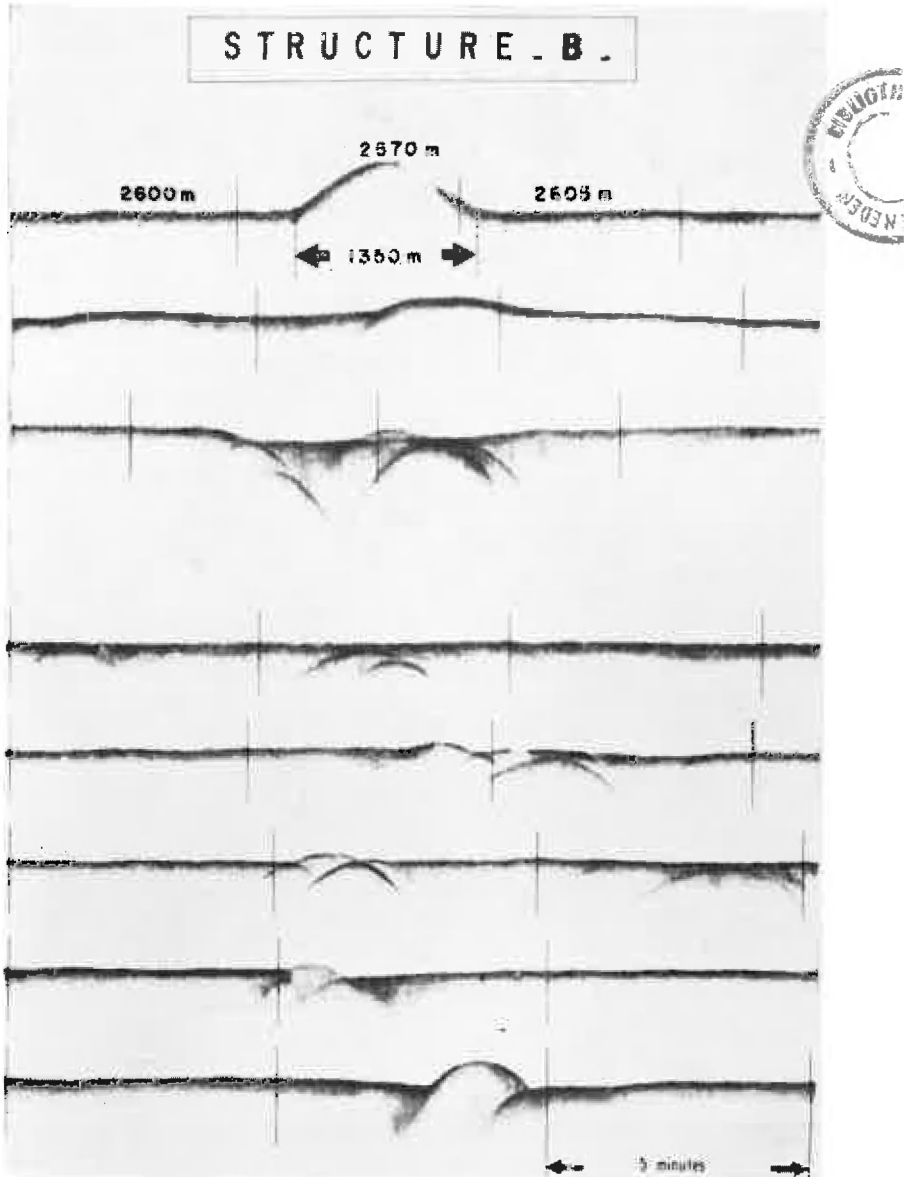


FIG. 4. — La structure B le long des différents profils (sondeur EDO à 12 kHz avec un cône de 30° à 3 dB).

vitesse de 1 500 m/s a été fait pour faciliter des corrections ultérieures, nos connaissances actuelles des vitesses réelles de propagation ne permettant pas à notre avis de dépasser une précision de 0,5 p. 100. Ce choix entraîne probablement une erreur par défaut de 2 p. 100 environ sur la plaine abyssale.

Une vérification a été faite grâce au *Bannock* du *Consiglio nazionale delle Ricerche*, travaillant en bathymétrie, magnétisme et gravimétrie sur une zone de 10 sur 10 milles environ à l'est de la Bouée-Laboratoire (structure A d'ALINAT et COUSTEAU); les lignes quadrillées sont espacées de 800 m au maximum. La comparaison [LEENHARDT, 1968] montre que le travail décrit ici est d'une très bonne qualité sur la plaine abyssale.

Du point de vue de la navigation, il paraît souhaitable d'utiliser un navire de fort tonnage avec une grande autonomie. Le résultat est, à tout prendre, plus économique.

Du point de vue du dépouillement, un système d'enregistrement automatique des données bathymétriques et RANA [LEENHARDT & LEVY-SOUSSAN, 1967] et l'utilisation d'un ordinateur accroîtraient considérablement la rapidité de la publication des cartes levées.

