

Zeitschrift:	Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = 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 Telegrafenbetriebe
Band:	35 (1957)
Heft:	9
Artikel:	Le premier câble transatlantique téléphonique
Autor:	Lancoud, C.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-875089

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

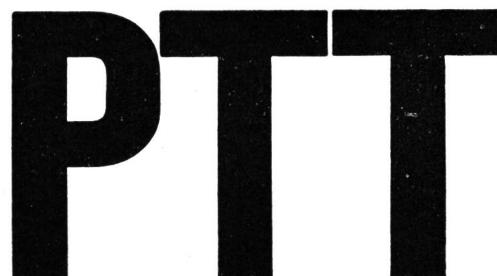
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media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

Download PDF: 25.01.2026

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

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE



BOLETTINO TECNICO

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

Le premier câble transatlantique téléphonique

Par C. Lancoud*, Berne

621.315.28:621.395

Résumé. L'administration suisse des PTT utilisant un des circuits du premier câble téléphonique transatlantique, il a paru opportun de donner aux lecteurs du «Bulletin technique» un aperçu quelque peu détaillé de cette magnifique réalisation.

L'auteur fait tout d'abord un court historique des câbles transatlantiques télégraphiques. Il expose ensuite l'évolution des câbles téléphoniques sous-marins ces 40 dernières années. Puis, il décrit le projet de l'installation transatlantique, les caractéristiques et la fabrication des câbles et des répéteurs, la pose, le fonctionnement et la maintenance. Il termine par quelques considérations sur l'avenir des télécommunications par câbles sous-marins.

Introduction

Les réseaux modernes européen et américain de télécommunications à grande distance sont composés en majeure partie de lignes en câbles à large et très large bande de fréquences. On peut donc s'étonner que le réseau intercontinental ne fût encore constitué en 1956 que de câbles à bande de fréquences très étroite permettant d'acheminer uniquement le trafic télégraphique. Toutes les liaisons téléphoniques, ainsi que certaines liaisons télégraphiques, étaient établies par radio. La raison en est qu'il fallut attendre la mise au point de la téléphonie multiple et surtout d'une lampe amplificatrice de grande durée de vie. C'était là le problème essentiel à résoudre pour pouvoir construire des lignes téléphoniques sous-

Zusammenfassung. Die Schweizerische PTT-Verwaltung hat für ihre Zwecke einen Fernsprechkreis des ersten transatlantischen Telephonkabels gemietet. Es scheint daher angebracht, auch den Lesern der «Technischen Mitteilungen» einen etwas ausführlicheren Überblick über das Werden dieses grossen Werkes zu vermitteln.

Der Verfasser streift zunächst die Geschichte der transatlantischen Telephonkabel und zeigt dann die spätere Entwicklung der unterseeischen Telephonkabel in den letzten vierzig Jahren auf. Hierauf beschreibt er das Projekt des neuesten transatlantischen Nachrichtenweges, besonders die Eigenschaften und die Herstellung dieses Kabels mit den Verstärkern, ferner die Kabellegung selbst sowie die Betriebsweise und den Unterhalt. Der Artikel schliesst mit einigen Betrachtungen über den zukünftigen Nachrichtenverkehr mittels Unterseekabel.

marines très longues ayant les qualités requises pour acheminer fidèlement des informations, et le faire d'une manière économique.

Certes, depuis longtemps, les relations d'affaires, politiques, stratégiques même, entre continents sont très nombreuses et se développent sans cesse. La nécessité de pouvoir transmettre sûrement des messages téléphoniques n'est ainsi pas nouvelle et devient toujours plus grande. Financièrement parlant, rien n'aurait empêché de construire depuis longtemps un réseau téléphonique intercontinental, en vue de couvrir ces besoins, mais le problème technique n'était pas résolu.

C'est M. Buckley des Bell Telephone Laboratories, — le pionnier d'un câble téléphonique transatlantique — qui présenta le premier un projet reposant sur des bases techniques solides.

La poursuite de l'étude devint l'œuvre commune de l'*American Telephone and Telegraph Co (ATT)* et du *British Post Office (BPO)*. A cet effet, le *BPO* et les *Bell Telephone Laboratories* établirent un programme très complet de développement et d'essais, permettant de réaliser une installation qui, tout en étant économique, assurerait un service de haute qualité.

* L'auteur se fait un devoir de remercier ici publiquement le «British Post Office» et l'«American Telephone and Telegraph Company» et spécialement «The Post Office Electrical Engineers' Journal», «The Post Office Telecommunications Journal» ainsi que «The Institution of Electrical Engineers» d'avoir très aimablement mis à notre disposition les documents, les renseignements et les photographies qui nous étaient indispensables pour écrire un exposé aussi fidèle que possible. Nous associons aussi à ces remerciements Mlle Flügel et M. Valloton, de notre direction générale, pour l'aide qu'ils nous ont apportée.

Grâce à eux, nous espérons avoir atteint le but que nous nous étions fixé.

Historique

Si l'on veut apprécier cette œuvre à sa juste valeur, il est utile de jeter un coup d'œil sur le développement de la transmission des messages entre les continents.

Dès le début de la télégraphie électrique, vers 1833, l'idée de la liaison à travers les mers prit corps. En 1840, Wheatstone proposait d'utiliser des câbles sous-marins entre Douvres et Calais, et Morse, en 1843, établit un plan pour relier le Nouveau-Monde à l'Europe. Mais c'est seulement l'emploi de la gutta-percha comme isolant et la mise au point d'une presse par Werner von Siemens vers 1847, qui permirent de confectionner un câble suffisamment bon pour laisser entrevoir la réalisation de cette idée.

En 1854, un marchand new-yorkais, *Cyrus West Field*, influencé par M. Giborne, ingénieur anglais qui avait obtenu du gouvernement canadien la concession pour exploiter le télégraphe terrestre, pensa que l'on pouvait immerger un câble entre l'Europe et l'Amérique.

Field fonda à cet effet, le 7 mars 1857, «The Atlantic Telegraph Company». Après un certain nombre d'essais, entre autres la pose d'un câble entre Terre-Neuve et le Cap-Breton en 1856, on commença, le 5 août 1857, celle du premier câble télégraphique transatlantique, à un conducteur, entre Valentia en Irlande et la baie du Heart's Content (Cœur content) à Terre-Neuve; le 11 août, le câble se rompit. Une nouvelle tentative fut faite le 29 juin 1858, mais elle échoua. Le 17 juillet,

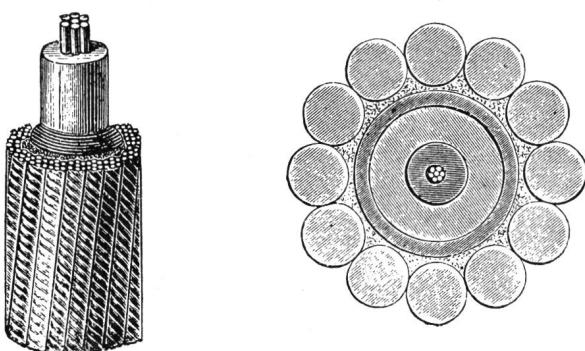


Fig. 1. Le câble transatlantique de 1857 et 1858 (grandeur naturelle)

on recommença et, le 5 août, la première liaison électrique fut établie entre l'Europe et l'Amérique. Le 3 septembre, après avoir acheminé 400 dépêches, elle était interrompue. Cet échec était dû probablement au fait qu'on avait utilisé une grande partie du câble de 1857 qui possédait déjà une mauvaise isolation. Or, après l'expédition de 1857, on l'avait laissé sécher plusieurs mois au soleil, ce qui détériora encore plus la gutta-percha. Dès lors et jusqu'en 1866, il n'y eut plus de liaisons télégraphiques entre les deux continents.

Après avoir tiré les leçons des trois échecs, la société décida, en 1864, de poser un nouveau câble.

A cet effet, le «Great Eastern» – l'ancien paquebot «Léviathan» –, le plus grand navire construit jusqu'alors, fut transformé en câbler. Le 22 juillet 1865, la pose commença, mais le 2 août le câble se rompit et fila par 3600 mètres de fond; il en avait été immergé environ 2250 km. Le 11 août, les tentatives de relevage furent abandonnées. On commanda un nouveau câble d'environ 5100 km de longueur; une partie devait servir à compléter celui posé en 1865, que l'on espérait bien pouvoir relever.

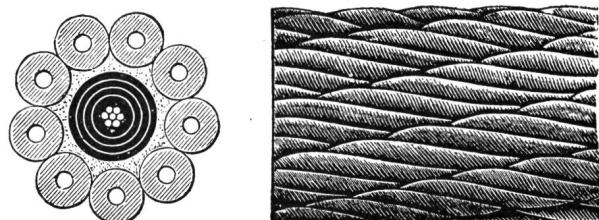


Fig. 2. Le câble transatlantique pour grands fonds 1866 (grandeur naturelle)

Le 30 juin 1866, le «Great Eastern» appareilla de Valentia; le 27 juillet, il touchait Terre-Neuve et le même jour la première dépêche était échangée. Le 1^{er} août, la pose du câble entre Terre-Neuve et le continent américain était terminée et le 4, la première liaison télégraphique permanente Amérique-Europe était mise à la disposition du public. Le 1^{er} septembre l'extrémité du câble posé en 1865 était repêchée et, après y avoir épissé la longueur de 750 km qu'il transportait, le «Great Eastern» mouillait le 8 septembre dans la baie du «Cœur content»; la deuxième liaison était ainsi établie.

L'entreprise avait coûté, depuis 1857, 15 550 000 livres sterling.

Il faut relever que le matériel britannique employé était remarquable pour l'époque.

Le trafic télégraphique intercontinental existe donc depuis 1866, mais ce n'est qu'en 1956, soit

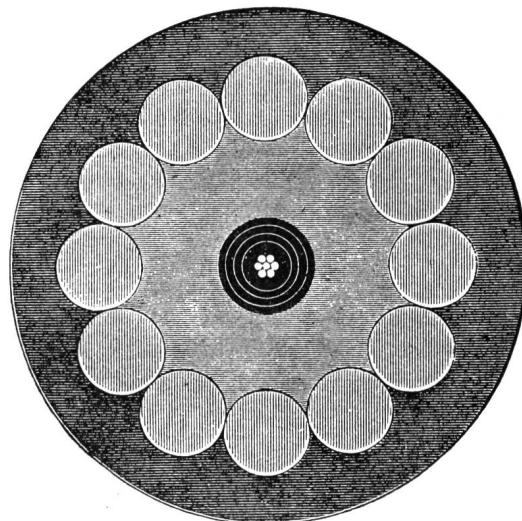


Fig. 3. Le câble transatlantique côtier 1866 (grandeur naturelle)

90 ans plus tard et 80 ans après l'invention du téléphone, que fut réalisée la première liaison téléphonique par câble; Graham Bell avait pourtant espéré, en 1877, pouvoir relier l'Amérique à l'Europe téléphoniquement par les câbles télégraphiques. Comme on le verra, la grande différence qu'il y a entre le câble téléphonique actuel et le câble télégraphique d'alors est l'insertion d'amplificateurs dans les eaux profondes ainsi que l'emploi de deux câbles parallèles.

Les recherches

C'est vers 1919 que les techniciens des Bell Telephone Laboratories, sous les ordres de M. Buckley, commencèrent à étudier le problème de l'augmentation de la capacité de transmission des câbles sous-marins à grande distance.

En 1921, trois câbles krarupisés, pour la première fois de structure coaxiale, furent posés entre la Havane et Key West. Le conducteur extérieur, en cuivre, servait de conducteur de retour. La bande de fréquences permettait d'y placer une voie téléphonique, trois circuits de télégraphie harmonique et un à courant continu. Jusqu'alors, dans les courts câbles téléphoniques sous-marins posés, on utilisait la mer et l'armure comme conducteurs de retour, solution qui n'était pas satisfaisante. En 1923, la côte de Californie et l'île de Catalina, distantes d'environ 43 km, furent reliées par deux câbles permettant de transmettre des fréquences allant jusqu'à 35 kHz. Tous ces câbles étaient exploités dans les deux sens de transmission, par fréquences superposées.

La découverte, vers 1924, du permalloy – matériau magnétique – permit de mettre en pratique l'augmentation du rendement des câbles, grâce à la charge magnétique continue préconisée par Heaviside. Parallèlement, la qualité des isolants s'améliorait. Le problème du câble sous-marin paraissait pouvoir être résolu. Des câbles télégraphiques de ce genre furent posés dans l'Atlantique et le Pacifique. Certains d'entre eux pouvaient acheminer un trafic quadruple de celui d'un câble non chargé semblable. La bande passante était de l'ordre de 100 Hz.

On projeta même vers 1925 d'utiliser un câble à un conducteur, à charge continue, non amplifié, dans l'Atlantique Nord. Une proposition précise du Bell Telephone System de poser un câble entre l'Irlande et Terre-Neuve, présentée en 1928, fut discutée avec le BPO. Ce câble aurait été composé d'une paire coaxiale avec conducteur central chargé au moyen de rubans en alliage magnétique perminvar et isolé à la paragutta. Il devait permettre de constituer une voie téléphonique d'environ 3800 Hz comme fréquence la plus élevée. Cependant, après quelques essais, on renonça à la pose, surtout en raison des conditions économiques d'alors. La mise en service, le 7 février 1926, d'une liaison radiotéléphonique à ondes longues entre les USA et la Grande-Bretagne réduisit encore le besoin de liaisons téléphoniques par câbles et ajourna même la pose de nouveaux câbles télégraphiques.

L'exploitation, en 1928, de liaisons radiotéléphoniques par ondes décamétriques rendit encore plus difficile la justification d'un câble téléphonique. Il est vrai que la technique n'était pas suffisamment avancée pour permettre la construction d'amplificateurs à contre-réaction et de pentodes spéciales. En effet, si la fabrication et la pose d'un câble constituaient l'aboutissement de 100 ans de recherches et d'expériences, celles des répéteurs exigeaient une technique absolument nouvelle à créer. Or, ce n'est qu'au cours des 10 années suivantes que les progrès faits permirent à la téléphonie multiple à grande distance par courants porteurs de devenir une réalité et qu'on put envisager sérieusement la pose d'un câble téléphonique transatlantique.

Vers 1932, la crise réduisit les besoins d'échange d'informations entre les deux continents. Cependant, les ingénieurs continuaient leurs recherches pour la fabrication d'un câble à très grande distance, ayant une bande de fréquences permettant de l'exploiter en téléphonie multiple.

On constata aussi bientôt que l'emploi des liaisons radiotéléphoniques transatlantiques était limité. En effet, bien que la transmission fût satisfaisante lorsque les conditions ionosphériques étaient stables, il n'était pas possible d'assurer une sécurité d'exploitation et une qualité de transmission aussi bonnes que celles des circuits par fil. Ainsi, dans l'Atlantique Nord, les liaisons par ondes décamétriques étaient fortement exposées aux perturbations ionosphériques. En outre, le spectre des fréquences réservées aux ondes décamétriques devint toujours plus encombré; on se rendit compte qu'on ne pourrait pas augmenter indéfiniment le nombre des circuits transatlantiques. Même lorsqu'on utilise au maximum la technique des émissions à voies multiples, les liaisons par ondes longues ne peuvent être considérées que comme un complément à la téléphonie transatlantique. Ces faits renforçèrent l'opinion qu'il fallait absolument étudier si la réalisation d'une installation téléphonique sous-marine dans l'Atlantique Nord serait possible.

