

Décembre 1877 première conversation téléphonique entre l'Angleterre et la France

Alors que [G BELL](#), arrivé en France termine sa présentation du téléphone en décembre 1877, *Voici ce que l'on a pu lire dans la presse :*

1877 Revue des idées nouvelles : bulletin du progrès : dans la philosophie, les sciences, les lettres, les arts, l'industrie, le commerce et l'agriculture.

Le téléphone à Paris.

Moins avancés sous ce rapport que les Anglais et les Allemands, nous n'avons point encore appliqué chez nous la grande et belle invention américaine de M. Graham Bell. Cependant, il y a un pas de fait. Le téléphone qui a été exhibé l'autre jour à l'Académie des Sciences, par M. Bréguet, a fonctionné plus récemment encore entre la France et l'Angleterre, à titre d'essai, et des inspecteurs de lignes télégraphiques anglais et français, placés les uns à Saint-Margaret, sur la côte anglaise, près de Douvres, les autres à Sangatte, près de Calais, ont pu très-bien causer à travers le détroit.

Nous avons déjà donné une description (voir notre numéro de juin) du téléphone, et nous pourrions nous y tenir, mais en voici une autre qui nous paraît plus nette et plus fidèle et que pour notre part nous préférons. Aussi bien, depuis lors, M. Graham Bell a beaucoup perfectionné son instrument. Aujourd'hui, par exemple, le transmetteur et le récepteur ne sont qu'un seul et même appareil à double fonction. C'est extérieurement comme intérieurement un cylindre de bois, au milieu duquel se trouve un aimant. L'une des extrémités de cet aimant est maintenue par une vis, et à l'autre se trouve une bobine de fil de cuivre isolé. En face du pôle de l'aimant, sur la partie supérieure du cylindre, est tendue une membrane en fer doux, protégée par une pièce de bois cave et hémisphérique qui sert à la résonnance. En dehors du cylindre de bois le fil de cuivre de la bobine s'enroule sur deux bornes, d'où partent les conducteurs qui vont aboutir aux bornes du cylindre correspondant. Là, le chemin suivi par le son est le même, en étant inverse, c'est-à-dire que le son passe par la bobine du second cylindre, impressionne magnétiquement l'aimant de ce second cylindre exactement comme il a fait celui du premier et met en mouvement la membrane de réception exactement comme il a fait celle de transmission. Chaque cylindre tout monté tient peu de place. Il n'a guère plus de 12 centimètres de longueur et au plus 6 de largeur. Il faut remarquer, et c'est là un grand point, tant par l'économie que par la rapidité d'installation qui en résulte, que le fonctionnement du téléphone de Graham Bell se passe tout à fait de pile. Pour ce qui est de la portée du son, M. [Bréguet](#) a reconnu qu'en interposant une résistance égale à celle que produiraient 1000 kilomètres de fil il entendait encore son interlocuteur très-distinctement pourvu qu'il parlât sans précipitation. M. Graham Bell, étant parvenu à se faire entendre, en interposant une résistance plus considérable que celle qui provient de la longueur du câble transatlantique, ne doute pas qu'on ne puisse arriver durant l'exposition de 1878 à communiquer oralement de Paris à New-York et vice versa.

* * *

Ce nouveau téléphone est ce qu'on a appelé le [Butterstamp](#) car il ressemble à un tampon pour marquer les mottes de beurre.

Récit de l'univers illustré page 754 du 1 décembre 1877

Nous lisons dans "**la France**" que le téléphone vient de fonctionner entre la France et l'Angleterre.

Deux cornets acoustiques aimantés ont été placés la semaine dernière à **Saint-Margaret**, sur la côte anglaise, près de Douvres, et à **Sangatte**, près de Calais, puis reliés entre eux par un fil métallique.

Des conversations ont été échangées ainsi à travers le détroit, les résultats obtenus ont paru très satisfaisants aux inspecteurs des lignes de Douvres et de Calais.

Ces téléphones ont aussi été présentés par le Professeur Hughes, l'inventeur du microphone à M. Despointes, Manager de la "Submarine Telegraph company" Anglaise.

La même chose a eu lieu dans des expériences entre Brest et Penzance (Angleterre méridionale)

Ces téléphones sont la paire originale donnée par BELL à l'Angleterre en 1877 et utilisés pour converser entre l'Angleterre et la France pour la toute première fois.



En 1996, c'est un collectionneur Australien de l'[ACTS](#) Tony Falzon's qui a pu acquérir cette historique paire de téléphones Bell et nous raconter son histoire.

HISTORIC BUTTER STAMP TELEPHONES

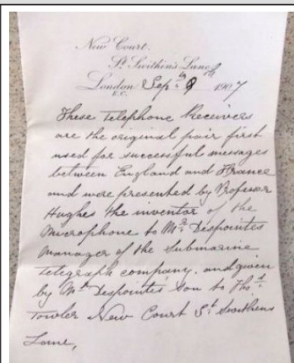
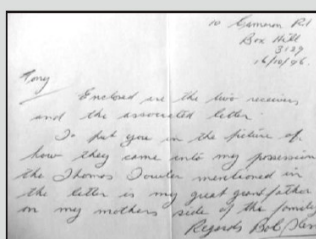
from **Tony Falzon's** Collection

Pictures - next page

I obtained the receivers from Bob Slesser. Bob was the OIC of City Subs Installation Melbourne where I worked at the time. They were first shown to me in 1980 when he found out that I collected phones. He bought them to work and let me have them for a couple of weeks. I asked him if he was interested in selling them. He said that they belonged to his mother and that she didn't want to sell them at the time, but he promised me that he would let me know if they came up for sale.

I was transferred to Miami TIC Gold Coast, Queensland in 1989 but I kept in contact with Bob, giving him a call every now and then, hoping one day soon I would be lucky enough to own them. I called him again in 1996 when to my surprise he said that they are available to me if I wanted them.

The phones were handed down the family and finally ended up in my collection.



New Court
St Swithin's Lane
London E.C. 9th Sep 1907

These telephone receivers are the original pair first used for successful messages between England and France and were presented by Professor Hughes, the inventor of the microphone to Mr. Despointes, Manager of the Submarine Telegraph company and given by Mr. Despointes' Son to Thos. Towler New Court St Swithin's Lane.

The letter above, written in 1907, along with the letter at left from Bob Slesser in 1996 shows the progress of these historic receivers into Tony Falzon's collection.

Thomas Fowler mentioned in the letter above, was Bob Slesser's great grandfather (on his mother's side).



HISTORIC BUTTER STAMP TELEPHONES

Traduction :

Collection de Tony Falzon

Photos - page suivante

J'ai obtenu ces combinés de Bob Slesser. Bob était responsable de l'installation des sous-réseaux de Melbourne, où je travaillais à l'époque. Il me les a montrés pour la première fois en 1980, lorsqu'il a appris que je collectionnais les téléphones. Il les avait achetés pour le travail et me les a prêtés pendant quelques semaines. Je lui ai demandé s'il souhaitait les vendre. Il m'a répondu qu'ils appartenaient à sa mère et qu'elle ne voulait pas s'en séparer pour le moment, mais il m'a promis de me prévenir s'ils étaient mis en vente.

