

LE TÉLÉGRAPHE ET LE TÉLÉPHONE

LEUR CONTRIBUTION, DEPUIS CINQUANTE ANS, A L'ÉVOLUTION ÉCONOMIQUE ET INDUSTRIELLE MONDIALE

Le télégraphe et le téléphone font partie aujourd'hui de l'outillage économique nécessaire à la vie des nations, au développement du commerce et à la marche de l'industrie. Les nations les plus prospères, celles qui mènent le monde, sont celles qui disposent des meilleurs réseaux télégraphiques et téléphoniques. Le télégraphe et le téléphone rendent également des services de première importance dans les relations de la vie privée.

Quelle a été leur évolution depuis 50 ans ? En 1880, au moment où le *Génie Civil* publia son premier numéro, le télégraphe électrique, qui avait déjà derrière lui une carrière fort honorable, servait largement pour satisfaire à la fois les besoins des communications d'État, des relations commerciales et industrielles, et des envois de nouvelles privées. Cependant, il avait encore à recevoir de nombreux perfectionnements pour améliorer sa sécurité de fonctionnement, son rendement et son champ d'action. Le téléphone, par contre, balbutiait à peine, si nous pouvons employer cette comparaison avec la première syllabe que prononce dans ses langes un enfant vigoureux dont la grande voix est destinée à remplir le monde entier, lorsqu'il sera parvenu à la maturité.

LE TÉLÉGRAPHE.

L'état du télégraphe en 1880. — C'est seulement à partir de 1837 que le télégraphe électrique sortit du domaine du laboratoire pour supplanter le télégraphe aérien de Chappe. Les premiers télégraphes électriques étaient à cadrans alphabétiques sur lesquels courait une aiguille qui devait s'arrêter successivement devant chacune des lettres du mot à transmettre. Le télégraphe aérien de Chappe avait utilisé un code de signaux conventionnels. En France, de 1837 à 1844, on essaya, tout en conservant ces signaux conventionnels, d'adapter au fonctionnement électrique de petits appareils récepteurs à deux aiguilles. Mais à partir de 1844, même en France, les appareils à cadran alphabétique triomphèrent.

Cela dura jusqu'au moment où l'appareil Morse supplanta complètement l'appareil à cadran indicateur. Le Morse fonctionna d'abord aux États-Unis en 1845, puis en Europe, et, à partir de 1854, il était employé dans toutes les relations internationales. Il avait pour lui l'avantage de la simplicité, de la robustesse et de l'emploi d'un code de signaux extrêmement ingénieux, puisque le succès de ce code dure encore.

Concurremment avec l'appareil Morse, les inventeurs cherchèrent à réaliser l'exploitation du télégraphe avec des appareils pouvant imprimer des signaux en caractères d'imprimerie ordinaires. David Hughes, en 1856, et Wheatstone, en 1860, réalisèrent chacun un appareil imprimeur dont la mise en exploitation fait époque dans l'histoire de la télégraphie. Le problème électrique se doublait d'un problème de synchronisme entre deux disques tournant aux deux extrémités d'une ligne de plusieurs centaines de kilomètres.

Vers 1859, Wheatstone adapta également à la télégraphie un procédé de transmission rapide par bandes perforées, en vue de profiter du fait que le rendement d'une ligne télégraphique terrestre, même fort longue, est supérieur à la vitesse de manipulation d'un agent formant les signaux à la main.

Le problème du rendement des lignes télégraphiques préoccupait également d'une autre façon les inventeurs, et plusieurs cherchèrent à faire voyager sur un même fil plusieurs télégrammes simultanés, soit en sens inverse (duplexage), soit dans le même sens, en les différenciant par des courants émetteurs de natures différentes (télégraphie à fréquences multiples), soit en les interposant l'un à l'autre, lettre par lettre (principe de l'appareil Baudot à division du temps). Baudot prit, dès 1876, ses célèbres brevets qui furent une révélation dans l'histoire de la

télégraphie. Mercadier, en 1876 également, faisait ses premiers essais de télégraphie multiple à fréquences harmoniques.

On peut donc dire qu'en 1880, les procédés de la télégraphie électrique, en pleine évolution dans des voies nouvelles, ouvraient des perspectives très brillantes pour l'augmentation du rendement des lignes télégraphiques. Le premier quadruple Baudot avait été établi en 1879 sur la ligne Paris-Lyon ; le relais polarisé de Baudot pour la retransmission entre deux sections de lignes datait de 1876.

La télégraphie sous-marine, bien que moins développée que la télégraphie terrestre, était déjà pratiquée couramment en 1880 pour des trajets sous-marins de longueurs notables : le câble Calais-Douvres depuis 1851, le câble Oran-Carthagène en 1864. On avait échoué en 1865 dans l'établissement d'un câble transatlantique, mais on réussit à le réparer en 1866, et il fonctionna jusqu'en 1877, où il fut abandonné à cause de défauts considérés comme irréparables. Sir William Thomson avait imaginé en 1867 l'admirable *siphon recorder*, pour l'exploitation des câbles sous-marins à l'extrémité desquels les courants télégraphiques n'arrivent qu'avec une intensité très faible, et après une déformation des signaux qui exige une sensibilité extraordinaire de l'appareil récepteur si l'on veut transmettre ces signaux avec quelque rapidité.

En définitive, en 1880, le télégraphe ne bouclait pas encore le tour du globe, mais il assurait déjà de larges relations entre tous les principaux États et à l'intérieur de ceux-ci.

Les progrès du télégraphe, de 1880 à 1930. — Les années qui suivirent 1880 marquèrent en télégraphie le développement et l'épanouissement de l'appareil Baudot, dont le récepteur-traducteur se perfectionna beaucoup pour acquérir une simplicité, une robustesse et une sécurité de fonctionnement remarquables. L'appareil Baudot fut également adapté aux combinaisons de lignes télégraphiques bifurquées et de postes télégraphiques échelonnés, de telle façon que les lignes télégraphiques furent utilisées au maximum de leur rendement électrique, même si le trafic commercial entre deux points donnés était inférieur au rendement théorique possible de la ligne. On voit l'immense portée des combinaisons techniques qui permirent d'obtenir ce résultat. Aussi, l'appareil Baudot se répandit dans le monde entier, et d'autres appareils dérivés du Baudot furent créés dans plusieurs pays (multiplex de Murray, appareil Western Union, appareil Siemens, etc.).

On peut dire qu'entre 1890 et 1910, il y eut une période glorieuse pour l'exploitation du télégraphe dans les relations internationales. Le téléphone, en effet, n'était pas encore apte à donner des communications à très longues distances. Depuis 1910, et surtout depuis 1920, la téléphonie internationale a fait des progrès éblouissants. Cependant, le télégraphe, s'il a souffert de la concurrence du téléphone, reste un instrument commercial et industriel employé très largement, parce qu'il laisse une trace écrite de la communication, un document qui peut faire foi en cas de contestation, et, en outre, parce que des codes d'abréviations commerciales extrêmement perfectionnés permettent d'envoyer des télégrammes de deux ou trois mots, qui sont cependant, après avoir été traduits, riches en détails pour le correspondant qui les reçoit.

