

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 36 (1958)

Heft: 12

Artikel: Le premier câble téléphonique transméditerranéen

Autor: Lancoud, C. / Valloton, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874451>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicata dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

C. LANCOUD et J. VALLOTON, Berne

Le premier câble téléphonique transméditerranéen

621.315.28

Résumé. La technique utilisée pour le premier câble transatlantique téléphonique* différant de celle qui a été appliquée au premier câble téléphonique transméditerranéen, il apparut utile de faire connaître cette dernière installation aux lecteurs du Bulletin technique PTT.

Après avoir rappelé quelques aspects d'ordre général et historique, les auteurs montrent comment le développement des recherches a permis de prendre la décision de réaliser l'installation sous cette forme. Puis ils décrivent les différents éléments qui la composent et leur fabrication: câble, répéteurs, équipements terrestres, alimentation, et donnent des renseignements sur les performances de la liaison. Ils relatent ensuite les opérations de pose et terminent par quelques considérations sur l'avenir.

Introduction

Les PTT français viennent de mettre en service un câble coaxial sous-marin entre Marseille et Alger, le premier câble téléphonique intercontinental méditerranéen.

Si l'installation d'une liaison transatlantique entre Oban et Clarenville en 1955...1956 fut une grande œuvre, celle du câble transméditerranéen est une très belle réalisation. Bien que beaucoup moins longue (env. 880 km) que la ligne reliant l'Europe à l'Amérique (env. 3600 km), elle posa néanmoins de très grands problèmes qui furent, du reste, brillamment résolus. Pour cela, l'administration française s'engagea résolument dans une technique nouvelle et originale. Il nous paraît donc opportun, après avoir décrit dans le «Bulletin technique PTT», l'installation du premier câble transatlantique téléphonique, d'exposer aussi les différents principes, méthodes et moyens utilisés par la France. Les spécialistes de notre administration pourront en tirer des renseignements propres à parfaire leurs connaissances.

Une première différence essentielle entre ces deux installations réside dans le fait que la liaison trans-

Zusammenfassung. Da die beim ersten transatlantischen Telephonkabel angewandte Technik von derjenigen des ersten Mittelmeer-Telephonkabels abweicht, scheint es angezeigt, auch die Leser der «Technischen Mitteilungen PTT» hierüber zu orientieren.

Nach einigen Hinweisen allgemeiner und historischer Natur zeigen die Verfasser, wie die fortschreitende Forschung es ermöglichte, die Einrichtung in dieser Art zu verwirklichen.

Die verschiedenen Elemente derselben, wie Kabel, Verstärker, Landausrüstungen, Stromquellen, sowie deren Herstellung werden beschrieben, und ebenso die Leistungen dieser Kabelverbindung aufgezeigt. Die Verfasser berichten ferner von der Legung des Kabels und schliessen mit einigen Zukunftsbetrachtungen.

atlantique est composée d'un câble pour chaque sens de transmission; elle permet, du moins sur le parcours transatlantique proprement dit, de constituer 36 circuits téléphoniques. La liaison Marseille-Alger ne comporte, elle, qu'un seul câble pour les deux sens de transmission, contenant 60 voies téléphoniques. Les répéteurs sont ainsi unidirectionnels pour la première et bidirectionnels pour la deuxième de ces liaisons. Ils sont insérés dans le câble environ tous les 69,5 km, respectivement 30,5 km. Il en résulte que la bande de fréquences transmise sur le câble méditerranéen s'étend jusqu'à 552 kHz, et celle du câble atlantique jusqu'à 164 kHz. Le tronçon Clarenville-Sydney-Mines de ce dernier est aussi composé d'un câble unique avec amplificateurs bidirectionnels, mais sa longueur n'est que de 604 km et les répéteurs

Les auteurs se font un agréable devoir de remercier vivement la Direction générale des télécommunications de France, son Service des câbles sous-marins et la Direction du centre national d'études des télécommunications, d'avoir facilité leur tâche en leur remettant la documentation nécessaire. Ils espèrent ainsi avoir exposé d'une manière suffisamment fidèle les grandes lignes de cette œuvre.

* Cf. C. Lancoud. Le premier câble transatlantique téléphonique. Bulletin technique PTT 1957. No 9, p. 353...374

sont immergés à une profondeur ne dépassant pas 450 mètres. Dans le câble Marseille–Alger, ils reposent, presque en totalité, à des profondeurs allant de 2000 à 2750 mètres.

Pour les deux installations, ce sont les mêmes raisons essentielles qui firent préférer la liaison par câble à une liaison radio : qualité du service, sûreté, transmission échappant à toutes les perturbations atmosphériques et autres, encombrement du spectre des fréquences, etc.

Historique

Dès le début de la télégraphie, des tentatives furent faites pour relier l'Europe au continent africain à travers la Méditerranée. En 1957, on compte une trentaine de câbles télégraphiques importants, d'une longueur totale de quelque 30 000 km, qui assurent cette liaison, mais aucun câble téléphonique.

Ainsi, pour mieux être à même d'apprécier justement cette grande œuvre française, il est nécessaire de connaître un peu quels furent les premiers pas de la télégraphie par câble sous-marin dans l'«Internum Mare».

Vers 1853, deux projets furent soumis au gouvernement français. L'un, présenté par une compagnie française, prévoyait un fil qui, partant de Perpignan, aurait suivi le littoral méditerranéen de l'Espagne jusqu'à Almería. De là, un câble devait être immergé dans la Méditerranée jusqu'à Oran.

L'autre projet, présenté au nom d'une compagnie anglaise par *J. W. Brett* – le même Brett qui immergea le premier câble télégraphique dans la Manche entre Douvres et le Cap Gris-Nez, en 1850...1851 – proposait d'emprunter la côte italienne, la Corse et la Sardaigne pour aboutir à Tunis. L'Angleterre pensait pouvoir prolonger cette liaison, plus tard, le long du littoral de l'Afrique et par le Proche-Orient jusqu'aux Indes. Le 10 juin 1853, le gouvernement français porta son choix sur ce projet.

La ligne télégraphique à un fil sur poteaux, venant d'Angleterre, empruntait les territoires de la Suisse et des Etats sardes, puis, par Chambéry et Turin, gagnait La Spezia, pour atteindre la Corse par câble sous-marin. Cette île était traversée au moyen d'une ligne aérienne. Puis, un câble sous-marin était immergé dans le détroit de Bonifacio. Après avoir franchi la Sardaigne par ligne aérienne, la liaison télégraphique était acheminée par la Méditerranée, à l'aide d'un câble sous-marin posé du cap Teulada à un point situé entre Bône et la frontière de Tunis. La longueur totale des différents tronçons du câble sous-marin était de 449 km. Il avait été construit dans les usines Brett à Greenwich. La pose du tronçon La Spezia – Corse débuta le 21 juillet 1854, à partir du cap Santa Croce. Le câble pesait environ 5 tonnes par km. Le pessimisme régnait quant à la réussite de l'opération, car on craignait qu'en raison de la pression exercée par l'eau à une profondeur de 600 m, le câble ne se brisât. Mais Brett, lui, était

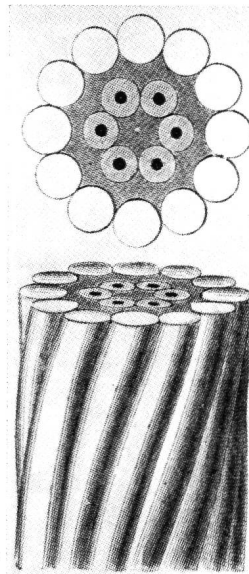


Fig. 1.
Le câble télégraphique La Spezia–Corse (1854) (Grandeur naturelle)

optimiste et il fit comprendre que le moment était venu pour l'avenir de la télégraphie sous-marine de tenter à tout prix l'expérience. Elle réussit. Le 25 juillet 1854, le câble était amarré au cap Corse, à la hauteur de la tour d'Aguelto. Le 29 août de la même année, on immergea la section au travers du détroit de Bonifacio. Le 25 septembre 1855, la pose du tronçon Sardaigne – littoral algérien commençait et se poursuivait avec beaucoup de difficultés. L'avis français le «Tartare», aidé du navire anglais «Result», était chargé de cette opération. On partit de Cagliari en direction de Bône, mais le 26 déjà, le câble se rompit. En 1856, au mois d'août, une nouvelle tentative fut faite, mais les courants firent dévier le «Dutchman», navire à vapeur anglais, et le câble ne fut plus assez long pour atteindre la côte. Pendant que le «Tartare» allait chercher des bouées et du matériel pour maintenir le bout libre, la mer se gâta ; le câble fut brisé et emporté. En 1857, une nouvelle tentative fut faite avec un câble ne pesant que 4 tonnes au km, cette fois depuis la côte d'Afrique. Commencée le 7 septembre 1857, l'immersion était terminée le

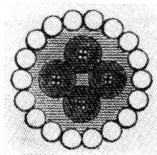


Fig. 2.
Le câble télégraphique de grand fond Sardaigne–Côte de Bône (1857) (Grandeur naturelle)

8 déjà, mais à nouveau le câble était trop court : il en manquait 20 km. On souda provisoirement un petit câble qui, un mois après, fut remplacé par un câble définitif. Cette installation ne fonctionna jamais bien et était déjà hors service au bout de deux ans. En septembre 1860, on tenta à nouveau d'immerger un câble Marseille–Alger, opération qui fut aussi marquée de nombreux incidents. Elle dut être reprise plusieurs fois, mais resta sans succès. En août 1861, une nouvelle tentative fut faite, qui se termina

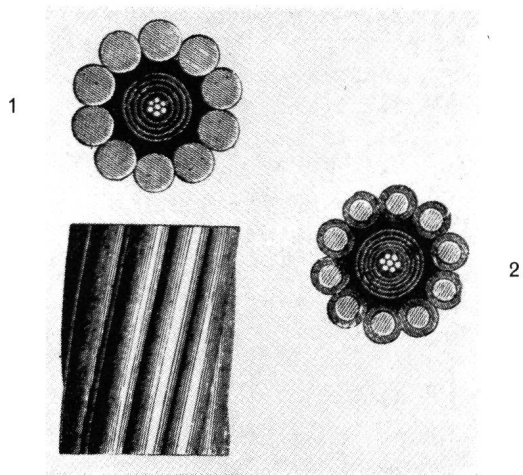


Fig. 3. Le câble télégraphique Marseille-Alger (1860) 1. côtier - 2. de grand fond (Grandeur naturelle)

le 7 octobre, mais cette fois de Port-Vendres par Mahon, dans les Baléares. Hélas! au bout de quelques mois, la liaison cessa de fonctionner. Elle coûta à l'administration française la somme de 2 825 000 fr. de l'époque.