La technique électronique était, vers 1932, déjà suffisamment avancée pour que l'on puisse considérer comme proche la fabrication et la pose d'un câble téléphonique à large bande de fréquences équipé de nombreux répéteurs alimentés depuis la terre. La deuxième guerre mondiale mit un frein aux recherches, mais sans empêcher que le développement des amplificateurs sous-marins laissât entrevoir la possibilité d'utiliser des câbles à téléphonie multiple. En 1941 déjà, on entreprit des essais d'amplificateurs à longue durée de vie. En 1943, le BPO posa un câble coaxial entre Anglesey et l'île de Man, qui était muni d'un répéteur pour petits fonds. Puis, à la cessation des hostilités, les USA mirent à l'étude un système qui permit, en 1950, de relier La Havane (Cuba) à Key West (Floride), au moyen de deux câbles sous-marins du type coaxial, semblables à ceux prévus pour

l'Atlantique. Ces câbles ont une longueur d'environ 213, respectivement 231 km et sont équipés chacun de trois amplificateurs, dont cinq reposent sur le fond. On peut constituer 24 circuits téléphoniques. Un câble sert pour les voies d'aller, l'autre pour celles de retour.

Une autre liaison, d'environ 2200 km de câble semblable au câble transatlantique, muni de répéteurs, fut réalisée en 1950, à l'usage des US Air Forces entre Porto Rico et la Floride. Elle fournit de précieux enseignements pour la construction des répéteurs.

Les expériences faites furent si concluantes que le projet d'un câble transatlantique put être remis à l'étude entre l'ATT et le BPO. Il était indispensable, pour arriver à une solution optimum, que les deux organismes coordonnent mieux leurs efforts. En 1952, un groupe de techniciens du BPO se rendit auprès des Bell Telephone Laboratories; les travaux exécutés au cours des 30 dernières années furent examinés en détail, absolument loyalement, et plus spécialement les expériences faites depuis 1950 avec l'installation de câble Key West-La Havane. Les Américains rendirent cette visite aux Anglais. Puis M. M. J. Kelly (ATT) et Sir Gordon Radley (BPO) présentèrent un rapport sur la technique des répéteurs immersés aux Etats-Unis et au Royaume-Uni, à la suite d'études entreprises indépendamment par l'ATT et le BPO. Ils recommandèrent pour le tronçon Terre-Neuve-Ecosse l'emploi de l'amplificateur du type américain, qui avait été mis à l'essai sur le parcours Key West-La Havane. Comme le matériel britannique n'avait pas été soumis à des essais suffisants en eaux profondes, ils proposèrent de l'employer entre Terre-Neuve et la Nouvelle-Ecosse.

Un élément important pour la réalisation de cette œuvre fut l'utilisation du polythène comme diélectrique. En 1938, en effet, B. J. Habgood de l'«Imperial Chemical Industry» et J. N. Dean de la «Telegraph and Construction Maintenance Company» constatèrent la similitude de la gutta-percha et du polythène et pensèrent que ce dernier conviendrait extrêmement bien comme diélectrique pour les câbles sous-marins. En 1947, la pose d'un câble de l'île de Wight vers la Hollande et en 1948 vers la Belgique confirma l'immense progrès technique qu'apportait, après 90 ans, l'emploi du polythène à la place de la gutta-percha.

Ce succès montre bien ce que peut obtenir la collaboration des industries chimiques et des câbles.

En 1953, l'*American Telephone and Telegraph Co*, le *British Post Office* et la *Canadian Overseas Telecommunications Corporation* (COTC) signèrent une convention pour la pose du premier câble téléphonique transatlantique. Cette installation devait coûter 42 millions de dollars. La participation était la suivante:

ATT	50%
BPO	41%
COTC.	9%

Cette pose était justifiée, comme nous l'avons déjà vu, par le fait que les liaisons radio sont trop soumises aux conditions atmosphériques et aux évanouissements, que leur nombre est limité en raison de la largeur de la bande de fréquences favorable et que, par conséquent, le câble transatlantique devait être un moyen de transmission plus sûr.

En 1954, la pose, par le BPO et l'administration des téléphones norvégienne, d'un câble d'une longueur de 570 km entre Aberdeen, en Ecosse, et Bergen, en Norvège, par la mer du Nord, a permis de compléter les expériences nécessaires pour l'installation transatlantique. Ce câble est équipé de sept répéteurs à trois étages et permet de réaliser 36 voies téléphoniques. Les mêmes types d'amplificateurs ont été utilisés pour le tronçon en eaux peu profondes Terre-Neuve-Nouvelle-Ecosse.

Le projet

L'idée d'utiliser pour la liaison transatlantique deux câbles coaxiaux, un pour chaque direction de transmission, équipés de répéteurs intercalés à intervalles réguliers, devait permettre de simplifier la construction des amplificateurs et surtout de leur donner un diamètre se rapprochant de celui du câble, ce qui était très important pour la pose.

Il est vrai que le système à un câble est généralement meilleur marché pour le même espace des répéteurs que celui à deux, mais le nombre de canaux téléphoniques qu'on peut y placer est moindre, car les liaisons aller et retour utilisent une plus grande bande de fréquences; en outre, les filtres pour la séparation des fréquences occupent beaucoup de place. Les répéteurs sont ainsi plus volumineux, ce qui rend leur pose par grand fond difficile. Si l'on diminue le diamètre du câble, son prix diminue aussi, mais, par contre, l'affaiblissement augmente et l'on doit alors employer plus de répéteurs. Cependant, dans certaines conditions, deux câbles peuvent aussi être avantageux.

Les répéteurs doivent pouvoir résister au choc de la pose et d'un relevage éventuel ainsi qu'à la pression d'environ 405 atmosphères, qui règne aux plus grandes profondeurs. En outre, il faut que la consommation de chauffage et d'anode des tubes soit faible, pour qu'on puisse les alimenter par le câble lui-même depuis la terre. Enfin, il est de toute importance que les répéteurs puissent rester en service sans dérangement pendant une période d'environ 20 ans, période qui a servi de base aux calculs économiques.

De la décision prise en 1952 d'employer du matériel normalisé, il résultait:

- que les 36 circuits de l'Atlantique seraient constitués par trois groupes primaires à 12 voies à 4 kHz dans la bande 60/108 kHz; la transmission sur les câbles se ferait dans la bande de 20 à 164 kHz, dans les deux directions;
- que les 60 circuits entre Terre-Neuve et la Nouvelle-Ecosse seraient constitués par 5 mêmes grou-

pes primaires assemblés dans le groupe secondaire de base de 312 à 552 kHz; la transmission sur l'unique câble se ferait directement dans cette bande pour la direction Clarenville-Sydney Mines et pour l'autre sens dans la bande de 20 à 260 kHz, après modulation. Deux des groupes primaires transatlantiques sont reliés à New York, le troisième étant réparti en 6 1/2 circuits pour Montréal et 5 1/2 pour New York.

Afin de pouvoir éventuellement constituer des circuits radiophoniques, les équipements terminaux de chaque groupe primaire sont tels qu'ils permettent de remplacer 2...3 voies téléphoniques à 4 kHz par une voie pour transmissions radiophoniques.

Les modulateurs pour ce circuit sont du type BPO. En effet, les équipements Bell ne peuvent pas être employés car ils utilisent la bande de 80...88 kHz ou 76...88 kHz; il y aurait incompatibilité avec le pilote de groupe 84,08 kHz.

Cette installation étant spécialement destinée à assurer des liaisons téléphoniques, on demanda qu'un canal qui serait employé à d'autres fins n'influencât pas les autres canaux autrement que s'il était utilisé pour la téléphonie.

Il était aussi prévu de placer au moins six canaux de télégraphie harmonique à 50 bauds dans chaque direction. En réalité, un plus grand nombre sont en service avec porteurs espacés de 120 Hz et modulés en fréquence. Des essais ont montré que la vitesse de transmission pourrait être augmentée jusqu'à 80 bauds, dans dix canaux au moins.

La technique actuelle ne permet pas d'envisager de retransmettre des programmes de télévision, la bande de fréquences étant trop étroite.

La répartition des travaux et des livraisons a été la suivante:

L'Angleterre a fourni la plus grande partie du câble et les répéteurs pour le tronçon Terre-Neuve-Nouvelle-Ecosse. En outre, elle prêta son câblier, le «Monarch», pour la pose. Le reste du câble et les amplificateurs entre l'Ecosse et Terre-Neuve ont été livrés par les USA.

Si l'on veut réaliser une installation devant fonctionner au moins vingt ans sans dérangements, la fabrication et le montage des câbles sous-marins, des amplificateurs sous-marins et de leurs nombreuses parties doivent être soumis à des exigences très sévères. Dans le projet, on présenta des propositions à ce sujet.

Pour les réaliser, la Standard Telephones and Cables Ltd., par exemple, construisit à North Woolwich un atelier spécial sans fenêtre, climatisé. En outre, l'ouvrier, avant d'être engagé dans la production, devait suivre une instruction spéciale donnée en deux parties. Dans la première, il acquérait les connaissances théoriques et subissait un entraînement pratique dans des conditions réelles de travail et de contrôle. La seconde partie permettait à l'ouvrier de montrer que l'on pouvait utiliser son travail pour la réalisation du projet. Une exécution de qualité égale

pendant une longue période y était surtout recherchée. On arriva de cette manière à sélectionner le personnel, à l'entraîner en vue d'améliorer son habileté professionnelle et à développer en lui le goût du travail bien fait ainsi que son esprit critique.

Le tracé

Bien que de nombreuses expériences eussent été faites lors de la pose des câbles télégraphiques, le choix du tracé du câble restait un problème difficile à résoudre, car les servitudes géographiques, météorologiques, topographiques n'ont pas changé. Leur influence sur un type de câble aussi délicat qu'un câble coaxial est même plus grande.

La route la plus courte eût été celle de Terre-Neuve à l'Irlande, d'une longueur d'environ 3300 km; les difficultés du raccordement avec Londres firent abandonner cette solution.

Une route passant par les Açores aurait permis d'utiliser cette île pour y placer les stations intermédiaires, mais les difficultés d'atterrissement et de personnel pour la maintenance de l'installation auraient été malaisément surmontables. En outre, un autre aspect du problème ne pouvait pas être négligé: celui de la réparation éventuelle d'un répéteur ou d'un câble endommagé, qui exige qu'on les retrouve, et qu'on les repêche. Or, à de pareilles profondeurs, c'est chose difficile; on choisit donc un tracé libre de câbles, à une distance d'environ 20 à 30 km des câbles télégraphiques existants, plus faible dans la région des côtes, évitant ainsi les dangers qu'auraient pu courir les installations lors de réparations exécutées à l'une ou à l'autre. De ce fait, on fut obligé de fixer un point d'atterrissement au nord de l'Irlande et l'on choisit Oban, en Ecosse.

Le choix de l'autre point, à Clarenville, dans l'île de Terre-Neuve, fut guidé par les considérations suivantes:

- les câbles restent en eau profonde jusqu'à l'entrée du bras nord-ouest de la baie de Random, où il n'y a pas à redouter qu'ils soient endommagés par les icebergs qui s'approchent des côtes;
- il n'y a aucun croisement avec d'autres câbles;
- le personnel chargé de l'entretien peut trouver à Clarenville des conditions de vie et de séjour acceptables.

On laissa donc de côté le plateau sous-marin de l'Atlantique, dénommé par Maury vers 1856 le «Plateau du télégraphe». Ce nom avait été donné à une zone assez peu accidentée d'environ 2200 km de longueur, d'une profondeur variant entre 2400 et 4400 m, où nul courant ne semblait exister et qui devait bien se prêter à la pose de câbles. La plupart des câbles télégraphiques transatlantiques y ont été ensuite placés.

Les deux câbles téléphoniques sont identiques, parallèles, distants environ de 30 km. Le câble n° 2, le plus au nord, assure la transmission d'Europe en Amérique, l'autre, le n° 1, dans le sens inverse.

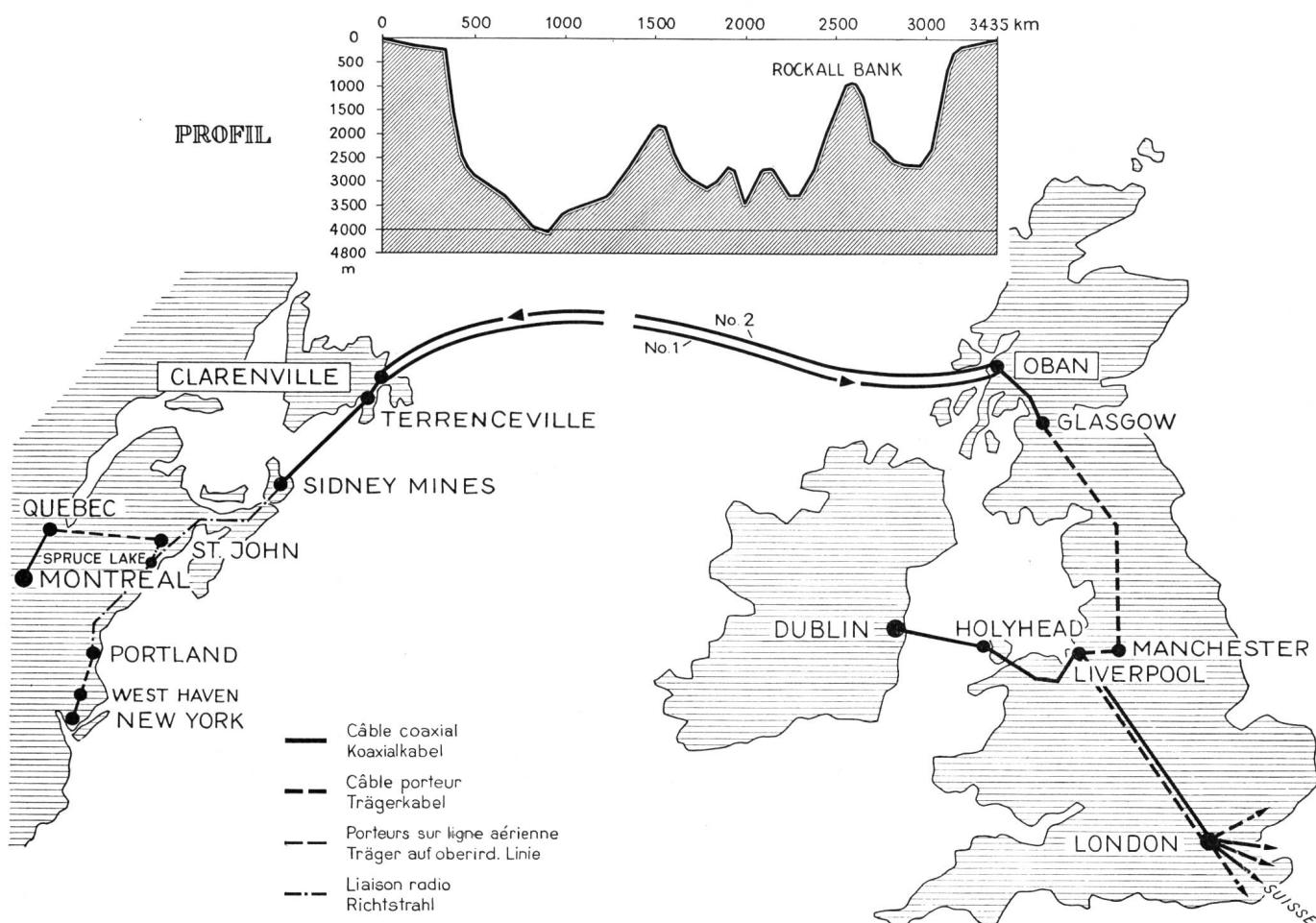


Fig. 4. Le tracé de la ligne

La distance à vol d'oiseau est d'environ 3430 km entre Oban et Clarenville et la plus grande profondeur atteint 4100 m.