Pour améliorer les conditions de fonctionnement du service télégraphique international, aussi bien les conditions d'exploitation que les conditions techniques qui assurent les meilleures transmissions possibles, il y a des organismes internationaux permanents. Dès avant 1880, le Bureau international des lignes télégraphiques, siégeant à Berne, s'occupait non seulement des balances de comptes à porter au crédit ou au débit de chaque État, mais aussi de l'amélioration des règles d'exploitation. Un

« Comité consultatif international permanent des communications télégraphiques », récemment créé, a désormais un rôle beaucoup plus actif au point de vue de l'amélioration du télégraphe, puisque les questions techniques sont de son ressort, et qu'il essaye de réaliser une normalisation des signaux, et même des appareils, aussi poussée qu'il sera possible.

Les dix dernières années ont vu naître et se développer une catégorie nouvelle d'appareils télégraphiques qui peuvent servir, non seulement dans la télégraphie officielle, mais aussi dans la télégraphie privée, et même être superposés, chez des particuliers, aux lignes téléphoniques. Il s'agit des appareils dénommés « télétypes » ou « appareils télégraphiques start-stop ». Dans ces appareils imprimeurs, il n'y a pas à assurer la rotation constante en parfait synchronisme des deux appareils placés aux extrémités de la ligne : un seul électro-aimant recevant les signaux (code à cinq signaux d'égale longueur pour chaque lettre ou chaque chiffre) déclenche la rotation du traducteur au commencement de chaque lettre, traduit et imprime la lettre en temps voulu, puis le mouvement du traducteur s'arrête jusqu'à ce qu'il soit déclenché à nouveau, au commencement de la lettre suivante. Sur les lignes télégraphiques courtes, ces appareils ont un rendement inférieur à ceux des appareils Baudot, mais leur rendement reste très suffisant pour que leur emploi se développe largement.

On a également réalisé la manipulation des appareils Baudot ou télétypes au moyen de claviers ordinaires de machine à écrire, de telle sorte qu'il n'est pas nécessaire de faire appel à des professionnels pour envoyer des télégrammes. Cela est indispensable pour les appareils du genre télétype; pour l'appareil Baudot, réservé aux lignes à très grand rendement, la possibilité d'envoyer des télégrammes sur un clavier de machine à écrire offre peu d'intérêt.

L'un des principaux progrès récemment réalisés en télégraphie a consisté à se servir du télégraphe sur les fils des nouveaux câbles souterrains « pupinisés » posés pour le téléphone. Ces câbles souterrains sont excellents pour la transmission des courants électriques alternatifs ayant des fréquences dites « harmoniques » (de l'ordre de 1 000 p/s). La télégraphie sur ces câbles souterrains est très facile, en se servant d'émission de courants alternatifs à ces fréquences harmoniques. Il devenait logique d'essayer de superposer sur un même fil souterrain plusieurs télégrammes voyageant chacun avec des courants alternatifs de fréquences différentes (télégraphie multiplex harmonique). Cela revenait, en somme, à reprendre l'idée lancée par Mercadier en 1876, mais en profitant de la lampe triode (Mercadier se servait de résonateurs mécanico-acoustiques, la lampe triode n'étant pas inventée alors). La télégraphie multiplex à fréquence harmonique sur les câbles téléphoniques souterrains s'est déjà largement développée.

Dans le même ordre d'idées, on a également réalisé de la télégraphie ultra-acoustique (3 000 à 5 000 p/s) sur circuits aériens, et de la télégraphie infra-acoustique (50 à 200 p/s) sur circuits souterrains.

Nous citerons ici pour mémoire les réalisations merveilleuses qui ont été faites en téléautographie et en téléphotographie. Le nom de l'inventeur français Belin doit être mentionné tout particulièrement, mais nous nous limitons spécialement à la télégraphie proprement dite. La télévision, dont nous ne parlerons pas davantage, semble aujourd'hui bien près de franchir des pas décisifs vers des réalisations sortant du domaine du laboratoire.

Les progrès de la télégraphie sous-marine, de 1880 à 1930. — A partir de 1880, le nombre des câbles télégraphiques sous-marins augmenta très rapidement. On en posa plus de 20 entre l'Europe et l'Amérique; on en posa également à travers l'océan Pacifique, l'océan Indien, entre l'Europe et l'Afrique du Sud, vers l'Amérique du Sud, et on peut dire que, vers 1900, le réseau mondial des câbles télégraphiques sous-marins était à peu près complet.

Pour améliorer le rendement de ces câbles sous-marins, on essaya d'abord, au prix de fortes dépenses, d'augmenter la section du conducteur de cuivre et le diamètre du cylindre isolant de gutta-percha. On réussit également à augmenter la sensibilité déjà prodigieuse du siphon-recorder par des artifices extrêmement ingénieux (siphon vibreur, siphon placé dans la diagonale d'un pont de Wheatstone et déséquilibrant par son mouvement une des branches de ce pont, etc.). On réussit également, après

des mises au point fort laborieuses, à réaliser le duplexage sur des câbles sous-marins de très grande longueur.

Signalons aussi que, en 1901, Pierre Picard avait réussi à travailler à l'appareil Baudot directement de Paris à Alger, ce qui, malgré la longueur relativement courte du câble sous-marin de Marseille à Alger (1 000 km), représentait une réalisation de première importance. Depuis cette époque, tous les câbles sous-marins entre la France et l'Afrique du Nord ont été exploités par cette méthode.

Les plus grands progrès (pour ne pas dire les révolutions) accomplis dans l'art de la télégraphie sous-marine sont venus plus récemment comme conclusions des travaux mathématiques sur l'intégration des équations différentielles qui régissent la propagation d'une discontinuité électrique sur une ligne pourvue à la fois de résistance, de self-induction, de capacité, et de perte par défaut d'isolement. Le premier savant qui ait abordé ces travaux mathématiques fut le Français Vaschy qui, en 1886, avait montré par le calcul que la self-induction jouait un rôle utile dans la propagation d'une onde électrique avec le moins de déformation possible de la forme de l'onde. Il en conclut que, pour les lignes téléphoniques ou télégraphiques de grande longueur, il y avait lieu de leur ajouter un supplément de self-induction, le fil rectiligne n'en ayant pas assez par lui-même. Ces aperçus théoriques ne portèrent réellement leurs fruits qu'après 1910, à la suite de nouveaux travaux mathématiques du savant Pupin. En ce qui concerne les câbles sous-marins, le renforcement de la self-induction a été obtenu en gainant le conducteur de cuivre par un ruban mince de métal de haute perméabilité magnétique. Cependant, l'art de fabriquer les métaux de haute perméabilité magnétique, qui était nécessaire pour réussir à améliorer la télégraphie sous-marine, n'est vraiment entré dans l'air des applications fécondes qu'après 1920, grâce à l'invention des alliages d'acier au nickel, tels que le permalloy ou le mumetal.