J'ai été muté à Miami TIC Gold Coast, dans le Queensland, en 1989, mais je suis resté en contact avec Bob, l'appelant de temps en temps, espérant avoir la chance de les acquérir un jour. Je l'ai rappelé en 1996 et, à ma grande surprise, il m'a dit qu'ils étaient disponibles si je les voulais.

Les téléphones ont été transmis de génération en génération dans la famille et ont finalement rejoint ma collection.

New Court St, Swithin's Lane

Londres E.C., 9 septembre 1907

Ces combinés téléphoniques constituent la paire originale utilisée pour les premières communications réussies entre l'Angleterre et la France. Ils furent offerts par le professeur Hughes, inventeur du microphone, à M. Despointes, directeur de la Submarine Telegraph Company, puis donnés par le fils de M. Despointes à Thomas Towler, New Court St, Swithin's Lane.

La lettre ci-dessus, datée de 1907, ainsi que celle de Bob Slesser (à gauche), datant de 1996, illustrent le parcours de ces récepteurs historiques jusqu'à la collection de Tony Falzon. Thomas Fowler, mentionné dans la lettre ci-dessus, était l'arrière-grand-père maternel de Bob Slesser.

En France on ne sais pas si les téléphones étaient identiques comme ceux fabriqués par Hughes ou par des téléphones fabriqués par Breguet..

En 1889, le réseau téléphonique français passa sous la tutelle de l'Administration des Postes et Télégraphes. La Poste anglaise et cette même Administration française achetèrent conjointement la même année les câbles sous-marins de la Compagnie télégraphique sous-marine.

Autant la situation des télégraphes est brillante, autant celle des téléphones est triste; ils sont entre les mains de l'industrie privée et ni le Gouvernement ni le public n'ont encore invité l'Administration à les prendre en mains; M. Preece n'hésite pas à déclarer que lorsque l'Etat en aura pris la gestion, on ne tardera pas à réaliser pour la téléphonie des progrès aussi surprenants que pour la télégraphie.

La prochaine étape fut, comme indiqué précédemment, la construction d'une ligne téléphonique câblée reliant Londres à Paris.

M. Preece venait de concevoir un câble fluvial pour traverser l'estuaire du Rio de la Plata et relier par téléphone les villes de Buenos Aires et de Montevideo. Ce câble mesurait 45 kilomètres (28 miles), mais les caténaires en bronze portèrent la longueur totale de la ligne à 300 kilomètres (186 miles) et la puissance de transmission à 10 400 kJ/s (10 400 kJ/s). La qualité de la communication sur cette ligne est cependant excellente.

Plus tard en 1891 eu lieu la première communication publique entre Londres et Paris (avec des téléphones plus perfectionnés pour franchir les plus grandes distances).

Le journal "The Guardian" a relaté cet événement :

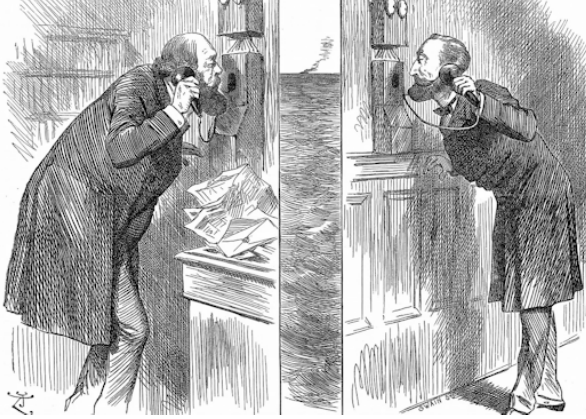
Le téléphone Londres-Paris 10 mars 1891

Notre correspondant à Douvres a télégraphié hier soir : le câble sous-marin destiné à la liaison téléphonique avec Paris a été posé aujourd'hui à travers la Manche ; toutefois, le raccourcissement de l'extrémité côté anglais, à St Margaret's Bay, n'aura lieu que demain matin. Les travaux ont été réalisés dans des conditions très défavorables : tempêtes de neige et de grésil aveuglantes et vent d'est violent. La mer s'est abattue avec force sur le littoral anglais vers la fin de la journée.

Liaison téléphonique Londres-Paris 15 mars 1891

Notre correspondant à St Margaret's Bay a télégraphié hier soir : l'inquiétude quant à la qualité de la liaison téléphonique entre Londres et Paris — et plus particulièrement du câble traversant la Manche — a été levée grâce aux essais effectués hier et aujourd'hui ; des conversations ont pu être tenues avec succès entre St Margaret's et Paris. Une partie de l'équipe chargée des travaux s'est rendue à Paris pour mener des essais à l'autre extrémité du réseau, et les premiers mots ont été échangés par câble hier soir. Des appareils français et anglais ont été utilisés, mais les résultats ont été bien meilleurs avec les instruments anglais, le son étant faible et indistinct avec les appareils français. Des salutations amicales ont été échangées. La transmission de la voix était si parfaite que non seulement les paroles étaient audibles, mais il était également possible, dit-on, de

distinguer les voix elles-mêmes. Les câbles sont désormais reliés à Londres, de sorte que les prochains essais se dérouleront entre les capitales anglaise et française. Aujourd'hui, le câblier *Monarch* a récupéré les deux extrémités du câble télégraphique Calais-Douvres, qui était rompu depuis plusieurs semaines.



Ouverture de la ligne téléphonique franco-britannique .

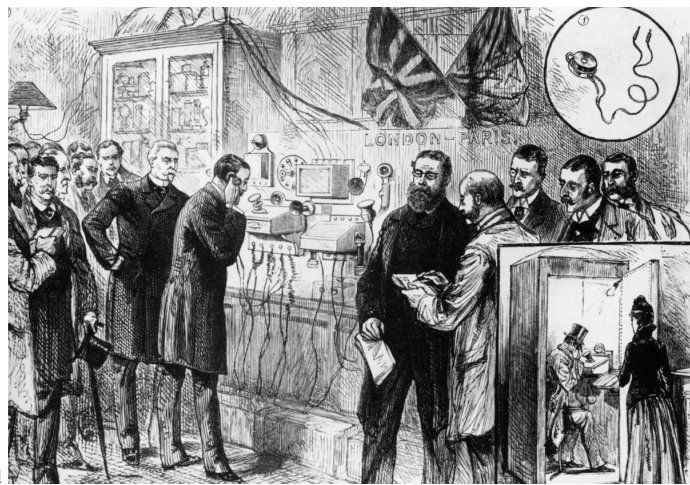
Le Premier ministre, Lord Salisbury, en conversation avec le président français Sadi Carnot. Caricature de John Tenniel parue dans *Punch* le 28 mars 1891.