Une troisième fois, en 1863, on essaya de relier la France à l'Algérie. Le câble avait été construit par M. Siemens, alors directeur des télégraphes de Prusse. Le trajet choisi allait d'Oran à Carthagène, touchait la plage d'Ain-el-Turk, en Afrique, et atterrissait à Algameca-Chica sur la côte d'Espagne. Le 12 janvier 1864, le navire «Dix décembre» commençait la pose depuis la côte d'Afrique. A nouveau, elle fut émaillée de nombreux incidents. Le câble finalement se brisa. Siemens, après avoir tout d'abord renoncé à le relever fit un essai, infructueux, en 1864. Si l'on en croit les renseignements d'alors, l'insuccès était surtout dû «à beaucoup d'avaries par suite de fausses manœuvres

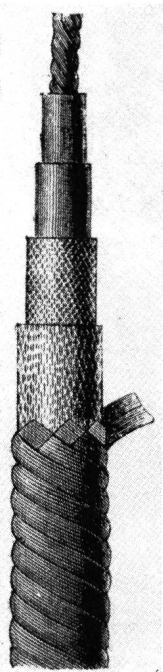


Fig. 4. Troisième câble télégraphique Europe-Algérie (1863) construit par W. Siemens (Grandeur naturelle)

et d'imprévoyance». Depuis lors, et jusqu'en 1870, il n'y eut pas de liaison directe télégraphique entre la France et l'Algérie. Les dépêches étaient expédiées par la côte italienne, la Sicile, et le câble sous-marin Sicile - Tunis.

Les recherches et le projet

En 1934, M. Marzin, l'actuel directeur du Centre national d'études des télécommunications (CNET), organisa et dirigea des essais de transmission téléphonique par courants porteurs sur le câble télégraphique isolé à la gutta-percha Toulon-Ajaccio. En 1942, grâce au développement de la technique des amplificateurs, on put commencer à préparer des projets réalisables de câbles sous-marins téléphoniques équipés de répéteurs. Bien que la France fût alors en guerre, les développements nécessaires n'en continuèrent pas moins, sous la conduite de la Direction des recherches et du contrôle technique des PTT. Grâce au travail d'une équipe entraînée par M. Sueur, actuellement ingénieur général au CNET, équipe composée des organismes publics et privés suivants: Départements «Energie», «Lignes», «Transmission» du CNET, Direction des câbles sous-marins du Ministère des PTT, Câbles de Lyon (CGE) et Compagnie générale de télégraphie sans fil (CSF), les travaux se déroulèrent dans un parfait esprit de communauté. La technique se développait sans cesse. Ainsi le remplacement de la gutta-percha par le polyéthylène apporta une grande réduction de l'affaiblissement des câbles, ce qui devait permettre, entre autres, de diminuer le nombre des amplificateurs. Le perfectionnement des tubes à vide et des pièces détachées se poursuivit. La construction des répéteurs souples fut étudiée en même temps que celle de répéteurs rigides.

En 1944, M. Martin, ingénieur au Service des câbles sous-marins, mit au point un amplificateur à liquide égaliseur qui, tout en restant flexible, permettait de supporter de très grandes pressions.

En septembre 1946, on fit un premier essai d'immersion d'un amplificateur à enveloppe rigide sur le câble télégraphique Toulon-Ajaccio. Après de nombreux essais qui durèrent six mois, l'amplificateur fut relevé. Sur la base des observations faites, et après examen approfondi de ce prototype, on se décida finalement pour un répéteur souple. En effet, ce type permet une immersion continue du câble, qui ne nécessite pas l'arrêt du navire pour la pose du répéteur, ce qui élimine, à priori, de nombreuses causes d'accidents et d'incidents. En outre, il ne modifie pas la continuité mécanique du câble.

Après de nombreuses recherches et études ainsi que la construction de prototypes de câbles et de répéteurs, on put enfin poser en octobre 1950 entre Cannes et Nice un câble expérimental en boucle d'environ 110 km de longueur. Le répéteur repose à une profondeur d'environ 2500 m. On constata une grande stabilité dans la transmission, provenant notamment des faibles variations de température de

l'eau dans les grands fonds (en Méditerranée environ 13° C) et du calme qui généralement y règne. Cette installation fonctionne d'ailleurs toujours, à parfaite satisfaction.

Cette expérience ayant réussi, on se mit à l'œuvre en 1953, en vue d'établir le projet définitif d'une liaison France-Afrique du Nord. Entre temps, la technique française s'affirma encore. Ainsi, en 1956, un câble coaxial de 110 km de longueur fut posé par petits fonds le long de la côte tunisienne. Il permet de constituer 120 voies téléphoniques et 4 répéteurs y sont insérés.

Après avoir pesé tous les avantages techniques et économiques d'une installation à deux câbles par rapport à celle à un seul câble, l'administration des PTT avait pris au début de 1954, sur la base du projet présenté par le CNET, la décision de poser un seul câble téléphonique coaxial à 60 voies pour acheminer les deux sens de transmission. En effet, les différentes études montrèrent non seulement que le système bidirectionnel apportait, pour 60 voies téléphoniques, une économie d'investissements de 43% et une réduction du nombre des répéteurs de 25%, mais que la liaison à deux fils était de cette manière techniquement réalisable. Pour 120 voies, deux câbles unidirectionnels laissaient apparaître une économie de prix d'à peine 1 à 2% par rapport à deux liaisons bidirectionnelles à 60 voies. Le nombre de répéteurs étant sensiblement égal dans les deux solutions, le montant des dépenses totales d'investissement restait donc à peu près le même. Mais le choix du système

bidirectionnel présentait l'immense avantage d'échelonner ces dépenses dans le temps. En outre, il est clair que la sécurité d'une installation à 120 voies à deux câbles unidirectionnels est moindre que celle de deux installations bidirectionnelles, chacune à 60 voies.

Toutes les recherches étaient naturellement aussi axées sur la réalisation de liaisons qui seraient au moins conformes aux recommandations du CCITT, en ce qui concerne la répartition dans la bande des fréquences. Elles devaient, en outre, répondre aux exigences du circuit fictif terrestre de référence de 2500 km, dans lequel la puissance psophométrique moyenne à l'extrémité ne doit pas dépasser 10 000 pW. Relevons encore que les études et expériences préliminaires pour mettre au point mécaniquement l'armure du câble, les répéteurs et les machines de pose du câblier durèrent près de trois ans. On construisait un appareillage qui permit de déterminer empiriquement en usine la structure extérieure du répéteur et de ses cônes de raccordement, en faisant subir à des maquettes des efforts à peu près semblables à ceux que le répéteur devait supporter en cours de pose. Parallèlement, la mise au point des caractéristiques électriques de tous les organes et spécialement des tubes amplificateurs se poursuivait.

En 1956, enfin, on immergea et on releva par grands fonds un modèle inséré sur du câble coaxial à simple armure, afin de vérifier si le décrochage de l'armure avait un effet quelconque sur les organes intérieurs du répéteur.

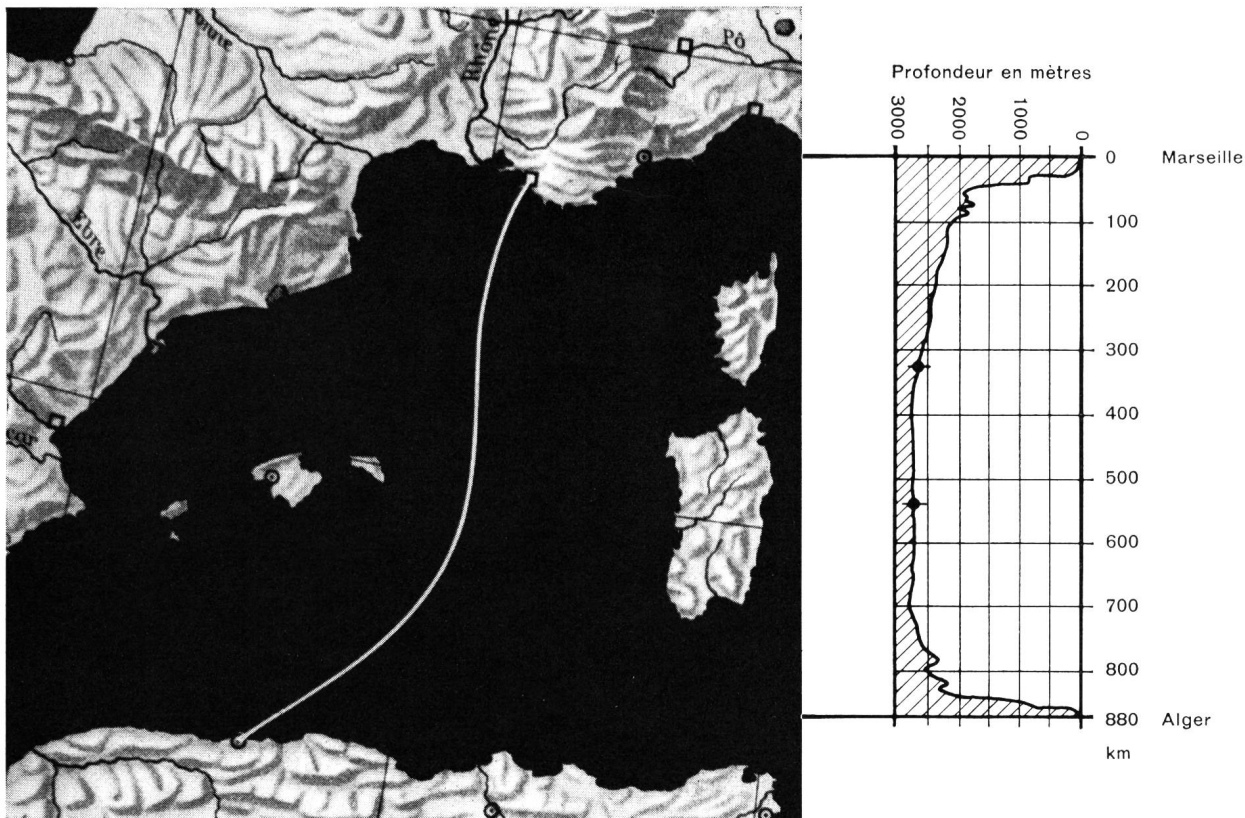


Fig. 5. Le tracé et le profil des fonds

- 1 Conducteur central $\varnothing 4,3$ mm
 - 2 Isolant en polyéthylène $\varnothing 15,6$ mm
 - 3 Conducteur extérieur et ruban de cuivre
 - 4 Couche de jute
 - 5 Armure
- Type B: 16 fils acier $\varnothing 5$ mm
 Type E: 15 fils acier $\varnothing 7$ mm
 Type AB: 23 fils acier $\varnothing 4,5$ mm et
 22 fils acier $\varnothing 7$ mm
- 6 Protection électrique:
 - 2 feuillards acier étamé
 - 1 ruban tanné
 - 1 gaine de polyéthylène
 - 2 rubans de cuivre
 - 1 ruban de toile