Pour donner une idée des résultats obtenus, disons qu'un câble transatlantique de type ancien, avec 300 kg de cuivre par kilomètre, étant exploité avec les appareils de réception les plus perfectionnés, écoule au maximum 600 signaux par minute. Un autre câble transatlantique, chargé au permalloy, est constitué par une âme en cuivre qui permettrait d'écouler seulement 300 signaux par minute : grâce au permalloy, ce câble écoule 1 700 signaux par minute. Les signaux se succèdent à des intervalles de $\frac{1}{60}$ de seconde; chacun d'eux met 0,3 seconde pour voyager le long du câble, car l'augmentation de self-induction retarde la marche de l'onde électrique, mais cela n'a aucune importance si le front de celle-ci reste bien raide. Dans les câbles de cette nature, on renonce complètement au travail par duplex, et on a des procédés automatiques de renversement rythmé du sens de transmission : il faut, par conséquent, des distributeurs tournant en synchronisme aux deux extrémités. L'emploi des amplificateurs à lampes triodes a été également introduit dans la pratique de cette exploitation.

En 1929, de hardis chercheurs ont proposé, pour diminuer les effets nuisibles de la capacité électrostatique sur les câbles sous-marins, de réaliser des câbles sous-marins qui seraient isolés au papier au lieu de l'être à la gutta-percha. La réalisation mécanique de tels câbles est extrêmement difficile, parce qu'ils doivent rester parfaitement étanches à l'eau de mer, même sous les pressions formidables de 500 à 600 atmosphères, comme il en règne dans les grands fonds sous-marins. Cependant, on espère parvenir à résoudre ce problème.

Statistique télégraphique. — Le nombre des télégrammes qui ont été transmis dans l'ensemble de tous les pays du monde pendant l'année 1928 est de l'ordre de 450 millions. La France entre dans ce total pour près de 37 millions de télégrammes; trois pays seulement dépassent la France : la Grande-Bretagne, avec 55 millions, le Japon, avec 60 millions et les Etats-Unis avec 225 millions.

La longueur des fils télégraphiques posés dans le monde atteignait au 1^{er} janvier 1929 un total approximatif de 11 millions de km, se décomposant à peu près de la façon suivante :

Europe.	millions de km.	4,5
Amérique du Nord.		5,0
Amérique du Sud		0,8
Asie		1,25
Afrique.		0,358
Océanie.		0,300

Dans les chiffres donnés pour l'Europe, la France entre pour près de 900 000 km, et elle n'est dépassée par aucun autre pays européen.

LE TÉLÉPHONE.

L'état du téléphone en 1880. — Le téléphone avait alors quatre ans d'existence. Réalisé en mars 1876 par Alexandre Graham Bell, il avait tout de suite attiré l'attention des savants et, grâce aussi à l'esprit commercial de son inventeur, il se développa avec rapidité pour les relations urbaines. Le premier bureau téléphonique ouvert à New-Haven (Connecticut) date du 23 janvier 1878. Paris posséda le téléphone dès le 30 septembre 1879. Le ministre des Postes et des Télégraphes avait accordé des autorisations à plusieurs concessionnaires, mais, l'année suivante, l'année même de la fondation du *Génie Civil*, une Société dénommée « Société générale des Téléphones » racheta en bloc toutes les concessions, et le téléphone devint un monopole, d'abord pour cette Société, puis, à l'expiration de sa concession en 1889, pour l'Etat.

En 1880, il n'y avait encore que quelques centaines d'abonnés à Paris. La Société des Téléphones comptait parmi ses abonnés :

téléphoniques « à batterie centrale » et munis de lampes de signalisation commencèrent à entrer en service en Europe vers 1899.

On était, dès cette époque, accoutumé à construire dans les grandes villes des centraux téléphoniques urbains pouvant recevoir chacun jusqu'à 10 000 abonnés. Pour desservir un tel central, il fallait un minimum d'une centaine de positions de dames employées, et encore davantage s'il y avait à prévoir dans une très grande ville des intercommunications entre plusieurs centraux, la réalisation de ces intercommunications diminuant évidemment le rendement de chaque opératrice.

Dans l'exploitation téléphonique manuelle, la tendance depuis le début de ce siècle a été d'augmenter la commodité des manœuvres de l'opératrice, de façon à augmenter son rendement. Les clés d'appel et d'écoute dont elle se sert ont été rendues plus ou moins automatiques, de telle sorte que le temps pris pour servir chaque appel soit réduit au minimum.

Aujourd'hui, les cordons de l'opératrice d'une position urbaine sont devenus très compliqués, et toute une série d'électro-aimants, avec des câblages enchevêtrés, viennent jouer en temps utile sur chaque cordon pour permettre à la téléphoniste de ne pas s'immobiliser sur un appel qu'elle a commencé à servir. D'autres



FIG. 1. — Vue d'ensemble d'un bureau central téléphonique manuel, à Paris.

22 journaux, 70 banques, de nombreux agents de change, courtiers de commerce et commissionnaires en marchandises; une banque avait relié, non seulement son siège social, mais aussi toutes ses agences parisiennes. Le téléphone interurbain n'existait pas encore.

Les progrès accomplis par le téléphone, de 1880 à 1930. — C'est au début de 1880 que, dans les bureaux centraux téléphoniques, devenus déjà assez importants, on reconnut la nécessité de permettre à une seule opératrice, malgré le nombre élevé des abonnés, de terminer seule l'établissement d'une communication demandée. Scribner inventa le « multiplage » des jacks terminaux des lignes d'abonnés, c'est-à-dire la dérivation sur chaque ligne d'abonné, à intervalles réguliers, d'un nombre de jacks égal au nombre des opératrices du central téléphonique.

Ensuite, on se préoccupa de simplifier l'appareil téléphonique installé chez l'abonné. La présence d'une pile à son domicile, pour fournir du courant électrique à son microphone, causait des dépenses élevées d'entretien. Il y avait également sur chaque appareil une magnéto dont l'abonné devait tourner la manivelle pour appeler son bureau central. Grâce à l'installation de grosses batteries d'accumulateurs au central téléphonique, le courant alimentaire du microphone des abonnés leur parvint par la ligne téléphonique elle-même, dès qu'ils décrochaient leur appareil; le signal d'appel, désormais constitué par une petite lampe, s'allumait en même temps au central téléphonique. Les bureaux

électros, montés également sur chaque cordon, comptent les conversations de chaque abonné, en discernant si la conversation a été efficace ou non. Chaque cordon est enfin muni d'électros et de lampes de signalisation spéciales pour que l'opératrice soit avertie du raccrochage de l'appareil chez chaque abonné en conversation.

Dans une grande ville comme Paris, nous sommes arrivés à faire assurer par des téléphonistes l'écoulement de 160 demandes de communication à l'heure. C'est un chiffre tout à fait remarquable, surtout si l'on songe qu'à Paris, il y a une quarantaine de séries téléphoniques différentes, et que presque toujours une demande de communication émanée d'une série est à destination d'une autre.