La Poste Britannique annonce le lancement imminent du service téléphonique public **Londres-Paris.**, pour 3 minutes, d'une valeur de 40 £ d'aujourd'hui (2020).

TELEPHONIC COMMUNICATION
LONDON AND PARIS.

ON and after Wednesday next the 1st proximo, Telephonic Communication between LONDON and PARIS will be open to the Public. CALL OFFICES have been established at:—
 THE GENERAL POST OFFICE WEST | OPEN ALWAYS.
 (BATH STREET) AND
 THE THREADNEEDLE STREET BRANCH POST OFFICE | OPEN ALWAYS.
 (STICK EXCHANGE) (CHANCERY ROAD).
 As soon as possible a Call Office will be established at THE WEST STRAND TELEGRAPH OFFICE | OPEN ALWAYS.
 (CHANCERY ROAD).
 The charge will be 8s. for a conversation of 3 minutes. Not more than two consecutive conversations can be allowed except when no other applicant is waiting at any of the offices to use the Telephone. In making appointments for conversations, correspondents should bear in mind that Paris time is about 10 minutes in advance of London time.
 Persons desiring to speak to Paris direct from their own houses or offices in London can be provided with the necessary connection by wire with the General Post Office West, on terms to be ascertained on application to the Secretary, General Post Office, E.C.
 The wire provided for this purpose can be used also for the purpose of sending telegrams for transmission within the United Kingdom or abroad, or to call a Messenger for the Express Delivery of a Letter or Parcel.
 GENERAL POST OFFICE.
 15th March, 1891.
 By Order of the Postmaster-General.

15 mars 1891



Dans les essais de télégraphie et de téléphonie simultanées, effectués entre Paris et Londres, au mois d'**avril 1893**, l'office anglais réalisait une importante amélioration. sur l'emploi du système duplex Wheatstone et Hughes.

Cette dernière application fut même l'objet d'expériences si variées et d'observations si minutieuses qu'elle ressortit bientôt comme l'une des plus importantes du programme. En même temps un service pratique en duplex Hughes fut étudié et organisé successivement sur les câbles de Calais-Douvres, Boulogne-Folkestone et Dieppe-Newhaven. Le câble du Havre, ne pouvant fournir le rendement normal, avait été, dès le début, complètement éliminé. Les résultats acquis pendant la période d'essais furent tels que l'administration française et l'office anglaise résolurent de maintenir provisoirement en service régulier une installation duplex Hughes. Quand se produisit l'interruption du câble de Boulogne à Folkestone, le 14 février, il y avait près de deux ans que le poste central de Paris et le post-office de Londres utilisaient journellement, dans des conditions très satisfaisantes, ce système de transmission télégraphique. Aussi, lors de l'interruption du 14 février, le premier soin des correspondants fut-il de constituer d'autres installations duplex.

Revenons à la communication anglaise :

25 mars 1891 Le fait que l'établissement de la liaison téléphonique entre l'Angleterre et la France ait suscité relativement peu d'intérêt — alors qu'il y a quelques années encore, une telle réalisation relevait de la pure utopie — illustre une fois de plus à quel point nous sommes aujourd'hui habitués aux prodiges. On peut légitimement espérer que le développement rapide de ce nouveau moyen de communication favorisera les bons rapports et la compréhension mutuelle entre les deux pays. Certes, la barrière de la langue subsistera ; car, bien qu'un phonographe capable de traduire ait été présenté lors du dîner « Red Lion » de la British Association il y a deux ans, nous ne pouvons guère espérer voir cette invention appliquée aux communications téléphoniques transmanche.

L'identité de langue constitue évidemment un atout majeur pour la liaison téléphonique entre Bruxelles et Paris. Toutefois, si les Français ne parlent généralement pas anglais, la connaissance du français se répand rapidement dans notre pays ; cet obstacle à la conversation téléphonique ne devrait donc pas s'avérer insurmontable. Dans un premier temps, ce nouveau moyen de communication servira sans doute davantage la presse que le commerce ; les journaux du continent disposent en effet depuis longtemps de services téléphoniques internationaux réguliers. L'avantage profitera probablement plus aux lecteurs du continent qu'aux lecteurs anglais ; il est en effet de notoriété publique que nous sommes bien mieux informés des affaires du continent que les nations continentales ne le sont de nos propres actions et sentiments. Nous gagnerions pourtant beaucoup à une meilleure connaissance du continent, car il est incontestable, par exemple, que les barrières protectionnistes érigées par nos voisins à notre rencontre reposent en grande partie sur de simples préjugés.

Si l'on veut que ce nouveau triomphe de la science appliquée apporte un bénéfice réel, il est évident que les tarifs pratiqués doivent être modiques. Comme l'a souligné un correspondant belge du *Times*, des échanges fréquents et libres seront impossibles si les services postaux appliquent des tarifs cinq fois et demie supérieurs à ceux en vigueur sur la liaison franco-belge. L'objectif n'est certainement pas de faire de la liaison téléphonique Londres-Paris un simple jouet coûteux. Une taxe de huit shillings pour trois minutes ne ferait que renforcer, sur le continent, l'image d'une Grande-Bretagne avide, au lieu de favoriser la compréhension — souhaitable et plus agréable — de la véritable générosité de notre politique nationale.

De notre correspondant à Londres 2 avril 1891

Avant que la liaison téléphonique avec Paris ne s'inscrive durablement dans le paysage économique des deux capitales, une ultime expérience a consisté à relier, à Paris, la ligne anglaise à celle de Marseille. Les paroles prononcées à Londres furent distinctement perçues sur les rives de la Méditerranée, et une réponse parvint, douce mais claire, après avoir traversé plus de huit cents milles de terre et de mer. Hier, la communication entre Londres et Paris fut ouverte gratuitement au public ; les bureaux furent pris d'assaut pendant plusieurs heures, permettant aux milieux d'affaires de se familiariser avec ce nouveau téléphone et d'en consacrer le succès.

Aujourd'hui, un flux constant de clients payants s'est succédé ; par ailleurs, de nombreuses grandes entreprises et de grands hôtels, aux deux extrémités de la ligne, ayant sollicité l'installation de liaisons privées — actuellement en cours de mise en place —, il apparaît que le téléphone sous-marin est en train de passer, sans bruit, du statut de dernière merveille scientifique à celui d'élément banal et ordinaire de l'équipement de tout bureau d'affaires.

En France dans "Le Panthéon de l'industrie" : journal hebdomadaire illustré du 01 mai 1891, on lisait :

La ligne téléphonique entre Paris et Londres.

Nous avons fait connaître autrefois des travaux fort intéressants relatifs à la téléphonie à grande distance. Les transmissions se font à des distances de plus en plus grandes ; le 15 mars 1891, on a pu converser téléphoniquement entre Londres et Paris.