Le câble n° 1 a une longueur d'environ 3596 km, le n° 2 de quelque 3600 km.

Les stations terminales sont, bien entendu, à Oban et Clarenville. Oban, une petite ville d'environ 6000 habitants, est un centre de pêche au hareng et de tourisme. Clarenville, située au fond de la baie de la Trinité, est une localité de quelque 1200 habitants. C'est un point important du réseau canadien des chemins de fer. Les habitants y pêchent un peu la morue.

Le tracé du câble bidirectionnel unique entre Clarenville et Sydney Mines (Nouvelle-Ecosse) est terrestre jusqu'à Terrenceville, localité dans la baie de la Fortune, soit sur une longueur d'environ 100 km. De là à Sydney Mines le câble est immergé sur une longueur d'environ 504 km à une profondeur maximum de 450 m. La longueur totale du câble est de 604 km.

Le câble

Le développement de la technique des câbles est démontré largement par la différence entre le premier câble simple de l'Atlantique, constitué d'un toron de fils de cuivre isolé à la gutta-percha, entouré d'une

couche de chanvre goudronné puis armé de cordelettes en fils de fer, et le câble coaxial actuel.

Pour ce dernier, non seulement de nombreux problèmes de fabrication mais aussi des problèmes difficiles d'approvisionnement en matériel durent être résolus. Les exigences – nécessaires du reste – fixées dans les cahiers des charges étaient extrêmement rigoureuses, tant dans le choix des matières premières que pour la fabrication et les tolérances des dimensions. Ces tolérances atteignaient des valeurs inconnues jusqu'alors. On essaya de s'approvisionner à des sources existantes, mais sans succès. Il ne resta comme seule et unique solution satisfaisante, que d'équiper en conséquence la « Telegraph Construction and Maintenance Company » et la maison « Richard Johnson et Nephew, Ltd. », à Manchester, qui transformèrent leurs fabriques à cet effet; l'approvisionnement en fils et en rubans put être assuré. Ainsi la « Submarine Cable Ltd. » fut à même de fabriquer le câble dans la nouvelle usine « Ocean Works » qu'elle construisit spécialement à Erith, ville à l'ouest de Londres, au bord de la Tamise.

Le 93 % du câble est sorti de cette maison, dont les ancêtres avaient déjà fourni le premier câble sous-marin télégraphique. Le reste fut livré par la « Simplex Wire & Cable Company » à New Hampshire (USA) et par une troisième fabrique.

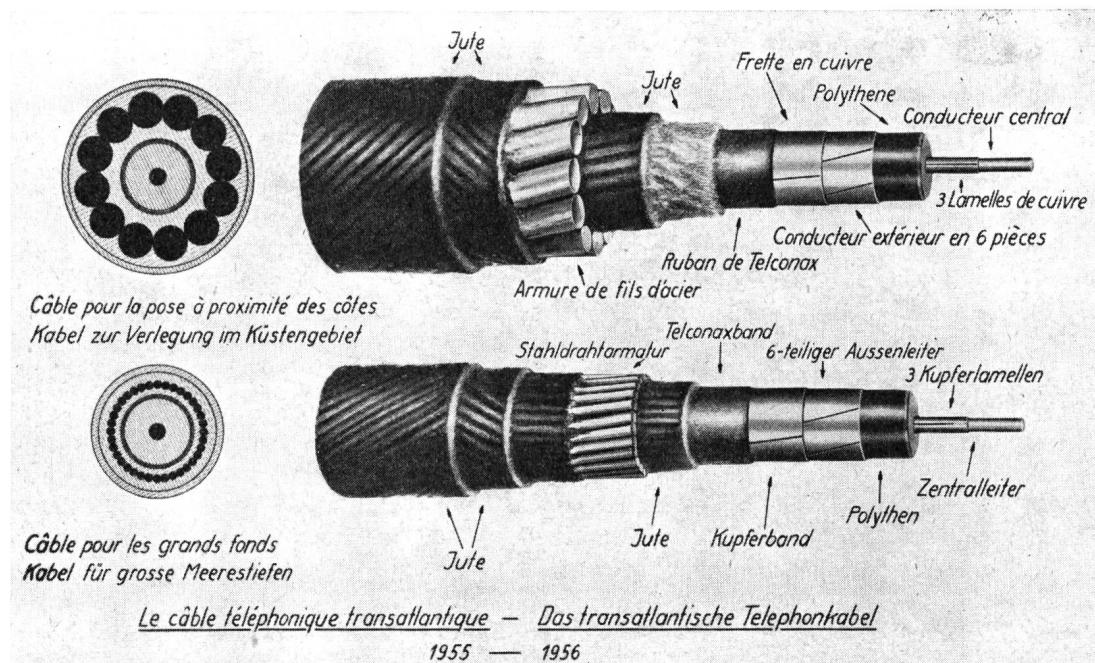


Fig. 5.

Le câble téléphonique transatlantique 1955 à 1956

Le câble est du type coaxial à une paire, à diélectrique solide.

Le *conducteur central*, en cuivre, est formé d'un fil cylindrique de $3,35 \pm \frac{5}{1000}$ mm de diamètre entouré de trois rubans de cuivre parfaitement jointifs, de $0,368 \pm \frac{178}{1000}$ mm d'épaisseur et enroulés parallèlement en hélice. Le conducteur est ainsi plus souple qu'un conducteur plein et a une moins grande résistance électrique qu'un fil semblable torsadé. Il a un diamètre de $4,08 \pm \frac{25}{1000}$ mm.

L'*isolation* est constituée par une couche de polythène additionné de 5% de caoutchouc butylique (polyisobutylène) et de 0,07% d'un anti-oxydant.

Le diamètre extérieur est de $15,77 \pm \frac{75}{1000}$ mm.

On pensait choisir tout d'abord comme diélectrique la paragutta, mais le polythène se révéla supérieur, grâce à sa constante diélectrique plus faible, à sa tension de claquage plus élevée, à son imperméabilité à l'eau de mer et à sa résistance mécanique meilleures.

Le *conducteur de retour* se compose de 6 rubans de cuivre de $0,407 \pm \frac{13}{1000}$ mm d'épaisseur, enroulés jointivement en hélice autour du polythène pour former un cylindre parfait.

Certains câbles télégraphiques sous-marins ayant été rongés par des tarets, tels que le Teredo, le Pholads, le Limnoria, on décida d'entourer la paire coaxiale d'un *ruban de protection* contre ces vers. Ce ruban, baptisé «Teredo», en cuivre de 0,076 mm d'épaisseur, est enroulé en spirale dont les bords se recouvrent mutuellement. La nécessité de cette pro-

tection, spécialement dans les grands fonds, peut être mise en doute, mais les frais supplémentaires qu'elle constitue sont suffisamment faibles pour qu'une telle précaution ne fût pas négligée. Afin de renforcer la résistance mécanique de la paire, on enroula autour du ruban «Teredo» une bande de coton imprégnée de caoutchouc et de goudron d'asphalte, appelée «Telconax». Des échancrures ont été laissées entre les différents enroulements de ce ruban, afin de permettre à l'eau de mieux pénétrer jusqu'à la surface extérieure du diélectrique, car des essais en laboratoire montrèrent que l'affaiblissement est un peu différent selon le degré d'humidité de cette surface. Des mesures d'affaiblissement étant faites immédiatement après la fabrication de la paire, pour permettre une égalisation éventuelle des longueurs, il était indispensable qu'on puisse humidifier le câble aussi rapidement que possible, déjà en fabrique.

La paire est protégée, suivant les cas, par *une ou deux couches de jute* imprégné.

Les *armures* sont différentes selon la profondeur et le fond de la mer. Ainsi, le câble posé par moins de 550 m est armé de 12 fils d'acier galvanisé de 7,6 mm et a un diamètre extérieur d'environ 47 mm. On ajoute aux câbles d'atterrissement une armure de 19 fils d'acier doux. Le diamètre de ce câble est d'environ 68 mm et son poids 12,6 kg au m.

Le câble posé à des profondeurs moyennes est armé de 18 fils de 4,2 mm et a un diamètre de 36 mm environ. Le câble de grand fond (plus de 1300 m) a une armure de 24 fils d'acier à haute résistance de 2,18 mm de diamètre. Chaque fil est lui-même enroulé dans un ruban de coton et le tout est trempé dans une masse d'asphalte. Le diamètre est d'environ 32 mm et le poids de 1,4 kg au m. Toutes les armures sont recouvertes de deux couches de jute imprégné.

Afin d'obtenir une meilleure mise à terre de l'enveloppe et diminuer ainsi le niveau du bruit, on munit le câble côtier d'une gaine de plomb placée sous l'armure sur une longueur d'environ 1,1 km.

Les parties métalliques du câble, sauf le mince ruban de «Teredo», sont toronnées dans le même sens, à gauche, et autant que possible avec le même pas. Les couches de jute sont généralement enroulées en sens contraire, l'une par rapport à l'autre. Cette technique, choisie après essais, prévient le mieux les dérangements lors de la manutention et de la pose du câble.

Le câble devait avoir une régularité d'impédance aussi parfaite que possible, mais, afin de maintenir un équilibre rigoureux entre le gain des répéteurs et l'affaiblissement du câble, il fallait connaître à l'avance l'influence de la température et de la pression de l'eau. A cet effet, une longueur d'essai de 35 à 40 km fut posée en 1955 dans le golfe de Cadix, à une profondeur d'environ 550 m, et une autre semblable près de Casablanca, par environ 4200 m de fond. On constata qu'il y avait une différence entre les mesures d'affaiblissement faites en fabrique et une fois le câble posé; elle augmentait avec la profondeur. Après 18 et 48 heures, cette différence était encore mesurable; par contre, entre 48 et 86 heures, elle était si faible qu'on pouvait admettre qu'elle le resterait.

Un des points importants de la fabrication du câble est la paire coaxiale et son contrôle.

Le fil central était étiré en longueurs d'environ 22 km. Afin d'obtenir un diamètre régulier et exact, on devait changer très souvent les filières. L'emploi de la graisse était interdit afin d'éviter que des traces éventuelles n'endommagent le polythène.

L'enroulement des trois rubans de cuivre autour du fil se fit dans des ateliers spécialement construits ou équipés à cet effet, complètement isolés de l'air ambiant et alimentés par de l'air filtré circulant avec une légère surpression. Les ouvriers étaient munis d'habits de travail blancs dépoussiérés et de gants en soie artificielle, de telle sorte qu'aucune manipulation ne pouvait être faite à mains nues. Ces mesures draconiennes permirent d'éliminer toute impureté ou poussière dans la paire, ce qui fut très important pour la suite de la fabrication. On prépara aussi la masse isolante de polythène dans des locaux climatisés.

Pour constituer le noyau central de la paire, on chauffa le conducteur central à la température de la masse isolante par courants HF, afin d'enlever toute trace d'humidité. Puis, à la sortie de la presse à polythène, un appareillage électronique contrôlait la vitesse de passage, le diamètre du noyau, le centrage du conducteur. Ce centrage est exact à $\frac{4}{10}$ de mm près. Chaque centimètre du noyau passa entre les mains de spécialistes qui devaient déceler les défauts ou les malfaçons visibles et permettre ainsi de les éliminer à temps. Ces spécialistes contrôlèrent aussi

minutieusement les dimensions, au micromètre et à la jauge, à intervalles fréquents. Le noyau traversait ensuite un bassin contenant de l'eau de mer sans air, maintenue à température constante, pour subir des essais électriques tels que celui de la résistance du conducteur central, de la capacité et de l'isolation. L'isolant était soumis à un essai de tension de 90 kV pendant une minute. L'isolement était mesuré à 500 V pendant une minute. Toute longueur qui avait moins de 500 000 megohms par mille était éliminée. La plupart, du reste, remplirent ces conditions. La composition du jute et des rubans, ainsi que leur résistance mécanique, furent aussi contrôlées.

Toutes ces mesures permirent d'apporter immédiatement, si nécessaire, des corrections aux différents paramètres dont dépendait la qualité du câble.

La paire coaxiale a été fabriquée généralement en longueurs d'environ 450 à 3700 m. Il fallait donc joindre ensemble un certain nombre de ces longueurs pour constituer une section d'amplification de quelque 69,5 km. A cet effet, le conducteur central est entaillé en V, puis brasé et soudé à l'argent. On moule ensuite l'enveloppe isolante de polythène au moyen d'une machine à injecter.

Un épisseur ne pouvait raccorder le câble que s'il avait montré qu'il en était capable. Pour cela, il exécutait, l'une après l'autre, dix épissures échantillons qui devaient remplir les conditions. Avant chaque reprise de travail, il confectionnait une nouvelle épissure d'essai. Si deux épissures de suite étaient mauvaises, il recommençait le test de dix épissures avant de pouvoir continuer.

Une méthode semblable fut employée pour le brasage des éléments en cuivre et le soudage des fils d'armure.

Chaque joint était ensuite vérifié aux rayons X et essayé à 120 kV pendant 5 minutes. Le conducteur extérieur, les rubans de «Teredo», de «Telconax» et de jute étaient alors placés, puis la paire déposée dans une cuve pleine d'eau pour lui faire subir de nouveaux essais électriques. On contrôlait la qualité de la transmission en mesurant l'affaiblissement dans la bande de 6 à 200 kHz. Les résultats obtenus étaient corrigés pour tenir compte de la température et de la profondeur de la mer et comparés avec les caractéristiques prescrites. Les oscillogrammes d'échos d'impulsions étaient relevés et photographiés. On confrontait et examinait la valeur des réflexions avec les rapports de fabrication de la paire. Enfin, différents essais en courant continu, dont un à haute tension, terminaient la série.

Ensuite, la paire était armée, puis stockée dans des récipients à l'intérieur desquels circulait de l'eau destinée à maintenir le câble à la température de la mer. Une nouvelle série d'essais semblables aux précédents et des mesures de transmission servant, entre autres, à déterminer le coefficient de variation de l'affaiblissement en fonction de la température, étaient effectués.

Afin de recueillir des renseignements pour la fabrication de futurs câbles, quelques mesures d'impédance furent aussi faites sur des longueurs choisies, à des fréquences plus élevées que celles utilisées pour l'installation actuelle.

Les longueurs de 69,5 km étaient placées dans des cuves pouvant contenir environ 370 km de câble, en y insérant les répéteurs. Ceux-ci étaient apportés sur un chariot spécial, désemballés et placés dans un bassin contenant de l'eau. Ensuite, ils étaient soulevés, posés sur des chevalets en bois et les extrémités préparées pour être épissées aux deux sections d'amplification. On constituait ainsi une longueur normale de pose composée généralement de cinq sections, qui était soumises à de nouvelles mesures de transmission. Cette longueur était ensuite chargée sous tension sur le câblier, afin qu'on puisse encore une fois contrôler les caractéristiques électriques.

Le câble unique Clarenville-Sydney Mines, qui est constitué aussi par une paire coaxiale semblable à celle du câble transatlantique, a été fabriqué et essayé généralement selon les mêmes principes.

Environ 8340 km de câble furent livrés, y compris les réserves et les câbles pour les essais de pose. On utilisa pour cela

11 300 tonnes d'acier
3 000 tonnes de cuivre
1 100 tonnes de goudron
2 500 tonnes de jute
1 500 tonnes de polythène
2 900 km de rubans d'étoffe

Les répéteurs pour le câble Clarenville-Oban

Les caractéristiques particulières d'un répéteur destiné à équiper un câble sous-marin de grand fond sont la résistance à la traction du câble au cours de la pose et à la pression de l'eau dans les grands fonds. Dans le cas particulier, un grand nombre de répéteurs reposent à plus de 3600 m de profondeur.