La téléphonie automatique. — En 1881, à l'Exposition d'électricité de Paris, un inventeur nommé Connolly exposait une installation téléphonique pour huit abonnés, avec sélection automatique par des frotteurs « pas à pas », selon le principe de l'appareil télégraphique de Froment (1845). Cependant, le véritable point de départ de la téléphonie automatique est plutôt le brevet pris par Strowger, le 10 mars 1891, pour réaliser la sélection dans un champ à deux dimensions, avec un organe frotteur animé successivement d'un mouvement vertical pour choisir la centaine, d'un mouvement horizontal express pour choisir la dizaine, et d'un mouvement horizontal omnibus pour choisir l'unité.

L'idée de Strowger fut perfectionnée pour arriver à faire la commande à distance du mécanisme par une ligne à deux fils seulement, au lieu de cinq. Il fallut vingt ans de recherches pour arriver à ce résultat, et c'est seulement vers 1912 que l'on entrevit des possibilités de grand avenir pour ces nouveaux systèmes.

Les premiers bureaux automatiques furent cependant installés dès les premières années du xx^e siècle et, en 1910, on en comptait 130 aux Etats-Unis ; mais la commande du mécanisme s'effectuait par deux fils de ligne, avec mise à la terre de l'un d'entre eux pour l'envoi de signaux de manœuvre : cette mise à la terre était un point faible pour la sécurité de l'exploitation.

En France, le premier central automatique fut installé à Nice en 1912 ; celui d'Angers, dérivé non plus des brevets Strowger, mais des brevets Western Electric, fut mis en service en 1913.

La téléphonie automatique a pris subitement, après 1912, un essor prodigieux, et désormais il n'est pas téméraire de dire que la téléphonie manuelle est située, par rapport à elle, dans la même position que le cheval par rapport à l'automobile.

On ne peut aborder ici la description technique des méca-

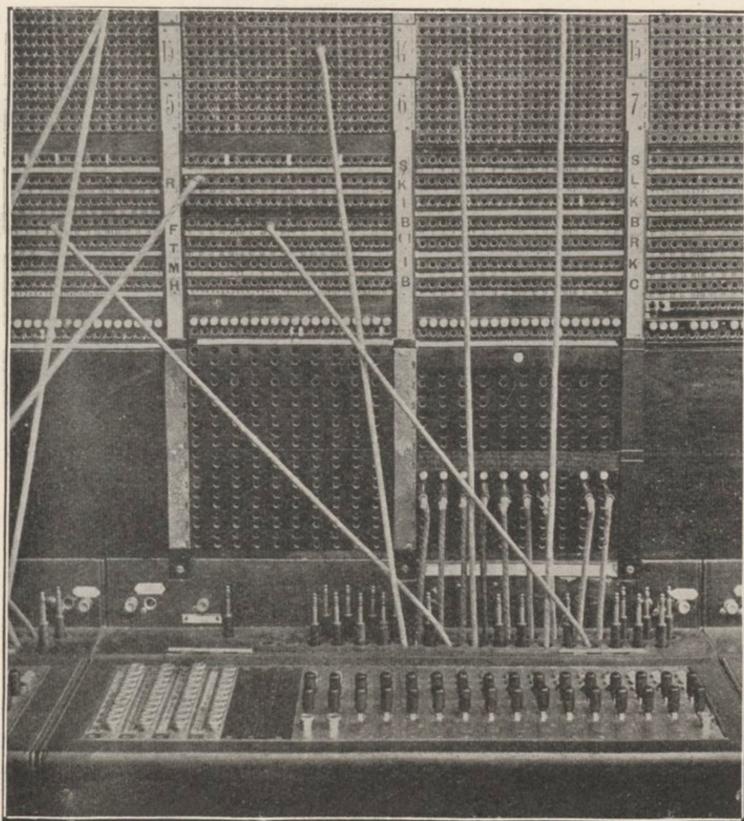


FIG. 2. — Vue d'un poste d'opératrice de bureau central manuel.

nismes commandés à distance par le petit cadran sur lequel un abonné au téléphone compose les chiffres du numéro qu'il veut appeler. Le *Génie Civil* a d'ailleurs consacré à cette question, dans ses numéros des 28 mai 1927, 18 février et 13 octobre 1928, des articles auxquels on pourra utilement se reporter. Ce qui fait surtout la complication de ce mécanisme, ce n'est pas tant la recherche méthodique de l'abonné, faite suivant des procédés très simples, grâce à la subdivision méthodique en centaines, dizaines et unités, mais c'est le fait que le bureau central doit se prêter à un très grand nombre de recherches simultanées, dont chacune doit avoir lieu sans gêner les autres. De plus, il faut, non seulement assurer la recherche d'un abonné demandé, mais s'assurer, aux différentes phases de cette opération, qu'il est libre ou bien engagé dans une conversation, lui envoyer le courant d'appel pour actionner sa sonnerie, saisir l'instant où il raccroche son récepteur pour donner le signal de déconnexion au mécanisme, et, enfin, faire marquer une unité de conversation au compteur de l'abonné demandeur (ou même plusieurs unités, selon la nature de la conversation qu'il a obtenue). La simple énumération de ces opérations, toutes indispensables, montre que les circuits sont extraordinairement compliqués, que le nombre des électro-aimants est considérable (de l'ordre de 100 000 pour un bureau de 10 000 abonnés), et que la mise au point de ces mécanismes merveilleux a été forcément très laborieuse.

Pour adapter la téléphonie automatique au service des grandes agglomérations urbaines, il y avait encore une autre difficulté à

vaincre, car il était chimérique de songer à remplacer du jour au lendemain, par un coup de baguette magique, le téléphone manuel par l'automatique. Il fallait prévoir une période de plusieurs années pendant lesquelles le manuel et l'automatique devraient coexister sans que la qualité du service téléphonique fût amoindrie. Ce problème extrêmement difficile a été résolu par divers artifices. Aujourd'hui, les grandes capitales du monde, New-York, Londres, Berlin, Paris, sont en pleine période d'installation du téléphone automatique. A New-York, le jour approche où cette œuvre gigantesque sera effectivement achevée. Paris a décidé la transformation dès 1924, et en septembre 1928, le premier central automatique (Carnot, équipé en système Rotary) fut mis en service. Au moment où paraît cet article, sept des séries téléphoniques parisiennes : Carnot, Diderot, Etoile, Galvani, Gobelins, Vaugirard et Wagram, sont déjà complètement automatiques, soit plus de 40 000 abonnés sur les 200 000 du réseau téléphonique de Paris.

La téléphonie automatique fait également de rapides progrès dans les petites localités rurales où, fonctionnant sans arrêt jour et nuit, dimanches et fêtes, elle constitue un immense progrès sur la téléphonie manuelle, qui ne fonctionne que quelques heures par jour. Cependant, le problème du service automatique rural est essentiellement différent de celui du service urbain, puisque,

dans les localités rurales, presque toutes les communications sont interurbaines, catégorie qui ne peut, du moins à l'heure actuelle, être convenablement traitée par les principes de l'automatique intégral. Il semble que des systèmes spéciaux combinant à la fois les avantages de l'automatique pour atteindre les abonnés quand ils sont demandés, et la souplesse du manuel pour les faire aiguiller vers l'interurbain par une



FIG. 3. — Cadran d'appel pour appareil d'abonné dans le réseau automatique de Paris.

opératrice et pour imputer la taxe correspondante, doivent être réalisés. L'Administration française a installé en 1929 deux centres d'essai de cette nature, l'un à Mantes-Bonnières, l'autre dans les environs d'Orléans ; deux autres groupements ont été mis en service en 1930, à Coulommiers et à Melun.