On a pu craindre un moment que l'ouverture de la nouvelle ligne ne fut bien retardée, car le vaisseau qui portait le câble téléphonique destiné à relier la France et l'Angleterre fut assailli par une violente tempête. Les journaux ont raconté son odyssee. Les ingénieurs français à bord du Monarch ont pu croire un moment que leur ouvrage était l'opération de la pose du câble a été rendue très difficile ; mais il a définitivement été posé, et l'on se souvient aussi sans doute que le premier message envoyé d'Angleterre en France a été un verset de la Bible, qui n'était pas trop mal choisi, mais qui ne laissa pas d'étonner un peu ceux qui ne s'attendaient qu'aux courtoises banalités des inaugurations officielles.

M. Preece est l'ingénieur électricien en chef de la poste d'Angleterre ; il avait particulièrement étudié la question de la transmission téléphonique à grande distance ; il avait bien compris que, pour ces transmissions à grande distance, il y a deux obstacles à vaincre, la résistance de la ligne d'abord et puis sa capacité électrostatique ; la limite de perceptibilité des transmissions est en rapport avec le produit de ces deux facteurs. L'unité de résistance se nomme l'ohm ; l'unité de capacité se nomme farad (une abréviation, assez malheureuse de Faraday) et comme le farad est trop grand pour les besoins de la pratique, on fait usage d'une unité moindre qu'on nomme le microfarad.

Quand le produit de la résistance d'une ligne mesurée en ohms par sa capacité électrostatique mesurée en microfarads, dépasse 15,000, la transmission devient pratiquement impossible. Pour être dans de bonnes conditions, il ne faut pas rester beaucoup au-dessous de 5,000 et ne pas trop s'approcher de 10,000.

On voit ici l'utilité de ces recherches théoriques, dont les résultats s'expriment dans quelques lois connues des électriciens ; elles leur donnent des moyens pratiques de résoudre certaines questions difficiles ; ces quantités mesurables, ohms, microfarads, etc., fournissent à l'électricité des indications précieuses ; il suffit d'établir des câbles, dans certaines conditions données, car on sait mesurer dans ces câbles les éléments dont nous venons de parler.

Entre Londres et Paris, quel câble a-t-on été conduit à choisir pour obtenir une transmission convenable ?

La maison **Siemens**, de Londres, a fait un câble à quatre conducteurs, dont chacun est fait d'un toron de sept fils de cuivre, isolé par des couches de gutta-percha. Ces quatre conducteurs forment une âme couverte par du fil de jute tanné, protégé par une armature de seize fils de fer de sept millimètres de diamètre, le tout enduit d'un mélange de résine minérale et de sable.

De Londres à Douvres, et de Paris à Calais, la ligne est aérienne ; les fils sont passés sur des isolateurs et des poteaux. Dans Paris même, la ligne est souterraine sur sept kilomètres de longueur entre les fortifications et la direction des postes et des télégraphes.

Nous parlerons prochainement des appareils téléphoniques employés aux extrémités de la ligne ; à Londres, on préconise le système dit **Gower-Bell** ; à Paris, celui de M. **Roulez**, qui est nouveau. Rien n'est encore décidé d'une manière définitive au sujet de ces appareils.

Le système Gower-Bell a été appuyé par M. Preece et ses collaborateurs ; le système Roulez, par M. **Amiot** et les ingénieurs français. Tous les deux ont sans doute leurs avantages et leurs défauts, mais tous les deux peuvent rendre de bons services. Comme tous les transmetteurs actuellement en usage (on a donné le nom de transmetteurs aux instruments qui transforment les sons articulés, caractérisés par des vibrations sonores, en courants électriques), ils sont tous deux des variétés du microphone à charbon du professeur D.-E. **Hughes**. Le principe de ce dernier appareil est la variation de la résistance électrique du charbon sous l'influence de la pression ; cette variation de la résistance du charbon avait été découverte par **Th. du Moncel** en 1856 (l'on retrouve toujours ce nom à l'origine de toutes les applications de l'électricité), et il avait été utilisé pour la première fois dans la téléphonie par **Edison**. Hughes a utilisé dans l'appareil qui porte le nom de microphone la résistance d'un contact imparfait ; son invention date de 1878. Tous les transmetteurs sont actuellement fondés sur ces variations de résistance dans les contacts imparfaits, variations qui se produisent quand les vibrations d'un son articulé modifient le contact. Si l'on emploie le charbon, c'est il cause de ses propriétés physiques ; il ne s'oxyde pas, ne fond pas, il est mauvais conducteur de la chaleur. Dans le microphone Hughes, il y a une petite roue en charbon, avec des sortes de dents, fixée derrière le diaphragme en bols qui reçoit et transmet les vibrations sonores. Dans le microphone Roulez, le microphone est formé par un bloc de charbon percé de petits trous, remplis des filaments brisés des fils charbonneux employés dans les lampes à incandescence. Les bouches de ces petites ouvertures sont couvertes par le diaphragme. La finesse des filaments charbonneux donne une grande délicatesse au microphone Roulez.

Nous avons dit que le câble téléphonique qui relie Londres et Paris a été construit à Londres, par la maison Siemens. Nous dirons, à ce sujet, que cette industrie de la construction des câbles sous-marins a pris racine en France. La **Compagnie générale des téléphones**, qui a cessé, en 1889, d'exploiter les réseaux téléphoniques qu'elle avait installés, a établi une usine à Calais pour la construction des câbles sous-marins. M. Max de Nansouty en a donné une description dans le Génie civil. Veut-on savoir quelle est la valeur des câbles sous-marins actuellement reposant au fond des mers dans le monde entier ?

Cette valeur s'élève à un milliard de francs, et pourtant cette industrie n'a que vingt ans d'existence. Il était vraiment temps que la France ne restât point à la remorque de l'Angleterre dans la construction de ces câbles. L'Italie nous a déjà précédés ; l'Angleterre a quatre grandes usines, « les frères Siemens », le « Telegraph Construction and Maintenance company », l'« India Rubber Gutta Percha and Telegraph works company » et « Henley's works ». En Italie, il y a la Société Pirelli à la Spezia.

La Société des téléphones créa une première usine à Bezons, pour fabriquer les âmes des câbles sous-marins et des côtes. L'emplacement était peu commode ; on choisit ensuite Calais, qui a un nouveau port facile d'accès et un grand bassin ; MM. Weyher et Richemond, et M. Brasseur, de Lille, fournirent les machines à vapeur ; aujourd'hui la fabrication peut se faire couramment ; elle n'offre aucune difficulté spéciale, car il n'est agité que d'entourer un conducteur en cuivre d'une gaine isolante et d'une armature. La production de l'usine est calculée pour une longueur de câble de 500 mille marins ; un câble transatlantique fournirait à peine six mois de travail à l'usine.

Avril 1893 Dans les essais de télégraphie et de téléphonie simultanées, effectués entre Paris et Londres, l'office anglais réalisait une importante amélioration. sur l'emploi du **système duplex** Wheatstone et Hughes.

Cette dernière application fut même l'objet d'expériences si variées et d'observations si minutieuses qu'elle ressortit bientôt comme l'une des plus importantes du programme.

