

LA TÉLÉPHONIE TRANSOCEANIQUE

Au début du XXe siècle, la téléphonie était déjà bien implantée dans plusieurs pays. Cependant, les communications téléphoniques restaient limitées à des échanges nationaux ou continentaux. Le télégraphe restait la principale solution pour les communications longues distances, notamment entre l'Amérique et l'Europe, mais il présentait l'inconvénient d'être lent et limité à des messages écrits.

Lorsque [William Thomson](#) vit l'appareil téléphonique nouvellement inventé par **Alexandre Graham Bell** à l'exposition de Philadelphie de 1876, il déclara que «c'était là la plus grande merveille accomplie jusqu'à présent par le télégraphe».

Reconnaissant que les formes de cet instrument, encore imparfait, seraient bientôt améliorées, il fit remarquer que «l'invention était encore dans son enfance et qu'elle était susceptible de grands progrès»; il ajouta «qu'au moyen de plans un peu plus perfectionnés et d'appareils plus puissants, on pouvait avoir pleine confiance en ce que M. Bell nous donnât la possibilité de rendre audible la voix et la parole à travers le fil électrique sur des distances de centaines de milles». Il fut donné à **Lord Kelvin** de vivre assez longtemps pour voir la réalisation de ces prophéties. Et, s'il avait vécu quelques années de plus, il aurait pu voir la qualité de la transmission téléphonique portée à un point voisin de la perfection et les centaines de kilomètres étendus à des milliers.

Que Lord Kelvin ait considéré le téléphone comme un perfectionnement du télégraphe, cela est naturel car c'est par ce dernier que Bell y arriva. Bell, en effet, faisait des expériences en télégraphie harmonique lorsqu'il inventa son téléphone. Il étendait les possibilités d'utilisation du télégraphe en utilisant une bande de fréquences plus large que celle qui était employée dans les systèmes d'appareils Wheatstone et Morse.

Rappelons que c'est en 1852 que naît le vrai projet transatlantique; Frederick Newton Gisborne, ingénieur télégraphiste de l'«Amérique du Nord Britannique», témoin du succès des frères Brett dans le câble Douvre / Calais, constitue une compagnie pour établir une ligne télégraphique terrestre traversant Terre-Neuve de St Jean au Cap Ray et pour poser un premier câble entre l'île du Prince Edouard et l'île du Cap Breton.

Puis c'est en 1858 avec le premier [câble télégraphique transatlantique](#) que la communication écrite entre l'Europe et l'Amérique a été possible.

Comme cette bande de fréquences se révélant suffisante, le système Bell fut ainsi en mesure de transmettre la parole aussi bien que de simples signaux. Ainsi, le téléphone est né du télégraphe par l'élargissement de la bande des fréquences employée dans la transmission électrique de la pensée. Plus récemment, un nouvel élargissement de la bande de fréquences eut pour conséquence à la fois l'amélioration de la qualité de la parole transmise et la multiplication du nombre des conversations pouvant être transmises simultanément.

Le progrès a été tel qu'il a été possible, d'échanger des conversations par voie de terre de façon aussi parfaite que nous pouvons le désirer, à n'importe quelle distance, et nous pouvons le faire tout en échangeant des centaines de conversations à la fois sur une seule ligne coaxiale.

En fait, nous sommes allés plus loin encore et nous avons élargi la bande de fréquences de telle sorte que l'on peut transmettre, sur de longues distances terrestres, aussi bien la télévision que la parole.

Il n'est pas nécessaire de faire un prodigieux effort d'imagination pour prévoir qu'on aura un jour des canaux de transmission multiples pour la télévision de la même manière que l'on a, aujourd'hui, des canaux de transmission multiples pour la parole.

Des conducteurs consistant en tuyaux évidés offrent la possibilité d'une telle application.

En vérité, la largeur de la bande de fréquences est presque devenue une commodité pour l'ingénieur des communications.

La télégraphie utilise une certaine largeur de bande, mesurée en cycles par seconde pour une vitesse de transmission donnée, mesurée en mots par minute. Nous pouvons assigner environ 100 cycles par seconde à un appareil télégraphique imprimeur transmettant 60 mots par minute.

Pour être intelligible, la communication téléphonique exige environ 1000 c/s, quoique le dispositif original de Bell utilisât probablement un peu moins que cela, ce qui explique les difficultés que Kelvin éprouva à comprendre certaines paroles. La bande dont la téléphonie commerciale a bénéficié a été graduellement élargie jusqu'à nos jours où l'on considère la fréquence de 3000 c/s comme raisonnable. Elle ne procure pas, toutefois, une transmission parfaite de la parole. Les fréquences de la parole couvrent ordinairement 8000 c/s, bien que les fréquences au-dessus de 4000 c/s contribuent peu à l'intelligibilité et à la qualité de l'audition. La musique exige une bande plus large que la parole. Le champ d'audition de l'oreille humaine normale est d'environ 15 000 c/s et il faut précisément cette largeur de bande pour la transmission parfaite de la musique.

Dans la pratique, toutefois, la musique perd peu de sa valeur esthétique si elle est limitée à 8000 c/s. En fait, la plupart des auditeurs ne sont pas en mesure de distinguer aisément entre la musique transmise sur une bande de fréquences de 8000 c/s et celle transmise sur une bande de 15 000 c/s.

La télévision exige un minimum de 20 000 c/s pour la transmission d'un portrait humain reconnaissable et jusqu'à 20 millions de c/s ou plus pour une vision aussi bien définie que celle du cinématographe. Mais, dans la pratique commerciale actuelle, la largeur de la bande est d'environ 3 millions de c/s.

Avec une ligne de transmission de largeur de bande donnée, nous pouvons assigner à la télégraphie, à la téléphonie et à la télévision la valeur de fréquence qui leur convient.

Vingt voies pour le télégraphe imprimeur, avec les séparations suffisantes, correspondent à environ ce qu'exige un canal téléphonique ordinaire, mais un canal de télévision nous coûte, en fréquences, autant que 1000 voies téléphoniques ou 20 000 voies télégraphiques pour appareils imprimeurs.

En 1915 La première conversation téléphonique à longue distance Entre New York et San Francisco a été établie.

Parlons de l'extension de la gamme des fréquences et de leur application dans le domaine des **communications transocéaniques**, en particulier de la **téléphonie transatlantique**.

Nous passerons d'abord en revue les conséquences de l'extension des fréquences et nous examinerons, ensuite, quelques-unes des possibilités futures du développement de la largeur de la bande des fréquences dans les communications transocéaniques. Pour avoir une vue complète, on considérera à la fois les systèmes par fil et par sans fil.

Les premiers messages qui passèrent à travers le [câble transatlantique](#) furent transmis au rythme de deux mots à la minute. Exprimé en fréquences, cela indique une largeur de bande inférieure à 1 c/s.

Lord Kelvin, au moyen de son galvanomètre à miroir et, plus tard, avec son siphon recorder et d'autres dispositifs plus perfectionnés, augmenta la largeur de bande effectivement utilisée et accrut la vitesse de transmission à 3 mots par minute. Il montra comment il fallait calculer les câbles pour augmenter les limites de fréquence, ce qui permit de transmettre sur les câbles océaniques à des vitesses beaucoup plus grandes.

D'autres améliorations importantes dans l'appareillage terminal et dans les méthodes d'exploitation suivirent. L'application du duplexage, permettant une exploitation simultanée du câble dans les deux directions, doubla ainsi pratiquement sa capacité de trafic. Des perfectionnements dans les méthodes de correction de la distorsion des signaux introduite par le câble et l'emploi de moyens de transmission mécaniques ont contribué pour un nouveau tiers à l'augmentation de son rendement. Un autre accroissement d'égale importance fut obtenu lorsque l'amplificateur de câble fut introduit dans la première partie de notre siècle.

Une étape importante fut franchie, en 1924, par l'introduction du câble chargé au **permalloy**. (*gamme d'alliages à propriétés magnétiques à base de nickel et de fer, et également souvent, en moindres proportions, de molybdène et de manganèse*)

Les avantages de la charge avec bobine inductive en vue de réduire l'affaiblissement sur les longs circuits étaient connus depuis quelque temps et diverses applications de la méthode Krarup avaient été faites sur des câbles téléphoniques sous-marins de faible longueur. Néanmoins, il n'était pas possible d'appliquer ce principe aux câbles océaniques car, pour les fréquences télégraphiques, la charge avec le conducteur en fer n'était pas avantageuse en raison de sa basse perméabilité. La découverte du permalloy, matière dont la perméabilité est très élevée pour les faibles densités de flux et l'invention de moyens en vue de protéger le matériel de charge contre les rudes efforts de tension auxquels serait soumis ce matériel au fond de l'océan, ont rendu possible la construction d'un câble disposant d'une largeur de bande de fréquences plusieurs fois supérieure à celle correspondant aux câbles non chargés. L'accroissement de trafic sur un pareil câble ne fut cependant pas proportionnel à l'accroissement de la bande de fréquences, mais assez inférieur, car le duplexage d'un câble chargé réduit la vitesse d'une voie beaucoup plus que dans le cas du câble non chargé. Le câble transatlantique chargé le plus rapide a une bande de fréquences effective de plus de 100 c/s et peut écouler quatre fois plus de trafic qu'un câble non chargé d'égale dimension et de même longueur.