L'expérience montre que pour les grands fonds il faut rechercher une enveloppe de répéteur flexible, d'une structure voisine de celle du câble qui puisse

passer sur les tambours et les poulies du câblier. Au cours de la pose, le répéteur doit suivre le déroulement du câble sans que le navire ralentisse trop sa marche ou s'arrête.

Le matériel employé avait été éprouvé pendant de longues années. Avant la guerre déjà, les Bell Telephone Laboratories établirent les spécifications et mirent à l'essai un type de répéteur flexible. Il a été utilisé, dès 1950, sur la liaison Key West-La Havane.

Le bruit et l'intermodulation sont déterminés par la constitution du circuit et le type de tube électronique utilisé, de conception plutôt ancienne.

La tolérance d'égalisation de la bande de fréquences est très faible (objectif 0,05 db). Il faut naturellement tenir compte du vieillissement des tubes dans les performances du répéteur. Une contre-réaction de 33 à 34 db était nécessaire pour obvier à ces inconvénients.

Comme les répéteurs sont inaccessibles pour la maintenance, il a fallu prendre certaines dispositions afin de pouvoir les essayer depuis la côte, et déterminer, en cas de défaut, le répéteur défectueux.

Le circuit du répéteur est représenté à la figure 6.

L'amplificateur est à trois étages avec contre-réaction, du type conventionnel. Il est relié au câble par un réseau d'entrée et un réseau de sortie, comprenant un transformateur, un correcteur d'affaiblissement et un filtre séparateur d'alimentation. Ces réseaux avec les deux réseaux de contre-réaction, déterminent le gain du répéteur, qui doit être égal à l'affaiblissement du câble. Le gain est environ de 22,5 db à 20 kHz et de 61,5 db à 164 kHz. La différence d'environ 39 db entre ces deux fréquences est obtenue approximativement en parties égales par les réseaux d'entrée, de sortie et par les deux réseaux de contre-réaction. Le réseau de couplage entre le 1^{er} et le 2^e étage est sensiblement plat pour la bande de fréquences. Celui entre le 2^e et le 3^e étage a une caractéristique ascendante en fonction de la fréquence. Cette augmentation de gain compense la perte des réseaux de contre-réaction, de sorte que le taux de contre-réaction est

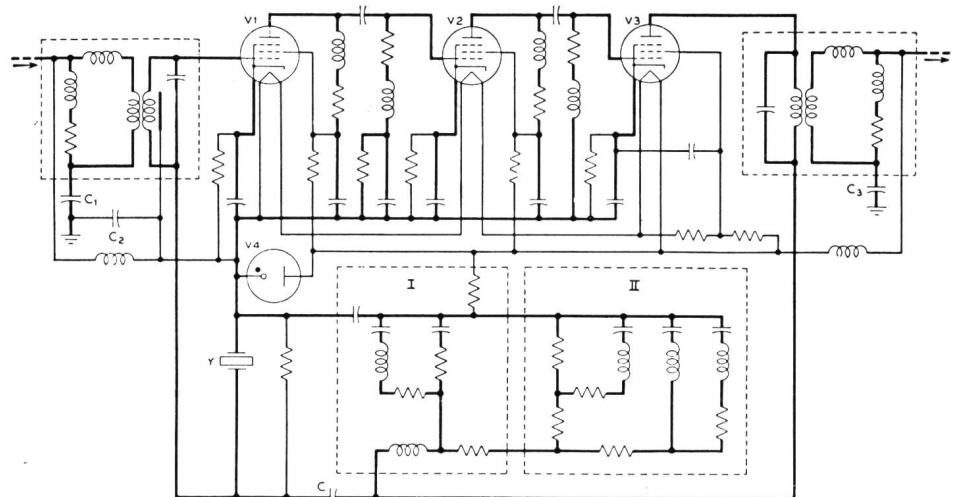


Fig. 6.
Schéma du répéteur unidirectionnel
type Clarenville-Oban

approximativement le même pour toute la bande de fréquences. La tension d'anode est obtenue par la chute de tension dans le circuit de chauffage. Elle est d'environ de 52 volts. Le circuit à courant continu est isolé du châssis par les condensateurs à haute tension C 1, C 2 et C 3.

Les réseaux correcteurs d'entrée et de sortie, qui sont identiques, ne sont pas adaptés à l'impédance du câble, ce qui permet d'avoir un meilleur rapport signal-bruit, un gain supérieur et une correction effective de l'affaiblissement pour un minimum d'éléments. Cette dernière condition est importante en raison du peu de place disponible dans les répéteurs flexibles. Du fait de la non-adaptation des correcteurs, le gain du répéteur est sensible aux variations d'impédance du câble. Ce défaut est rendu négligeable par une fabrication soignée du câble et des réseaux.

Le réseau de contre-réaction I détermine la correction principale du gain de l'amplificateur et l'amène à $\pm 0,7$ db de sa valeur nominale. Les circuits résonants du réseau de contre-réaction II réduisent à $\pm 0,05$ db les variations résiduelles de gain. Il a été estimé que la variation d'affaiblissement due à la température ne dépassera pas ± 5 db pour la plus haute fréquence transmise. Le changement d'affaiblissement du câble sous l'effet de la température étant le même que si le câble était plus ou moins long, les correcteurs ont donc la même caractéristique que celle du câble. Ces correcteurs sont placés dans les équipements terminaux d'émission et de réception afin que la caractéristique d'affaiblissement en fonc-

tion de la fréquence reste dans les limites les plus étroites possible; on peut ainsi conserver un rapport signal-bruit admissible. Chaque correcteur a une marge de ± 5 db avec des pas de 0,5 db.

Test

Le quartz Y et le condensateur C permettent de mesurer les répéteurs depuis une station côtière. A la fréquence de résonance du quartz, la contre-réaction est pratiquement éliminée et le gain du répéteur augmente en conséquence. Il est alors proportionnel à la pente des trois tubes, ce qui permet, par des mesures périodiques, de déceler tout changement dans leurs caractéristiques. La fréquence de résonance du quartz est différente pour chaque répéteur, de sorte qu'il est possible de mesurer chaque amplificateur individuellement. Les fréquences sont espacées de 100 Hz et sont placées dans la bande de 167 à 173,4 kHz. L'augmentation de gain pour la fréquence de résonance est d'environ 25 db. Le bruit de fond à l'entrée du répéteur étant amplifié beaucoup plus dans la bande étroite autour de la fréquence de résonance du quartz, il en résulte à l'extrémité d'arrivée une série de pointes de bruit correspondant chacune à un répéteur. Il est ainsi possible de déterminer en cas de défaut le répéteur défectueux. Bien entendu, pour effectuer la mesure, l'alimentation des répéteurs doit fonctionner normalement. Pour éviter une interruption totale d'alimentation due à la rupture d'un filament d'un tube amplificateur, un tube à décharge gazeuse V 4 est placé en parallèle sur le circuit de chauffage de chaque répéteur.

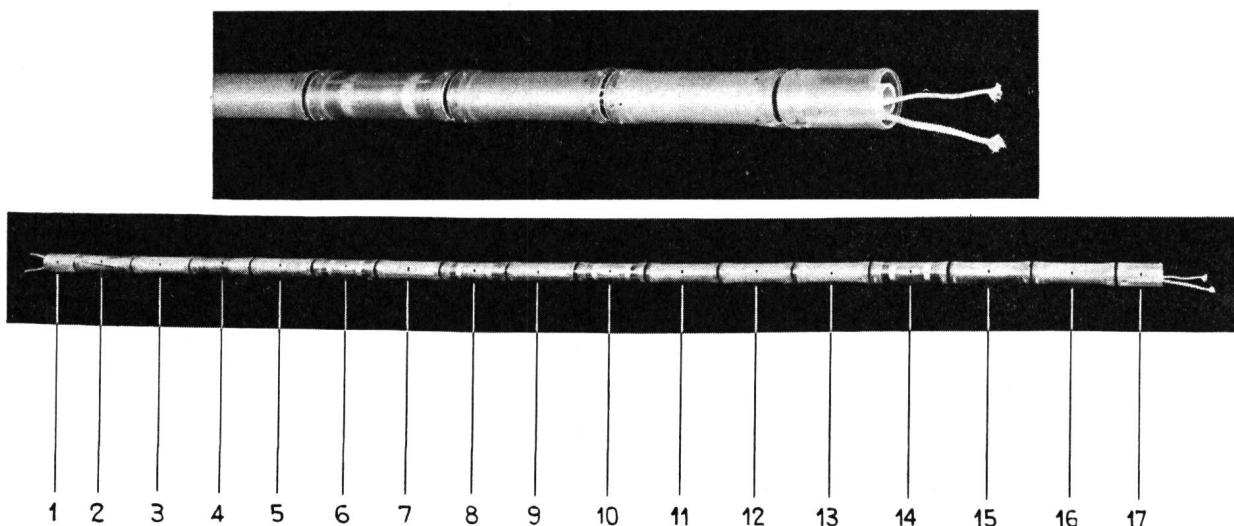


Fig. 7. Le répéteur type Clarenville-Oban

- | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 Borne d'entrée | 7 Premier réseau intermédiaire | 13 Deuxième réseau de contre-réaction |
| 2 Condensateur de blocage d'entrée | 8 Deuxième étage d'amplification | 14 Diode à gaz |
| 3 Condensateur de terre | 9 Deuxième réseau intermédiaire | 15 Désiccateur |
| 4 Quartz | 10 Troisième étage d'amplification | 16 Condensateur de blocage de sortie |
| 5 Réseau d'entrée | 11 Réseau de sortie | 17 Borne de sortie |
| 6 Premier étage d'amplification | 12 Premier réseau de contre-réaction | |

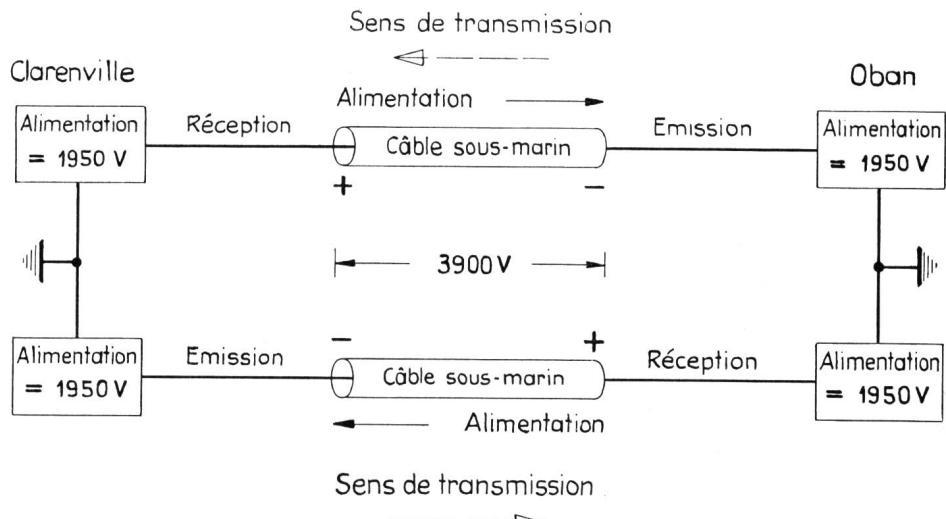


Fig. 8.

Principe de l'alimentation des répéteurs par les câbles

Construction du répéteur

Afin d'obtenir une structure flexible, on a enfermé le répéteur dans 17 enceintes cylindriques mises bout à bout, reliées l'une à l'autre par un ressort. Deux couches d'anneaux plats en acier disposés en quinconce entourent ces enceintes. Les anneaux supportent à leur tour une enveloppe en cuivre ayant la forme d'un tube et la protègent contre l'écrasement par la pression maximum de 405 atmosphères. L'armure du câble entoure l'enveloppe du répéteur et des fils d'acier supplémentaires permettent enfin d'obtenir un recouvrement total. Toute une série de mesures ont été prises pour éviter l'infiltration de l'eau de mer ou de l'humidité dans le répéteur.

Le répéteur inséré se présente finalement sous la forme d'un renflement flexible long de 2 m 40 et de 71 mm de diamètre, qui s'amincit ensuite progressivement pour revenir au diamètre du câble à 6 m de part et d'autre de ses extrémités.

Le développement des pièces détachées a posé un grand nombre de problèmes dont les plus importants sont: l'extrême sécurité, le haut degré de stabilité, le faible encombrement et la basse température d'exploitation. De nombreuses précautions ont été prises pour essayer d'atteindre ce but, en utilisant des pièces ayant déjà fait leurs preuves, en choisissant des matériaux chimiquement stables, en travaillant à l'abri des poussières, etc.

Les répéteurs du câble transatlantique ne comprennent pas moins de 6000 de ces pièces qui devraient toutes durer 20 ans, au moins. Ils ont été fabriqués par la «Western Electric Co., Inc.».

Des essais électriques ou mécaniques spéciaux ont été faits, tel, entre autres, l'essai d'étanchéité des répéteurs, qui consiste à les placer sous une haute pression de gaz d'hélium. Ce gaz n'est pas seulement choisi en raison de ses molécules de faibles dimensions qui peuvent passer par des fissures infranchissables à des molécules d'eau, mais aussi pour

sa facilité à être détecté par des appareils de mesures de fuites de gaz utilisés couramment. Un passage de $10^{-9} \text{ cm}^3/\text{s}$. d'hélium peut être décelé, ce qui correspond approximativement à 0,66 gramme d'eau en 20 ans.

Un dessicatif est placé dans une cavité du répéteur pour éliminer les traces d'eau qui pourraient s'infiltrer. Par un tube spécial, le répéteur est desséché sous vide, puis rempli avec de l'azote sec. Ce tube est ensuite fermé par soudure. L'étanchéité de cette dernière est essayée à l'aide de substances radioactives et d'un compteur Geiger spécial.

Bien que le gain des amplificateurs soit adapté dans des limites très étroites à l'affaiblissement du câble, il arrive que, en raison d'irrégularité ou par erreur systématique, la caractéristique de fréquence ne soit plus dans les limites. On introduit alors des correcteurs sous-marins de caractéristiques diverses et d'affaiblissement maximum de 4 db. Ces correcteurs sont montés dans des enveloppes du même type que celle des amplificateurs, mais de moindre longueur.

L'alimentation des répéteurs s'effectue en courant continu transmis par le câble. Elle est du type série; on envoie sur le conducteur central un courant constant alors que le conducteur extérieur est mis à terre. Afin de diminuer les potentiels dans le câble, les répéteurs sont alimentés depuis les deux extrémités du câble par des sources connectées en série additionnelle. Pour chaque direction de transmission, la tension du côté émission est de -1950 V et du côté réception +1950 V par rapport à la terre. De cette façon, les plus grandes tensions et par là les risques de claquage dans les répéteurs apparaissent près des côtes alors que, dans les grands fonds, au milieu du tronçon du câble, les tensions sont très proches du potentiel de terre. L'alimentation des amplificateurs depuis une seule extrémité serait beaucoup plus simple, mais la tension contre terre doublerait. Cela obligeriez d'augmenter la rigidité diélectrique du système et rendrait le coût prohibitif.