Sans être parfait, le document, dont la première moitié est déjà disponible, précise et surtout complète les levés de BOURCART. En effet, ce dernier, ne disposant au large d'aucun moyen de navigation plus précis que l'estime ou le point astronomique, avait dû s'en tenir aux très grandes lignes du relief et n'avait pu donner les détails figurant dans les cartes actuelles qui sont d'un grand intérêt pour le géologue.

BIBLIOGRAPHIE

- ALINAT (J.) & COUSTEAU (J.-Y.), 1962. — Accidents de terrain en mer Ligure, in : *Océanographie géologique et géophysique de la Méditerranée occidentale*, pp. 121-123. — Paris, Centre national de la recherche scientifique.
- BOURCART (J.), 1960. — Carte topographique du fond de la Méditerranée occidentale. *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, 57, n° 1163, 20 p.
- LEENHARDT (O.), 1968. — Le sondage sismique continu, un exemple d'application de l'acoustique sous-marine, in : *Colloque national du Groupe d'étude du traitement du signal (Université - Marine nationale) sur les théories et techniques de la détection en acoustique sous-marine et traitement du signal, Conférences, Nice, 17-20 avril 1967*, pp. 154-159. — Paris, éd. de la Société de la *Revue d'optique*.
- LEENHARDT (O.) & LEVY-SOUSSAN (G.), 1967. — Suggestions pour l'établissement de cartes bathymétriques précises. *Int. hydrogr. Rev.*, 44, 1, pp. 57-62.
- PERRIEN (C.), 1965. — Utilisation d'une chaîne RANA H en Méditerranée occidentale. *Int. hydrogr. Rev.*, suppl. [Aides radio-électriques à la navigation maritime et à l'hydrographie] 6, pp. 67-79.

RÉSUMÉ

Le Musée océanographique a été chargé par le C.O.M.E.X.O. du lever de la carte bathymétrique de la mer Ligure. Le positionnement a été effectué à l'aide du système RANA de radionavigation, dont les émetteurs se trouvaient à Saint-Tropez et à Vintimille. Un sondeur EDO à 12 kHz et un enregistreur ALDEN ont fourni l'essentiel des sondes, sur 10 000 milles de profil.

Le dépouillement est effectué en prenant comme vitesse du son dans l'eau la valeur de 1 500 m/s; la précision instrumentale absolue est de ± 5 m. La carte se présente sous forme de 16 feuilles au 1/50 000 et constitue un progrès sensible sur les documents antérieurs.

SUMMARY

The Oceanographic Museum has been asked by C.O.M.E.X.O. to survey and prepare a bathymetric map of the Ligurian Sea. Positioning has been carried out by the RANA radionavigation system, whose emitters were in St. Tropez and Ventimiglia. An EDO Sounder of 12 kHz and an ALDEN Recorder gave the essentials of the soundings over 10 000 miles of profiles.

The computations were performed by taking as sound velocity in water the value of 1 500 m/s; absolute instrumental precision is of ± 5 m. The map contains 16 sheets (1/50 000) and represents a real improvement.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Ozeanographische Museum von Monaco erhielt vom COMEXO den Auftrag, eine bathymetrische Karte des Ligurischen Meeres herzustellen. Positionsbestimmungen wurden mit Hilfe des Radionavigationssystems RANA durchgeführt, dessen Sender sich in Saint Tropez und Ventimiglia befanden. Der Grossteil der Lotungen wurde mit einem Echolotgerät EDO von 12 kHz und einem ALDEN-Registriergerät entlang 10.000 Meilen Profil aufgenommen.

Die Auswertung erfolgte unter Annahme einer Schallwellengeschwindigkeit von 1500 m/sec.; die absolute Instrumentengenauigkeit liegt bei ± 5 m. Die Karte besteht aus 16 Blättern im Massstab 1 : 50.000 und stellt einen bedeutenden Fortschritt gegenüber älteren Dokumenten dar.

Состав глубинной (батиметрической) карты Лигурийского моря

Жан АЛИНА, Жак-Ив КУСТО, Гюнтер ГИРМАНН,
Оливье ЛЕЕНХАРДТ, Христиан ПЕРРИЕН, Серже ПИЕРРО

Краткое содержание

СOMEXO поручил Океанографическому Музею снять глубинную (батиметрическую) карту Лигурийского моря. Местоположение было установлено при помощи системы RANA для радиомореплавания, станции которой находятся в Сан-Тропе и Вентимигля.

Лот EDO силой 12 kHz и звуковой аппарат ALDEN записали существенное данное профиля в 10 000 миль.

Побсчет показал скорость звука в воде в 1 500 м/с. Абсолютная точность в ± 5 м. Карта состоит из 16 листов и представляет значительный прогресс в сравнии с прежними документами.