L'emploi de la charge au permalloy dans les câbles télégraphiques a naturellement conduit à prévoir la possibilité de poser un câble téléphonique chargé à travers l'Atlantique. Qu'on l'envisage du point de vue de l'extension de la fréquence, qui doit être portée pour une haute qualité de transmission téléphonique de 100 c/s à 3000 c/s, ou de celui de l'augmentation de la distance, cette réalisation paraît formidable. Le plus long câble téléphonique de grand fond ne mesurait que 105 milles marins entre Key West et La Havane où trois câbles chargés de façon continue au fer furent posés en 1921. La portée à travers l'Atlantique exigeait, au minimum, 1350 milles de câble par la voie des Açores ou 1800 milles par la voie plus directe Terre-Neuve—Irlande. Il était clair que, pour réaliser un tel travail, on ne pouvait se contenter d'entreprendre de simples modifications de structure. De nouveaux matériaux étaient nécessaires. Pendant des années, des recherches systématiques ont été effectuées pour améliorer les propriétés des matériaux électriques et diélectriques en vue de leur utilisation dans les câbles sous-marins.

Vers 1928, les progrès réalisés dans le développement de ces matériaux et dans la structure du câble lui-même étaient suffisamment avancés pour permettre d'entreprendre sérieusement l'étude de la pose d'un câble téléphonique transatlantique.

Il fut alors décidé de tenter l'essai pratique d'une section de câble. En déterminant les conditions requises pour ce câble, on décida de le faire passer par la voie Terre-Neuve—Irlande plutôt que par les Açores. La plus grande longueur du câble rendait son établissement plus difficile et son coût par mille plus élevé, mais la dépense totale et des considérations d'exploitation et d'entretien étaient en faveur de la voie plus directe.

La structure proposée pour le câble téléphonique Terre-Neuve—Irlande était du type unifilaire avec un conducteur central à charge continue et fil de retour concentrique analogue aux câbles Key-West — La Havane, mais il en différait du point de vue du matériel utilisé et des dimensions. Au lieu de se servir d'un conducteur en fer ou de permalloy pour l'inductance, on utilisa quatre couches de très minces rubans de permivar. Le permivar est un alliage qui, sous forme de ruban de charge, possède une perméabilité et une résistivité appropriées à l'usage téléphonique et qui a, en même temps, une hystérésis très faible, ce qui contribue à empêcher la distorsion de la parole due à la modulation magnétique. Le conducteur chargé était isolé à la paragutta plutôt qu'à la guttapercha. La paragutta est un mélange de caoutchouc spécialement purifié et déprotéinisé, de balata ou de guttapercha dérésinée et d'un peu de poix. La paragutta a une constante diélectrique de 15% inférieure à celle de la guttapercha utilisée dans les câbles Key-West—La Havane, et une perdite aux fréquences téléphoniques d'environ un cinquième plus élevée.

Ce câble a été calculé sur la base d'un affaiblissement aussi élevé que le permettent les considérations de bruit du côté récepteur et de puissance utile du côté transmetteur. Puisque l'affaiblissement d'un pareil câble croît rapidement avec la fréquence, c'est le bruit à l'extrémité haute fréquence de la bande vocale qui a de l'importance; ici le bruit est d'origine entièrement thermique, car l'interférence statique ou de provenance externe est éliminée par la mise sous écran. La puissance d'émission est limitée par l'hystérésis magnétique et il est peu avantageux d'insérer plus de 50 volts. La plus grande partie de la puissance peut être concentrée dans les hautes fréquences en plaçant, à l'extrémité transmettrice, une section du réseau qui corrige la distorsion du câble. Il est possible, par ce moyen, de fixer l'équivalent admissible à 165 db pour une fréquence de 3000 c/s.

Ceci dépasse de loin l'affaiblissement admis dans la pratique téléphonique. Le câble en question était calculé pour donner cet affaiblissement avec le moins de dépenses possibles en matériel. L'âme comprenait un conducteur central chargé comportant, par mille marin, 800 livres (lb) de cuivre et 95 lb de permivar, 720 lb d'isolant à la paragutta et un conducteur de retour concentrique en cuivre de 1700 lb, ce qui faisait de ce câble le plus pesant de tous ceux posés auparavant à de grandes profondeurs.

Un tronçon de ce câble, d'une longueur de 20 milles, fut construit, en 1930, par les Norddeutsche Seekabelwerke, à Nordenham, Allemagne, sous la surveillance des ingénieurs des Laboratoires téléphoniques Bell. Là, il fut chargé à bord du navire câblé «Norderney» et transporté dans la baie de Biscaye où une profondeur de 2500 brasses était commodément accessible. Cette profondeur était plus grande que celle qui aurait été rencontrée sur le trajet projeté du câble. La section de 20 milles de câble fut filée sur le fond de l'océan et son impédance en circuit ouvert mesurée au-dessus de la bande des fréquences téléphoniques. Des modifications de ses paramètres électriques purent être facilement déduites de ces mesures. Le câble fut ensuite retiré et chargé à destination de Frenchport Harbour près de Belmullet, comté de Mayo, en Irlande, où il fut à nouveau posé afin de permettre la mesure du bruit de sortie. Les mesures de l'impédance effectuées, aussi bien depuis le bateau que depuis le rivage, révélèrent que le câble était tout à fait intact, tant à la profondeur de 2,5 milles qu'après avoir été relevé et placé dans une eau peu profonde. Toutefois, les mesures de bruit effectuées depuis le rivage montrèrent que l'emplacement était impropre pour ce type de câble, en raison du fond raboteux. Un tel câble est parfois microphonique en raison de l'extrême sensibilité du permivar et les derniers tronçons du câble doivent reposer sur un fond calme pour assurer un faible niveau de bruit terminal.

En même temps qu'avaient lieu ces expériences sur le câble, des essais étaient effectués au laboratoire de New York sur les installations terminales.

Une ligne artificielle avait été établie, représentant exactement le câble projeté en ce qui concerne son rendement électrique et la parole fut transmise sur cette ligne artificielle aux niveaux fixés pour le câble.

Cette manière d'opérer était à la fois exceptionnelle et nouvelle. L'affaiblissement élevé rendit impossible l'équilibrage pour une conversation à deux voies et il fallut utiliser la commutation. Aux deux extrémités, l'appareil récepteur était relié normalement à la ligne. Les courants produits par la voix du correspondant provoquaient la mise sur la position transmission de l'extrémité de la ligne à laquelle il se trouvait. Des dispositions furent prises pour éviter la perte de parole pendant la durée de la commutation et pour réduire l'interférence provenant d'une conversation presque simultanée des personnes placées aux deux bouts du câble. Le temps nécessaire à la parole pour parcourir le câble n'est pas négligeable. Dans ce cas, il était d'environ 1/10 de seconde, ce qui est assez long pour qu'il soit remarqué, mais pas assez important pour être considéré comme un désavantage majeur.

Toutes les mesures effectuées en laboratoire, en mer et du rivage concordaient pour montrer que le projet d'installation d'un câble de ce type présentait toute garantie du point de vue technique. Son fonctionnement aurait été supérieur à celui de la radio.

En revanche, le coût aurait été beaucoup plus élevé que celui d'un circuit radio. Le prix du système par câble allant de la Nouvelle-Ecosse en Grande-Bretagne, via Terre-Neuve et l'Irlande se serait élevé à environ 15 millions de dollars. Lorsque le projet fut envisagé, la communication radio était sujette à de fréquentes interruptions et le câble était considéré comme complément très justifié, du point de vue économique, du service radio tel qu'il fonctionnait alors.

Renvoyé temporairement à cause de la crise générale des affaires, ce projet de pose de câble fut abandonné définitivement plus tard, parce que, en raison des progrès réalisés dans le service des communications radiotransatlantiques, la grande dépense pour un câble à voie de transmission unique ne pouvait pas se justifier plus longtemps. Il paraît improbable, aujourd'hui, qu'un câble semblable soit jamais posé à travers l'Atlantique. Par bonheur, de nouveaux progrès, plus satisfaisants, ont été réalisés dans l'intervalle.

Mais, retraçons tout d'abord **le développement de la radiotéléphonie transatlantique** et examinons quelques-unes de ses possibilités d'avenir.

Le développement des radiocommunications, plus frappant que celui des communications par fil, a été caractérisé par l'élargissement de son spectre des fréquences.

En fait, si l'on part des expériences faites par **Marconi** à travers l'Atlantique, en **1901**, on voit que le spectre de fréquences s'est élargi au point de procurer aujourd'hui quelques milliers de mégacycles par seconde. Toutefois, une faible portion de cette bande seulement est disponible pour les communications transocéaniques. On utilise seulement deux bandes séparées, chacune d'elles étant, par rapport à toute la bande de fréquences de la radio, relativement étroite. La gamme basse fréquence ou à ondes longues constitue une bande d'une largeur de quelques dizaines de kilocycles par seconde avec un maximum d'environ 100 kc/s. Cette partie basse fréquence du spectre a été exploitée intensivement au cours des vingt premières années du vingtième siècle et, à la fin de cette période, elle était très occupée par les transmissions radio.

Ce fut en 1915, quatorze ans après que Marconi eut fait franchir l'Atlantique par la radiotélégraphie, que la parole fut transmise pour la première fois à travers les océans, d'Arlington, Va. à Paris et à Honolulu.