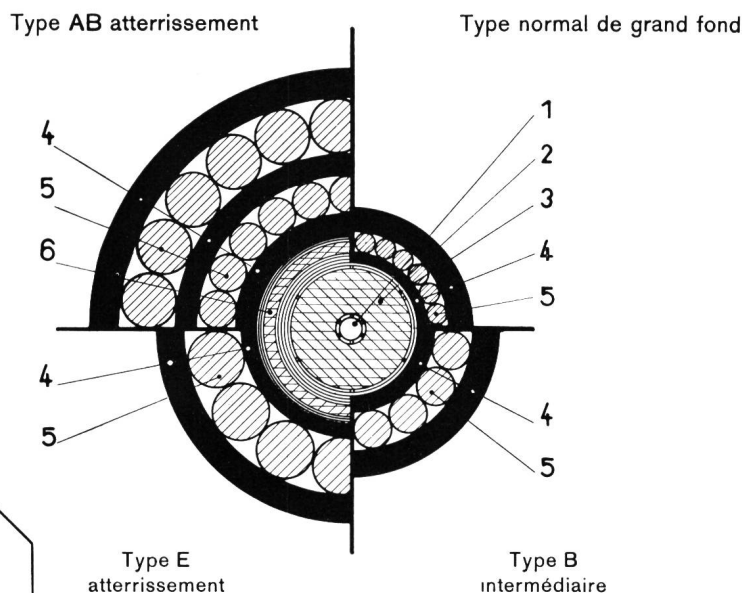
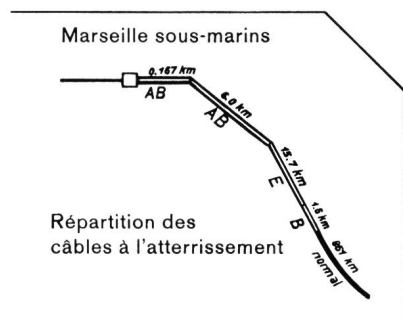


Fig. 6. Coupe des câbles. Echelle environ 1:1

Le projet définitif n'avait plus qu'à tenir compte de la puissance de sortie et de l'espace-ment des répéteurs. Celui-ci fut fixé alors à environ 16,5 MN, soit 30,5 km, longueur qui tenait compte des servitudes imposées par la pose. On dut donc prévoir pour les quelque 880 km, 28 répéteurs.

C'est avec enthousiasme que l'équipe s'attaqua à la réalisation du projet. Les premières commandes aux constructeurs furent passées à la fin de 1955.

Le tracé

Le câble télégraphique Marseille-Alger posé en 1880 n'ayant eu son premier défaut dans les grands fonds qu'en 1957, on en tira la conclusion que ce tracé était sûr. Des sondages effectués à cet effet par la Marine nationale en 1957 confirmèrent que les fonds étaient excellents. Le tracé du câble coaxial fut donc choisi parallèlement à celui du câble de 1880. Le fond de la mer était relativement plat sur une longueur de près de 700 km et la profondeur maximum de quelque 2800 m.

Le câble

La technique de construction du câble lui-même présente évidemment certaines analogies avec celle qui a été utilisée pour le câble transatlantique. Le câble, du type coaxial à une paire, a été fabriqué par les Câbles de Lyon, à Bezons et Calais.

Le *conducteur central* comprend un fil de cuivre de $3,43 \pm 0,01$ mm de diamètre, entouré de 6 rubans de cuivre de 1,96 mm de largeur et de 0,44 mm d'épaisseur, enroulés parallèlement en hélice. Le conducteur ainsi formé a un diamètre de $4,3 \text{ mm} \pm 2,9\%$.

L'*isolation* est constituée par une couche de polyéthylène plein additionné de 5% de caoutchouc butyl et de 0,1% d'antioxygène, appliquée autour du conducteur central. Ce cylindre a 15,6 mm de diamètre. La constante diélectrique de cet isolant est de 2,25 à 2,29.

Le *conducteur extérieur* est formé de 6 bandes de cuivre de 8,1 mm de largeur et 0,1 mm d'épaisseur, enroulées jointivement en hélice sur l'isolant.

L'âme ainsi constituée est protégée contre les tarets, par un ruban de cuivre de $30 \text{ mm} \times 0,1 \text{ mm}$ fretté autour d'elle avec un recouvrement de 20%. La paire coaxiale est encore enveloppée d'un ruban de coton et par du jute tanné. Dans les câbles d'atterrissement, elle est, en outre, protégée contre les perturbations électriques extérieures par un écran constitué de deux feuillards d'acier étamé de 0,2 mm d'épaisseur. Cet écran est isolé ensuite par un ruban tanné et une gaine de polyéthylène de 2 mm d'épaisseur. Finalement, un second écran formé de deux rubans de cuivre de 0,1 mm d'épaisseur et d'un ruban de toile imprégnée recouvre le tout. L'affaiblissement linéique de la paire à 552 kHz, à 13° C et sous une pression de 270 kg/cm^2 , est de 0,194 N par km.

Selon que le câble est posé à proximité des côtes ou dans les grands fonds, les armures sont différentes. Des essais furent effectués en mer par le câblier l'«Alsace», qui posa et releva plusieurs fois deux longueurs, permirent de comparer le comportement des câbles à simple armure ou à double armure à câblage inversé. La double armure a bien l'avantage d'empêcher les effets de rotation et de torsion, ce qui est avantageux pour les répéteurs, mais son poids met

trop à contribution les appareillages de pose. L'armure simple est d'un maniement plus commode à bord, car elle permet un meilleur lovage dans les cuves et le câble a moins tendance à former des coques ou des «roues» ou encore à «vriller». En outre, naturellement, elle est plus légère que l'armure double.

On choisit donc ce type d'armure pour le câble de grand fond et pour les câbles côtiers. Par contre, le câble d'atterrissement est à double armure. (Voir tableau I). Les armures sont composées de fils en

Tableau I Caractéristiques des câbles

Type du câble	Armure		Diamètre extérieur du câble mm	Poids par m en kg		Observations
	Nombre de fils	Diamètre du fil en mm		dans l'air	dans l'eau de mer	
Grand fond	24	2,18	31,4	1,8	1,0	
Intermédiaire B	16	5	38	3,7	2,6	
Atterrissement E	15	7	49,9	6,6	4,7	
Atterrissement AB:			67,3	12,7	9,2	
1 ^{re} armure	23	4,5				couche de jute entre 1 ^{re} et 2 ^e armure
2 ^e armure	22	7				

acier galvanisé et recouvertes d'une couche de jute imprégné. La charge de rupture nominale du câble de grand fond est de 10,75 tonnes.

La régularité rigoureuse des constantes électriques de la paire coaxiale est déterminante pour la qualité de la transmission. Elle dépend non seulement de la qualité de la matière, mais aussi de la régularité géométrique de la paire. Les exigences des cahiers des charges furent donc établies d'une manière très sévère, tant en ce qui concerne le choix des matières premières que les procédés et les tolérances de fabrication. En voici quelques exemples.

Le cuivre provenait de «Wirebars» de haute qualité et la conductivité du matériel fut en moyenne de 101,6% par rapport à celle du cuivre type, sans jamais descendre en dessous de 100,3%.

Afin d'éviter toute déformation, pollution ou ternissement du fil central pendant son transport de la tréfilerie à la câblerie, le bobinage et l'emballage furent spécialement étudiés.

Pour éliminer toute trace de lubrifiant après le tréfilage, le fil était lavé dans un solvant et nettoyé à la vapeur.

Afin d'obtenir une surface brillante du métal, le recuit fut exécuté dans un four électrique, soit sous une atmosphère réductrice, soit dans le vide.

Les opérations de finissage du tréfilage et du laminage se firent dans un atelier à air filtré et conditionné.

La mise en place des différents éléments constituant l'âme, c'est-à-dire la paire coaxiale, était évidemment une des opérations les plus importantes du processus de fabrication. Les mesures de contrôle

prises furent très sévères et les résultats obtenus extrêmement satisfaisants, comme nous allons le voir.

Le diamètre du conducteur central a été mesuré et enregistré en permanence et ses variations ne dépassèrent pas 0,0125 mm.

La qualité et le diamètre de l'isolant devant être très constants, des précautions extrêmement minutieuses furent prises à cet effet. Ainsi, les tensions d'alimentation des moteurs des machines d'entraînement devaient être constantes à ± 1 volt, afin que la vitesse de passage fût très régulière. On veilla aussi à obtenir une propreté parfaite du conducteur central et une température régulière et homogène. La tête d'extrusion servant à enrober l'isolant autour du conducteur de cuivre a été spécialement étudiée.

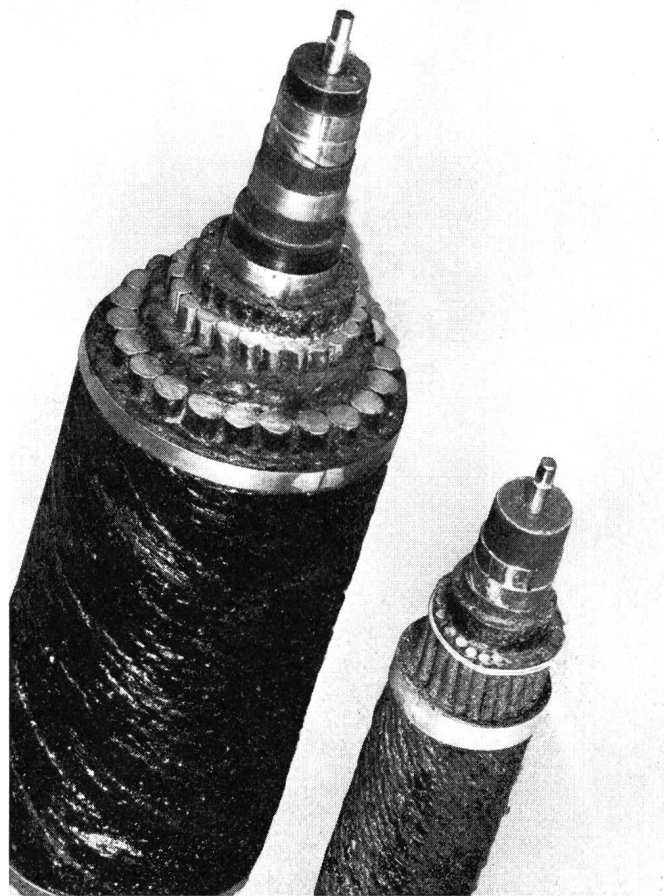


Fig. 7. Le câble d'atterrissement type AB (à gauche) et le câble normal de grand fond

Le flux de matière isolante devait être très constant et sans solution de continuité. La vitesse de passage du câble était enregistrée en divers points du dispositif.