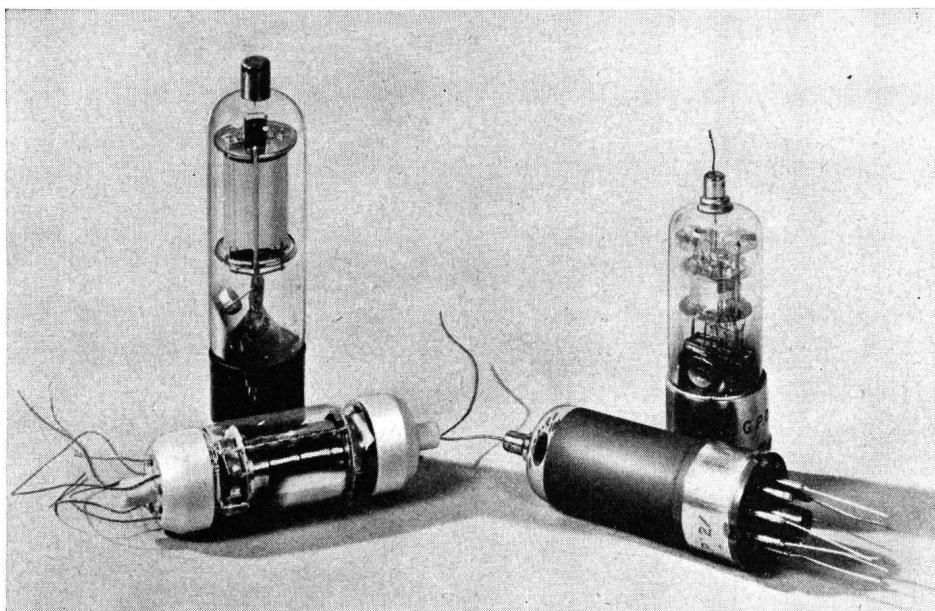


Fig. 9.

Tubes utilisés dans les répéteurs
 - à gauche pour la section de câble
 Oban-Clarenville
 - à droite pour la section de câble
 Clarenville-Sydney Mines
 Les premiers modèles de chaque type
 sont debout derrière les modèles définitifs

Les conditions que doit remplir le dispositif d'alimentation sont très sévères et sont les suivantes:

- le régulateur doit réagir de façon extrêmement rapide de manière à maintenir le courant à quelques milliampères de la valeur nominale même en cas de court-circuit dans le câble, afin d'éviter la destruction des filaments des tubes des répéteurs,
- le courant d'alimentation doit rester dans des limites de $\pm 0,2\%$ de la valeur nominale pour maintenir constants les niveaux de transmission,
- les filtres et les régulateurs ne doivent pas provoquer de bruit sur les circuits,
- le courant doit pouvoir être ajusté de 225 à 245 milliampères pour compenser le vieillissement des tubes,
- le dispositif doit être prévu à double et travailler en parallèle pour éviter les interruptions,
- le système d'alimentation par les deux extrémités d'un même câble doit être stable,
- même en cas de dérangement du dispositif d'alimentation, le courant dans le câble ne doit en aucun cas augmenter.

Afin de remplir au mieux ces conditions, on utilise un régulateur de courant du type électronique pour compenser les variations brusques, placé derrière un régulateur mécanique qui, lui, est chargé de compenser les autres variations.

Toutes les précautions ont été prises pour assurer le service même en cas de défectuosité d'une partie de l'installation.

Le choix des *tubes électriques* pour un câble sous-marin est d'une importance primordiale. En effet, leur remplacement peut conduire à des frais considérables et provoquer des perturbations de trafic de longue durée. On attend donc de ces tubes aussi une durée d'exploitation de l'ordre de grandeur d'une vingtaine d'années.

Dans le répéteur flexible utilisé entre Clarenville et Oban, la place disponible est très limitée et il n'a pas été possible de prévoir des tubes en parallèle. Un seul tube défectueux sur les 306 en service dans la liaison provoque une interruption de trafic. Le tube 175 HQ déjà utilisé depuis 13 ans pour d'autres câbles sous-marins a été choisi. Il s'agit d'une pentode classique très largement calculée et de conception plutôt ancienne, puisque les caractéristiques ont été déterminées en 1941 et n'ont pas subi de modifications importantes jusqu'à aujourd'hui. La cathode est à grande surface et à faible température ($670^\circ C$); la tension d'anode est peu élevée, les électrodes sont relativement éloignées les unes des autres et la construction est très robuste.

Les caractéristiques principales sont les suivantes (3^e étage d'amplification):

Courant de chauffage	220 mA
Tension de chauffage	18,4 V
Tension de grille-écran	40 V
Tension d'anode	51 V
Courant d'anode	1,4 mA
Pente	1 mA/V

Des séries d'essais très sévères ont permis de sélectionner les tubes destinés à équiper le câble. Seul un pourcentage de 10 à 15% a été jugé apte à remplir toutes les conditions.

L'affaiblissement du câble à 164 kHz est d'environ 0,865 db par km, soit quelque 3100 db au total; il a donc fallu 51 répéteurs pour compenser cet affaiblissement.

On a étudié aussi à quelle distance de la côte le premier ou le dernier répéteur devait se trouver. Des considérations quant aux réflexions et aux niveaux firent prescrire une distance maximum de 60 km. Quant à la distance minimum, elle fut fixée à 9 km afin que les répéteurs soient protégés contre

les vagues, les dragueurs, etc. Pour y arriver, on a construit un correcteur de longueur permettant de remplacer 18 km de câble, ajustable à 0,5 db près dans la partie supérieure de la bande de fréquences.

Les répéteurs pour le câble Clarenville-Sydney Mines

Le répéteur utilisé sur ce tronçon a été développé par le BPO et construit par la «Standard Telephones & Cables, Ltd.». Inséré dans des câbles posés en eaux peu profondes, il peut, sans difficulté, être rigide.

La technique, habituelle en Grande-Bretagne, de placer simultanément les deux sens de transmission sur le même câble avec bande de fréquences séparées a été également utilisée pour cette liaison. Les bandes choisies sont respectivement de 20 à 260 et 312 à 552 kHz, permettant d'établir 60 voies téléphoniques.

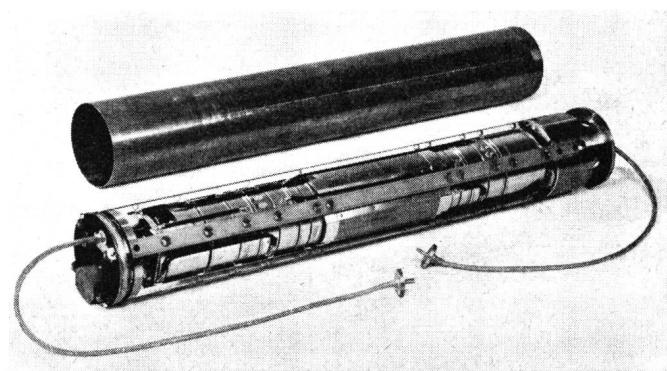


Fig. 10. Récepteur et cylindre étanche pour le câble Clarenville-Sydney Mines

Les éléments des récepteurs sont logés dans un cylindre étanche rempli d'azote sec, dont les dimensions sont approximativement 1,25 m de longueur et 20 cm de diamètre. Ce cylindre est monté dans un logement extérieur en acier, à l'épreuve de la pression, d'une longueur de 2,70 m et de 27 cm de diamètre. Les fils d'armure du câble s'arrêtent sous des brides qui transmettent la tension du câble au logement du récepteur. On pourrait ainsi le poser même jusqu'aux profondeurs que l'on rencontre en plein océan.

Le câble ayant un affaiblissement d'environ 1,62 db par km à 552 kHz et le gain de 60 db à cette fréquence permettant de placer les amplificateurs tous les quel-

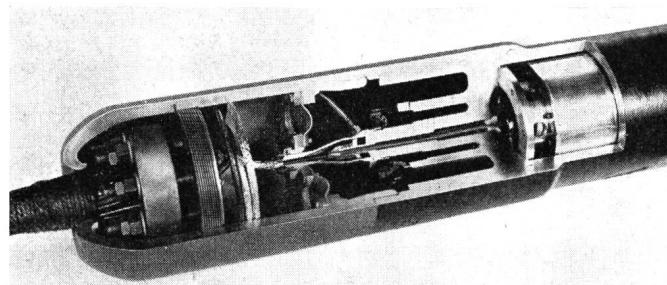


Fig. 11. Détails de construction de l'enveloppe du récepteur

que 37 km, 16 récepteurs seraient nécessaires pour la section Clarenville-Sydney Mines.

Comme on manquait d'expérience sur le comportement des caractéristiques du câble en cours de pose, spécialement en ce qui concerne l'affaiblissement aux fréquences supérieures, un essai a été effectué en février 1955, au large de Gibraltar, avec les premières longueurs sorties de fabrication. On constata des variations importantes d'affaiblissement, qui n'étaient pas entièrement dues à l'influence de la température et de la pression. Pour l'ajustage exact des caractéristiques du récepteur, il a été admis une réduction d'affaiblissement de 1,42 % à 552 kHz par rapport à la valeur en fabrique, et un coefficient de température de + 0,16 % par degré centésimal.

Ainsi qu'on l'a vu, le même récepteur amplifie les deux sens de transmission. Les bandes de fréquences sont donc séparées par des filtres d'aiguillage. Une caractéristique de ces récepteurs est le montage différentiel placé à l'entrée et à la sortie. Ce montage différentiel permet d'augmenter l'effet d'aiguillage des filtres et de faciliter l'adaptation. L'intermodulation due aux noyaux ferro-magnétiques dans les filtres d'aiguillage peut être réduite à un niveau acceptable. Les correcteurs de distorsion d'affaiblissement sont inclus dans ce montage. Les filtres d'alimentation supportent une tension de 3000 V contre terre et laissent passer le courant continu de 316 mA. La tension d'anode de 90 V est prise en dérivation sur une résistance en série dans le circuit d'alimentation. Les filaments des tubes sont également placés en série sur ce circuit.

Le récepteur est composé de deux amplificateurs à trois étages, connectés en parallèle entre les transformateurs d'entrée et de sortie communs, et un réseau unique de contre-réaction. Cet arrangement augmente la sécurité. En effet, la plupart des dérangements affectant un récepteur n'en changent pratiquement pas le gain, seule la puissance de sortie est réduite, et la distorsion de non-linéarité, pour le même niveau de sortie, est augmentée. Une caractéristique de gain ascendante avec la fréquence est donnée par le circuit de contre-réaction.

Toutes les précautions ont été prises pour qu'un court-circuit ou la rupture d'une pièce de l'un des amplificateurs n'aient pas d'influence sur les caractéristiques, la durée de vie et la stabilité de l'autre amplificateur resté en service.

Toutes les pièces détachées ont été choisies et essayées spécialement pour une longue durée de vie. Les récepteurs ont été montés dans des locaux à température et humidité constantes. De l'air filtré était injecté dans le local afin d'obtenir une légère surpression pour empêcher l'infiltration de poussière. Les ouvriers étaient aussi vêtus de l'équipement déjà mentionné plus haut.

Le tube électronique 6P12 utilisé a été développé spécialement à cet effet après de longues recherches au laboratoire de Dollis Hill du BPO. Il est de concep-

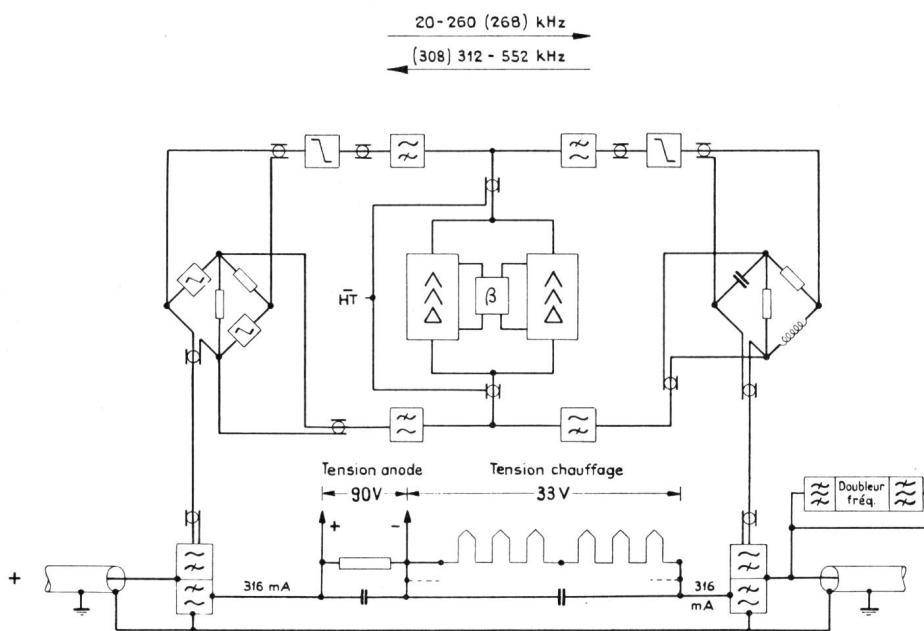


Fig. 12.

Schéma simplifié du répéteur sous-marin bidirectionnel, type Clarenville-Sydney Mines

tion plus moderne que le tube utilisé dans le répéteur américain. Il peut être aussi plus délicat puisqu'il est toujours doublé par l'autre tube du répéteur en parallèle.

Les caractéristiques du tube (étage de sortie) sont les suivantes :

Tension de chauffage	5,5 V
Courant de chauffage	259 à 274 mA
Tension d'anode	90 V
Tension de grille-écran	60 V
Courant d'anode	6 mA
Pente	6,6 mA/V

Le tube doit passer par quatre séries d'essais avant d'être monté dans un répéteur.

Avec le *dispositif d'essai* prévu, on peut mesurer le gain et la distorsion de non-linéarité de chaque répéteur depuis une extrémité du câble. C'est un avantage du système à deux sens de transmission sur le même câble que de permettre, à chaque répéteur, et à condition d'opérer un changement de fréquence, de prendre un certain signal de sortie d'une direction pour le renvoyer en arrière vers l'extrémité d'émission. Cette méthode n'est applicable que si le système d'alimentation fonctionne encore convenablement.

Pour mesurer le gain de la boucle et par là le gain des répéteurs, on utilise la méthode suivante.

En un point commun aux deux sens de transmission de la ligne, on connecte en parallèle un filtre passe-bande à chaque répéteur. La fréquence sélectionnée passe dans un doubleur de fréquence, puis est réinjectée en ligne au même point après avoir été filtrée. De cette façon, un signal d'une fréquence comprise dans la bande de 260 à 264 kHz, individuelle pour chaque répéteur et espacée des autres par une bande de 120 Hz, est renvoyé en arrière dans la bande de 520 à 528 kHz. Pendant cette mesure, deux circuits utilisant la même bande de fréquences doivent être retirés du service.

Pour mesurer la distorsion, on utilise une méthode consistant à envoyer des séries d'impulsions à une fréquence déterminée. Le niveau des impulsions est suffisant pour produire une surcharge des amplificateurs. La translation de fréquences est réalisée par la production d'harmoniques due à la surcharge des répéteurs et le niveau des harmoniques reçu en retour donne une image de la caractéristique de charge de l'amplificateur. Les répéteurs sont identifiés par le temps de propagation du signal.

Il est possible avec cette méthode de mesurer aussi depuis l'autre extrémité, mais il est nécessaire d'envoyer deux signaux simultanés dans la bande supérieure des fréquences pour obtenir par modulation dans le répéteur un signal dans la bande inférieure.

Le tableau ci-dessous indique les fréquences utilisées pour cette mesure.