Cette performance, quelque peu assombrie par les événements de la première guerre mondiale, fut le résultat d'un programme visant à porter la parole à travers l'océan, programme qui fut définitivement entrepris par les ingénieurs du Bell System après qu'ils eurent établi avec succès une communication téléphonique par fil à travers le continent de l'Amérique du Nord. Pour cette réalisation, on développa les premiers tubes à vide à grande puissance, ainsi que les premiers maîtres-oscillateurs, transmetteurs à lampe amplificatrice de puissance.

Cette expérience fut ainsi, du point de vue technique, l'avant-coureur de la radiotéléphonie moderne, comprenant la radio-diffusion aussi bien que la téléphonie transocéanique.

Vers 1920, la bande des fréquences utile pour de longues distances fut élargie au centuple lorsqu'on découvrit que les transmissions à longue distance pouvaient être effectuées au moyen d'ondes courtes, c'est-à-dire par des fréquences de l'ordre de 3 à 30 Mc/s.

Cette découverte porta les radiocommunications transocéaniques à leur niveau mondial de ces années (1943).

Les ondes courtes ne contribuèrent pas seulement grandement à l'élargissement de la bande des fréquences des communications, mais elles contribuèrent aussi à les faire demander par les services en raison de la réduction de la dépense, les installations nécessaires pour l'établissement de circuits sur ondes courtes s'étant révélées beaucoup moins coûteuses que celles qu'il faut employer avec les ondes longues.

Comme sa devancière la télégraphie, la téléphonie transatlantique prit le départ dans la bande des ondes longues, relativement trop étroite, puis passa dans la zone plus libre de la bande des ondes courtes.

Il fallut bien des études prolongées, en matière de transmission radioélectrique et beaucoup d'autres perfectionnements dans la technique des appareils avant qu'on pût converser à travers l'Atlantique avec suffisamment de clarté et de sûreté, et qu'un service pût être établi. Dans la bande des ondes longues et pour les distances transatlantiques, la radio se trouve sérieusement limitée à deux points de vue:

1° le niveau de bruit est élevé, particulièrement en été à cause de la fréquence des orages sous les latitudes septentrionales;

2° les signaux reçus sont faibles au moment du coucher et du lever du soleil.

Les couches ionisées de la haute atmosphère dont dépendent les ondes longues pour leur propagation autour de la terre subissent ainsi les conditions nées du passage du jour à la nuit. La réalisation du tube à vide haute puissance, à refroidissement par eau, a permis aux amplificateurs à grande puissance de fournir les dizaines de kilowatts nécessaires pour élever le signal bien au-dessus du niveau des atmosphériques. L'influence des atmosphériques a été, en outre, réduite par l'emploi d'antennes réceptrices directives. Un perfectionnement supplémentaire fut procuré par la technique de l'émission à bande latérale unique, utilisée tout d'abord sur conducteurs métalliques. Tous ces progrès et d'autres encore contribuèrent à assurer des communications téléphoniques sûres.

Le 7 janvier 1927, le service radiotéléphonique public put être ouvert conjointement par le General Post Office britannique et l'American Téléphoné and Telegraph Company. La fréquence porteuse était de 60 kc/s correspondant à une longueur d'onde de 5000 mètres.

Le président de l'American Telephone and Telegraph Co converse avec Evelyn Murray, le secrétaire d'État aux postes du gouvernement britannique. Il s'agit là de la première

conversation téléphonique commerciale transatlantique. Cet événement a ouvert une nouvelle ère dans la manière de communiquer à l'échelle internationale, réduisant considérablement la distance perçue entre les continents.

L'ouverture, en 1928, de la première communication transatlantique téléphonique sur ondes courtes suivit de près celle de la liaison sur onde longue ; en 1929, on établit des circuits supplémentaires sur ondes courtes. Ce furent des années où se produisit une augmentation des perturbations dans les communications sur ondes courtes et 1929, des dispositions furent prises des deux côtés de l'Atlantique pour l'établissement d'une seconde voie sur onde longue en vue d'assurer la continuité de l'exploitati. Toutefois, ce programme de travail ne progressa pas beaucoup à cause - des possibilités qui se présentèrent de perfectionner dans une large mesure les communications sur ondes courtes. En conséquence, le projet d'établissement d'un second circuit sur onde longue fut différé et, en raison des progrès réalisés au cours des années ultérieures, ce projet fut abandonné définitivement. Plus récemment, des expériences ont été effectuées et ont démontré la possibilité de réaliser une transmission à deux voies sur des fréquences différentes et en employant le même équipement transmetteur. Ceci peut conduire finalement à une exploitation plus économique d'une liaison supplémentaire sur onde longue.

La radio sur ondes courtes a certains avantages marqués sur les ondes longues en ce qui concerne le service transocéanique; l'affaiblissement est moindre, l'effet du bruit est réduit et on dispose pour l'exploitation d'une plus large bande de fréquences.

Les deux premiers facteurs, joints à la faculté d'obtenir aisément un degré élevé de directivité d'antenne, permettent de réaliser de sensibles économies.

Dans le cas d'une communication radiotéléphonique entre les Etats-Unis et l'Angleterre, le coût de l'exploitation sur ondes courtes, de cette époque et pour une qualité de service approximativement comparable, est environ la moitié de celui de l'exploitation sur ondes longues. La plus grande largeur de bande donne au service la faculté de s'étendre car, bien que la bande des ondes courtes ne soit nullement illimitée dans son extension et qu'elle se soit considérablement congestionnée au cours des dernières années, beaucoup de choses peuvent néanmoins être accomplies moyennant un programme d'utilisation réfléchi et coordonné; en tout cas, cette bande est des centaines de fois plus large que celle des ondes longues. Ces avantages se sont révélés dans l'accroissement rapide pris par, la téléphonie transocéanique sur ondes courtes.

Au début de l'année 1939, il y avait en service par le monde environ 170 liaisons téléphoniques à longue distance importantes sur ondes courtes, parmi lesquelles cinq entre les Etats-Unis et l'Europe. Il y a eu aussi la rapide progression des nombreuses voies de transmission de radiodiffusion sur ondes courtes, dont une meilleure, coordination reste encore à réaliser.

Néanmoins, certains désavantages de la transmission sur ondes courtes doivent être reconnus. Le plus important de beaucoup est celui de sa prédisposition à l'interruption partielle ou totale à certaines périodes, en particulier au moment du maximum du cycle des taches solaires.

Les ondes courtes sont défavorablement affectées par divers genres de distorsion de signaux qui se produisent du fait que le signal capté à la réception est généralement formé de plusieurs composantes qui ont suivi différentes routes. Celles-ci se trouvent parfois tout le long d'un même grand cercle, mais subissent un certain nombre de réflexions entre la terre et la couche d'Heaviside. Parfois, les composantes des signaux arrivent par un autre chemin que le grand cercle. Accidentellement, ces composantes se propagent suivant le plus grand arc du grand cercle passant par le transmetteur et le récepteur, ou font même complètement le tour du globe en produisant un phénomène distinctif connu sous le nom d'« écho du tour du monde ». L'interférence entre ondes arrivant par différents chemins se traduit parfois par T« évanouissement général » causé par les variations dans le niveau de la bande entière et, d'autres fois, par l'« évanouissement sélectif », dans lequel des parties de la gamme des fréquences vocales sont affectées de manière différente.

Ces phénomènes et leurs causes n'ont jamais été aussi complètement et intensivement étudiés que depuis l'apparition des ondes courtes; il en est résulté que beaucoup de progrès ont été réalisés dans l'amélioration de la transmission téléphonique sur ondes courtes. L'émission à bande latérale unique s'est révélée d'un grand secours en éliminant un genre de déformation particulièrement désagréable, commun à l'émission à deux bandes latérales, dans lequel l'évanouissement périodique du signal porteur imprime à la parole reçue un caractère de rudesse et de crissement.

L'antenne dirigée à prises multiples, mise au point par les laboratoires téléphoniques Bell et communément appelée «MUSA» s'est révélée utile en limitant la distorsion de la parole qui accompagne les effets d'interférence de l'onde.

L'antenne «MUSA» réduit l'affaiblissement sélectif en combinant les signaux arrivant par différents chemins ou en éliminant tous les signaux, à l'exception de ceux arrivant par un chemin déterminé. En procurant une directivité d'antenne supplémentaire, ce système rend possible l'exploitation dans les périodes où l'intensité des signaux est diminuée, quoiqu'il ne puisse empêcher l'interruption des communications pendant les périodes de très fortes perturbations. L'émission à bande latérale unique et l'antenne «MUSA» sont actuellement en service régulier sur les circuits téléphoniques New York-Londres.

La combinaison de la technique des ondes courtes et de celle des ondes longues fournit actuellement, à travers l'Atlantique, un service téléphonique qui est acceptable pour le commerce, bien que sa qualité soit quelque peu variable. L'interruption totale du service à ondes courtes, obligeant de recourir au service insuffisant des ondes longues, reste l'entrave la plus sérieuse. Ni la régularité de fonctionnement, ni la qualité du service téléphonique transatlantique ne sont encore au niveau d'un circuit métallique bien construit et bien entretenu.

En l'état actuel des choses, les bandes des ondes Courtes, utilisées à bon escient, pourraient faire face à des charges considérablement accrues. La bande des ondes longues est beaucoup plus limitée, encore que l'on dépende de ces ondes lorsque les ondes courtes sont en défaut, ainsi que cela arrive de temps à autre. On a besoin d'un progrès marqué dans le fonctionnement des systèmes actuels, ou tel autre système nouveau et indépendant pour fournir, tour à tour, un groupe de circuits utilisables alternativement, susceptibles d'assurer l'efficacité d'un service sur lequel les usagers puissent compter pour leurs affaires et leurs relations sociales. Ceci est un facteur important qui conduisit à développer le câble téléphonique transatlantique.