En même temps un service pratique en duplex Hughes fut étudié et organisé successivement sur les câbles de Calais-Douvres, Boulogne-Folkestone et Dieppe-Newhaven.

Le câble du Havre, ne pouvant fournir le rendement normal, avait été, dès le début, complètement éliminé.

Les résultats acquis pendant la période d'essais furent tels que l'administration française et l'office anglaise résolurent de maintenir provisoirement en service régulier une installation duplex Hughes,

Quand se produisit l'interruption du câble de Boulogne à Folkestone, le 14 février, il y avait près de deux ans que le poste central de Paris et le post-office de Londres utilisaient journellement, dans des conditions très satisfaisantes, ce système de transmission télégraphique.

Aussi, lors de l'interruption du 14 février, le premier soin des correspondants fut-il de constituer d'autres installations duplex.

LE CÂBLE SOUS-MARIN DE CALAIS A DOUVRES

Les premières liaisons télégraphiques terrestres à longue distance remontent en Europe à 1840 : il y avait notamment une liaison filaire entre la capitale du Royaume-Uni,

Londres, et la ville portuaire de Douvres, ainsi qu'une liaison entre Paris et Calais. À partir de ce moment, les inventeurs des deux pays, au nombre desquels les Anglais William Cooke (1806–1879) et Charles Wheatstone (1802–1875), s'ingénierent à concevoir une liaison filaire sous-marine pour relier leurs deux grandes capitales

Le 28 août 1850, à bord du vapeur Goliath, un navire équipé d'une bobine massive, ils entreprirent de poser le câble sous-marin en partant de Douvres. Bénéficiant d'une mer calme et d'une météorologie clémente, ils purent ainsi poser quelque 35 km de câble jusqu'au pied des falaises du cap Gris-Nez. L'entreprise parut des plus satisfaisantes, d'autant que les premiers signaux étaient très peu affectés de parasites. C'est ainsi que les premiers télégrammes furent échangés entre les deux capitales, dont une dépêche au Prince-président des Français, que le projet fascinait.

Le bruit de fond s'expliquait par la dispersion du signal, c'est-à-dire une célérité dans le milieu de propagation dépendant de la fréquence, mais cet effet était encore mal compris. **Plus grave, on s'aperçut le matin suivant que la liaison était coupée.**

La cause exacte était obscure, mais l'on devinait que la fragilité du câble l'exposait à des ruptures locales. Ce n'est que bien plus tard, en 1865, que le bruit se répandit qu'un pêcheur français aurait accroché le câble avec ses filets : ayant remonté ce qu'il prit pour une algue, le pêcheur découvrit avec surprise qu'elle « contenait de l'or. » Toujours est-il que la tentative avait échoué.

Mais les frères Brett, loin de se décourager, reprirent leurs recherches et s'attachèrent la collaboration d'un ingénieur en vue, Thomas Crampton, pour développer un câble beaucoup plus résistant, dont la conception allait demeurer d'ailleurs pratiquement inchangée pendant près d'un siècle : quatre fils de cuivre entrelacés de calibre 16 (1,25 mm de diamètre), garnis de fils d'étoupe entrecroisés, le tout armé de 10 fils de fer galvanisés entrelacés (8 mm). Cela donnait un câble pesant près de 4 kg/m, qui ne nécessitait plus de lest. Le câble, une fois réalisé, formait un brin d'un seul tenant long de 40 km. On l'enroula sur un tambour renforcé large de près de 2 m, d'un diamètre intérieur de 5 m et d'un diamètre extérieur de 10 m : cela représentait une masse totale de 180 t.

Une fois le câble chargé à bord, la pose démarra au petit matin du jeudi 25 septembre 1851. Sous le commandement du capitaine Bullock, les HMS Blazer, Fearless et Red Rover quittèrent la baie St. Margaret's, à 5 km au nord-est de Douvres, faisant route vers le terminal maritime de Sangatte, à 35 km. Le câble ayant été connecté au terminal anglais de Douvres, on déroula le reste en contrôlant la vitesse du Blazer, chargé du tambour d'enroulement et tiré par deux remorqueurs ; le vapeur Fearless ouvrait la marche et corrigeait au besoin le cap. Il y avait un autre remorqueur en réserve.

On avait posé la moitié du câble lorsque, sous un vent fort et une mer agitée, une des amarres se rompit et le Blazer dériva de plus de 2 km. Malgré cet incident et le

contretemps qu'il entraîna, l'équipage rallia vers 18 h les abords de Sangatte. Le ciel s'obscurcissant rapidement, on préféra jeter l'ancre sans accoster. La plupart des passagers furent emmenés par barque vers Calais ; mais au matin suivant, le temps s'était encore dégradé. Parvenu à seulement 2 km des côtes de France, il fallut poser une balise, y amarrer l'extrémité du câble et le brin restant. Le Blazer, ainsi soulagé de ce fardeau, put regagner l'Angleterre. Il fallut attendre deux jours pour que la tempête se calme, et la pose s'acheva le dimanche 28 septembre 1851. Le lundi, on testait les premiers échanges avec le terminal de Sangatte, relié à Calais, et le même jour, la connexion était établie entre Londres et Paris. On utilisa pour cette communication un télégraphe de Foy et Breguet. Au fil des années, le câble s'avéra extrêmement robuste, et la liaison, économiquement très rentable.

Le câble existant de Douvres à Calais, entre l'Angleterre et la France, depuis 1852, était devenu insuffisant, en raison des nombreuses relations de ces deux grands pays. On voulut jeter un second câble aboutissant à Saint-Malo (côtes du département d'Ille-et-Vilaine), et qui, par conséquent, devait être plus long que celui de Douvres à Calais. Cette opération rencontra des difficultés, mais le peu de profondeur de la mer permit de les surmonter. Une bourrasque amena la rupture du câble. Quelques mois après, la marée qui parcourt ces rivages avec une grande vitesse, provoqua le même accident. On répara le câble, mais fut déplacé et fixé au rivage, au moyen de fourches de fer scellées dans le roc. Un autre accident, causé par un orage, détériora ce câble. La foudre vint le frapper dans sa par aérienne, traversa le bureau et les appareils, parcourut 28 kilomètres de fil et s'échappa par une partie faible de l'enveloppe isolante. Le 20 octobre 1858, une ancre de navire rompit le câble de Douvres à Calais, et il fallut remédier à ce grave accident.