La valeur du diamètre sur l'isolant a été mesurée et enregistrée continuellement dans deux plans rectangulaires au moyen d'appareils pneumatiques de contrôle installés à l'extrémité de la chaîne d'isolation. Les variations de diamètre restèrent inférieures

à $\pm 0,1$ mm. Le centrage du conducteur à l'intérieur de l'isolant fut contrôlé au moyen d'un appareil basé sur la mesure différentielle de capacité. L'excentrage est resté inférieur à $\pm 1\%$. Finalement, on rectifia encore le cylindre isolant par un passage dans une machine à fraiser. Le diamètre extérieur put être maintenu avec une exactitude de $\pm 0,02$ mm et le conducteur de retour en cuivre était aussi parfaitement cylindrique. La capacité de la totalité des longueurs fabriquées est restée dans des limites de tolérance de $\pm 2\%$ de la valeur du cahier des charges.

Deux ou trois longueurs de fabrication ont été groupées systématiquement pour former une section d'amplification ayant une régularité d'impédance optimum. L'écart d'impédance dans une telle section ne dépassa pas $\pm 3\text{‰}$. Le raccordement de ces longueurs a été réalisé par moulage de l'isolant au moyen d'une presse à injection. Les joints subirent ensuite des épreuves de pliage, furent mis sous tension continue de 120 kV pendant une heure, et soumis à des examens aux rayons X. La section, d'environ 30,5 km, était ensuite transportée par camion spécial

Tableau II

	Valeur moyenne		Ecart
Résistance linéique en courant continu . . .	ohm/km	1,20	$\pm 3,1\text{‰}$
Capacité linéique	$\mu\text{F}/\text{km}$	0,099	$\pm 1,7\text{‰}$
Impédance moyenne . . .	ohm/km	27,574	$\pm 3,2\text{‰}$
Affaiblissement linéique sur image à 552 kHz et à 13°C.	N/km	0,194	$\pm 3,6\text{‰}$

Le répéteur immergé

Si l'on veut faciliter la pose des répéteurs, il est important que leurs caractéristiques mécaniques soient aussi identiques que possible à celles du câble. Dans le câble transatlantique, le choix d'un câble pour chaque sens de transmission avait permis de construire des répéteurs unidirectionnels dont le diamètre extérieur était d'environ 71 mm, le câble de grand fond lui-même ayant un diamètre extérieur

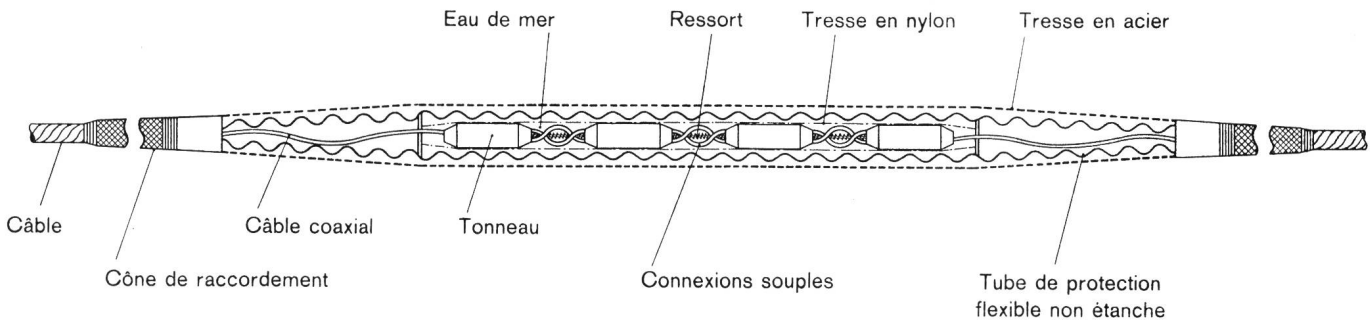


Fig. 8. Croquis du répéteur immergé

à l'usine de Calais pour y être armée. Pendant cette opération, on contrôlait, par une mesure faite tous les milles nautiques (1852 m), la résistance d'isolement, la capacité et les écarts d'impédance. Le câble était ensuite stocké dans des cuves de 10 m de diamètre remplies d'eau, pour permettre, après l'y avoir laissé pendant 72 heures à une température de 18° C, d'effectuer des mesures d'affaiblissement, d'impédance et de régularité d'impédance à température constante. Puis chaque section d'amplification fut ajustée exactement au gain à 552 kHz du répéteur qui lui était attribué, car il faut maintenir un équilibre rigoureux entre le gain des répéteurs et l'affaiblissement du câble. On tint compte aussi de l'influence de la température de l'eau et de la pression sur l'affaiblissement par rapport aux valeurs obtenues en fabrique. Ensuite les répéteurs étaient connectés aux différentes sections d'amplification pour constituer les trois tronçons de pose.

Les caractéristiques moyennes et les tolérances (exprimées sous forme d'écart quadratique moyen par rapport à ces caractéristiques) pour l'ensemble de la fabrication sont les suivantes:

d'environ 36 mm. C'est probablement la performance maximum que l'on peut atteindre avec la technique des amplificateurs à lampes.

Les PTT français ayant opté pour la méthode bidirectionnelle, le problème des répéteurs souples remplissant la condition ci-dessus était extrêmement ardu à résoudre. Des essais faits au moyen de maquettes avaient montré qu'il n'était guère possible de construire un répéteur d'un diamètre extérieur sur l'armure de moins de 18 cm de diamètre, le câble de grand fond ayant un diamètre extérieur de 31 mm environ. Malgré cela, une solution remarquable fut trouvée.

Description

Comme nous l'avons déjà vu, les deux sens de transmission s'effectuant sur la même paire, le répéteur est du type bidirectionnel. Le schéma simplifié d'un répéteur est montré à la figure 9.

Le montage «en pont» permet l'amplification et la correction d'affaiblissement des courants téléphoniques de deux directions dans une branche du pont, au moyen d'un seul amplificateur.

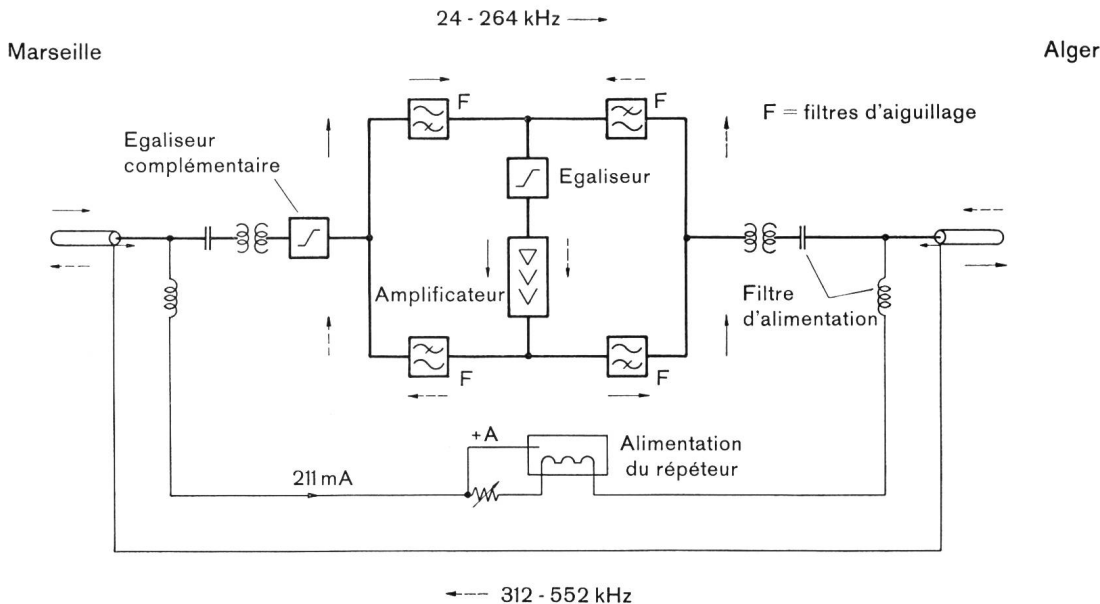


Fig. 9.
Schéma de principe du répéteur

- Le répéteur comprend 4 parties principales :
- filtres d'alimentation et translateurs,
 - filtres d'aiguillage des courants téléphoniques,
 - amplificateur,
 - égaliseur.

Filtre d'alimentation

Ce filtre est composé d'un filtre passe-bas et d'un filtre passe-haut séparant les courants d'alimentation de l'amplificateur des courants haute fréquence des voies téléphoniques. Il est complété par un translateur à double écran séparant les circuits à haute tension et à basse tension.

Certains éléments doivent supporter une tension continue de 1500 V et des questions délicates de rigidité diélectrique ont dû être résolues.

Filtres d'aiguillage des courants téléphoniques

Ces filtres ont pour but de séparer les bandes de fréquences attribuées à chaque sens de transmission. Ils ont été calculés selon une récente théorie française sous forme d'un réseau à quatre paires de bornes (octopôles) d'impédance constante. Des dispositions spéciales permettent en effet d'obtenir une impédance effective constante à toute fréquence à chaque paire de bornes, et un affaiblissement très important entre paires opposées. Dans la bande passante, la distorsion d'affaiblissement a été inférieure à 0,01 néper pour toute la série de fabrication, alors que l'affaiblissement de réflexion était supérieur à 2,5 népers.