Prédire le développement futur de la téléphonie transocéanique est chose présomptueuse, pour ne pas dire plus. Le progrès dans la science des communications a été si rapide et les découvertes dans ce domaine ont été si révolutionnaires qu'il est tout à fait injustifié de fixer des limites quelconques à ce qui peut être réalisé. Toutefois, il y a des réalisations qui ont suffisamment progressé dans les laboratoires pour qu'il soit parlé, avec renseignements à l'appui, de leurs prochaines applications. Il existe donc, quant à l'avenir de la téléphonie transocéanique, des indications sûres qui résultent des progrès réalisés dans le domaine de la téléphonie terrestre à longue distance.

Peut-être le plus récent et important progrès effectué en téléphonie terrestre est-il la transmission de larges bandes de fréquences sur les conducteurs aériens, les câbles ou les conducteurs coaxiaux.

La transmission à large bande de fréquence signifie la transmission, par la méthode des courants porteurs, d'un nombre considérable de groupes de bandes téléphoniques sur des voies très rapprochées.

Sur des lignes aériennes et sur des paires en câbles sous plomb, 12 bandes téléphoniques situées à des intervalles de 4000 c/s sont communément transmises en un groupe occupant une largeur de bande totale de 48 000 c/s. Avec des conducteurs coaxiaux, la bande a été portée à 2 millions de c/s, ce qui permet d'y loger quelque 500 voies téléphoniques, et on peut l'étendre encore si on a besoin d'un plus grand nombre de voies.

L'application des méthodes de transmission à larges bandes de fréquence à la radiotéléphonie transocéanique peut être prévue avec une certaine confiance. Pour arriver au but, on a besoin de systèmes amplificateurs à large bande capables de fournir une grande puissance sans distorsion. Un succès commercial a déjà été obtenu avec un petit nombre de voies dans les Indes orientales, néerlandaises et dans les systèmes à bande latérale unique exploités entre les Etats-Unis d'Amérique et l'Angleterre. Plus récemment, en appliquant le principe de la réaction négative, les ingénieurs des laboratoires Bell ont construit un amplificateur de transmission à ondes courtes de 200 kW, capable de faire fonctionner 12 canaux téléphoniques, ou davantage, à fréquences très voisines.

On peut se représenter le système radiotéléphonique transatlantique à large bande de fréquence de l'avenir comme formé par des groupes successifs de ces blocs de 12 voies. Le nombre des groupes pouvant être utilisés simultanément est naturellement limité. Là où la radiotransmission dépend des réflexions entre l'ionosphère et la terre, la nature fixe une limite assez bien déterminée en ce qui concerne la bande de fréquence qui est utilisable à un moment donné quelconque. En effet, on a prévu un chemin de transmission entre émetteur et récepteur capable de laisser passer une large bande de fréquences, mais toutefois limitée. Les fréquences au-dessus de cette bande ne sont pas renvoyées uniformément à la terre par les régions ionisées. Les fréquences au-dessous de cette bande sont absorbées. L'extrémité haute fréquence est marquée par une coupure nette ; la diminution d'efficacité est plus graduelle à l'extrémité basse fréquence. La position de la bande utile dans le spectre se déplace selon l'heure, la saison et la phase du cycle solaire. En outre, sa largeur varie; elle est étroite durant la nuit et plus large pendant le jour.

Ainsi, par exemple, lorsque le soleil se trouve, en été, au milieu de l'Atlantique, on dispose d'une bande de fréquences utile d'environ 4 Mc/s de largeur, s'étendant approximativement de 14 à 18 Mc/s. Elle n'est pas définie rigoureusement dans la partie inférieure et sa position dans le spectre varie avec la saison et le cycle des taches solaires. Mais on peut dire en gros que la nature fournit, à n'importe quel moment, et pour le moins pendant les heures les plus avantageuses de la journée, une largeur de bande de l'ordre de 4 Mc/s. Si la bande entière pouvait être utilisée en téléphonie et si elle était subdivisée de façon précise en bandes téléphoniques de 4 kc/s de largeur, on pourrait réaliser 1000 voies téléphoniques.

Cependant, le service téléphonique transatlantique n'est pas le, seul à demander ces importantes ondes courtes. On peut les utiliser pour beaucoup

d'autres services, tels que la radiotélégraphie, la téléphonie entre la côte et les navires en mer, les communications dans l'aviation, la radiodiffusion d'outre-mer. Il existe, en dehors de l'Atlantique, encore d'autres barrières naturelles à franchir de cette manière et ces ondes courtes, en raison de leur large effet de dispersion à travers le monde et en dépit de la directivité qu'on peut leur imprimer, ne donnent pas la possibilité d'être très souvent doublées pour un service simultané en différentes régions du globe. Nous devons donc tenir compte que la bande disponible de 4 Mc/s doit être subdivisée en vue de satisfaire au plus grand nombre possible d'exigences, peut-être non moins

importantes que la route de l'Atlantique, qui occupe cependant une place essentielle. Il y a lieu de souligner que le service téléphonique public à travers l'Atlantique utilise environ un dixième de cette bande. Cela signifie 400 kc/s ou 100 canaux téléphoniques à une voie, ce qui donne 50 circuits à deux voies, ou davantage. Bien entendu, la demande pour un nombre pareil de circuits téléphoniques transatlantiques dépendra, * dans une large mesure, des possibilités économiques permettant de les réaliser, mais cette estimation montre du moins que les ondes courtes peuvent permettre d'établir une quantité de communications téléphoniques bien supérieure à la limite atteinte actuellement. Nous pouvons prévoir avec confiance un énorme développement du trafic téléphonique transatlantique, mais, dans la mesure où les demandes d'accroissent, on arrive rapidement aux dernières possibilités matérielles, la difficulté la plus sérieuse étant la menace d'interruption du service par suite d'orages magn

Etat des lieux à la fin de deuxième guerre mondiale 1939-1945.