La tendance à commander, même de très loin, des centraux automatiques pour y chercher les abonnés demandés par l'interurbain, est à l'ordre du jour pour l'exploitation des grands circuits interurbains. Des appareils nouveaux transforment en signaux à fréquences harmoniques les impulsions de manœuvre à courant continu, et les résultats permettent d'escompter que, dans un avenir prochain, la téléphonie interurbaine aura encore fait de grands progrès.

La téléphonie interurbaine. — A partir de 1880, l'amélioration de la puissance des appareils d'abonnés, grâce à la meilleure qualité des microphones, permit de réaliser la téléphonie interurbaine sur des lignes aériennes en fil nu atteignant plusieurs centaines de kilomètres. Au début de ce siècle, on téléphonait jusqu'à 1 500 km, mais la ligne aérienne en fil nu ne permettait pas d'aller au delà, d'abord parce que l'on arrivait à la limite des possibilités d'une audition ayant une valeur commerciale, ensuite parce que la ligne aérienne en fil nu est de qualité fort instable lorsque les conditions atmosphériques sont variables. Quant aux câbles, ils se révélaient comme absolument impropres à la téléphonie interurbaine au delà de 100 km, et, de plus, l'affaiblissement de la propagation électrique se faisant sentir surtout sur les fréquences aiguës de la voie humaine, la voix y prenait un son caverneux, inacceptable pour les relations téléphoniques.

Vers 1910, il semblait donc que l'essor de la téléphonie interurbaine fût limité par des conditions physiques insurmontables. Cependant, les savants se préoccupèrent, dès que la merveilleuse invention de la lampe triode permit d'amplifier à volonté les courants alternatifs, d'adapter cette lampe au fonctionnement d'amplificateurs téléphoniques pouvant fonctionner indifféremment dans les deux sens. Le problème était pratiquement résolu vers 1916 et, dès la fin de la grande guerre, la téléphonie interurbaine prit un nouvel essor.

Contrairement à ce que le public aurait pu supposer, les amplificateurs téléphoniques furent placés, non sur des lignes aériennes en fil nu, mais sur des câbles souterrains. Les difficultés de la propagation électrique sur les câbles souterrains rendaient nécessaire un espacement beaucoup moindre des stations d'amplificateurs (tous les 150 km environ), mais la stabilité des constantes de propagation sur les câbles souterrains permettait de réaliser, en matière de téléphonie interurbaine, un dosage systématique de la puissance électrique en jeu en chaque point du parcours. Un « Comité consultatif international des communications téléphoniques » fut créé vers 1920, pour définir tout ce qui concerne la constitution des câbles téléphoniques souterrains, les graphiques de niveaux électriques sur une transmission donnée, les essais (très nombreux et délicats) pour vérifier la qualité des lignes interurbaines, et enfin les règles d'exploitation.

Parmi les détails d'installation techniques, il fallait combattre les tendances des câbles souterrains à rendre la voie désagréablement caverneuse. Le procédé de la « pupinisation », déjà signalé plus haut, a satisfait ce desideratum. La pupinisation consiste à mettre en série, environ tous les 4 km, sur chaque fil souterrain, une bobine de self-induction additionnelle dont l'appoint donne rigoureusement aux circuits téléphoniques considérés un affaiblissement à la propagation électrique qui soit le même pour toutes les fréquences utiles en téléphonie (400 à 2 000 p/s). Cependant, en appliquant cette règle théorique, on obtiendrait des fréquences de coupure qui se placeraient mal dans la gamme des fréquences utiles et, tant pour obvier à cet inconvénient que pour diminuer le prix de revient des câbles téléphoniques souterrains, les quantités de self additionnelles sont un peu inférieures à ce que donnerait l'application de la règle théorique.

Pour téléphoner à de très grandes distances, on a également eu à vaincre les phénomènes d'échos électriques, et les phénomènes d'empiètement des sons les uns sur les autres. Tout le travail scientifique qui a été accompli dans cette branche de la technique moderne est un des plus beaux qui puissent être cités dans l'histoire des sciences appliquées.

A l'heure actuelle, les communications téléphoniques internationales ne sont plus limitées par aucune condition de distance, sinon par les dépenses énormes que représente l'établissement des câbles souterrains. La qualité des conversations télépho-

niques, sur des distances qui dépassent parfois 10 000 km, est souvent supérieure à celle d'une conversation urbaine à Paris. Il n'y a rien qui doive étonner dans cette remarque que, malheureusement, des gens non avertis prennent parfois pour un critérium de la mauvaise qualité du service téléphonique à Paris. Nous avons dit, en effet, que le jeu des amplificateurs téléphoniques échelonnés sur les grandes artères internationales permet de remonter successivement, en des points définis du parcours, le niveau électrique de la transmission à une valeur rigoureusement égale à celle qu'il avait au départ. Le prix extrêmement élevé de l'appareillage qui permet ce résultat limite pour le moment son usage à la téléphonie interurbaine, dans laquelle l'unité de conversation est payée très cher; il est évidemment inapplicable à la téléphonie urbaine, qui vise d'abord à livrer l'unité de conversation au meilleur marché possible. Cependant, même en matière de téléphonie urbaine, l'étude des niveaux de transmission n'est pas perdue de vue, et si les dimensions des agglomérations urbaines de quelques grandes villes posent des problèmes très difficiles à cet égard, l'effort des techniciens pour les résoudre se poursuit avec énergie.

Statistique du téléphone. — Au 1^{er} janvier 1929, on estimait que le nombre d'appareils téléphoniques installés dans le monde entier était d'environ 33 millions. Sur ce total, l'Amérique du Nord entrait pour 20 millions, l'Europe pour 9 millions, l'Asie pour 1 million, l'Océanie pour 700 000, l'Amérique du Sud pour 500 000, et l'Afrique pour 200 000.

En Europe, la France arrive au troisième rang avec 975 000 appareils téléphoniques, dépassée seulement par la Grande-Bretagne avec 1 750 000, et l'Allemagne avec 2 900 000.

Parmi les grandes villes ayant le plus d'abonnés au téléphone, il faut d'abord citer New-York qui compte 1 700 000 abonnés, ensuite Chicago avec 942 000 abonnés, Londres avec 626 000, Berlin avec 472 000, Paris avec 350 000. On compte une centaine de villes ayant chacune plus de 100 000 abonnés.

Le nombre annuel de conversations téléphoniques se chiffre par milliards : aux Etats-Unis, il faut compter environ 27 milliards de communications, au Japon presque 3 milliards, en Allemagne et au Canada 2,5 milliards, en Grande-Bretagne 1,4 milliard, en France 750 millions.