Amplificateur

L'amplificateur comporte trois étages d'amplification, dont chacun équipé d'un seul tube, type PTT 301. Une étude approfondie a été conduite pour déterminer la sécurité supplémentaire obtenue par l'emploi de tubes en parallèle selon la technique de certains pays ou par un amplificateur en parallèle suivant la technique française. Le choix du montage a été effectué en comparant les probabilités d'apparition de défauts de transmission, en fonction de la pro-

babilité de défauts des pièces détachées des répéteurs. En raison de l'expérience acquise dans la fabrication de tubes pour répéteurs sous-marins, il était certain que la probabilité de défauts d'un tube par épuisement de la cathode était extrêmement faible. Par contre, l'apparition de défauts par imperfections mécaniques était beaucoup plus probable. Sans compliquer beaucoup le schéma de l'amplificateur, ce qui augmente du reste la probabilité de dérangements, il est très difficile de le protéger contre tous les défauts mécaniques possibles des tubes, tels que court-circuit entre électrodes. Il est apparu donc plus logique de diminuer, par une construction appropriée, le risque dû à ces imperfections mécaniques. Si cette probabilité est du même ordre de grandeur que pour les pièces détachées, il est alors inutile d'utiliser des montages plus compliqués avec des tubes en parallèle.

Cet objectif a été atteint par une fabrication minutieuse et par des contrôles rigoureux effectués à chaque stade de la production. La probabilité d'apparition d'un défaut sur un tube quelconque est inférieure à 1 risque sur 10 000 pendant une période de 10 ans.

La contre-réaction est du type série/parallèle. Elle permet d'adapter l'impédance à la sortie du répéteur tout en utilisant la totalité de la puissance fournie par le dernier tube. Le taux de contre-réaction est supérieur à 4 népers à 24 kHz et il diminue à 3 népers à 552 kHz. Des études de bruit ont montré que cette réduction de contre-réaction était admissible même pour des niveaux de voies téléphoniques identiques à la sortie du répéteur.

Le transformateur d'entrée, accordé à une fréquence supérieure à 552 kHz, forme la branche shunt d'un correcteur compensant la majeure partie de la distorsion d'affaiblissement du câble. Cette disposition permet d'améliorer le rapport signal / bruit dans la bande de fréquences inférieure transmise. Une pré-

accentuation des niveaux dans la partie supérieure de la bande est alors possible.

La courbe de gain de l'amplificateur est semblable à la courbe théorique, à 0,005 néper près. La dispersion de l'ensemble des répéteurs est restée inférieure à 0,01 néper dans toute la bande de fréquences transmises.

Egaliseur

Des égaliseurs du type à cellule en T ponté sont disposés à l'entrée de l'amplificateur. Ils corrigent la légère distorsion d'affaiblissement des filtres d'aiguillage au voisinage de l'interbande et le reste de la distorsion d'affaiblissement du câble.

Construction

Le répéteur lui-même a la forme d'un cylindre articulé de 17 cm de diamètre extérieur, d'environ 5,20 m de long.

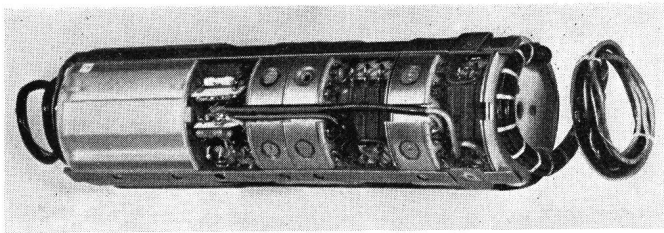


Fig. 10. L'intérieur d'un des quatre tonneaux

Il contient quatre boîtiers cylindriques appelés «tonneaux», formés d'un tube d'acier mi-dur au nickel-chrome, revêtu par moulage d'une couche isolante de polyéthylène de 8 mm d'épaisseur. Chaque tonneau est fermé aux deux extrémités par un couvercle en acier dans lesquels sont aménagées des sorties étanches sous 1000 kg/cm² de pression. Afin d'éviter des phénomènes d'intermodulation, les conducteurs les traversant sont en métal non magnétique; une céramique métallisée et émaillée constitue l'isolant. Les couvercles sont préalablement reliés deux à deux par des câbles coaxiaux souples, dont la gaine en polyéthylène est soudée par moulage au polyéthylène enveloppant les tonneaux. Ces câbles assurent la liaison électrique entre les organes des différents tonneaux. Un surmoulage en polyéthylène assure la jonction finale entre boîtiers et couvercles. Les connexions d'extrémités sont faites par l'intermédiaire de câbles coaxiaux spéciaux sous polyéthylène.

Les quatre tonneaux de chaque répéteur sont montés en série et contiennent les organes principaux suivants:

- 1er tonneau: le translateur, l'aiguillage d'alimentation pour un sens de transmission et les condensateurs de filtrage du courant d'alimentation;
- 2e tonneau: les filtres d'aiguillage des signaux vocaux;

- 3e tonneau: l'amplificateur proprement dit avec ses 3 tubes en série et ses égaliseurs;
- 4e tonneau: le translateur et le deuxième aiguillage entre l'alimentation et les signaux pour l'autre sens de transmission.

L'ensemble des ces quatre tonneaux est entouré d'une tresse en nylon.

Les deux tonneaux d'extrémité supportant les contraintes électriques les plus importantes, l'isolement de leurs différents éléments est assuré par des boîtiers spéciaux en plexiglas. La tension continue entre la masse du boîtier et les connexions du condensateur peut atteindre 1500 volts, mais en réalité la rigidité obtenue va jusqu'à 6000 volts.

Le 2e tonneau est divisé par des cloisons de laiton en quatre secteurs égaux. Les quatre filtres qui constituent l'aiguillage sont réunis par des connexions coaxiales très courtes.

Le 3e tonneau contient l'amplificateur proprement dit. Les différents éléments occupent trois compartiments distincts. A une extrémité se trouvent le transformateur d'entrée et le dipôle de contre-réaction, à l'autre le transformateur de sortie. Les trois tubes à vide et leurs éléments sont placés au centre dans une boîte métallique cylindrique étanche remplie d'huile de silicone, qui facilite la dissipation calorifique. Si seule cette partie baigne dans l'huile, c'est qu'on a estimé préférable d'éviter tout contact de connexion comportant du polyéthylène avec ce liquide.

Chaque tonneau a un diamètre intérieur de 80 mm, une épaisseur de 12,5 mm et une longueur de 310 mm.

Il peut supporter une pression de 1000 kg par cm². Une fois le montage des éléments intérieurs et le raccordement des câbles aux couvercles terminés, l'ensemble est soumis à des opérations de séchage, puis rempli de compound ou d'huile.

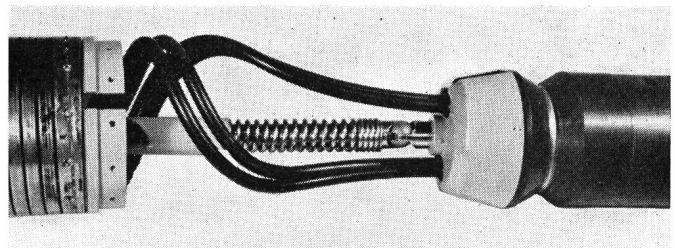


Fig. 11. La jonction électrique et mécanique entre tonneaux

La protection mécanique radiale contre les efforts, lors du passage du répéteur à travers les différentes machineries de pose, est assurée par un robuste tube d'acier flexible non étanche, agrafé. Son rayon de courbure est de 60 cm, sa résistance à l'aplatissement de 70 kg par cm de génératrice et son diamètre extérieur atteint 153 mm. Chacun des anneaux élémentaires qui le composent a une longueur de 10 mm environ et est alternativement concave et convexe. Pour permettre la transition entre le répéteur et le câble coaxial, ce tube est prolongé par des segments tronconiques.

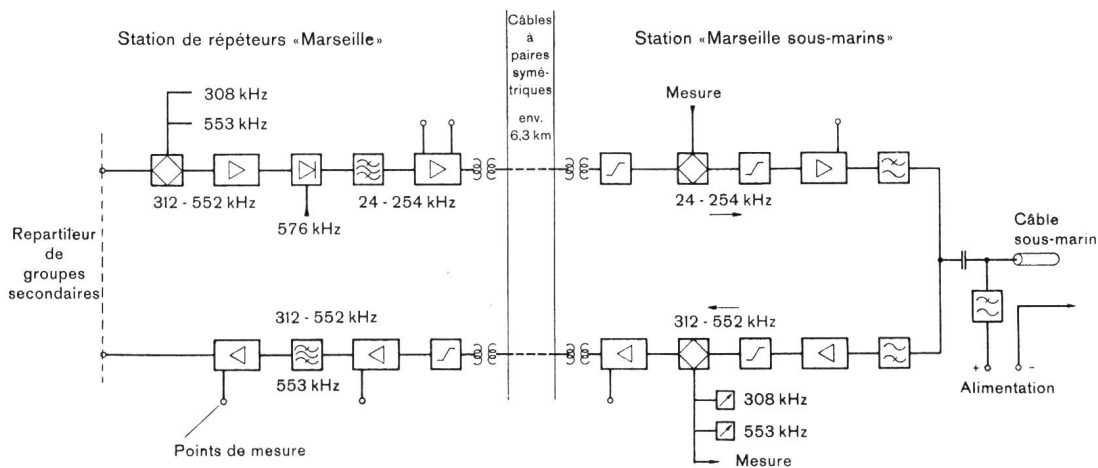


Fig. 12.
Schéma de principe
d'une extrémité de la
liaison Marseille-Alger

La résistance longitudinale à la traction est assurée par une tresse quadrillée en acier inoxydable appliquée étroitement au tube d'acier avant d'être frettée sur plusieurs mètres sur la double armure du câble d'armore, long d'une cinquantaine de mètres. Afin d'obtenir un passage progressif, du diamètre du répéteur au diamètre du câble, la tresse est fourrée, sur une longueur de 23-24 m, d'un matelas de bitord formant un cône de raccordement. Elle empêche aussi toute rotation du répéteur.

L'ensemble du répéteur reçoit enfin une armature très légère de fils d'acier et un matelas imputrescible facilitant le passage dans les machines de pose du navire. Le dispositif atteint quelque 100 mètres de longueur, y compris les deux câbles d'amorce, et pèse à peu près une tonne. La partie «active» a un poids d'environ 140 kg.

Pour compenser exactement l'affaiblissement d'une section de câble de 30,5 km, les répéteurs ont un gain de 5,89 népers à la fréquence de 552 kHz. Ils ont été fabriqués avec un grand raffinement de procédés par la Compagnie industrielle des téléphones. L'aspect des ateliers était semblable à celui de la salle d'opération d'un hôpital. Les locaux étaient ventilés avec de l'air filtré à température constante et circulant avec une légère surpression. Le personnel travaillait en blouses blanches avec des calots et des gants, équipement qui était maintenu toujours propre.