En 1943 : les premiers répéteurs immergés (adaptés à des profondeurs de 200 brasses) sont placés en mer d'Irlande entre Anglesey et l'île de Man et permettent un développement considérable des câbles coaxiaux sous-marins reliant le Royaume-Uni avec l'Allemagne, les Pays-Bas, la Belgique et le Danemark. Une fois ces projets expérimentaux réalisés avec succès, il est alors possible de commencer un projet transatlantique plus ambitieux. Ces conclusions nous conduisent à considérer de nouveau le câble téléphonique transatlantique comme un auxiliaire des systèmes à ondes courtes. Cependant, il est facilement compréhensible qu'actuellement un câble à voie unique, tel que celui projeté en 1929, serait de peu de valeur pour constituer un appoint à un service radiotélégraphique comportant d'aussi nombreux canaux de transmission qu'il en existera à l'avenir. Pour qu'il soit de réelle valeur en l'occurrence, le câble doit aussi être capable de contenir un nombre élevé de voies téléphoniques. C'est vers une telle possibilité que nous nous sommes tournés, lorsque le projet d'un câble à voie unique fut ajourné. Nous avons fait des progrès considérables dans ce sens et j'aimerais bien vous en parler si vous voulez bien m'excuser de présenter un projet qui renferme encore aujourd'hui beaucoup d'éléments spéculatifs. Il était facile de comprendre qu'un câble téléphonique à voies multiples à travers l'océan devait être pourvu d'amplificateurs intermédiaires, puisque même un câble téléphonique à voie unique sans répéteur exigeait qu'on poussât à la limite extrême les études et les calculs relatifs à sa construction. La considération de difficultés d'ordre mécanique écarta l'idée de placer les répéteurs ailleurs que sur le fond de l'océan. Les problèmes de la pose et du relevage du câble firent apparaître à l'évidence que l'enveloppe protectrice du répéteur doit, si possible, être incorporée à la structure même du câble et traitée comme une partie de ce câble, plutôt que comme un accessoire. On fut désormais conduit à construire une enveloppe protectrice cylindrique de faible diamètre destinée à former partie intégrante du câble et fixée sous son armure. Toute cette structure devait être suffisamment flexible pour pouvoir être courbée autour du touret et passée par-dessus la poulie d'arrière d'un navire câblier. La structure de la boîte contenant le répéteur qui fut imaginé comportait d'abord une série d'anneaux en acier résistant à la pression, chacun ayant un diamètre d'environ 1,5 pouce et distants de 3/4 de pouce. Sur ceux-ci sont coulissées de minces bagues d'acier de la même grosseur, mais placées de façon à recouvrir les joints des anneaux internes. Ainsi agencés, les anneaux constituent un cylindre articulé d'environ 7 pieds de longueur. Sur le cylindre et pour empêcher l'eau d'entrer, on a fixé un tube en cuivre recuit comportant des capuchons étanches aux extrémités. Les particularités du capuchon sont de grande importance. C'est la combinaison d'un obturateur strictement hermétique duquel les conducteurs ressortent sous verre avec un joint plastique à travers lequel le passage de la vapeur d'eau serait très lent dans le cas où le capuchon de verre serait en défaut. En liaison avec le cylindre de cuivre, et dépassant l'âme du câble de plusieurs pieds, se trouve une chemise de cuivre qui sert à répartir la flexion et à protéger le joint du conducteur au capuchon. Des boîtes protectrices de ce type ont été essayées à des pressions beaucoup plus élevées que celles qu'un câble transatlantique aurait à supporter. Elles ont de même été soumises à des flexions répétées autour d'un tambour de 6 pieds, sans qu'il se produise de défaut. A l'intérieur de la boîte, les éléments du répéteur sont renfermés séparément dans des cylindres plastiques d'environ 6 pouces de longueur, et ajustés de façon assez lâche à l'intérieur des anneaux d'acier. Les connexions entre ces éléments sont faites au moyen de conducteurs flexibles. Un répéteur doit, bien entendu, être alimenté en courant et comme il est impossible de pourvoir d'un revêtement aussi mince une source de courant primaire, le courant doit être fourni au répéteur par le câble, à partir d'une source de courant continu. Le voltage de l'alimentation constitue l'un des écueils dans le calcul d'un tel système de câble. Il ne doit pas être trop élevé pour ne pas mettre en danger l'isolement du câble ou les éléments du répéteur. Un potentiel de 2000 volts, appliqué aux deux extrémités du câble, fut adopté. La tension serait fournie sur la base d'un courant stable afin que les fluctuations du potentiel de terre ne causent pas de variations dans l'alimentation en courant. Les éléments du répéteur furent calculés pour supporter le voltage prévu. Des essais de l'âme du câble et des obturateurs, faits au cours d'une longue période, n'ont pas révélé de variations visibles sous le voltage appliqué. Les difficultés, que l'on rencontre pour relever un câble sous-marin de grand fond, en vue de réparations, sont telles qu'elles empêchent pratiquement d'accéder fréquemment aux répéteurs pour les entretenir. C'est pourquoi le répéteur doit être constitué par des éléments ne nécessitant que rarement une intervention. Une période de vingt ans pendant laquelle il n'est pas nécessaire de remplacer des pièces du dispositif a été admise comme condition raisonnable. Le problème de durée et de maintenance se ramène à celui que pose la réalisation d'un tube à vide robuste et de longue vie. Les tubes à vide ont une durée de service limitée du fait que les cathodes thermoioniques dissipent de la matière. En fixant le niveau des signaux transmis relativement bas, le courant électronique peut être maintenu très faible. Eh donnant une surface relativement large à la cathode, ce faible courant peut être obtenu à une température tellement basse qu'on peut espérer une durée beaucoup plus grande des cathodes des tubes. Ceci fait aborder le problème du tube de façon bien différente de celle à laquelle on est habitué. De nouveaux types basés sur ces principes ont été construits et soumis à des essais de durée, il y a plus de cinq ans. Jusqu'à maintenant, ils n'ont pas révélé de signe de détérioration, de sorte que l'on peut raisonnablement admettre, en se basant sur la façon dont ils se sont comportés et sur certaines considérations physiques, que leur vie sera d'au moins dix ans. Il y a de bonnes raisons de penser qu'ils dureront plusieurs fois ce temps, mais de nouvelles observations seront nécessaires pour qu'une durée d'au moins vingt ans puisse être prédite avec certitude. Ces tubes doivent être plus robustes que les tubes à vide ordinaires, car le câble sera sujet à des vibrations considérables et peut-être à de gros chocs au cours de la pose et de son relevage, bien que les tubes puissent être protégés jusqu'à un certain point par des montures à ressort. D'autres parties constitutives du répéteur, comme les bobines et les condensateurs, sont sujettes à des conditions particulières, tout à la fois électriques et mécaniques. Celles-ci ont été satisfaites au préalable et le répéteur, réuni à son boîtier, a été soumis à des essais en laboratoire. Bien que les conditions électriques requises pour un tel câble soient très strictes, le répéteur téléphonique sous-marin est, à certains égards, plus simple qu'un répéteur pour communication terrestre. La température au fond de l'océan est presque constante; en conséquence, le répéteur n'a pas besoin d'être soumis à des réglages pour équilibrer les variations des caractéristiques du câble avec la température. Ainsi, une fois le câble posé, il se trouve dans un endroit tranquille et, sauf s'il est posé en eaux peu profondes, au voisinage de la côte, il ne risque pas facilement d'être dérangé. Il est vrai que les caractéristiques électriques du câble peuvent manifester des effets de vieillissement, mais les variations sur un long espace de temps ne sont pas grandes et on en peut tenir compte en prévoyant une certaine marge dans le calcul électrique. Dans le circuit du répéteur, les filaments de chauffage des tubes amplificateurs sont placés en série avec le conducteur central du câble. La chute de tension à travers les filaments de chauffage fournit le potentiel de plaque pour les lampes. Des circuits appropriés compensent la variation de l'affaiblissement du câble avec la fréquence. Un circuit de réaction négative donne un degré de stabilité élevé sur une large bande de fréquences et réduit l'effet de variation des caractéristiques des lampes. Il est intéressant de noter que l'amplification fournie par une seule lampe peut tomber jusqu'à un centième de sa valeur normale avec un effet à peine appréciable sur le rendement du répéteur. Le nombre et l'espacement des répéteurs dépendent naturellement de la longueur et du calcul du câble. Pour un câble d'une longueur de 2000 milles reliant Terre-Neuve à la Grande-Bretagne, on a calculé une âme comportant 516 livres de cuivre par mille isolé avec 370 livres de paraggutta, et entouré d'un conducteur de retour de 600 livres. Ceci est analogue à l'âme du câble téléphonique de 1930 Key West—La Havane, mais un peu plus faible. La paraggutta fut choisie comme substance isolante parce qu'elle avait fait l'objet d'une longue expérimentation. En faisant intervenir dans les calculs les caractéristiques de l'un des nouveaux isolants synthétiques, on aurait obtenu un résultat un peu plus favorable. Sur le câble en question, 47 répéteurs à intervalles de 42 milles l'un de l'autre assureraient la transmission sur une largeur de bande de 48 000 c/s. Le répéteur est un dispositif à une voie; pour l'établissement de conversations à deux voies, deux câbles ont été prévus, l'un en direction de l'est et l'autre en direction de l'ouest. Ceci constitue la solution la plus simple du problème à deux voies, mais il n'est pas inconcevable que ce problème puisse être résolu au moyen d'un seul câble. En utilisant deux câbles, transmettant chacun 48 000 c/s, le nombre des circuits téléphoniques dépendra de la bande assignée à chaque voie. Si l'on se réfère à la meilleure pratique actuelle d'exploitation sur lignes terrestres et si l'on assigne 4000 c/s par voie, on aura suffisamment d'espace pour loger 12 circuits téléphoniques. En sacrifiant quelque peu la qualité, le nombre des circuits peut être sensiblement augmenté. On pourra même établir jusqu'à 24 circuits fonctionnant de façon tout à fait satisfaisante en affectant seulement 2000 c/s à chaque voie. Bien que, dans les laboratoires Bell, un long chemin ait été parcouru en ce qui concerne le projet d'un câble téléphonique sous-marin à large bande de fréquences, muni de répéteurs et que beaucoup de ses parties essentielles aient été développées, je ne voudrais pas donner l'impression que tous les problèmes que pose la préparation d'un tel câble aient été résolus, ou que le moment soit venu de procéder à sa construction et à son installation. En effet, ce n'est qu'en construisant des sections d'essai d'un tel câble et en les soumettant plusieurs fois à des épreuves plus dures encore que celles auxquelles un câble est vraisemblablement exposé, qu'on pourra connaître complètement ces problèmes. D'amples essais électriques devront ainsi être effectués sur un ensemble complet de répéteurs avec des lignes artificielles représentant les sections du câble. Il reste encore à faire cela. Le degré de minutie qu'exige la construction d'un câble sous-marin ne se rencontre que dans de rares autres cas. Il n'est pas possible, habituellement, de prévoir toutes les mesures de sécurité et un défaut dans une seule partie, tel qu'une rupture dans le conducteur ou une perte dans l'isolant, détruit complètement le fonctionnement du système entier. Des expériences portant sur plus de 80 ans, faites depuis l'insuccès de la première tentative de pose d'un câble sous-marin, ont conduit au développement de méthodes donnant

la meilleure garantie pour la sûreté de fonctionnement des câbles de construction simple, mais lorsqu'un projet du genre de celui du répéteur envisagé est élaboré, on introduit une poutelle part de hasard. Reste à savoir jusqu'à quel point l'on peut se prémunir suffisamment contre ce hasard de façon à justifier les aléas concernant le projet d'établissement d'un tel câble; cependant, j'envisage avec optimisme le fait que ces risques pourront être limités à un niveau acceptable, par la fabrication suffisamment minutieuse du câble et un programme d'essais bien préparé. Pour atteindre ce but, quelques années seront nécessaires et l'on doit s'attendre, dans les meilleures conditions, à ce qu'une part d'inconnu subsiste toujours. Les câbles sous-marins, de même que toutes les choses placées dans la mer, ne sont jamais à l'abri de quelque possibilité de sinistre. Quant au coût d'un tel projet de câble pour l'établissement d'un système téléphonique à large bande avec l'Angleterre, voie Terre-Neuve, on ne saurait faire actuellement des estimations bien sommaires. Toutefois, même en appliquant des charges annuelles un peu plus élevées que celles qui ont été communément en usage lorsqu'il s'agit de câbles, il apparaît que le coût total, par circuit téléphonique, pour un système de deux câbles, équipement compris, peut être comparé à celui des futurs systèmes par radio sur ondes courtes. Une sensible augmentation du coût du câble, par rapport à la radio, se justifierait par la meilleure qualité de la transmission et le sérieux avantage du secret. En plus de cela, la valeur du câble réside encore en ce qu'il peut être considéré comme complément des systèmes radio à la défaillance desquels il ferait face. A vrai dire, il est possible que, le câble une fois en service, la radio soit considérée comme son auxiliaire.