Il est particulièrement intéressant de noter ici quelques chiffres sur le développement du réseau téléphonique de Paris. Au 1^{er} janvier 1929, le nombre des abonnés était quadruple de ce qu'il était au 1^{er} janvier 1909, et double de ce qu'il était au 1^{er} janvier 1919. Le trafic urbain de Paris se chiffre par 1 200 000 conversations quotidiennes, et le trafic interurbain atteint jusqu'à 130 000 unités de conversation par jour.

E. REYNAUD-BONIN,

Directeur des Services téléphoniques de Paris,
Professeur à l'École supérieure des P. T. T.

NAISSANCE ET DÉVELOPPEMENTS DE LA RADIOÉLECTRICITÉ

Ce n'est pas sans appréhension que, sur les aimables instances de la Direction du *Génie Civil*, j'ai accepté la tâche ingrate de résumer à vol d'oiseau l'histoire si touffue de la télégraphie sans fil et de ses applications.

La période « préélectronique » de la T. S. F. contient tout un cimetière d'inventions mortes; mais au lieu des rares vestiges de la préhistoire humaine espacés sur des millénaires, elle présente une surabondance de faits nouveaux et de révolutions rapides : force est donc d'en retenir seulement les grandes lignes et d'omettre bien des recherches de valeur.

LES PRÉCURSEURS.

Tous les lecteurs savent comment Hertz parvint, en 1888, à réaliser un champ d'ondes électromagnétiques de Maxwell pola-

risées, au moyen de courants oscillants de très haute fréquence produits dans un circuit « excitateur » par décharges entre deux boules, chargées périodiquement par une bobine de Ruhmkorff et reliées par deux tiges horizontales. Dans des circuits récepteurs, ouverts ou fermés, il détectait des forces électromotrices induites par les lignes de force magnétiques, au moyen d'un micromètre à étincelles.

Hertz étudia ainsi à l'aide d'un « résonateur » la répartition des ondes stationnaires, soit dans un espace libre, soit le long de deux fils parallèles reliés aux bornes de l'excitateur.

Blondlot reprenant, en 1892, cette dernière expérience, réalisa l'excitation indirecte des fils et montra, avec Dufour, qu'on peut déplacer dans l'un des fils les nœuds et les ventres de tension en y introduisant une « boucle » supplémentaire.

Il n'eut malheureusement pas l'idée de régler ses fils au quart d'onde (1).

Les débuts de la T. S. F. résultèrent d'essais indirects.

Calzecchi-Onesti (*Nuovo Cimento*, 1884) avait montré que des limailles métalliques de divers métaux oxydables enfermées dans un tube entre deux électrodes deviennent brusquement conductrices sous l'effet d'une force électromotrice induite par la rupture d'un courant. Ayant repris la même étude de son côté, Branly (1890) constata, en plus, que la conductibilité est aussi provoquée brusquement par une étincelle jaillissant à quelques mètres de distance et, pour ce motif, il appela « radioconducteur » le tube à limaille, que Lodge, reprenant les essais de Branly en 1894, qualifia ensuite de cohéreur.

A cette époque, en Italie, Righi étudiait des ondes ultra-courtes en réduisant l'oscillateur et le résonateur de Hertz à deux sphères de 0^m10 et moins, placées dans des réflecteurs paraboliques. Un de ses étudiants, Guglielmo Marconi, qui avait répété l'expérience de Branly, remplaça le micromètre à étincelles du récepteur de Hertz par un tube à limailles de nickel entre électrodes d'argent et ajouta un relais inscripteur Morse (fig. 1); ayant obtenu des réceptions à 100 ou 200 mètres, il déposa un brevet anglais pour cette expérience hertzienne (9 juin 1896), et alla à Londres la présenter à Sir W. Preece, directeur du Post Office.

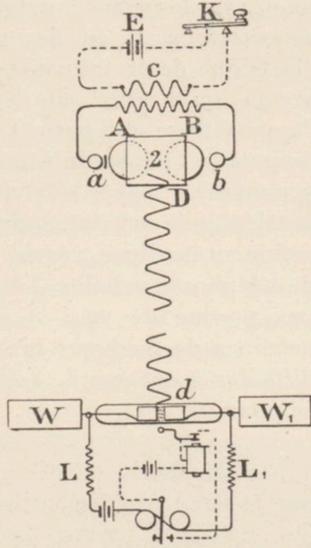


FIG. 1. — Première méthode de Marconi (1897) (d'après Preece).

A B, boule de l'oscillateur de Righi, excitée par la bobine C; — d, cohéreur avec ses capacités W, et ses bobines de choc L.

LA RADIOTÉLÉGRAPHIE PAR ÉTINCELLES.

Les antennes. — A la suite d'autres expériences, décrites à la fin de la spécification définitive de son brevet (2 mars 1897), Marconi reconnut par hasard l'opportunité de brancher l'oscillateur et le cohéreur entre la terre et une capacité isolée, la plus grande possible (plaques, cylindres, etc.) et suspendue au sommet d'un mât le plus haut possible, ou même formée de la surface métallisée d'un ballon ou d'un cerf-volant. Il supposait que des ondes très courtes (de 1^m20) se propageaient de l'éclateur dans les fils dits « antennes » comme dans les fils de Hertz. Avec ce matériel, il obtint des portées de 2500 mètres à Boulogne, et de 16 km entre l'arsenal de la Spezzia et le cuirassé *San Martino* (juillet 1897). La télégraphie sans fil était créée et donna lieu à de nombreux essais en tous pays. En France, on peut citer en 1898, ceux de Ducretet, du capitaine (actuellement général) Ferrié, pour la télégraphie militaire, de Tissot, pour la marine, de Voisenat, pour les P. T. T., et de l'auteur pour le Service des Phares.

A cette époque d'incertitude, l'auteur du présent article donna la première théorie de la transmission (2) en assimilant le système

(1) Nombreux sont les savants qui ont aussi passé à côté de l'invention de la T. S. F., par exemple : Henry (1842), qui aimantait des aiguilles à distance par une étincelle; Hugues, inventeur des microphones, qui avait détecté (1878) à plus de 20 mètres de distance par un contact microphonique les décharges d'une bouteille de Leyde; Crookes, qui rapportait ces expériences en 1892, en indiquant très clairement que les expériences de Hertz pouvaient donner lieu à une exploitation télégraphique; Tesla (1892) qui, parti d'une théorie fautive de la propagation, avait cependant songé à deux antennes syntonisées mais sans trouver de détecteur d'ondes; Lodge, qui, en 1889 et 1894, fit des essais de cohéreurs, Turpain, qui, en 1897, reçut des signaux Morse par un résonateur de Hertz à coupure; S. P. Thompson (1898), Righi (1895) et surtout Popoff (1895) qui déclarait n'avoir besoin que d'un puissant excitateur, ont à leur actif quelques performances analogues, avec ou sans emploi des réflecteurs de Hertz. Aucun ne sut réaliser à la fois un détecteur assez sensible (les cohéreurs avant Marconi étaient médiocres) et le système de deux antennes.