Station	Emission en lignes		Produit	Réception kHz
	f 1 kHz	f 2 kHz		
Sydney Mines	216	—	2 f 1	432
	144	—	3 f 1	432
Clarenville ..	530	380	f 1 - f 2	150
	530	340	2f2 - f 1	150

L'alimentation d'énergie des répéteurs se fait, comme pour la section Clarenville-Oban, par courant continu constant émis depuis les deux extrémités et acheminé par le conducteur central du câble, le conducteur extérieur étant relié à la terre. Le courant doit être maintenu constant dans des limites étroites indépendantes des changements de tension de la source d'énergie et des variations du potentiel de terre pour protéger les filaments de chauffage des tubes. En cas de court-circuit dans le câble, le courant est déconnecté dès qu'il dépasse les limites admissibles.

Fig. 13. Le «Monarch»

1	Poulie de poupe
2	Poulie - dynamomètre
3	Tambour de freinage
4	Tambour de guidage
5	Poulie de guidage
6	Guide de roulement
7	Cales à câble
9	Tambour auxiliaire
10	Tambour principal d'entraînement
11	Tambour - dynamomètre
12	Poulie de guidage
13	Poulie de proue

Pour augmenter la sécurité de l'exploitation on a remplacé les tubes électroniques de puissance par des éléments électromagnétiques. Bien que le câble soit normalement alimenté depuis les deux extrémités, ce qui diminue de moitié la tension maximum entre le conducteur central et la terre, les condensateurs de blocage ont été dimensionnés pour supporter la tension totale de 2300 volts. Cela a permis de simplifier beaucoup l'installation d'énergie. En effet, en cas de dérangement de l'installation d'une des extrémités, l'autre fournit immédiatement l'alimentation complète du câble. Le courant est réglé à la valeur constante de 316 mA.

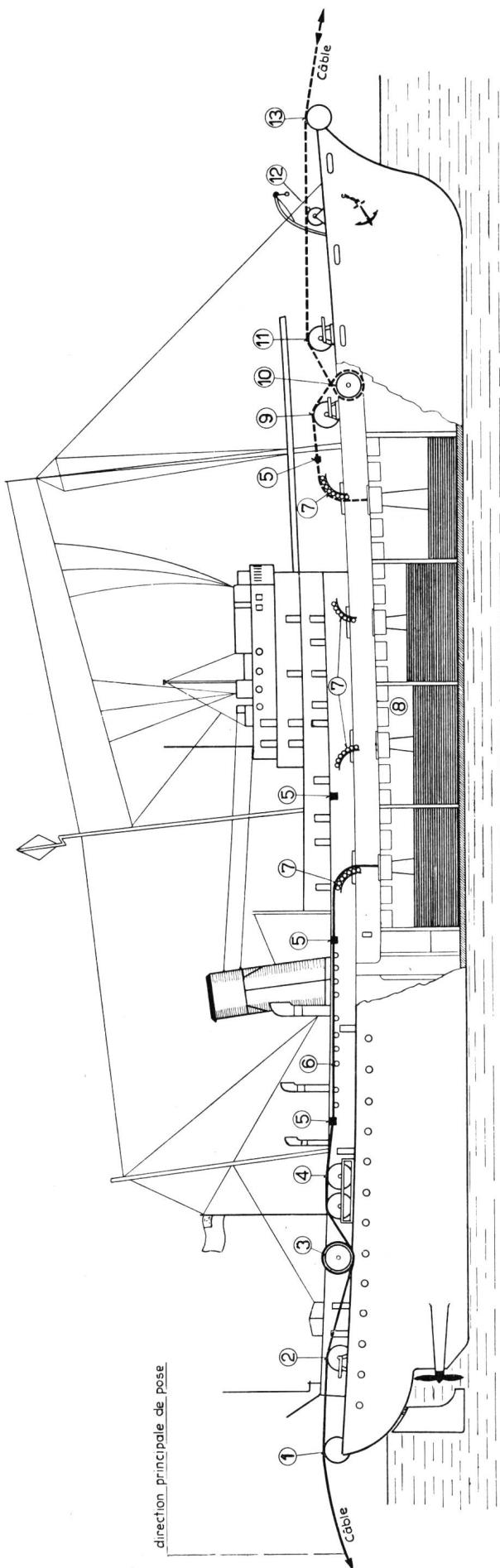
La pose

En 1865 déjà, lorsque le «Great Eastern» fut choisi pour l'immersion du câble télégraphique transatlantique, on l'équipa d'appareils spéciaux de pose dont la nécessité avait été abondamment démontrée lors des infructueuses tentatives effectuées par l'«Agamemnon» et le «Nigeria» en 1857 et 1858.

Certes, entre les méthodes d'il y a 100 ans et le travail de précision exécuté par le «Monarch», la différence est semblable à celle qui existe entre le jour et la nuit.

Mais, avant de se lancer dans cette délicate opération, on avait bien entendu fait quelques essais de pose, spécialement afin de recueillir des expériences sur la manière d'immerger des répéteurs. Ainsi, en 1951, dans le golfe de Gascogne par fonds d'environ 500 mètres, des essais furent exécutés dans de mauvaises conditions atmosphériques et ne donnèrent pas entièrement satisfaction. De nouveaux essais eurent lieu en Méditerranée, pendant l'automne 1953, par fonds d'environ 450 mètres. On posa et releva à plusieurs reprises des tronçons de câbles munis de nouveaux répéteurs du type à enveloppe rigide.

Il est clair que le succès de l'opération dépendait, en grande partie, du bateau choisi. Heureusement, le BPO était propriétaire du plus grand câblier du monde, le «Monarch», avec un équipement et un équipage à la hauteur d'une telle tâche. Ce bateau à hélices, de 147 mètres de long et 17 de large, a un tonnage de 8056 tonnes. Le câble y est déposé dans quatre cales en acier, d'un diamètre de 12 m 50. Il peut



transporter 5000 à 6000 tonnes de câble, soit environ 3000 km de câble de grand fond muni des répéteurs. Le «Monarch» est le seul câbler capable de poser, en une seule campagne, un des câbles transatlantiques. On dut transformer certains organes du mécanisme de déroulement, tels que les tambours, afin que les répéteurs flexibles puissent y être enroulés. On munit donc le «Monarch» de tambours de 2 m 10 de diamètre. Les poulies placées à la proue et à la poupe ont également ce diamètre. Les poulies à chicane et les glissières ont été remplacées par des guides de roulement ayant au moins 1 mètre de rayon afin que le câble puisse aisément se dérouler. Trois nou-

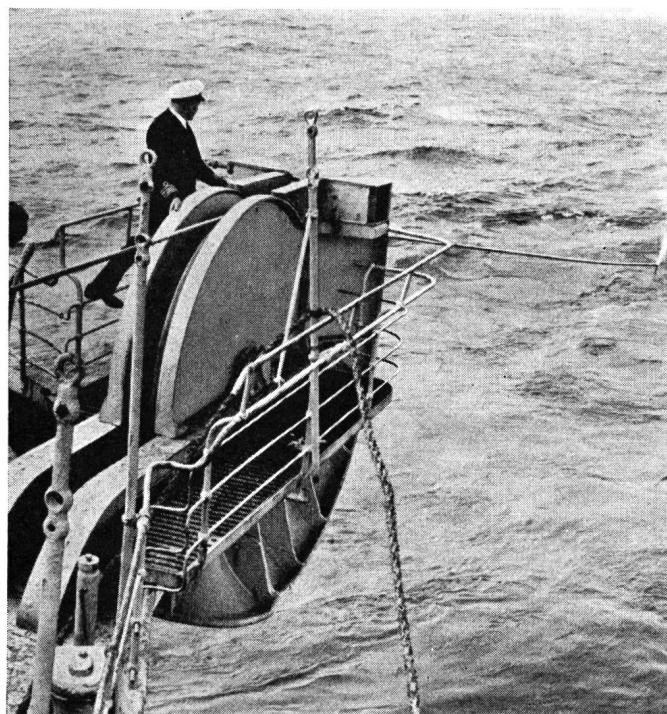


Fig. 14. Pose du câble par a poulie de poupe

veaux dynamomètres ont été installés: deux à l'avant et un à l'arrière. Ils comprennent des poulies de 2 mètres de diamètre, munies de cellules électriques sensibles à la pression, qui transmettent leurs indications aux instruments enregistreurs montés sur la passerelle et dans la salle des essais. La tension de pose du câble peut ainsi être mesurée exactement pendant toute la durée des opérations.

Le câble fut chargé sur le «Monarch», comme nous l'avons vu, généralement par longueur normale de cinq sections d'amplification, sous tension électrique, afin que le plus petit défaut puisse être immédiatement constaté et l'opération de chargement arrêtée.

Pendant la pose, le bateau était en liaison constante avec la côte par le câble, lorsqu'il était alimenté, et par radiotéléphonie. Bien entendu, au travers du câble, il n'était possible de parler que dans une direction.

Pour diriger la marche du bateau, on abandonna les procédés astronomiques et l'on utilisa près des côtes le système «Decca» et en pleine mer le système «Loran». Le sextant et le chronomètre ne furent employés que comme appareillage de sécurité, au cas où la réception radio sur le bateau eût été interrompue ou pour contrôler l'exactitude des méthodes radioélectriques.

Le «Loran» est un système radioélectrique de navigation fonctionnant sur une fréquence voisine de 2 MHz. Il permet une mesure différentielle de distance en comparant, à bord du navire, le retard d'une impulsion émise par un émetteur par rapport à une impulsion émise par un autre émetteur situé à une certaine distance. La mesure du retard permet d'obtenir un lieu hyperbolique de position. Si l'on utilise au moins deux paires de stations, le recoupement des hyperboles permet de faire le point. La portée du «Loran» couvre à peu près tout l'Atlantique Nord.

Le système «Decca» est aussi un système de navigation hyperbolique, 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'une des stations dirigées situe le navire sur une hyperbole. On effectue le point en reportant sur la carte les réseaux d'hyperboles obtenus.

La précision obtenue avec ces méthodes va de quelques dizaines de mètres à quelques kilomètres selon la position du navire par rapport aux stations émettrices.

Cependant, environ 560 km de câble reposent dans l'océan dans une situation qui ne put être exactement déterminée par le «Loran».

La valeur de ces moyens de guidage a été largement démontrée lorsque le «Monarch», le 16 juillet 1955, quittant St-John (Terre-Neuve) en direction de Londres arriva, après quelques kilomètres, dans un brouillard très épais, ne permettant qu'une visibilité d'à peine 300 à 500 mètres. Cette situation dura trois jours et trois nuits, mais le bateau continua son chemin avec le radar comme guide et le «Loran» pour déterminer sa position. Après environ 1600 km, le soleil se montra; un contrôle révéla une différence de 2 km entre la position déterminée par le «Loran» et par les moyens astronomiques. Les stations «Loran» utilisées pour cette traversée se trouvaient à Terre-Neuve, au Labrador et au Groenland.

On fit une même expérience lorsque le «Monarch», pour terminer la pose du premier câble, partit d'Oban pour rechercher une bouée par 19° de longitude ouest; la visibilité était d'environ 3 à 4 km, et il n'était pas possible de faire des observations astronomiques. La première partie du voyage s'effectua avec le «Decca» et la deuxième avec le «Loran» et le bateau arriva directement sur la bouée.

La pose entre Terre-Neuve et l'Irlande s'est effectuée en *trois tronçons*: de Clarenville à la baie de la

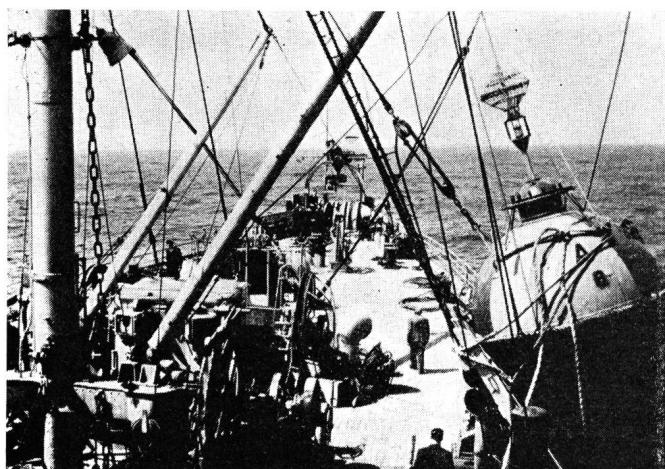


Fig. 15. Pont avant, avec bouée

Trinité, soit environ 370 km (livrés par les USA), de la baie de la Trinité à Rockallbank, environ 2350 km, et de Rockallbank à Oban, environ 900 km.

La fabrication du câble débute en février 1955, et se poursuivit sans arrêt, jour et nuit, samedi et dimanche. Le 28 juin 1955, le «Monarch», commandé par le capitaine *Betson*, commença de Clarendonville vers l'est la pose du premier câble, sous la direction du Département des lignes à grande distance (DLGD) de l'ATT. Aussitôt un obstacle imprévu se montra sous la forme d'un iceberg. Peu après midi, le premier répéteur fut mouillé, le bateau filant à 2 à 3 noeuds; pour la pose du câble, la vitesse était de 6 à 7 noeuds. La mise en place de ce premier tronçon fut terminée en un jour et demi. L'extrémité du câble reposait à une profondeur de quelque 700 m et fut fixée à une bouée.

Le «Monarch» repartit pour Erith afin d'y charger le câble de grand fond d'un poids de 4055 tonnes, qui devait être posé entre la baie de la Trinité et Rockallbank. Le 30 juillet, le «Monarch» quittait le port pour aller repêcher le câble laissé près de Clarendonville, ce qui n'alla pas sans quelques difficultés en raison des conditions de la mer. Ce deuxième tronçon, le principal, put être posé sans que les craintes de subir l'ouragan «Connie» se réalisent. Six des répéteurs reposent à environ 3900 m de profondeur.

Pendant les opérations de pose, les amplificateurs furent alimentés par le câble et la tension maintenue constante par des générateurs se trouvant à Terre-Neuve et sur le bateau. La transmission était contrôlée en permanence, afin de permettre de déterminer les plus petites irrégularités, et éventuellement, les corriger. D'autres corrections ont été rendues possibles par l'intercalation dans le câble, de la même manière que les répéteurs, de correcteurs permettant d'égaliser l'affaiblissement.

Les épissures des longueurs normales entre elles, avec l'intercalation d'un répéteur, furent faites sur le bateau. Là où cela était nécessaire, des correcteurs ont été insérés en même temps. La pose put ainsi se

faire sans interruption. Elle dura 8 1/2 jours, sans événement spécial jusqu'à proximité de Rockallbank où un vent du sud très fort se leva, ce qui rendit difficile l'amarrage du câble par 1300 mètres de fond.