La comparaison entre la téléphonie par câble et la téléphonie par radio n'est pas aisée à faire.

C'est l'association du câble et de la radio qui assure la continuité du service, car, tandis que la radio est sensible aux perturbations provoquées par les orages magnétiques, le câble l'est moins; le service radio, en revanche, n'est, pas exposé dans la même mesure aux possibilités d'interruption dues à des avaries mécaniques ou à la malveillance. Un avantage des systèmes radio est leur souplesse, grâce à laquelle de nouvelles communications peuvent être établies ou d'anciennes abandonnées, sans engager des frais excessifs. En outre, des dispositions peuvent être prises en vue de l'extension, suivant les besoins, des facilités en matière de radiocommunications, sans avoir, pour cela, à installer, tout d'abord, des circuits supplémentaires en grand nombre. La perspective d'avenir d'un système combiné câble-radio a quelque chose de favorable en ce sens qu'il réunit les avantages des deux types de service.

Dans cette discussion, j'ai traité du problème de la téléphonie transocéanique, en tant que problème transatlantique et, plus particulièrement, en tant que problème de la liaison entre l'Amérique du Nord et la Grande-Bretagne. La communauté de la langue et beaucoup d'intérêts font ressortir de façon particulière la valeur de cette liaison, mais, tout bien considéré, elle ne constitue qu'une des nombreuses liaisons transocéaniques qu'exigera la constitution du réseau téléphonique mondial de l'avenir.

Si l'on envisage la question à d'autres points de vue, les avantages relatifs de la radio et du câble pèsent de façon différente. Les liaisons radioélectriques sur ondes courtes ont le grand avantage d'offrir des communications directes entre points du globe très éloignés les uns des autres et la tendance a été d'établir des communications sur ondes courtes directement entre centres importants plutôt qu'entre de grandes distances terrestres, en particulier là où les barrières politiques formaient un obstacle. Un vaste réseau de communications radio à une voie sur ondes courtes, exploité avec une énergie réduite, s'est ainsi développé, assurant, pour une partie du temps, un bon service, mais sur lequel on ne pourrait constamment se fier. Plusieurs de ces liaisons utilisent des routes qui ne peuvent s'accommoder de systèmes à larges bandes de fréquences de la nature de ceux dont j'ai parlé. L'introduction des méthodes à larges bandes pour la radiotéléphonie transocéanique tendra à favoriser la concentration du trafic radio sur un plus petit nombre des plus importants bureaux radio terminaux, encore qu'on ait de la peine à admettre que tout le trafic radiotransocéanique sera ainsi centralisé.

Même avec des systèmes radio, dispersés plutôt que centralisés, le câble à large bande de fréquences sera encore utilisé comme complément efficace du service radio, non seulement entre l'Amérique du Nord et la Grande-Bretagne, mais aussi entre l'Amérique du Nord et toute l'Europe, au moyen de lignes, terrestres ramifiant leurs circuits vers tous les centres importants du continent européen. On peut aussi s'attendre à ce que le câble trouve une application intéressante en d'autres lieux qu'à travers l'Atlantique du Nord.

Il est, notamment, d'une utilisation pleine de perspectives pour le service trans méditerranéen, étant donné que les principes de construction prévus pour le câble transatlantique peuvent être appliqués sur des distances beaucoup plus courtes. Moyennant quelques modifications du projet, le répéteur peut être adapté aux câbles sous plomb prévus pour les eaux peu profondes et offrir les avantages de la transmission par courants porteurs aussi bien que celle du système à large bande de fréquences.

Si l'on essaie d'imaginer le réseau transocéanique mondial de l'avenir, on doit certainement envisager un réseau comportant un grand nombre de petites liaisons et, en plus, un petit nombre de liaisons chargées sur les voies les plus importantes. Les petites liaisons représenteront des communications directes sur ondes courtes à simple voie ou des communications à double voie utilisant une puissance relativement faible. Les liaisons chargées comprendront les systèmes radio sur ondes courtes comportant des dispositifs à grande puissance de transmission à large bande perfectionnés et utilisant à plein les fréquences et les antennes de réception dirigées, complétées par les câbles sous-marins à large bande et même, dans quelques cas, par des systèmes radio à ondes longues.

Si l'on fait intervenir seulement des considérations purement physiques, il apparaît possible d'assurer tous les services téléphoniques entre tous les points du globe où ses habitants le demanderont. Jusqu'à quel point ces services pourront être développés actuellement, cela dépendra du facteur demande et, pour une part considérable, du facteur dépense.

Il sera intéressant d'examiner brièvement cette question des besoins d'avenir, de voir si, après tout, ils seront assez importants pour justifier l'établissement d'un câble à large bande de fréquences et des systèmes radio comme ceux qui sont envisagés ici.

Tant de facteurs contribuent à créer des besoins téléphoniques qu'il est impossible de faire des estimations tant soit peu sûres. En plus du prix interviennent la différence d'heure, de langue et des habitudes téléphoniques, de même que la communauté d'intérêt et la célérité du service. Des considérations analogues affectent le service télégraphique, mais le service télégraphique transatlantique, dans son évolution, a eu plus de temps pour arriver à complète maturité; avec une plus grande exactitude que le téléphone, il est en mesure de refléter le désir de voir s'établir des communications rapides entre l'Europe et l'Amérique.

Un mode d'estimation possible, quant à savoir ce que l'avenir tient en réserve en matière de téléphonie transatlantique, est de comparer le mouvement du trafic télégraphique, entre Londres et New York, avec celui échangé entre New York et une ville américaine quelconque de la côte occidentale, et d'examiner ensuite dans quelle mesure l'intensité du trafic téléphonique s'est développée par rapport au télégraphe dans les deux relations. Le trafic New York—San Francisco, en raison d'une stabilité relative pendant une longue suite d'années, offre une intéressante base de comparaison. La distance entre les deux villes, ainsi que l'écart dans l'heure légale, rendent aisée la comparaison avec la liaison New York—Londres. La différence de communauté d'intérêt se trouve compensée, jusqu'à un certain point, par la différence qui existe dans l'étendue des villes de Londres et de San Francisco.

Cette comparaison peut être établie sur deux bases, de nature presque analogue, mais conduisant à des résultats très divergents. Dans le premier cas, comparons les deux voies en ce qui concerne le trafic télégraphique, utilisant pour notre mesure le nombre total des mots transmis au cours d'une seule année.

Dans le second cas, prenons pour mesure le nombre des messages télégraphiques du service public, abstraction faite du trafic télégraphique compris sous les vocables de service de presse, service de location de lignes; télégrammes en langage convenu et chiffré. Dans chaque cas, l'estimation est basée sur les chiffres du trafic terminal, et exclut le trafic transitant par ces villes. Les chiffres pour l'année 1937 sont utilisés; précisément, cette année-là offre quelque avantage supplémentaire en ce sens qu'elle représente en quelque sorte une moyenne entre l'époque de pointe de 1929 et celle du creux de la période de dépression qui suivit.

D'après le premier mode de comparaison, on trouve que le nombre total des mots télégraphiques transmis, en 1937, entre New York et San Francisco a été approximativement le même qu'entre New York et Londres. Avec le second mode de comparaison, on trouve que le nombre des télégrammes a été environ sept fois plus important entre New York et Londres qu'entre New York et San Francisco. La différence sensible entre ces deux comparaisons est due, sans contredit, en partie au tarif et en partie au caractère des relations commerciales et des rapports sociaux. De ces deux systèmes comparatifs, le second, qui est basé sur les messages du service public à plein tarif, apparaîtrait comme étant le plus significatif pour ce qui concerne la demande du service téléphonique. Les informations transmises sous forme de messages télégraphiques de presse ou codés sont apparemment du trafic d'enregistrement. Il semble que la télégraphie publique qui, en quelque sorte, permet une évaluation plus approximative de l'échange d'idées par téléphone, est une meilleure indication en ce qui concerne la demande téléphonique.

Sur la base de ces indications, on peut supposer que la demande en puissance pour ce qui concerne la liaison téléphonique entre New York et Londres se situe à peu près entre une et sept fois celle de la liaison New York—San Francisco. En réalité, en 1937, le trafic téléphonique entre New York et San Francisco fut égal à environ trois fois celui échangé entre New York et Londres. Il apparaîtrait ainsi que pas plus d'un tiers et peut-être pas plus d'un vingtième de la demande téléphonique possible a été réalisée.

Si nous supposons, ce qui semble raisonnable, que ce même rapport, demande maximum / demande réalisée, existe pour toutes les liaisons Europe — Amérique du Nord comme pour la liaison New York—Londres, on peut estimer qu'au lieu des cinq circuits téléphoniques existant avant-guerre à travers l'Atlantique, il faudra de 15 à 100 circuits. Lequel de ces chiffres faudra-t-il prendre? Cela dépendra indubitablement et en grande partie du prix d'établissement des circuits, mais je ne pense pas que je puisse être équitablement accusé d'optimisme excessif en prédisant une demande de 40 circuits téléphoniques, ou davantage, pour le prochain avenir, si l'on tire complètement parti des possibilités techniques, ne serait-ce que pour diminuer les frais et accroître l'efficacité du service.