D'ailleurs, tous seraient antériorisés à bon droit, comme l'a montré en 1925 M. Guichant, par le physicien français Biot qui, en 1816, a exécuté et décrit une expérience constituant une véritable image de la transmission et de la réception radiotélégraphique: il produisait des décharges dans un fil vertical tombant à terre et détectait par un muscle de grenouille, bien placé, les courants induits dans un autre fil vertical mis à terre et espacé de 12 mètres. Le docteur Lefeuve put, par ce procédé, en 1912, recevoir à Rennes les signaux de la Tour Eiffel.

(2) Cf. GUICHANT, *Les grandes étapes de la Radio*, Paris, Dunod, 1925, p. 60.

émetteur antenne-terre à un oscillateur de Hertz vertical de hauteur double, sans terre, et (ce qui est légitimé par le principe du potentiel retardé de Lorentz) induisant dans l'antenne réceptrice une force électromotrice calculable par la formule de Neumann, c'est-à-dire :

$$e = \frac{2HH'}{r} \frac{di_m}{dt} \quad [1]$$

en appelant H et H' les hauteurs d'antenne, r leur distance, et i_m le courant moyen dans l'antenne émettrice; e est donc proportionnel à la fréquence et à l'inverse de la distance, les ondes étant guidées par la surface de la terre; Zenneck a montré ensuite (1907) que, si la terre est mauvaise conductrice, les lignes de force électrique se penchent en avant, avec pertes d'énergie. Austin et Cohen (qui ont fait le calcul d'après Hertz)

ont tenu compte des pertes par un terme exponentiel $\varepsilon^{-\frac{\alpha}{r\sqrt{\lambda}}}$.

On expérimenta bientôt divers types d'antennes: Lodge

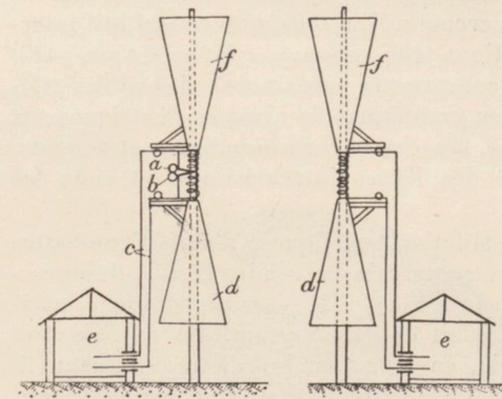


FIG. 2. — Schéma du procédé de réception de Lodge (1897).

Les « aériens » sont formés chacun de deux grands cônes d et f, reliés par des selfs-inducteurs.

l'antenne à double cône (1897) (fig. 2) puis à *contrepois*; Marconi l'antenne en L renversée, avec fil (ou nappe) horizontal, puis en T; Braun, des antennes en lyre, en harpe, puis en éventail avec des résultats inférieurs. La Société Telefunken a donné à la nappe la forme d'un parapluie.

L'expérience démontra plus tard la nécessité pour les grands postes de prises de terre multiples reliées par des impédances.

La syntonie. — Le tube à limaille était comme le micromètre à étincelles un indicateur de tension, placé incorrectement par Marconi au milieu du circuit récepteur — où il ne pouvait être excité avant cohérence que par l'harmonique 2; Lodge (1897), le place en dérivation aux bornes d'une bobine en série avec l'antenne ou excitée par induction. Il réalise la *syntonie* entre les antennes, déjà prévue clairement par Tesla (1890).

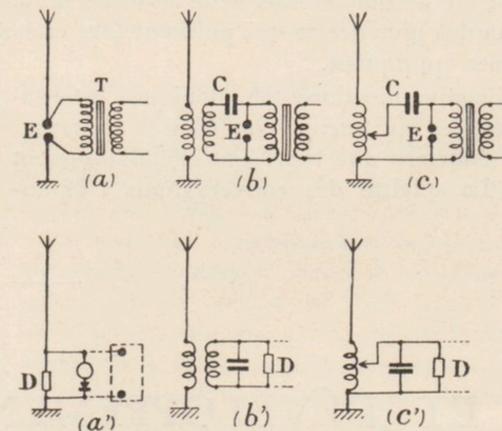


FIG. 3. — Montages classiques de la période préélectronique.

a, b, c, émissions par excitation directe, indirecte, en Tesla ou en Oudin; — a', b', c', réceptions par détecteur D, excité directement ou par Tesla ou par Oudin.

Vers la même époque, en Allemagne, Slaby montra expérimentalement que l'antenne de réception oscille en quart d'onde (ou en nombre impair de quarts d'onde) avec un nœud de tension à sa base; il plaça le cohéreur à l'extrémité d'un fil horizontal quart d'onde, partant de ce nœud; il reçut ainsi des harmoniques.

Janet (1900), puis Dönitz (1903) construisirent les ondes-mètres à condensateur variable.

Pour augmenter la tension et diminuer l'amortissement de l'antenne d'émission, F. Braun (1899) breveta l'application de l'excitation forcée par induction (1) de Blondlot.

En France, à cette époque, Ducretet et Popoff appliquaient l'excitation par induction avec le matériel créé par Arsonval et par Oudin. Ainsi ces montages et les montages analogues de Marconi (1900) devinrent classiques; ils assurèrent, grâce au couplage lâche, une certaine protection contre les brouillages (fig. 3 b et c, b' et c').

(1) Méthode inverse de l'excitation « par choc » étudiée par Sarrazin et de la Rive, par H. Poincaré, et par son élève Victor Bjerkness.

S'inspirant des études de Rutherford sur l'étincelle, Tissot fit à Brest les premières mesures quantitatives sur antennes et traça, d'après la méthode de V. Bjerkness, des courbes d'amortissement; il en déduisit la notion de « résistance apparente d'émission » de l'antenne (1904). Duddell et Taylor (1905), puis Marchant et Fuller mesurèrent ensuite les pertes à la prise de terre.

A ce moment, de puissances sociétés de T. S. F. se fondent: en Angleterre la Société Marconi, en Allemagne l'A. E. G. (procédé Slaby) et Siemens et Halske (procédé Braun) fusionnées en 1903 dans la Gesellschaft für Drahtlose telegraphie (Telefunken); en Amérique la Société Fessenden, en France la Compagnie Générale Radiotélégraphique.

En 1901, Marconi établit une transmission à travers l'Atlantique au moyen de la puissante station émettrice de Poldhu, avec une antenne en pyramide renversée de Braun, puis il réalisa le trafic en sens inverse (janvier 1903).

Les détecteurs d'onde. — Le tube à limaille, sensible à tous les parasites atmosphériques, fut bientôt remplacé par le détecteur magnétique de Rutherford, qui fonctionne bien en un ventre de courant et permet l'écoute au son.

Le téléphone précédemment essayé aussi par Birkeland (1874) Turpain (1897) et d'autres, ne devint pratique qu'avec le redresseur électrolytique de Ferrié (1900) perfectionné par Schlœmilch, les redresseurs à carborundum de Dunwoody (1906) ou à cristal et pointe de Pickard (1909) (zincite, chalcopirite), etc. F. Braun (1907) étudia parmi un grand nombre de cristaux, la galène, encore employée, et la pyrite de cuivre. On doit citer encore le « bolomètre » détecteur thermique de Fessenden (1900), le couple thermoélectrique de Clémencic et le galvanomètre à couple thermoélectrique de Boys-Duddell (1909), etc. Tissot, en France, Eccles, en Angleterre, ont comparé les différents systèmes détecteurs d'une façon approfondie.