Après que le «Monarch» eut chargé à nouveau environ 900 km de câble il retourna, le 17 septembre, à Rockallbank par une mer très mouvementée. Hélas, la bouée, arrachée par l'orage, avait disparu; elle fut retrouvée plus tard à environ 900 km de distance, dans la région des îles Féroé. Il fallut donc repêcher le câble au moyen de grappins. Malheureusement, les recherches durent être interrompues en raison du mauvais temps qui régnait sur l'Atlantique. Le 20, le vent atteignait une vitesse de 90 noeuds et le bateau se balançait comme une coquille; des vagues ayant jusqu'à 13 m de hauteur recouvrant souvent le pont. Au matin du 22 septembre, le câble était enfin accroché à une distance d'environ 9 km de son extrémité. Aussitôt qu'il fut à bord, on fit des mesures d'atténuation qui montrèrent que l'affaiblissement à 160 kHz n'avait varié que de 0,26 db, résultat très satisfaisant. Après le raccordement des câbles, le «Monarch» reprit la pose le 22 septembre au soir, par un temps qui s'aggravait à nouveau. Il atteignit heureusement, sans incident, peu de temps après l'aube du 26, la baie de Lorne. Une longueur d'environ 4 km avait déjà été posée par un plus petit navire, l'«Iris», depuis la côte en direction de la mer. Le câble transatlantique y fut épissé. Après des essais mécaniques sévères, ainsi qu'un examen radiogra-

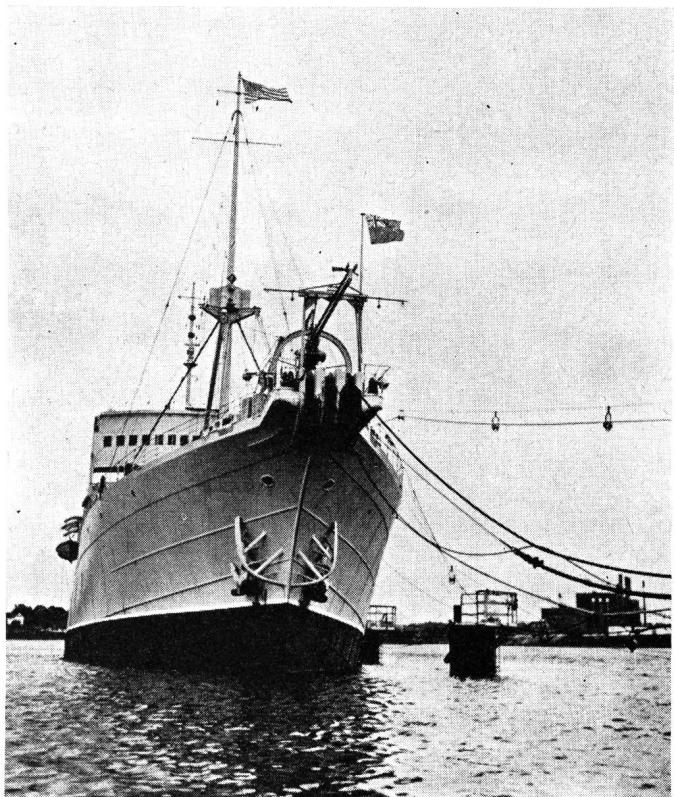


Fig. 16. Chargement du câble sur le «Monarch»

phique de l'épissure, celle-ci fut filée au fond de la mer. On avait utilisé au total 3596 km de câble, 51 répéteurs et 6 correcteurs. Le même soir, le courant passait au travers du câble entre Clarenville et Oban et l'Amérique et l'Europe étaient pour la première fois reliées par un câble téléphonique.

L'opération de mise sous courant du câble par une tension allant jusqu'à 4000 V et le maintien de l'équilibre de la charge au moyen des générateurs à courant continu depuis les deux extrémités prirent un certain temps. Des essais de transmission montrèrent que le niveau de bruit moyen était beaucoup plus faible qu'on l'avait calculé et que l'affaiblissement avait une valeur très proche de celle qui était prévue.

Si l'on avait utilisé 51 amplificateurs au lieu de 52 comme prévu au projet, c'est que des mesures faites peu de temps avant la pose avaient montré qu'il devait être possible d'augmenter d'environ 460 m la longueur d'amplification. En outre, après réexamen du tracé, celui-ci put être raccourci de quelques kilomètres en empruntant, en un certain lieu, un tracé qui ne paraissait tout d'abord pas favorable.

Le tronçon Clarenville - Sydney Mines fut mis en place, comme on le verra plus loin, au printemps 1956.

La pose du câble n° 2 débuta le 4 juin 1956 à Oban et s'opéra en sens inverse de celle du n° 1; elle fut achevée le 14 août à 20 h. 52. Le 24 septembre à 17 h. 30 GMT, les circuits étaient connectés et le câble transatlantique prêt à l'exploitation. Ce second câble avait une longueur de 3600 km et nécessita l'intercalation de 51 répéteurs et de 8 correcteurs.

Le tronçon Clarenville-Terrenceville-Sydney Mines

La pose de ce tronçon ne souleva aucun problème spécial. Le 1^{er} février 1956, le «Monarch» commença à charger le câble sous-marin Terrenceville-Sydney Mines. Les sections d'amplification furent choisies telles qu'à température moyenne de l'eau, l'affaiblissement soit de 60 db à 552 kHz. Le chargement et le raccordement des amplificateurs furent terminés le 10 avril. Le 18 avril, le «Monarch» quitta Terrenceville en posant le câble et arriva en vue de Sydney Mines le 30 avril.

La correction d'affaiblissement des répéteurs n'étant pas suffisamment exacte, on plaça au milieu de la ligne un correcteur spécial immergé corrigeant 3,5 db à 100 kHz. Afin que le dernier répéteur ne se trouve pas trop près de la côte, on intercala une ligne artificielle d'environ 17 km. On utilisa 16 répéteurs.

Les essais finaux montrèrent que le dernier répéteur était défectueux; il fallut l'échanger. Le 9 mai 1956, ce tronçon de câble était prêt à être exploité.

Le 25 septembre 1956, MM. Craig, président du comité de direction de l'ATT, à New York, Hill, General Postmaster du BPO, à Londres, et Marler, ministre des transports du Canada, à Ottawa, échangèrent les premières conversations officielles.

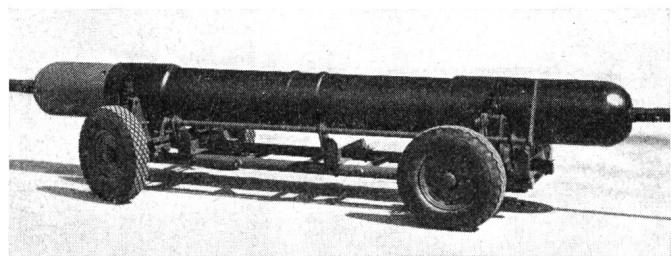


Fig. 17. Répéteur bidirectionnel, type Clarenville-Sydney Mines

Le fonctionnement de l'installation

Les équipements terminaux, les têtes de câbles, les installations d'alimentation et de contrôle sont placés dans des bâtiments spéciaux à Oban et à Clarenville. Cette dernière station est desservie par le personnel de l'«Eastern Telephone and Telegraph Company» du groupe ATT.

Le fonctionnement de l'installation est le suivant:

Le centre terminal européen est Londres. C'est par ce centre que le réseau européen peut être atteint. Dans le Nouveau-Monde, ce sont New York et Montréal qui ont cette fonction.

La liaison Londres-New York a une longueur d'environ 6600 km et celle Londres-Montréal a

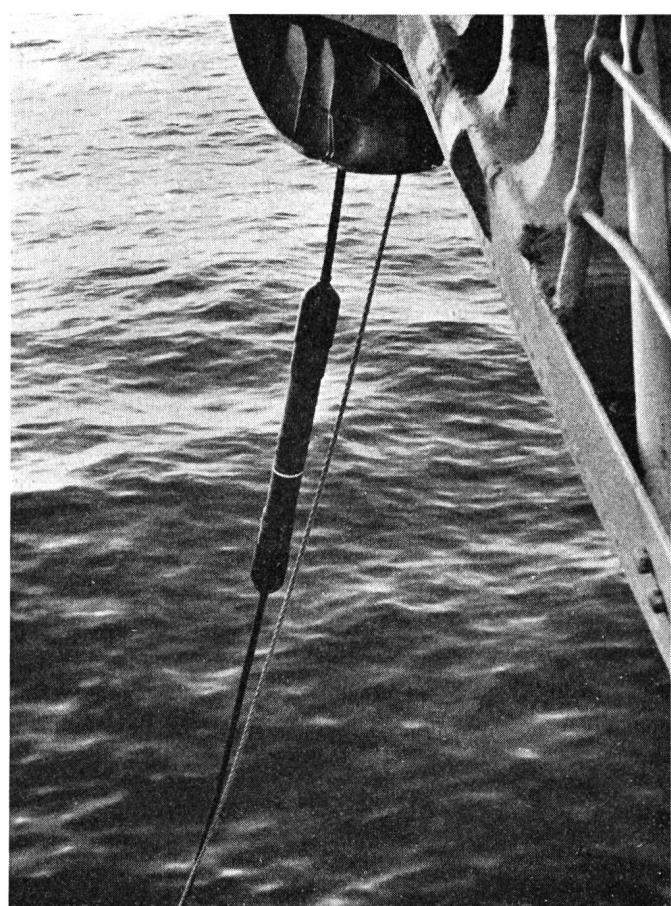


Fig. 18. Immersion d'un répéteur entre Clarenville et Sidney Mines

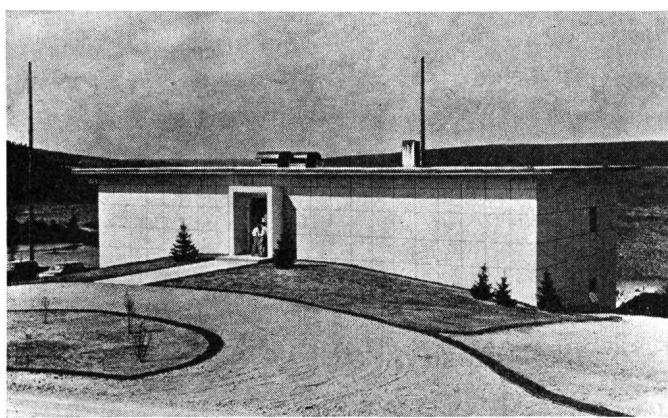


Fig. 19. Station terminale de Clarenville

quelque 6700 km. 29 circuits téléphoniques relient Londres à New York et 6 à Montréal. Le 36^e circuit est partagé à son extrémité ouest entre New York et Montréal, pour acheminer des voies télégraphiques diverses. Sept des circuits New York-Londres sont attribués en permanence aux centres européens suivants:

Paris, Francfort (2), Amsterdam, Bruxelles, Copenhague et Berne. Le circuit le plus long est celui de New York à Copenhague qui mesure environ 8000 km.

La liaison elle-même est constituée comme il suit: de Londres à Glasgow (724 km), par câble à courants porteurs à 12 et 24 voies; de Glasgow à Oban (179 km), par câble coaxial; de Oban à Clarenville (environ 3600 km) par câble coaxial.

De Clarenville à Sydney Mines (604 km), les 60 voies d'aller et de retour du câble coaxial sont exploitées de l'ouest à l'est dans la bande 20...260 kHz

et en direction opposée dans la bande 312...552 kHz. 36 circuits assurent le service transatlantique et 24 la liaison entre Terre-Neuve et le continent américain. Dans chaque direction, l'un des deux groupes primaires fournit 12 circuits entre Terre-Neuve et le reste du Canada, l'autre groupe est en réserve.

De Sydney Mines par Spruce Lake (528 km) jusqu'à Portland (398 km), la liaison est faite par ondes ultra-courtes (OUC). Ce système – le TD 2 – travaille à environ 4000 MHz et 17 stations de relais ont été nécessaires.

De Portland à West Haven (435 km), la liaison est assurée par des circuits à 12 voies dans des câbles porteurs normaux et de West Haven à White Plain (environ 90 km), centre américain à quelque 50 km au nord de New York City, par câble coaxial.

Les circuits de Montréal quittent la route OUC principale à Spruce Lake, puis par une courte liaison OUC d'environ 16 km sont connectés à St-John à une ligne aérienne à 12 circuits porteurs allant jusqu'à Québec (725 km).

De Québec à Montréal (310 km) les circuits sont acheminés dans des câbles porteurs à 12 voies.

Curieuse coïncidence: une des tours de la liaison OUC à Boidale (Nouvelle-Ecosse) se trouve à une vingtaine de km de la maison d'été de Graham Bell.

Les circuits téléphoniques et télégraphiques pour la maintenance et le service sont placés entre Oban et Clarenville dans la bande inférieure à 20 kHz, les circuits pour le contrôle des répéteurs dans la bande de 167 à 174 kHz. Entre Clarenville et Sydney Mines les mêmes circuits téléphoniques sont dans la bande 260...312 kHz. Les circuits télégraphiques sont, eux, pour une direction dans la bande inférieure à 20 kHz et pour l'autre dans la bande supérieure à 552 kHz.

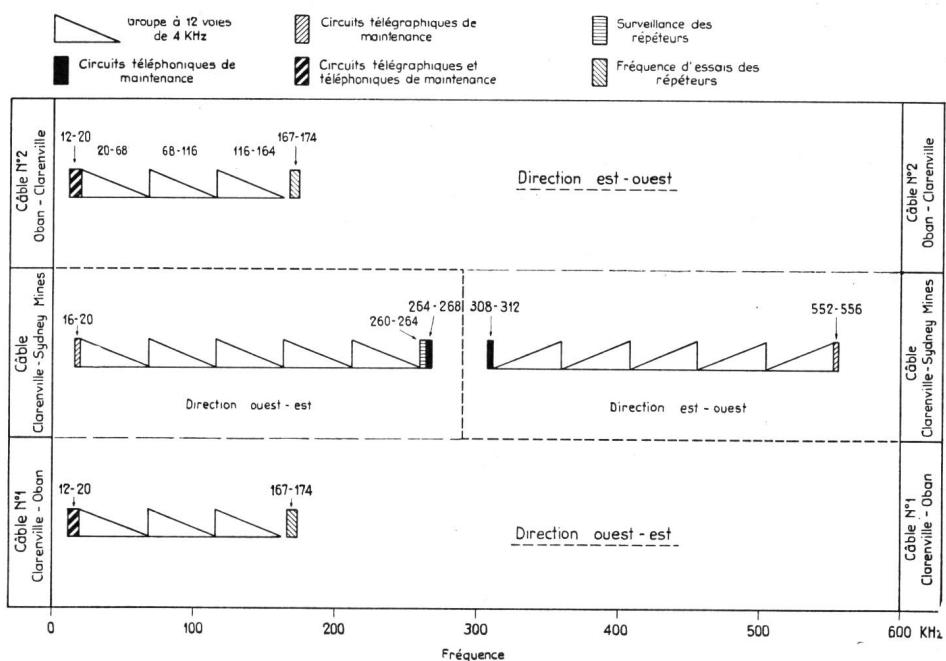


Fig. 20.

Allocation de fréquences dans les câbles sous-marins

La maintenance de la liaison

Pour assurer le bon fonctionnement d'une installation si importante et si spéciale, il fallait prendre un certain nombre de mesures permettant, non seulement d'échanger le matériel lors d'usure normale, mais aussi d'intervenir sans délai pour sa remise en état en cas de dérangement ou de catastrophe. On constitua donc une réserve de matériel destinée à l'échange normal ou à la simple maintenance des pièces telles que les tubes électroniques, les lampes de signalisation, les batteries sèches, etc. Ces pièces sont déposées en quantité suffisante dans les stations de câbles pour couvrir les besoins d'environ deux ans.

Les réserves pour le cas de catastrophe englobant les parties principales sans lesquelles l'installation complète ne peut fonctionner, sont, d'une part, les équipements habituels utilisés normalement dans les installations téléphoniques et, d'autre part, ceux qui ont été spécialement construits pour l'installation transatlantique. Ces équipements, tels que bâtis terminaux de câble, installations de charge, etc., sont déposés à quelque distance des stations. En cas de besoin, on peut les amener aussi près que possible de l'endroit de leur utilisation, par avion, et, si cela est nécessaire, les embarquer même sur les navires.