Pour l'estimation des besoins d'extension, ce serait une erreur d'attacher une importance trop grande au coût du service. La rapidité et la qualité de la liaison sont tout aussi importantes. S'il devient possible d'avoir une communication téléphonique dans l'espace, de deux minutes, ce qui est approximativement le temps normal requis pour une conversation à longue distance aux Etats-Unis d'Amérique, et si la liaison assure la clarté de transmission et l'absence de bruit d'une conversation téléphonique locale, le service téléphonique transatlantique pourra alors être utilisé à un niveau non encore égalé à l'heure actuelle.

Pour faire face à cette augmentation du nombre de circuits et pour se rapprocher du niveau de régularité de fonctionnement et de qualité du service des lignes terrestres, il faudra utiliser les trois types de systèmes de transmission: à ondes courtes, à ondes longues et par câbles avec répéteurs. Les considérations de dépense, de souplesse et de rendement de la liaison font penser que la part la plus importante du trafic transatlantique sera écoulée sur ondes courtes, mais qu'un service assez important pour justifier un nombre aussi élevé de circuits que celui qui a été évalué, aurait à se mettre à un niveau de sécurité et de fonctionnement plus élevé que celui que des circuits à ondes courtes seuls sont en mesure d'assurer. Un câble entre l'Amérique et la Grande-Bretagne serait susceptible de fournir cette sécurité de fonctionnement, tout en constituant une garantie

contre les graves interruptions de service qui pourraient résulter d'un arrêt simultané de toutes les communications sur ondes courtes au cours d'orages magnétiques. De plus, ce câble serait à même d'assurer les transmissions à un haut degré de perfection, concurremment avec les ondes courtes. Le câble, le groupe des circuits à ondes courtes, plus quelques circuits à ondes longues pourraient garantir une sûreté de fonctionnement d'un niveau élevé et une transmission excellente à un niveau de frais qui permettrait de garantir le développement continu du service.

Il n'est pas nécessaire d'attendre jusqu'à ce que le développement du service téléphonique transatlantique fournisse assez de trafic pour utiliser à plein un câble du type. Quand les ingénieurs seront prêts à donner une garantie raisonnable au sujet du fonctionnement de ce câble, je pense qu'il n'y aura pas lieu d'attendre une complète justification du point de vue économique, en raison de l'extraordinaire importance qu'il aurait en assurant le secret et la continuité du service transatlantique téléphonique. Ce que le câble attend, réellement, c'est sa mise au point technique. Pour parvenir au but, il faut agir puisqu'il ne semble pas y avoir de difficultés insurmontables. Il y aura toujours assez à faire et beaucoup de difficultés devront être éliminées avant que le câble à large bande avec répéteur puisse être établi, mais il ne m'apparaît pas que ce soit là un problème plus difficile que beaucoup d'autres qui ont été résolus dans le passé.

En développant cette description de la téléphonie transatlantique, je me suis efforcé de rester dans la sphère du fait technique et de ne pas tabler sur des réalisations qui restent encore à sortir de l'imagination des inventeurs. En fait, j'ai pu être conservateur à l'extrême car il existe déjà des inventions partiellement au point qui seraient de nature à modifier grandement cette description.

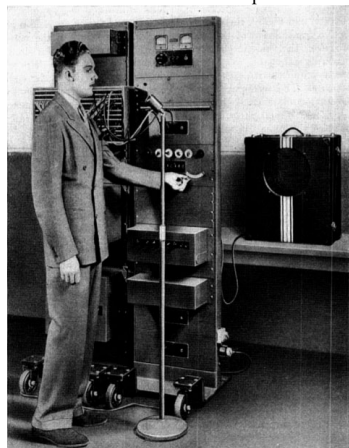
L'une d'elles est le « **vocoder** », dispositif qui, dans un sens, comprime la parole dans une bande étroite. Plus exactement, il dissèque la parole, la transmet en code et la rétablit à l'autre extrémité de la ligne. Grâce au vocoder, cent conversations, ou même davantage, peuvent être transmises simultanément sur une paire de câbles munis de répéteurs. Il est bien évident que le vocoder transmettrait les éléments essentiels de la conversation, sans cependant offrir toutes les autres qualités d'une conversation ordinaire. Le vocoder réalise un gain en ce qui concerne la largeur de bande mais c'est au détriment du naturel de la parole; mais, même ainsi, il peut trouver une application intéressante.

De 1936 à 1939, les laboratoires Bell développent, sous la direction de l'ingénieur acoustique et électronique Homer Dudley, le premier synthétiseur vocal électronique. La synthèse vocale de cette machine se fait via une interface rappelant celle d'une machine à écrire. Les commandes étaient constituées d'un clavier ainsi que de pédales



permettant de moduler les effets sonores.

Le Vocoder est une version simplifiée du célèbre Vocoder développé par Homer Dudley de 1926 à 1939.



Le Vocoder, dont le nom est la contraction de «Voice Encoder» a été conçu suite à la volonté des laboratoires Bell de **réduire le coût des appels téléphoniques transcontinentaux**. Pour cela, il effectuait une opération d'encodage du côté de la personne parlant et décodait le signal du côté de la personne qui l'écoutait. Cela permettait de faire transiter un minimum d'informations et donc d'économiser de la bande passante.

L'astuce consistait à découper le signal sonore en une multitude de plages de fréquences grâce à des filtres passe-bande. Ainsi il était possible d'analyser l'amplitude du signal de chacune de ces plages de fréquences. Ces caractéristiques étaient ensuite appliquées à une fréquence fondamentale transformée en y appliquant les modulations provenant des différentes bandes. (Pour en savoir plus, voir la présentation rédigée par Thomas Carney dans le cadre du Graduate Program in Audio and Acoustics, de l'université de Sidney)

D'autres inventions pourront encore étendre, bien au delà de la limite envisagée ici, la largeur de la bande des fréquences utilisée dans les communications transocéaniques. Des projets comme ceux de systèmes radio à ondes courtes et de dispositifs de guidage sous-marin des ondes, qui apparaissaient fantastiques, pourront, un jour, être du domaine de la réalité.

Les voies électriques par lesquelles les peuples d'un continent échangent leurs correspondances les plus urgentes avec ceux d'un autre continent ont toujours été d'un grand intérêt technique. Depuis que les premières impulsions, transportant les mots à travers l'océan, ont été dessinées dans le galvanomètre à miroir de Kelvin, le perfectionnement de ces communications a constitué un champ d'activité fécond pour les savants et les inventeurs. Mais ces moyens de transmission de la pensée ont une signification plus large que de simples réalisations techniques. Ils sont des liens visant à unir toujours plus étroitement entre eux les continents éloignés.

Un de ces nouveaux liens, la téléphonie sous-marine, doit encore atteindre sa maturité. Aussi longtemps que les conversations ne pourront pas être transmises entre continents aussi facilement et avec autant de sécurité qu'entre villes d'un même continent, on ne pourra prétendre que la science de la téléphonie transocéanique ait atteint sa majorité. Lorsque ce moment arrivera, on réalisera probablement, en jetant un coup d'oeil en arrière, que la demi-douzaine de circuits téléphoniques existant en 1930 constituait, en effet, un pont bien frêle pour relier par la parole les peuples de l'Amérique du Nord à ceux de l'Europe. Quelques dizaines de kilocycles de largeur de bande paraîtront alors aussi insuffisants que les mots, lentement transmis sur le premier câble transatlantique, nous apparaissent à nous-mêmes aujourd'hui.

Extrait d'une étude de OLIVIER E. BUCKLEY, Ph. D. 1943 (Traduction du Bureau de l'Union).

1944 Parmi les progrès les plus récents en téléphonie, signalons les systèmes permettant de transmettre de larges bandes de fréquences sur les conducteurs aériens, les câbles ou les conducteurs coaxiaux. Sur des lignes aériennes et sur des paires en câbles sous plomb, 12 bandes téléphoniques situées à des intervalles de 4000 c/s sont couramment transmises en un groupe occupant une largeur de bande totale de 48 000 c/s. Avec des conducteurs coaxiaux, la bande a été portée à 2 millions de c/s, ce qui permet d'y loger 500 voies téléphoniques, et on peut l'étendre encore si l'on a besoin d'un plus grand nombre de voies.

L'application des méthodes de transmission à larges bandes de fréquence à la radiotéléphonie transocéanique peut être prévue. Pour arriver au but, on a besoin de systèmes amplificateurs à large bande capables de fournir une grande puissance sans distorsion. Une réalisation a déjà été obtenue avec un petit nombre de voies dans les Indes orientales néerlandaises et dans les systèmes à bande latérale unique exploités entre les Etats-Unis d'Amérique et l'Angleterre. Plus récemment, en appliquant le principe de la réaction négative, les ingénieurs des laboratoires Bell ont construit un amplificateur d'émission à ondes courtes de 200 kW, capable de faire fonctionner 12 canaux téléphoniques, ou davantage, à fréquences très voisines.