Pour aller à la recherche d'un câble rompu ou perdu, on commence par déterminer approximativement, à l'aide du galvanomètre, le point sur lequel s'est fait la rupture. L'ingénieur trace sur une carte marine, la route qui a été suivie à l'époque de la pose du câble ; puis il se porte avec un bateau à vapeur, à 1 kilomètre environ au-dessus ou au-dessous du câble, selon que la marée descend ou monte. Dans cette position on jette un grappin à cinq crochets, qui draguent le fond de la mer. On attache une vingtaine de mètres de chaîne de fer à ce grappin, pour en augmenter le poids, et l'on fixe le tout à une corde qui s'enroule sur une poulie solidement fixée sur le pont du navire. Lorsque le grappin a rencontré le câble, la corde se tend et le navire est pour ainsi dire à l'ancre. Alors, pour amener le conducteur à la hauteur de l'avant du navire, on tire, soit par les bras de l'équipage, soit au moyen d'une petite machine à vapeur spéciale que les Anglais appellent *Donkey-Engine*. Seulement il faut prendre de grandes précautions pendant le relèvement, qui doit se faire avec une extrême lenteur. Lorsque le câble est relevé, on le hisse à bord, après l'avoir attaché à une chaîne ; puis on suspend une poulie sur le côté du navire. On engage le câble retiré de l'eau sur la gorge de cette poulie, sans détacher le câble de la chaîne, afin qu'il ne retombe pas à la mer. Cette chaîne est fixée solidement à bord, de sorte que, lorsque le navire, après avoir marché dans la direction du point de rupture, reconnaît qu'il s'en approche, à ce que le déroulement du câble devient très-fort, on tend fortement la chaîne qui le retient, on le hisse à bord pour mettre à l'épreuve sa conductibilité électrique et fixer son extrémité à une bouée, puis on rejette le tout à la mer.

La même opération se fait pour l'autre bout du conducteur ; seulement on soude à son extrémité un morceau de câble, et on le déroule soigneusement en se dirigeant sur l'autre bouée abandonnée précédemment. Là, on fait une nouvelle épissure (soudure) ; puis on attache le câble ainsi réparé à des cordes, et on le coule doucement au fond de la mer, de crainte qu'il ne se noue ou ne s'enroule.

C'est par ces moyens que fut repêché et réparé, en 1858, le câble de Douvres à Calais, histoire vue dans l'"Annales Télégraphiques" de 1859.

1859 METHODE EMPLOYÉE POUR RÉPARER LE CABLE SOUS-MARIN DE CALAIS A DOUVRES , *Rompu le 20 octobre 1858 par une ancre de navire.*

Les diverses parties du monde rivalisent, depuis quelque temps, d'activité dans l'établissement de lignes télégraphiques sous-marines, et l'échec de la Compagnie transatlantique n'a pas ébranlé la confiance générale en ce genre d'établissement .

Les lignes sous-marines se multiplient donc sous toutes les latitudes, et le développement en kilomètres de celles que l'on projette aujourd'hui est considérable.

Malheureusement, sous toutes les latitudes aussi , les lignes sous-marines sont sujettes à se détériorer ou à se rompre, et il nous semble presque aussi important de perfectionner les procédés de réparation des câbles que d'améliorer les méthodes d'immersion.

Nous nous empressons de consigner ici le détail des opérations effectuées dernièrement pour repêcher et réparer le câble de Calais à Douvres, rompu le 20 octobre 1858 par une ancre de navire.

Nous tirons nos renseignements d'une lettre de l'ingénieur anglais docteur Andrews, que M. Alexandre, directeur de l'Administration des lignes télégraphiques, a bien voulu nous communiquer. Après avoir demandé à la boussole, tous les renseignements qu'elle peut fournir sur la nature et le lieu de l'accident, l'ingénieur chargé de la réparation trace soigneusement sur une carte marine la direction suivie lors de la pose du câble. Il sait de la sorte dans quelle région de la mer il doit manœuvrer pour en repêcher les bouts. Cette opération est la première dont on ait à s'occuper .

Le bâtiment quitte les côtes d'Angleterre et s'arrête à un demi-mille environ au-dessous ou au-dessus du câble , suivant que la marée monte ou descend. Supposons la marée montante. On jette à l'eau un grappin en fer armé de cinq crochets, dont l'un au moins laboure le lit du détroit, tandis que le bâtiment entraîné par le courant dérive lentement de l'ouest vers l'est et se rapproche du câble. On a eu soin, pour augmenter le poids du grappin, d'y attacher 10 brasses d'une chaîne de fer à laquelle on lie une corde qui vient s'enrouler sur une poulie solidement fixée à bord. Au moment où les crochets du grappin s'engagent sous le câble, le bâtiment se trouve pour ainsi dire à l'ancre et s'arrête . Pour amener le câble à la hauteur de l'avant du navire, on se sert d'une petite machine fixée sur le pont (*Que les Anglais appellent donkey-engine*), ou, à son défaut , des cabestans du steamer et de poulies. Cette opération exige de grandes précautions et doit se faire lentement, de peur de rompre le conducteur qu'on élève peu à peu, après s'en être approché autant que possible. Au moment où le câble arrive à la hauteur de l'avant, on l'entoure d'une chaîne et on le hisse sur le pont. On suspend ensuite au flanc du navire une poulie, dans la gorge de laquelle on laisse redescendre le câble, toujours attaché à la chaîne. Cette chaîne, dont le but est d'empêcher le câble de retomber à la mer, est fortement fixée à bord et est assez distendue pour permettre le passage aux fils qui forment l'enveloppe extérieure du conducteur , dans le cas même où ils feraient des nœuds. C'est alors seulement qu'on enlève le grappin. Le bâtiment, sous l'action combinée des roues et de la marée, se met lentement en marche vers l'extrémité rompue du câble, qui file doucement sur la gorge de la poulie. Au moment où l'on s'approche du point de rupture, c'est-à-dire au moment où le déroulement du câble devient très rapide, on tend fortement la chaîne qui l'entoure, de façon à le serrer contre le flanc du navire; puis on le hisse à bord jusqu'au point de rupture, on le fixe à une corde à laquelle est attachée une bouée, on essaye les fils avec l'Angleterre et on jette le tout à la mer. Le câble va reposer sur le fond du détroit et la bouée flotte à la surface de l'eau.

On repêche ensuite par le même procédé la section du câble partant de Calais et on essaye les fils avec la France.

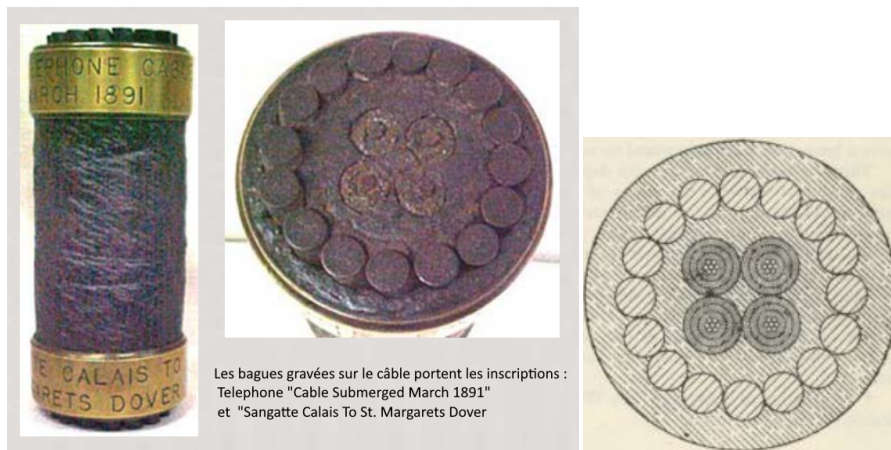
On épisse (*Episser; réunir un bout de corde à un autre en entrelaçant leurs torons*), à l'extrémité de cette section, un bout de câble neuf, que le bâtiment déroule avec précaution en se dirigeant sur la bouée précédemment abandonnée.