Les pièces détachées utilisées ont été soumises à un échantillonnage extrêmement rigoureux. Après avoir été numérotées et classées par lot de fabrication, 10% des pièces étaient prélevées au hasard et soumises à des essais. S'ils n'étaient pas totalement satisfaisants, tout le lot était refusé.

Les équipements terrestres

Ces équipements ont pour but d'assurer :

- la liaison entre les réseaux terrestres et le câble immergé;
- la téléalimentation des répéteurs;
- la surveillance de la liaison coaxiale et la localisation d'un défaut éventuel.

Ils peuvent être divisés en deux groupes :

- 1) Les amplificateurs terminaux et les équipements de téléalimentation, qui font partie de la «ligne» et doivent être placés dans la station d'atterrissement.

- 2) Les équipements de modulation et démodulation qui permettent de placer les groupes primaires ou secondaires dans les bandes de fréquences transmises sur la liaison sous-marine. Ces équipements sont montés sur la côte française à la station de répéteurs de Marseille située à environ 7 km de la station d'atterrissement «Marseille sous-marins».

Sur la côte algérienne, la station d'atterrissement est combinée avec une station principale de dérivation (Fort-de-l'Eau) d'une installation par câble coaxial terrestre Alger-Constantine.

Sur la côte française, les stations d'atterrissement et de répéteurs sont reliées par un câble à paires symétriques de 4 quarts-étoiles de 1,2 mm de diamètre présentant un affaiblissement de 0,52 N/km à 552 kHz. Les deux sens de transmission utilisent les deux paires d'une même quarte, mais avec des bandes de fréquences différentes.

Dans le sens Marseille-Alger, le groupe secondaire de base de la station de répéteurs de Marseille passe par un modulateur et, au moyen d'une fréquence porteuse de 576 kHz, est transposé dans la bande de 24 à 264 kHz.

Par des transformateurs de couplage, l'onde pilote de groupe secondaire et les pilotes de lignes sont injectés dans la liaison. A la station «Marseille sous-marins» le groupe à 60 voies passe successivement par les appareils principaux suivants :

- un correcteur de distorsion d'affaiblissement du câble à paires symétriques,
 - un amplificateur de ligne,
 - un réseau de précorrection,
 - un amplificateur d'émission,
 - un filtre d'aiguillage,
 - un filtre d'alimentation,
- avant d'être émis sur le câble sous-marin.

Sur la côte algérienne, le groupe, après séparation, correction, amplification et démodulation, est placé

à nouveau dans la bande de fréquences du groupe secondaire de base, au niveau et à l'impédance prescrits au répartiteur.

Dans le sens Algérie-France, le groupe de base est transmis de bout en bout dans sa bande de fréquences, c'est-à-dire de 312 à 552 kHz.

L'amplificateur d'émission de Fort-de-l'Eau est construit spécialement. En effet, le câble étant posé de Marseille vers la côte algérienne, la longueur de la section d'amplification d'extrémité pouvait varier dans des limites assez grandes. Il a été nécessaire de prévoir de débiter, pour le cas extrême, une puissance de sortie de 8 watts.

Deux ondes pilotes par sens de transmission sont émises en permanence. Leurs fréquences sont respectivement de 23 et 268 kHz dans le sens Marseille-Alger, de 308 et 553 kHz dans l'autre sens. Ces ondes permettent un contrôle de la qualité de la liaison en fonction du temps. Des appareils de mesure, branchés en permanence aux stations d'extrémité et d'atterrissement, permettent un contrôle continu de la liaison et, en outre, donnent une alarme en cas de coupure.

Dans toute liaison sous-marine, les problèmes de la surveillance et de la localisation de défauts des répéteurs immergés revêtent une importance primordiale. Des appareils ont été mis au point pour mesurer le gain sans contre-réaction de chaque répéteur et pour localiser un répéteur quelconque défectueux par des mesures de bruit ou d'intermodulation.

L'alimentation des répéteurs

Les tubes à vide sont alimentés par un courant continu constant. Il est envoyé dans le conducteur central, le retour s'effectuant par la mer et non par le conducteur extérieur. Cette disposition est prise pour

empêcher les phénomènes d'électrolyse aux endroits où le conducteur extérieur est mis en contact avec la mer. Des prises de «terre» métalliques sont placées à quelques kilomètres en mer (entre 10 et 18 km) et à une distance d'environ 3-4 km du tracé du câble. Elles sont reliées à chacune des alimentations d'énergie par un câble composé de 4 âmes isolées au polyéthylène, chaque âme étant constituée elle-même de 7 fils de cuivre de 0,8 mm de diamètre. Le toron ainsi constitué est entouré d'un ruban de cuivre, d'un ruban tanné, de divers rubans de jute, de papier paraffiné et d'une armure en fils d'acier dimensionnée différemment selon que le câble est posé en mer ou en terre.

La figure 13 montre le principe de l'alimentation. Deux sources de courant d'alimentation à tension de 1500 V, situées à chaque extrémité de la liaison, sont connectées en série. Par ce procédé, la tension du câble par rapport à la terre est réduite au minimum.

L'intensité nominale du courant d'alimentation est de 211 mA. Il est maintenu à sa valeur nominale à $\pm 1\%$ pour garantir une bonne stabilité de transmission et une grande longévité des tubes à vide. Une alarme est donnée dès que les limites de $\pm 2\%$ sont dépassées.

La mise sous tension du câble ou sa mise à terre doit être effectuée avec précaution pour éviter des chocs thermiques dans les tubes et pour ménager les filtres d'alimentation. Les changements de tension doivent donc être lents et progressifs.

Les coupures ou les rétablissements de l'alimentation ont une influence néfaste sur la longévité des tubes. De grandes précautions sont prises pour les éviter dans la mesure du possible. Par exemple, les

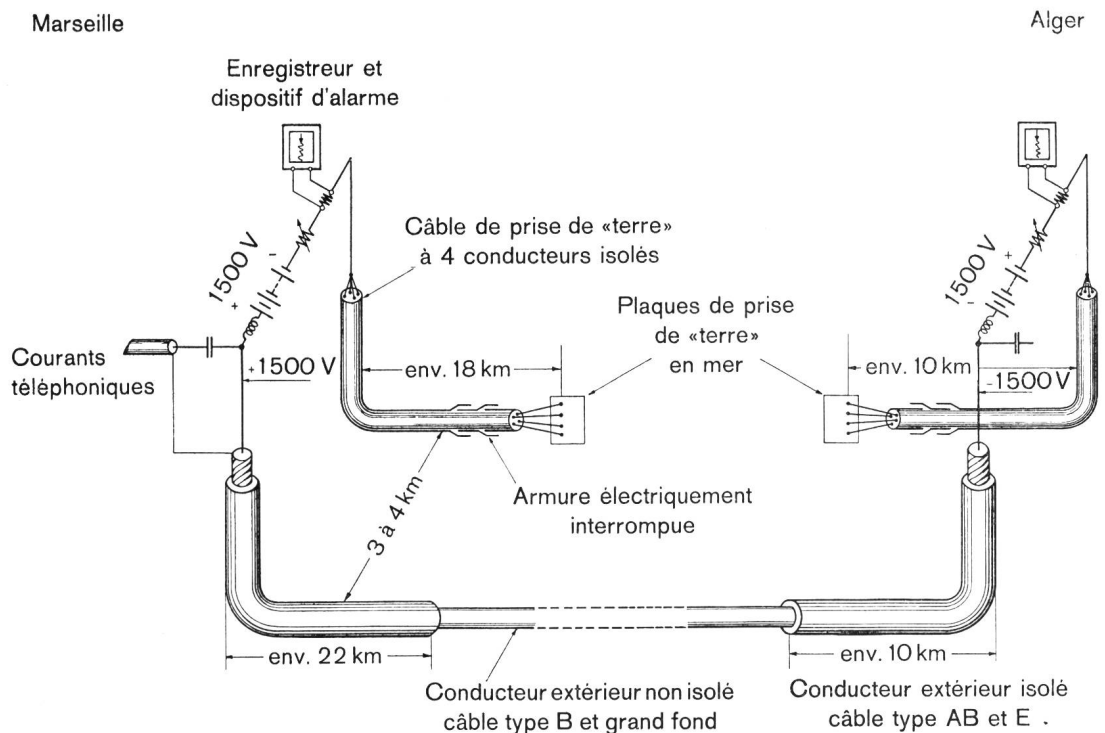


Fig. 13.
Schéma de principe de l'alimentation

sources sont constituées par un redresseur associé à une batterie d'accumulateurs en tampon. Un deuxième redresseur sert d'installation de secours.

En cas de court-circuit, une résistance est insérée automatiquement pour éviter les surcharges des répéteurs situés entre la station d'alimentation et le défaut. En cas de sous-intensité, néfaste également pour les tubes à vide, le câble est mis à terre après 10 minutes consécutives de défaut.

Toutes les mesures ont été prises pour protéger le personnel contre la tension élevée d'alimentation. Les anomalies de fonctionnement sont signalées dans la ou les stations intéressées. Pour diminuer les risques de dérangement, on a donné la préférence aux manipulations manuelles, sauf celles dont dépend la sécurité de l'installation.

Les performances de la liaison

Egalisation

La fabrication des répéteurs s'est révélée très homogène, et les petits défauts d'égalisation inévitables se sont rencontrés aux mêmes points de la bande de fréquences.

Ces écarts systématiques ont permis de déterminer en usine des égaliseurs complémentaires qui ont été insérés à l'extrémité des 3 sections de pose.

Les plus grands écarts observés par rapport aux niveaux théoriques n'excédaient pas 0,35 néper. Il a été possible, en connaissant ces écarts, de calculer des égaliseurs supplémentaires placés à l'émission et à la réception de chaque sens de transmission, afin de réduire de façon sensible l'écart maximum le long de la liaison. Après l'insertion de ces égaliseurs, la courbe de niveaux en fonction de la fréquence ne varie pas de plus de $\pm 0,05$ néper.

Bruit thermique

Le CCITT recommande, pour le circuit de référence de circuits terrestres, une puissance psophométrique de 3 picowatts par km. En tenant compte de la longueur de la liaison de 900 km environ sans modulations intermédiaires, on avait admis pour le projet une puissance admissible de 4 pW/km. Les premiers essais, effectués sans préaccentuation, ont montré que, dans la bande inférieure, la puissance psophométrique n'atteignait pas 1 pW/km, alors que dans la bande supérieure, elle dépassait 5 pW/km. La possibilité de préaccentuation des niveaux, prévue dès l'origine, a été utilisée pour ramener la puissance psophométrique dans les limites fixées.