La téléphonie transocéanique par câble a, de son côté, l'avenir pour elle. Ce n'est pas d'hier que l'on parle de la réalisation possible de projets de pose de câbles à large bande, munis de répéteurs sous-marins, ces derniers devant être constitués d'éléments très résistants ne requérant que rarement une intervention. Il ne semble pas y avoir de difficultés insurmontables à la réalisation de pareil projet. Cependant, des essais sérieux seront encore nécessaires jusqu'à ce que la mise au point technique soit définitivement réalisée. On ne peut faire actuellement que des estimations quant au prix de revient d'un système téléphonique à large bande entre les Etats-Unis d'Amérique et l'Angleterre, voir Terre-Neuve. Le coût total, par circuit téléphonique, pour un système de deux câbles, équipement compris, peut être comparé à celui des futurs systèmes par radio sur ondes. Une sensible augmentation du coût du câble, par rapport à la radio, se justifierait d'ailleurs par la meilleure qualité de la transmission et le sérieux avantage du secret. Signalons, comme commencement de réalisation dans ce domaine, qu'un répéteur du type Buckley, de 1,50 m de longueur et de 37,5 cm de diamètre et comportant 3 tubes à chauffage direct, a été immergé en un câble reliant la Grande-Bretagne et l'Irlande. Cette année encore, il est bien difficile de donner une image précise des perfectionnements dont a bénéficié la technique des radiocommunications en 1943.

1945 Attribution de fréquences radio pour les communications à grande distance.

Le problème de l'attribution future des fréquences radioélectriques pour les communications à grande distance a fait l'objet d'un débat lors de la réunion de janvier de la section radioélectrique de l'Institution des Ingénieurs électriciens à Londres.

Le Dr R. L. Smith-Rose limita ses remarques aux fréquences comprises entre 10 et 300 kc/s, et entre 3 et 30 Mc/s, parce qu'elles sont considérées comme les plus favorables pour assurer un trafic à grand rendement. Ce qui justifie le choix de ces bandes est le progrès réalisé en ce qui concerne la connaissance de la propagation des ondes, depuis que la répartition actuelle des fréquences fut établie à la Conférence du Caire, en 1938.

La bande intermédiaire, de 300 à 3000 kc/s, n'est pas économique lorsqu'il s'agit de liaisons dont la portée dépasse 1000 milles, car l'atténuation de l'onde terrestre et l'absorption des ondes ionosphériques empêchent toute stabilité de communication au-delà de cette distance. L'expérience acquise avec l'émetteur du Post Office britannique de Rugby a justifié la continuation de l'emploi de la partie inférieure de la bande de 10 à 300 kc/s (jusqu'à 100 kc/s) par des stations fixes dont la portée dépasse 1000 milles, tandis que la partie supérieure de cette bande (jusqu'à 300 kc/s environ) pourrait être utilement réservée aux services transocéaniques, afin d'obtenir une utilisation maximum de la portée sûre de l'onde terrestre. Une liaison radiotéléphonique au moins a été exploitée avec succès sur une fréquence porteuse voisine de 60 kc/s; il aurait peut-être été intéressant de rechercher si la bande de fréquences requise pour un tel service n'aurait pas pu être utilisée plus utilement et plus économiquement par la télégraphie. Il ne fut pas facile de suggérer une répartition des fréquences dans la bande de 3 à 30 Mc/s...

En ce qui concerne l'ordre de priorité des divers services, il fut admis que ceux qui intéressent la sécurité de la vie humaine et les communications avec et entre les stations mobiles, en particulier les navires et les aéronefs, devraient avoir priorité sur les services de communication entre points fixes. La téléphonie transocéanique devrait aussi être placée au premier plan. La proposition américaine de transmettre les programmes de radiodiffusion internationale à grande distance par l'intermédiaire des stations fixes, puis de les relayer par les réseaux nationaux a recueilli quelques suffrages. Il en résulterait une économie dans les largeurs des bandes, car on pourrait utiliser alors des transmissions à bande latérale unique.

Les premières utilisations opérationnelles de la fibre optique remontent aux années 1950.

En 1956, le premier câble téléphonique transatlantique a été mis en service. Ce câble, posé conjointement par le Royaume-Uni, les États-Unis et le Canada, mesurait 2240 milles de long, s'étendant de Granagh Bay au Royaume-Uni à Clarenville au Canada, et pouvait transmettre simultanément 36 conversations vocales, inaugurant ainsi l'ère de la téléphonie transocéanique. Ce câble a été considéré comme une réussite technologique majeure, rien de moins qu'une base solide pour la recherche et l'amélioration future. Il a ouvert la voie à de nouveaux développements tels que les câbles transatlantiques sophistiqués à fibre optique numérique, qui peuvent passer des dizaines de milliers d'appels simultanément.

La téléphonie internationale aujourd'hui

Plus d'un siècle après cet exploit, il est difficile d'imaginer un monde sans téléphonie internationale.

Les appels téléphoniques internationaux sont aujourd'hui accessibles instantanément et gratuitement grâce aux réseaux mobiles et aux services en ligne tels que WhatsApp, Zoom ou Skype.

Pourtant, cette révolution numérique repose sur des fondations posées dès ce premier appel historique du 7 janvier 1927.

1986–2002. L'ère des fibres optiques

1986 : les câbles à fibre optique sont conçus pour transmettre les signaux numériques : les 0 et les 1 du code binaire sont codés sous la forme de très brèves impulsions lumineuses, émises par des diodes laser microscopiques.

Ils sont constitués d'une, deux ou trois paires de fibres placées dans un bloc optique recouvert d'une armature d'acier, d'une enveloppe de cuivre pour l'alimentation électrique, d'une gaine d'isolation en polyéthylène. Le tout est protégé par une à trois armures d'acier, au voisinage des côtes.

Le premier câble transatlantique à fibres optiques, le TAT 8, est posé en **1988**, et permet, grâce à une unité de branchement en mer, de relier simultanément la France, l'Angleterre et les U.S.A. Ce câble offre une capacité de 40 000 communications téléphoniques simultanées.

Comme les câbles coaxiaux, les câbles optiques sont équipés de répéteurs (à partir des années 1990, ils sont espacés de plus de 100 km).

Depuis **1995**, des régénérateurs "tout optique" compensent l'atténuation du signal dans la fibre, ce qui permet d'augmenter considérablement le nombre des circuits (le TAT 14 posé en 2001 a une capacité de plus de 7 000 000 de communications simultanées).

En **1988**, mise en service de TAT8, premier câble transatlantique à fibres optiques (2 × 280 Mbit/s) équivalent à 40 000 circuits téléphoniques.

En 1990, mise au point de la fenêtre 1 550 nm, longueur d'onde dans le verre de la fibre optique minimisant les effets de la diffraction. La bande passante utile est portée à 12,5 THz (soit 12 500 GHz).

En **1995**, génération tout optique des liaisons avec la mise au point de l'amplification optique dans les répéteurs par fibres dopées à l'erbium. Technique EDFA (Erbium Doped Fibre Amplified). Mise en service des câbles transatlantiques TAT12, TAT13 et TPC5 à amplification optique à correction d'erreurs. La capacité passe de la technologie 560 Mbit/s par fibre à 60 Gbit/s.

En **1998**, première génération de système de filtrage optique WDM (multiplexage en longueurs d'onde où plusieurs couleurs portant chacune un signal différent sont transmises simultanément). La capacité par paire de fibres est de 20 à 40 Gbit/s. Pose du câble AC1 États-Unis-Allemagne utilisant cette technique, avec deux fibres et 16 couleurs, transporte 160 Gbit/s.

A partir de 1998, après la construction du transatlantique TAT 8, un troisième réseau se met progressivement en place.

Le 23 août 1999, mise en service de Sea-Me-We 3, premier câble à technologie WDM, relie tous les pays d'Europe et tout l'océan Indien jusqu'au Japon. 40 atterrissages, 40 000 km, permettant une capacité initiale de 500 Mbit/s. La modularité des équipements terrestres permettant des mises à niveau des terminaux sans toucher à la partie maritime, ce câble a aujourd'hui une capacité de 130 Gbit/s par paire de fibres, soit 260 fois sa capacité initiale.

En **2000**, nouvelle amélioration de la technologie EDFA, la capacité passe à 10 Gbit/s par couleur, soit 160 Gbit/s par paire de fibres.

En 2001, mise en service du câble TAT-14, États-Unis - Grande-Bretagne - Allemagne - France. Technique : amplificateurs optiques EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) sur 64 couleurs, capacité : 5,12 téraoctets par seconde.

En **2001**, après une production de 70.000 Km dans ses trois usines de Calais, Sydney et Portland, Alcatel doit faire face à la crise des télécommunications.

France Télécom connaît une évolution différente du fait de la dérégulation des télécommunications dans la communauté européenne (1995).

La direction de l'opérateur s'impose de nouveaux objectifs : s'implanter dans le monde entier et construire deux réseaux terrestres en Amérique du Nord et en Europe reliés par des câbles sous-marins. Simultanément, des secteurs d'activité sont abandonnés (Enseignement et Recherche), d'autres sont filialisés.

C'est ainsi que France Télécom Marine est créée le 1er janvier 2000 avec pour objectif d'assurer la rentabilisation des quatre navires câbliers.

La base marine de La Seyne sur Mer perd sa fonction d'accueil des câbles sous-marins. Ceux-ci quittent le littoral français puisque deux grandes liaisons à fibres optiques ont été installées entre 1990 et 2003 : SEA-ME-WE 2 (1994) et France - Grèce (1996).