Lorsqu'on est arrivé près de cette bouée , on hisse sur le pont la section du câble venant de Douvres , on épisse à cette section le câble neuf que l'on vient de dérouler, et la communication télégraphique est rétabli entre les deux rives de la Manche .

Le conducteur ainsi complété est suspendu par des cordes aux flancs du navire, qui dérive lentement sous l'action de la marée, tandis qu'on le dépose avec soin au fond du détroit, afin de l'empêcher de se nouer et de s'enrouler sur lui-même

J. GROSJEAN.

Une illustration du câble — fabriqué par la société Siemens Brothers — est présentée ici. Il a été posé par le navire câblé H.M.T.S. « Monarch » et les agents de l'administration des Postes en mars 1891, alors qu'une violente tempête de neige et d'autres conditions météorologiques défavorables perturbaient considérablement les opérations. La longueur du câble est de 20 milles marins : il relie St Margaret's Bay, près de Douvres, à Sangatte, près de Ca..



Les bagues gravées sur le câble portent les inscriptions :
Telephone "Cable Submerged March 1891"
et "Sangatte Calais To St. Margarets Dover"

Cette ligne téléphonique a été suivie d'une autre en 1893 entre l'Écosse et l'Irlande (Glasgow-Belfast), et l'on a envisagé également la possibilité d'établir des communications téléphoniques avec Bruxelles et Berlin.

Le câble sous-marin utilisé ici est en tous points identique au câble anglo-continental que nous venons de décrire, à ceci près que les âmes gainées et enroulées sont entourées d'une bande de laiton, ceci afin de lutter contre les attaques du *Limnoria terebrans*, un ver ressemblant à un mollusque, différent du teredo des mers orientales. Ce ver affectionne particulièrement la gutta-percha et le chanvre utilisés pour le gainage, et on a constaté ces dernières années qu'il infestait même ces eaux (non tropicales). Cela est probablement dû au fait que des câbles provenant des tropiques sont ramenés en Angleterre lors de réparations, et que des germes sont transmis dans les usines de câbles ; en effet, l'âme est souvent regainée pour une seconde utilisation. Ainsi, depuis 1893, la Poste a pris l'habitude d'appliquer un ruban métallique sur l'âme de tous ses câbles. C'est aussi en partie pour cette raison que le Département spécifie systématiquement du chanvre plutôt que du jute pour la gaine intérieure ; toutefois, on peut douter que le premier résiste mieux aux ravages des tarets sous-marins que le second.

Une communication du commandant W.A.J. O'Meara, présentée le 15 décembre 1910 lors d'une réunion de l'Institution of Electrical Engineers à Londres, fournissait les détails suivants concernant le câble de 1891 :

BRÈVE DESCRIPTION DU PREMIER CÂBLE TÉLÉPHONIQUE ANGLO-FRANÇAIS. Mis en service le 1er avril 1891.

Il s'agissait d'un câble à quatre conducteurs différant peu de ceux utilisés à l'époque pour la télégraphie, si ce n'est par la taille des conducteurs eux-mêmes. Chaque conducteur était constitué d'une âme en cuivre toronné formée de 7 fils identiques, d'un poids total de 160 livres par mille marin (knot), isolée par 300 livres de gutta-percha par mille marin. Les diamètres extérieurs du toron de cuivre (d) et de l'isolant en gutta-percha (D) étaient respectivement de 0,108 et 0,390 pouce, soit un rapport D/d de 3,61.

La résistance mesurée du conducteur à 75 °F (environ 24 °C) était de 7,453 ohms, et la capacité électrostatique mesurée de 0,275 microfarad par mille marin. L'armature était constituée de 16 fils de fer galvanisé, d'un diamètre de 0,280 pouce chacun, posés avec un pas de 18 pouces ; le diamètre extérieur du câble fini était d'environ 2,2 pouces.

Dans les causeries scientifiques de PARVILLE de 1895 on lisait :

La ligne Paris-Londres.

Le 1er avril a été définitivement livrée au public la ligne téléphonique Paris-Londres. C'est un événement d'une certaine importance pour le commerce et l'industrie. On se rappelle que la tempête qui régna du 9 au 14 mars sur les côtes obligea le Monarch, navire anglais chargé de la pose, à laissé couler le câble au fond de la mer et à le retirer à ses extrémités par deux bouées.

On profita d'une accalmie pour le relèvera ses deux points d'atterrissement près de Calais et de Douvres. Le 15 mars, pour la première fois, la voix humaine franchit la Manche. C'est seulement le 18 mars que l'on put téléphoner régulièrement non plus de Douvres à Calais, mais de Londres à Paris et réciproquement. Il semble que dans un certain public on ait conçu des craintes sur la possibilité d'établir des communications téléphoniques à travers la mer. Il n'y avait cependant aucun doute à avoir à cet égard. Le succès a été complet. Il était prévu.

On connaît fort bien aujourd'hui les conditions dans lesquelles il faut se placer pour obtenir de bonnes transmissions téléphoniques. On peut les indiquer en quelques mots.

Depuis les anciens travaux analytiques de sir [William Thomson](#) et les expériences du Fleeming Jenkin et Cromwell Warloy, on les présentait nettement. Elles ont été particulièrement définies par sir W.-I. Preece, ingénieur électricien en chef du Post Office de Londres (1887).

Il existe deux obstacles à la transmission téléphonique à une distance indéfinie. C'est d'abord la résistance électrique du fil de ligne au passage du courant ; cette résistance grandit naturellement avec la longueur de la ligne, toutes choses égales d'ailleurs ; c'est ensuite la capacité électrostatique du fil et de son enveloppe. Fils et enveloppe absorbent pour leur compte une grande quantité d'électricité. Si le câble est très long, tout le courant finit par rester en route. Or, il est maintenant établi que la limite de perceptibilité des sons dépend non pas seulement de la résistance de la ligne ou bien de sa capacité électrostatique, mais du produit de la résistance par la capacité. Lorsque ce produit de la résistance de la ligne (exprimée en ohms) par sa capacité (exprimée en microfarads) dépasse le nombre 15.000, la transmission devient très difficile, pratiquement impossible. Elle est bonne quand ce produit ne dépasse pas 10.000, excellente quand on se maintient dans les limites inférieures à 7.000 ; tout à fait remarquable à partir de 5.000.