Un problème difficile à résoudre est celui de la réparation d'un amplificateur ou d'un correcteur ou encore le remplacement d'une longueur de câble dans l'océan. Si une réparation du câble en eaux peu profondes peut être exécutée sans l'adjonction d'une longueur supplémentaire, par contre, la même opération par fond moyen et grand fond exige une prolongation qui peut avoir 10 km au plus, car une partie du câble doit être relevée. La longueur supplémentaire nécessaire est fonction de la profondeur et du profil du fond, ainsi que de l'état de la mer au moment de la réparation. Si le tronçon est long, l'affaiblissement supplémentaire qui en résulte doit être compensé. A cet effet, on intercale un *répéteur de réparation* à faible gain. Cet amplificateur à deux tubes est dans son principe semblable au répéteur normal, mais les impédances d'entrée et de sortie sont égales à celles du câble. Le gain est suffisant pour compenser une longueur supplémentaire d'environ dix kilomètres. Un autre type à l'étude permettrait de compenser une longueur de câble supplémentaire d'environ vingt-huit kilomètres.

Ce matériel est déposé des deux côtés de l'Atlantique.

Les circuits

L'organisation générale de la maintenance, les règles pour les mesures d'établissement, la maintenance périodique et la relève des dérangements ont fait l'objet de prescriptions détaillées.

Chaque station d'extrême des circuits téléphoniques est chargée de contrôler la qualité de transmission. Pour le circuit qui intéresse spécialement

la Suisse, New York a été désigné comme station directrice alors que Berne est station sous-directrice. En outre, le circuit passe en basse fréquence à White-Plains et Londres, et ces stations sont également désignées comme stations sous-directrices de transit.

La section Berne-Londres du circuit Berne-New York, qui porte le numéro 44, a été établie sur un groupe direct primaire Berne-Londres. En cas de dérangement de cette section, un circuit de secours empruntant un autre itinéraire est immédiatement commuté à chaque extrémité.

Pour être certain qu'un incident technique banal dans l'équipement basse fréquence de Berne n'entrave pas inutilement le trafic, il est également prévu un équipement de réserve qui peut être commuté immédiatement. Tous les dérangements ou irrégularités de fonctionnement décelés à Berne sont annoncés à la station de Londres. Cette station fait alors intervenir les autres stations intéressées à la relève du dérangement.

La bande de fréquences est conforme approximativement aux recommandations du CCITT. L'équivalent entre les points 2 fils du terminateur est de 6 db pour les deux directions. Après un ajustement initial à $\pm 0,5$ db, le circuit est considéré comme satisfaisant lorsque la variation d'équivalent en fonction du temps n'excède pas ± 4 db. A un point de niveau relatif 0, le niveau de bruit ne doit pas excéder -46 db, mesuré avec le psophomètre recommandé par le CCIF en 1951.

L'écart diaphonique entre deux voies téléphoniques quelconques est plus grand que 56 db; il est d'au moins 40 db entre les voies aller et retour d'un circuit télégraphique alors qu'il sera au minimum de 55 db pour les circuits pour transmissions radio-phoniques.

Une statistique précise des dérangements permet de suivre les performances du circuit et d'intervenir autant que possible avant l'apparition de défauts gênant l'exploitation.

On peut ainsi converser depuis New York et Montreal et les villes européennes avec une qualité de transmission qui ne le cède en rien à celle d'une conversation continentale ou nationale par câble terrestre.

L'avenir

Il est bien évident que le développement de liaisons téléphoniques transatlantiques est en premier lieu dépendant du développement du trafic. Ce qu'on peut déjà constater maintenant, c'est que la mise en service de ce premier câble téléphonique transatlantique a provoqué une augmentation de trafic si extraordinaire que les hommes de la transmission en sont eux-mêmes surpris: le trafic a triplé depuis six mois. Cependant, si l'on regarde en arrière, on n'a pas lieu d'être étonné. Ainsi, après la mise en service du premier câble télégraphique dans l'Atlantique Nord en 1866, le développement du trafic fut tel qu'il

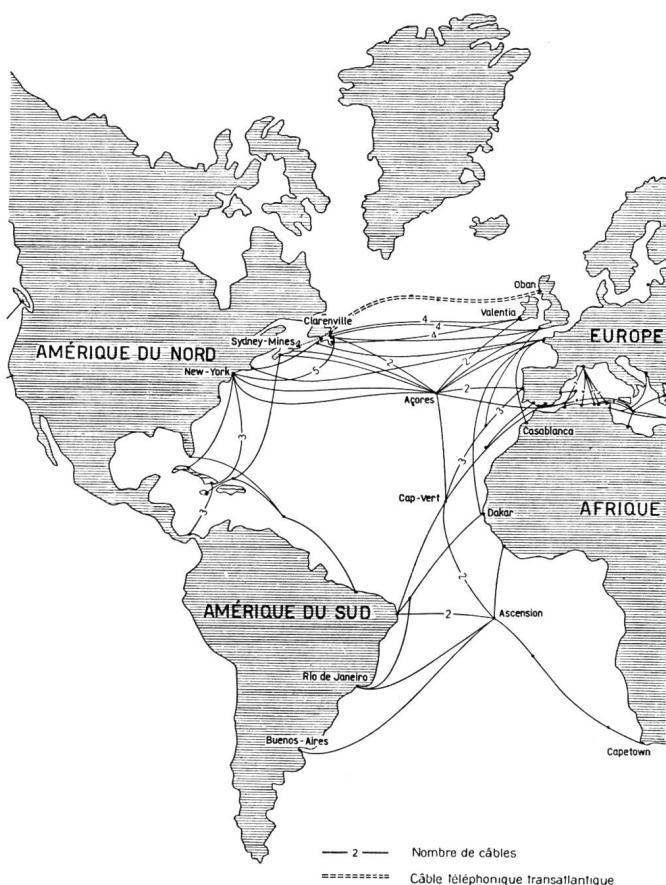


Fig. 21. Les câbles télégraphiques intercontinentaux existants

rendit nécessaire la mise en service d'un grand nombre de câbles télégraphiques. Actuellement, il y en a 21 qui relient l'Europe à l'Amérique.

Si l'information appelle l'information, la qualité et la rapidité de transmission ont aussi une influence prépondérante sur cette augmentation. Le nombre des informations à transmettre augmente et augmentera sans cesse et leur diversité deviendra aussi toujours plus grande. Pour l'ingénieur des transmissions, tout transport d'énergie contient une information. Il est donc clair qu'il cherchera toujours plus à utiliser la plus petite quantité d'énergie pour transporter le plus grand nombre d'informations. On demande déjà à la ligne, considérée dans un sens très large du terme, de pouvoir transmettre en plus des informations téléphoniques, télégraphiques et de radiodiffusion, aussi des signaux de télévision et de radar, et l'avenir n'est pas très éloigné où elle devra permettre également la transmission de données comptables. En outre, le développement actuel du réseau téléphonique semi-automatique ou automatique intégral continental laisse apercevoir dans le lointain la réalisation d'un tel réseau intercontinental, qui exigera de nombreux circuits.

En raison de cette diversité et de cette quantité d'informations à transmettre, un réseau de télécommunications à grande distance devra donc se composer toujours plus de lignes à très larges bandes de fré-

quences, permettant d'adapter facilement le nombre et la caractéristique des circuits aux besoins.

Evidemment, on peut penser qu'un acheminement intercontinental de telles informations devrait se faire par radio. En effet, jusqu'à maintenant, l'installation d'un câble transatlantique était limitée, entre autres, par trois facteurs :

- les difficultés de pose d'un câble de grand fond de gros diamètre,
- la construction d'un câble permettant de supporter des tensions d'alimentation élevées,
- la distance minimum à respecter entre deux amplificateurs.

Ces dernières années, des progrès très grands ont été faits dans les méthodes de pose du câble, mais, bien entendu, malgré l'éclatante réussite de celle du câble transatlantique, la marge entre le succès et l'insuccès est encore étroite. Cependant, grâce à l'expérience acquise, il est certain que le problème de la pose de câbles et de répéteurs de tout genre pourra être résolu dorénavant à satisfaction.

La technique de l'électronique et spécialement celle des transistrons a fait de tels progrès depuis 3 à 4 ans que l'on entrevoit la possibilité de bientôt les utiliser pour la construction d'amplificateurs qui permettraient d'augmenter le rendement d'utilisation de la bande de fréquences disponible et de transmettre même des signaux de télévision.

L'emploi du transistron dans les répéteurs est cependant encore trop récent pour avoir fait ses preuves et personne ne pourrait prendre aujourd'hui la responsabilité de l'employer dans une installation qui n'est pas accessible en tout temps. Les caractéristiques électriques (bande de fréquences, conditions de bruit, etc.) sont encore insuffisantes. Mais sa solidité, sa longue durée de vie, sa faible consommation d'énergie et son faible volume en feront l'amplificateur rêvé, non seulement pour le câble terrestre, mais surtout pour le câble sous-marin. En outre, avec l'emploi du transistron, les tensions d'alimentation resteront dans des limites supportables pour le câble.

L'utilisation de câbles sous-marins avec petits tubes coaxiaux, donnant la possibilité de mettre un plus grand nombre de paires dans un même diamètre de câble, facilitant la discrimination des circuits, n'est pas une utopie non plus.

Certes, parallèlement, la ligne radio fait de grands progrès, mais la technique électronique permettra au câble d'en faire d'aussi grands, tout en gardant l'excellente qualité de transmission de ses circuits; il sera donc toujours mieux apte à s'imposer. Il n'est pas téméraire de croire que prochainement les câbles transatlantiques pourront contenir des centaines de circuits.

Il est du reste intéressant de mesurer l'évolution considérable de la technique des télécommunications par câble sous-marin, en constatant que le câble

télégraphique de 1866 permettait d'acheminer 3 à 4 mots par minute puis, après le perfectionnement des appareils apporté par Thomson (Lord Kelvin), 10 à 11 mots. Au moyen des câbles télégraphiques les plus récents, on arrive à un trafic de 75 à 80 mots/minute par circuit. Un circuit téléphonique transatlantique permet d'écouler environ 105 à 180 mots par minute. Si l'on avait voulu, on aurait pu équiper le câble transatlantique de 864 circuits télégraphiques.

Pour l'instant, afin de faire face à l'extraordinaire augmentation de trafic intercontinental enregistrée depuis la mise en service du câble téléphonique et en attendant la pose d'autres câbles, on cherche à accroître son rendement. On espère, en utilisant les temps d'interruption dans les conversations, pouvoir faire passer sur un canal, avec l'aide d'un commutateur électronique ultra-rapide, une partie des conversations qui se déroulent sur d'autres. La mise en service de ce dispositif pourrait avoir lieu l'an prochain.

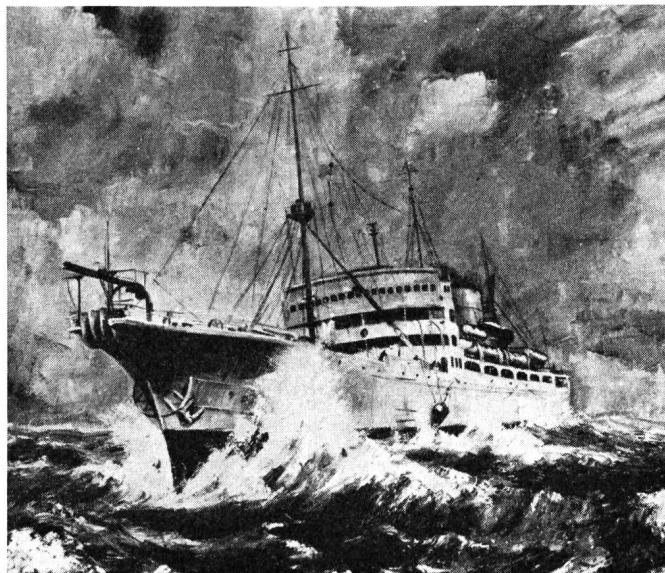


Fig. 22. Le «Monarch», d'après un tableau de F. B. Savage, Esq. (reproduit avec la permission de l'artiste)

Mais le développement de la téléphonie par câble sous-marin continue. Des projets ont été soumis récemment aux gouvernements de la Grande-Bretagne et du Canada pour la pose d'un nouveau câble transatlantique, équipé d'un plus grand nombre de circuits que celui de 1956, qui pourrait être mis en service vers 1961. La France, l'Allemagne et les Etats-Unis poseront un câble transatlantique à 36 circuits en 1959 entre Penmarch, à l'ouest de Quimper, et Sydney Mines. En Grande-Bretagne, on parle de la pose d'un câble sous-marin jusqu'à Gibraltar, et la France va mettre prochainement en service un câble méditerranéen Marseille-Alger à 60 voies superposées, muni de quelque 28 amplificateurs.

La plus récente réalisation est la pose d'une ligne téléphonique semblable à la ligne transatlantique au travers de l'Océan Pacifique entre Point Arena au nord de San Francisco et Hawaï. En effet, le 12 juin 1957, le «Monarch» a commencé la pose de deux câbles coaxiaux, chacun d'une longueur d'environ 3900 km, qui reposeront à une profondeur généralement plus grande que celle des câbles Clarenville-Oban, atteignant parfois 5500 m. Cette installation permettra aussi la constitution de 36 voies téléphoniques.

Conclusion

Cette œuvre grandiose a ouvert des perspectives immenses à la transmission d'informations au travers des océans. Elle est non seulement l'aboutissement d'une tâche commencée il y a presque 30 ans par le BPO et l'ATT, mais aussi le résultat d'une collaboration intime et soutenue des ingénieurs des «Bell Telephone Laboratories», de la «Western Electric Company», de la «Simplex Wire and Cable Company», des «Laboratoires de recherches du British Post Office», de la «Standard Telephones and Cables Ltd.» et de la «Submarine Cable Ltd.».

Sir L. Outrebridge, gouverneur de Terre-Neuve, sut trouver la juste valeur qu'il fallait donner à cette entreprise en disant que la pose du premier câble téléphonique transatlantique était le quatrième événement dans l'histoire des communications transatlantiques, les autres étant la pose du premier câble télégraphique (1866), l'établissement de la première liaison radiotéléphonique (1901) par Marconi, et le premier vol transatlantique par Lindbergh (1927).

Bibliographie

- [1]* The Transatlantic Telephone Cable. The Post Office Electrical Engineers' Journal **49** (1957), Part 4 (Transatlantic Telephone Cable Number).
- [2]* Transatlantic Submarine Telephone Cable System. Bell Syst. Techn. J. **36** (1957), 1...326. = Bell Telephone System, Monograph 2710.
- [3]* Kelly, Mervin J., Gordon Radley, G. W. Gilman et R. J. Halsey. Un câble téléphonique transatlantique. Journal des Télécommunications (UIT) 1955, n° 4, p. 58...66; n° 5, p. 74...79.
- [4] Schellen, H. Das atlantische Kabel, seine Fabrikation, seine Legung und seine Sprechweise. Braunschweig 1867.
- [5] Villiers, M. Les aides radioélectriques à la navigation aérienne. L'onde électrique **33** (1953), 277...285.
- [6] Giroud, P., et A. Gayffier. Les derniers développements du système de navigation «Decca». L'onde électrique **33** (1953), 300...308.
- [7] Lancoud, C. Aperçu sur le développement du réseau européen et intercontinental de lignes de télécommunications par fil. Revue des PTT 1957, n° 6, p. 197...204 et n° 7, p. 247...251.

* Les renseignements et les illustrations tirés de ces documents ont été utilisés avec l'autorisation de l'Institution of Electrical Engineers (IEE et American IEE) et du «H.M.'s Postmaster General».