En abaissant uniformément de 0,4 néper les niveaux de la bande de fréquences inférieure et en les augmentant linéairement dans la bande supérieure de 0 néper à 312 kHz et de 0,3 néper à 552 kHz, il a été possible de ramener le bruit thermique à une valeur n'excédant pratiquement pas 3 pW/km, tout en conservant la même puissance utile à la sortie de l'amplificateur. Comme ce dernier amplifie les deux sens de transmission, une augmentation des niveaux d'une bande de fréquences devait être compensée par la diminution des niveaux de l'autre bande.

Bruit d'intermodulation

Dans une liaison du type N+N décrite ici, la loi d'addition des composantes de différents ordres est très complexe. Il se produit de telles rotations de phases dans les 28 amplificateurs et les 56 filtres d'aiguillage que, pour une variation de quelques dizaines de hertz d'une des fréquences fondamentales, on obtient des mesures de niveaux d'un produit d'intermodulation d'ordre 3 variant de plus de 2 népers en certains points de la liaison. En adoptant pour chaque fréquence les plus mauvaises valeurs mesurées autour de cette fréquence, donc des valeurs plutôt pessimistes, le bruit d'intermodulation, après l'introduction de la préaccentuation, est resté inférieur à 0,2 pW/km à 24 kHz et à moins de 1 pW/km à 552 kHz. On peut donc conclure que le bruit total (thermique et d'intermodulation) ne dépasse en aucune voie la limite de 4 pW/km.

La pose

S'il y a entre la pose des premiers câbles télégraphiques et celle des câbles téléphoniques transcontinentaux, grâce aux expériences recueillies depuis plus de 100 ans et à la mise au point de la technique qui en découle, une différence pareille à celle qui existe entre le jour et la nuit, il n'en reste pas moins que l'administration française, et particulièrement son Service des câbles sous-marins, ont dû faire preuve de beaucoup d'intelligence et de ténacité pour mettre au point cette opération. En effet, c'était la première fois que l'on posait des amplificateurs d'un tel diamètre à une aussi grande profondeur. En outre, les bateaux câbliers dont on disposait n'étaient pas construits et équipés pour la pose par grands fonds, mais seulement pour l'entretien des câbles télégraphiques. Il fallut donc apporter de nombreuses modifications aux machines et au «chemin» de câbles. En outre, il est nécessaire, pour les longues poses, de faire glisser le câble en mer par l'arrière, dispositif que ces navires ne possédaient pas. On transforma donc le câblier «Ampère» en lui adjoignant une machine de pose à grande puissance de freinage hydraulique, un tambour de câble à jante assez épaisse pour permettre 4 tours d'enroulement du câble, même lorsque un répéteur y était intercalé, et deux daviers arrière – poulies de mise à l'eau – d'un diamètre d'environ 1,80 mètre. Il faut encore qu'après l'immersion de chaque répéteur, on puisse l'alimenter normalement, afin de faire des essais sommaires de contrôle de transmission. On munit donc aussi le navire de bâtis d'alimentation identiques aux bâtis terminaux. Un émetteur-récepteur pour liaison radiotélégraphique et radiotéléphonique avec la terre y fut encore placé. Dernière difficulté: les navires câbliers ne pouvaient pas transporter par voyage plus de 350 km de câble, ce qui obligea, comme nous l'avons déjà vu, à partager le câble en trois tronçons, ceux d'atterrissement non compris.

L'«Ampère» fut choisi comme câblier, en particulier pour ses qualités nautiques et sa vitesse, les

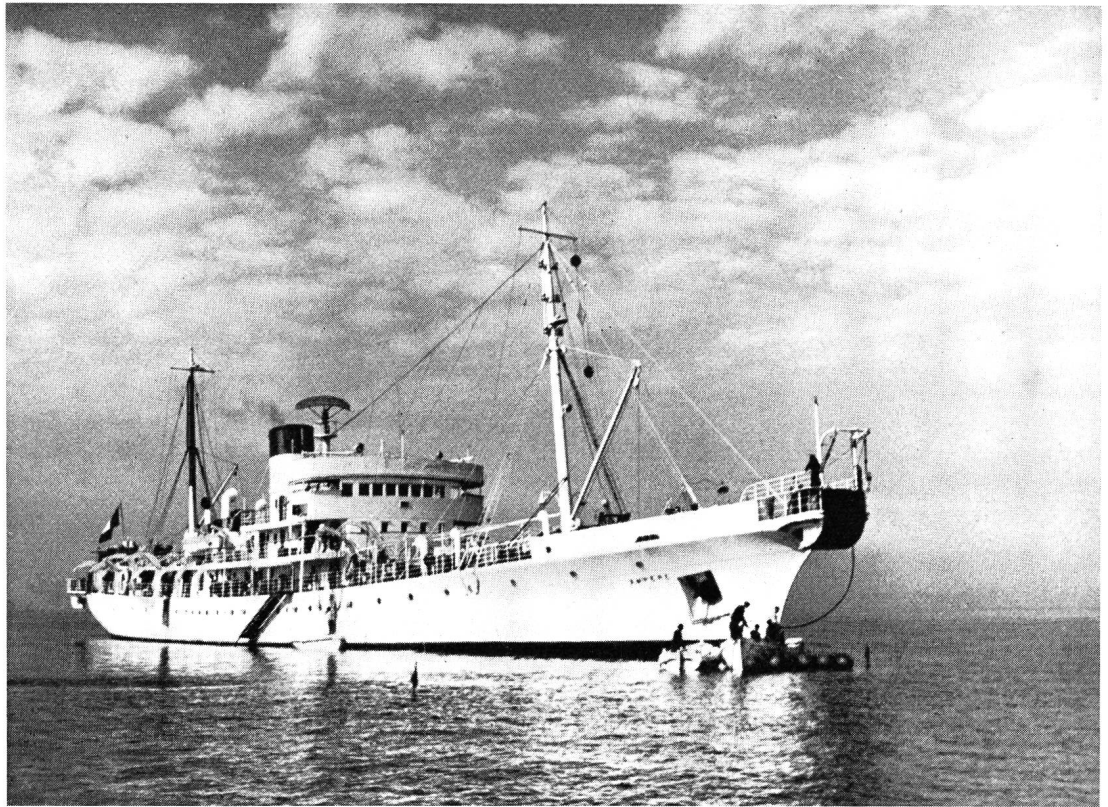


Fig. 14.
«L'Ampère»

deux autres navires, l'«Alsace» et l'«Emile Baudot» devant remplir des tâches moins spectaculaires, mais néanmoins très importantes pour le succès de l'opération.

Du 26 août au 10 septembre 1957, les trois longueurs du câble de grand fond furent amenées de Calais jusqu'au voisinage de Toulon. L'«Ampère» transportait 336 km, le «Baudot» 209 km et l'«Alsace» 345 km. Auparavant, les câbles d'atterrissement et les câbles de prises de terre avaient été immergés par l'«Ampère». La pose du câble de grand fond se fit à la vitesse de 4,5–6 nœuds environ, qui était réduite à 1–1,5 nœud lors de la mise en place des répéteurs et des égaliseurs. Le tracé était balisé à l'avance par le «Baudot» au moyen de bouées qui étaient ensuite mesurées par *Decca*. Elles étaient munies d'un écran radar, afin de faciliter leur repérage par les trois navires.

Pour diriger la marche des bateaux, on utilisa le système radio-électrique de navigation *Decca*. Ce système est basé sur la comparaison des phases de deux ondes entretenues pures, émises par deux émetteurs synchronisés. La mesure du déphasage entre l'émission de la station directrice et celle de l'autre station situe le navire sur une hyperbole. On effectue le point en reportant sur la carte les réseaux d'hyperboles obtenus selon la position du navire par rapport aux stations émettrices. Cette méthode permet d'atteindre une précision de quelques dizaines de mètres à quelques km. A cet effet, deux émetteurs avaient été placés sur le littoral métropolitain de la Méditerranée et un troisième

dans l'île de Minorque. Grâce à ce procédé, la pose put se dérouler avec une extrême précision. Comme sûreté supplémentaire, le «Baudot» et l'«Alsace» firent aussi fonction d'«estafettes».

La pose du *premier tronçon* débuta le 10 septembre par le relevage, par l'«Ampère» accompagné du «Baudot», de l'extrémité du câble d'atterrissement posé à partir de Marseille, mais l'opération dut être arrêtée en raison d'un fort mistral. Le 17 septembre, le câble de grand fond pouvait être épissé au câble d'atterrissement, et le 19 le premier tronçon était posé et son extrémité fixée à une bouée. Sa longueur était de 333 km et 11 répéteurs y étaient intercalés. Les deux bateaux retournèrent alors à Toulon pour

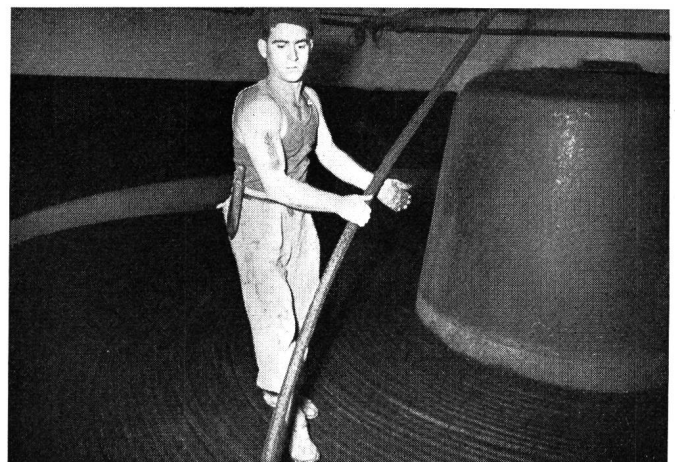


Fig. 15. Lovage du câble dans la cuve de «l'Ampère»