Cette loi connue, il suffit évidemment, pour obtenir de bonnes transmissions, de l'appliquer dans toute sa simplicité. Théoriquement, comme on peut diminuer la résistance d'un câble métallique en augmentant le diamètre des fils, il serait possible de concevoir une ligne extrêmement longue et satisfaisant aux conditions indiquées. Malheureusement, la question économique est prépondérante en pratique ; et l'on ne saurait adopter des diamètres de fils de bronze de plus en plus grands.

Ainsi, pour aller de France en Amérique, à travers l'Atlantique, les câbles devraient être plus gros que deux bons biceps juxtaposés. Les prix résultant seraient inabordables.

La téléphonie à très grande distance est impraticable, eu égard au prix de revient. Elle le restera sans doute jusqu'à ce que de nouvelles découvertes permettent de tourner cette difficulté aujourd'hui insurmontable.

En ce qui concerne la traversée sous-marine de Douvres à Calais la certitude de la réussite était absolue. Il y avait déjà un précédent : la ligne de Buenos-Ayres à Montevideo à travers le rio de la Plata est en service déjà depuis près de deux ans. Pour cette ligne, le produit de la résistance par la capacité atteint 10.400.

Pour la nouvelle ligne Paris-Londres, on avait décidé de ne pas dépasser le nombre 6.000, qui correspond, comme nous l'avons dit, à une bonne transmission. Le problème à résoudre consistait donc uniquement à déterminer les dimensions du câble de façon à employer le moins de métal possible pour diminuer la dépense, à fixer les diamètres respectifs du conducteur et de son enveloppe isolante. Les calculs ont été faits par M. Kempe, ingénieur du Post Office, qui a été conduit à une spécification de câble à quatre conducteurs. Le câble a été construit par MM. Siemens frères de Londres. Il mesure extérieurement environ 38 millimètres de diamètre.

Il renferme à l'intérieur quatre conducteurs de cuivre ; chacun d'eux est composé d'un toron de sept fils isolé de son voisin par trois couches de gutta soudées au chattron. Ces quatre conducteurs recouverts de gutta sont réunis par du fil de jute tanné et enveloppé avec une armature composée de seize fils de fer de 7 millimètres de diamètre. Tout cet ensemble est enduit de la composition de Clark, résine minérale et sable.

Sur les quatre conducteurs, deux servent seulement aux transmissions téléphoniques, ligne d'aller, ligne de retour ; les deux autres sont destinés à la télégraphie internationale. Les lignes aériennes de Douvres à Londres et de Calais à Paris sont en fils de cuivre posés sur poteaux.

(Les fils de cuivre placés sur les poteaux sont non pas placés parallèlement, mais croisés successivement comme pour les lignes de Paris-Marseille, disposition destinée à annuler les influences perturbatrices des autres lignes télégraphiques installées sur les mêmes poteaux.)

La ligne anglaise part en réalité de Saint-Margaret's-Bay entre Douvres et Deal ; elle a environ 137 kilomètres de ce point au Post Office. La ligne française a boutit à Sangatte, entre Boulogne et Calais, après avoir suivi la ligne du Nord par Montdidier. Elle a près de 330 kilomètres de développement. La longueur du détroit est d'environ 34 kilomètres. En sorte qu'au total la distance franchie par la ligne doit être d'un peu plus de 500 kilomètres.

Depuis les fortifications de Paris jusqu'à la direction des postes, la transmission se fait à travers une ligne souterraine double de 7 kilomètres de longueur en câble Fortin-Hermann.

On voit qu'en définitive la communication est établie sur un circuit métallique entièrement fermé, comprenant à chaque poste extrême deux récepteurs téléphoniques et un transmetteur microphonique comme partout ailleurs.

Les appareils téléphoniques employés auraient pu être semblables à ceux dont on se sert sur le réseau de Paris.

La plupart des téléphones actuels donnent des résultats satisfaisants. En général, la plus ou moins grande netteté d'un instrument est sujette à discussion et n'est sans doute qu'une question de pure appréciation.

Strictement on pourrait dire que pour chaque ligne il faut « un instrument accordé ». C'est ainsi qu'à Londres on a préféré adopter le système bien connu Gower-Bell. A Paris on

a mis en service les appareils de M. Roulez, à charbon et à membrane en charbon, fabriqués à la direction des postes et télégraphes. Ce qu'il y a de certain, c'est que la ligne est très bonne, comme on devait s'y attendre, et qu'on perçoit la voix avec une netteté parfaite et une intensité suffisante. On a pu faire entendre distinctement à Londres le Mage, aux applaudissements des auditeurs anglais. Ce genre d'expérience est déjà vieillot ; on en use couramment aux Etats-Unis, mais enfin il est toujours intéressant, surtout quand il s'agit de faire entendre l'opéra de Paris aux habitants de Londres .

(En Amérique, encore tout récemment, avec les Loud Speaking téléphones Edison disposés sur les lustres et les appliques d'une grande salle et munis de porte-voix, on a fait entendre à plus de mille personnes un concert transmis à 736 kilomètres de distance. Nous ne savons trop pourquoi on n'adopte pas ce dispositif curieux à Paris L'appareil Edison permet de distribuer la musique dans toutes les parties d'une salle sans grande déformation des sons.)

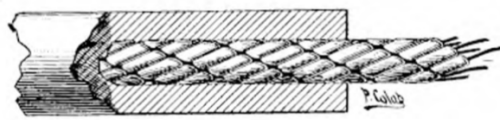
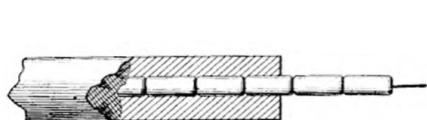
Les communications entre Londres et Paris n'ont lieu en ce moment que de bureau central à bureau central .

A Paris, à la Bourse et avenue de l'Opéra. Le prix de la conversation est fixé provisoirement à 10 fr. pour trois minutes. Dans chaque poste, une horloge spéciale est mise en mouvement quand la communication commence et la conversation est coupée automatiquement par l'horloge quand les trois minutes sont écoulées.

Câbles Fortin-Hermann.

— M. Fortin-Hermann a imaginé un système de câble qui, tout en plaçant le conducteur dans les mêmes conditions que les fils aériens, supprime en grande partie, sinon en totalité, les effets d'induction et diminue la capacité électrostatique si nuisibles à la propagation des courants ondulatoires dans les lignes souterraines. Le conducteur métallique est introduit dans de petits cylindres en bois imprégnés de paraffine, se touchant et formant chapelet; le tout est ensuite enfermé dans un tuyau de plomb qui, en isolant le fil, permet de le poser dans l'eau ou dans la terre. La couche d'air renfermée dans le tuyau constitue le meilleur diélectrique au point de vue de la libre circulation du courant.

Les figures 233 et 234 montrent la disposition intérieure du câble Fortin-Hermann à un et à plusieurs conducteurs.



Les résultats obtenus sont très satisfaisants, et l'emploi des lignes exfermées se généralise chaque jour. Du reste, la capacité électrostatique n'est que de 0,05 microfarad par kilomètre ; la résistance, de 13 ohms; et l'isolement, de 200 mégohms.