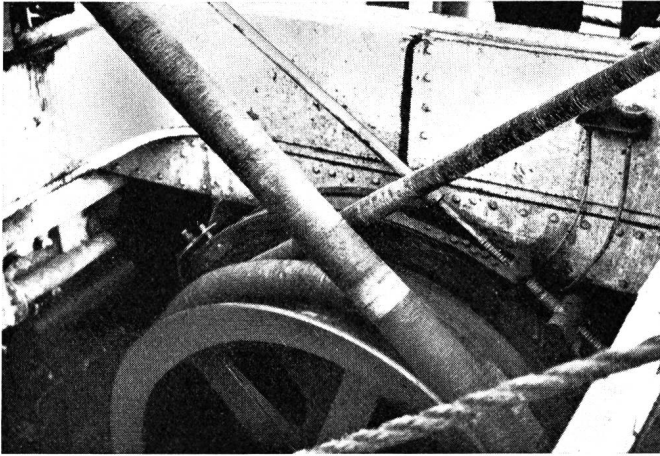


Fig. 16. Le répéteur passant sur le tambour de pose

transférer le *deuxième tronçon* du «Baudot» sur l'«Ampère». La mer étant mauvaise, ce n'est que le 10 octobre que l'«Ampère» put relever la bouée mouillée à l'extrémité du premier tronçon. La pose commença le 11 octobre par l'insertion du premier égaliseur; elle se termina le lendemain. L'extrémité du câble fut à nouveau fixée à une bouée: 209 km de câble, 1 égaliseur et 7 répéteurs avaient été immergés. Pendant que le «Baudot» effectuait le balisage du tracé, l'«Ampère» retournait à Toulon pour prendre de l'«Alsace» le *troisième tronçon*. Le 27 octobre, la pose commençait par l'insertion du deuxième égaliseur et le 28 octobre, le 28^e répéteur depuis Marseille était immergé par une profondeur de 2180 m; 20 km de câble furent encore filés. Sur ce dernier parcours,

le *Decca* ne pouvait plus être utilisé et c'est l'«Alsace» qui joua alors le rôle d'estafette. L'épissure finale entre le câble d'atterrissement côté Alger et le câble de grand fond fut effectuée le 30 octobre à 17 h 35. Les mesures aussitôt faites confirmèrent le succès de l'opération.

Le taux moyen du «mou» pour l'ensemble de la ligne est de 6,5%. Ce «mou», réparti selon un plan bien défini, constitue une précieuse réserve pour faciliter le relevage du câble en cas de réparation.

Au cours de toute l'opération, le câble et les répéteurs furent soumis à des mesures effectuées en permanence, pour déterminer si les caractéristiques de transmission avaient varié sous l'effet de la température et de la pression du fond. Afin de permettre l'ajustement éventuel de la longueur de sa dernière section d'amplification, des mesures complètes étaient encore faites après la pose de chaque tronçon.

L'égaliseur intercalé aux deux points de raccordement des tronçons a pour but de parfaire la caractéristique affaiblissement-fréquence de la ligne.

Le 30 octobre 1957, peu après l'exécution de la dernière épissure, les premières conversations non officielles purent être échangées entre la station de «Marseille sous-marins» et celle de «Fort-de-l'Eau».

Le 15 décembre 1957, les premiers circuits étaient mis à disposition et la cérémonie d'inauguration eut lieu le 10 janvier 1958.

Les circuits contenus dans le câble sont utilisés pour réaliser des liaisons directes téléphoniques et télégraphiques Paris-Alger, Paris-Constantine, Paris-Rabat, Paris-Tanger, Marseille-Alger, Paris-

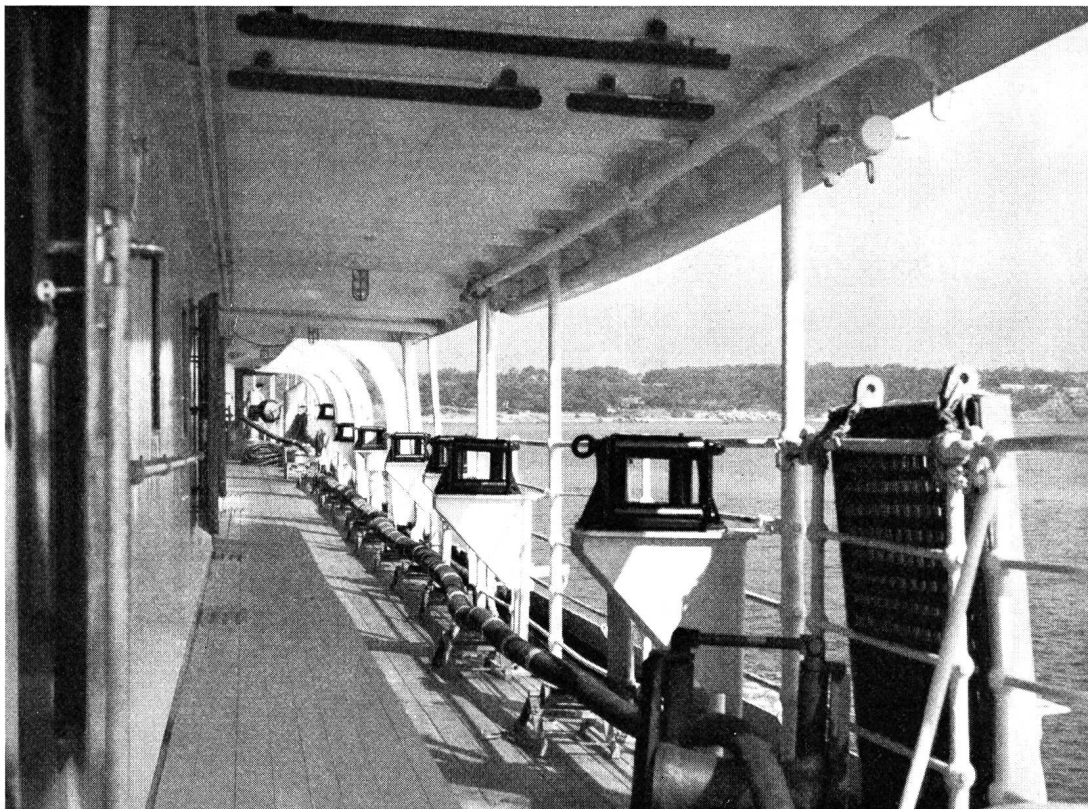


Fig. 17.
Le répéteur allant du tambour au davier, par la coursive

Oran et Marseille–Oran. Ils permettent donc d'achever une partie du trafic Suisse–Algérie ou inversement, qui était jusqu'alors transmis totalement par faisceaux hertziens. La qualité de la transmission dépasse largement celle qui aurait été obtenue en appliquant uniquement les recommandations du CCITT. Ainsi, nos abonnés et nos correspondants peuvent bénéficier de circuits à haute fidélité.

L'avenir

La France, en abandonnant résolument une partie des chemins battus, a fait montre d'indépendance et œuvre de pionnier. En effet, c'était la première fois qu'un système à câble unique équipé de répéteurs bidirectionnels souples était utilisé pour de grands fonds. Grâce aux nouvelles connaissances acquises sur le plan scientifique et aux expériences recueillies aussi bien dans les procédés de fabrication que dans ceux de pose, de nombreux pas en avant ont été faits pour l'amélioration de la transmission par câble sous-marin. Ainsi la technique française permettrait d'établir une liaison France–Etats-Unis par un seul câble, qui pourrait comporter 80–100 voies téléphoniques. Mais c'est non seulement la ligne sous-marine qui profite de ces efforts et de ces résultats, mais aussi la ligne terrestre. Bientôt la France aura résolu, à sa manière, le problème des répéteurs à semi-conducteurs qui seront les répéteurs rêvés, non seulement pour le câble sous-marin mais aussi pour le câble terrestre. L'emploi et la pose de câbles à petits tubes coaxiaux plus légers que les actuels et de répéteurs plus petits deviennent ainsi une réalité. La pose de câbles transcontinentaux pouvant contenir des centaines de circuits d'un fonctionnement encore plus sûr et d'une maintenance particulièrement facile pourra être envisagée. En outre, les études qu'elle poursuit sur le problème de la concentration des informations à transmettre, afin d'augmenter le rendement en quantité des circuits à grandes distances procureront une meilleure utilisation de la bande de fréquences. Le réseau des transmissions deviendra ainsi techniquement toujours plus intéressant et

pourra répondre d'une manière toujours plus économique au développement prodigieux que prendra, nous le croyons, l'échange d'informations de toute espèce sur les plans nationaux, continentaux et intercontinentaux.

L'administration des PTT suisses doit être reconnaissante à sa grande voisine d'être parmi ceux qui voient toujours plus loin.

Conclusions

Cette grande entreprise française est l'aboutissement d'une tâche remarquable commencée il y a plus de 15 ans par une équipe de pionniers animée de la volonté de réussir. Il ne pouvait en être autrement si l'on sait que ses principaux conducteurs furent *Pierre Marzin*, directeur du CNET, *Raymond Croze*, ingénieur général au ministère des PTT, aidés par des collaborateurs tels que *R. Sueur*, chef du département des transmissions au CNET, *M. Julien*, directeur des Câbles sous-marins au ministère des PTT, et, bien entendu, le personnel dirigeant et les ingénieurs d'industries françaises dont nous ne citerons que les principales: Câbles de Lyon, Compagnie industrielle des téléphones et Compagnie générale de télégraphie sans fil.

Bibliographie

- Figuié, Louis*. La télégraphie sous-marine. Les Merveilles de la Science, Paris 1868. Tome 2, p. 203...219.
- Sueur, R.* La liaison Marseille–Alger par câble sous-marin. L'onde électrique. **38** (1958), 166...183.
- Croze, R.* Une réalisation française: Le câble sous-marin Marseille–Alger. L'Atlantique Nord 1958, N° 6, p. 95...96.
- Croze, R.* et *M. Julien*. Le câble sous-marin Marseille–Alger. Journal UIT 1958, N° 5, p. 98...104.
- Julien, M.* Le câble téléphonique Marseille–Alger. Revue des PTT de France 1957, N° 6, p. 30...33.
- Villiers, M.* Les aides radioélectriques à la navigation aérienne. L'onde électrique **33** (1953), 277...285.
- Giroud, P.* et *A. Gayffier*. Les derniers développements du système de navigation Decca. L'onde électrique **33** (1953), 300...308.
- Oswald, J.* Les filtres d'aiguillage. Câbles et Transmission 1958, N° 1, p. 37...79.

Alle Wissenschaft geht ursprünglich aus dem Bedürfnis des Lebens hervor. Mag sich dieselbe durch den besondern Beruf, die einseitige Neigung und Fähigkeit ihrer Pfleger in noch so feine Zweige teilen, seine volle frische Lebenskraft kann jeder Zweig nur im Zusammenhang mit dem Ganzen erhalten. Nur durch diese Verbindung kann er seinem eigentlichen Ziele erfolgreich zustreben und vor monströsen einseitigen Entwicklungen bewahrt bleiben.

Ernst Mach
(1838...1916)