L'excitation par choc et les étincelles soufflées. — Pour accroître la puissance dans l'antenne, on étudia des couplages plus serrés; mais, en 1895, Von Geitler puis Overbeck avaient démontré qu'il existe alors, au primaire comme au secondaire, deux oscillations, ayant des amortissements différents.

En 1906, Max Wien établit qu'en réalité une oscillation passe alternativement du circuit inducteur au circuit induit, et peut être retenue dans l'antenne si on étouffe l'étincelle de l'éclateur du circuit primaire après le transfert de l'énergie. L'augmentation des portées obtenue par ce procédé l'imposa aussitôt; l'étouffement de l'étincelle fut obtenu soit par des électrodes en métaux « antiarcs », soit par refroidissement de l'éclateur en multipliant les intervalles (disques multiples de Telefunken), ou par circulation d'eau (Von Lepel), ou par rotation de l'éclateur (Marconi) comme Tesla en 1896, ou par soufflage magnétique des étincelles (comme Elihu Thomson en 1892), ou dans l'éclateur Ferrié, par étincelles soufflées entre tube et plateau.

Les générateurs d'énergie. — La bobine de Ruhmkorff fut munie au primaire d'un interrupteur à mercure à pointe oscillante dans le mercure (Ducretet, Villard, etc.) ou à jet (Lœvy). En 1901 des essais furent exécutés en commun par les Services des Phares et de la Télégraphie militaire (Blondel et Ferrié) entre plusieurs phares (portées 250 km) au moyen de transformateurs alimentés par les alternateurs des phares à grande inductance interne; l'étincelle était rendue efficace par une capacité convenablement réglée. Ce réglage de la capacité en dérivation sur l'éclateur fut discuté par Seibt (1906), puis élucidé plus complètement par l'auteur (1907) et par Bethenod (1907), qui montrèrent que les alternances utilisées doivent être espacées par la charge en surtension.

En 1901, l'auteur breveta (1) l'emploi d'alternateurs à fréquence musicale (par exemple du type Ewing); Balsillie, Bethenod (1910) réalisèrent d'autres alternateurs au moyen de bobinages incomplets; ce dernier type fut employé par la Société Française Radio-électrique et la Compagnie Générale de Radiotélégraphie fondées en 1910, qui déployèrent une féconde activité.

L'ÈRE DES GRANDES ONDES ENTRETENUES.

Contrairement aux indications de la formule (1), les ondes longues donnaient des portées plus grandes que les ondes courtes très vite absorbées à la surface du sol par les oscillations de réso-

nance qu'elles provoquaient dans les arbres, dont ne tient pas compte l'exposant d'Austin.

C'est pourquoi, à partir de 1905, l'effort des spécialistes se porta sur la réalisation d'ondes continues, et les moyens qu'ils imaginèrent (étincelles continues, arcs, alternateurs) ne permettaient pas de réaliser des fréquences très élevées.

1° *Courant continu fractionné.* — Pour obtenir des oscillations continues, on essaya d'abord sans rien changer aux circuits oscillants d'émission, d'alimenter l'éclateur par courant continu suivant la méthode imaginée en 1892 par Elihu Thomson en soufflant l'étincelle par un puissant électro-aimant et un jet d'air comprimé (Bouthillon, 1906), ou en plongeant l'éclateur dans le pétrole (1) (Blondel, 1907). De son côté, Marconi avait fractionné la décharge d'un courant continu à haute tension entre deux disques tournants séparés par un disque isolé tournant à grande vitesse. Les résultats de ces dispositifs furent médiocres.

2° *Arc oscillant.* — Duddell, inventeur de l'arc musical à régime sinusoïdal entre charbons (1900) shuntés par un circuit oscillant (capacité et bobine d'induction), essaya d'exciter une antenne par ce procédé, et ne put obtenir des fréquences de T. S. F. Mais l'auteur montra plus tard (1905) que l'arc oscillant peut présenter, dans certaines conditions, deux ou trois autres régimes non sinusoïdaux, discontinus, ayant des caractères tout différents de l'arc musical. Poulsen (1902) utilisa un de ces régimes, l'arc fractionné, dans une atmosphère réductrice (hydrogène, ou gaz)

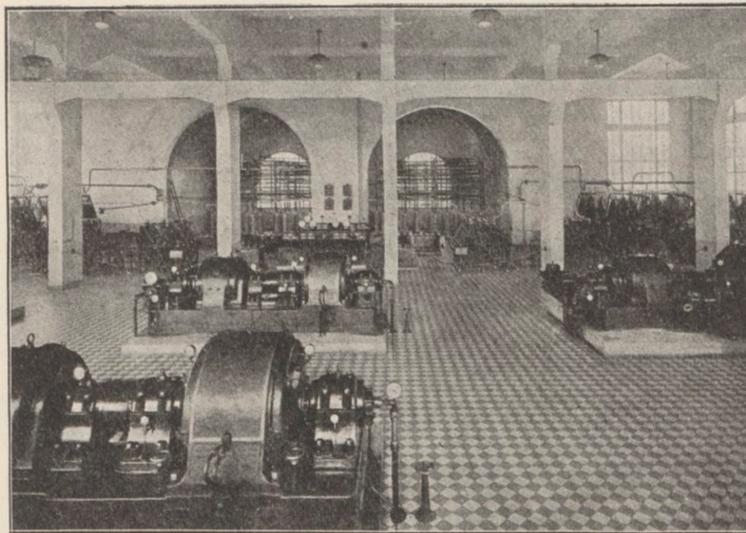


FIG. 4. — Vue du poste à alternateurs de grande puissance à Saint-Assise, pour le service transatlantique.

entre électro-aimants souffleurs de Thomson. Il réussit à entretenir les oscillations dans une antenne, qui rayonne aussi de forts harmoniques; pour les réduire il a fallu ensuite recourir à l'excitation indirecte. La basse tension, la simplicité et le faible prix d'établissement de ce système favorisèrent l'installation pendant la guerre d'assez nombreuses stations allant jusqu'à 100 kW, notamment à San Francisco, Honolulu, Arlington (E.-U.), Lyon, Bordeaux, la Tour Eiffel, etc.

3° *Alternateurs de haute fréquence.* — Imitant l'exemple de Tesla (1891), après que Fessenden eut atteint 50 000 à 100 000 p/s avec une puissance de 1 kW, Alexanderson (1918) construisit finalement un alternateur homopolaire industriel à disque de fer denté, de fréquence 23 100 ($\lambda = 13 600$), fournissant à la station de New-Brunswick 80 kW et 400 ampères antenne. Puis on chercha à multiplier les fréquences cinétiquement. En appliquant le principe de multiplication réflexe de Paul Boucherot (1893), Goldschmidt construisit d'abord (1910) un alternateur « en cascade » produisant le quadruplage de la fréquence et excitant directement l'antenne. Plusieurs grandes stations utilisèrent ces machines jusqu'à 150 kW; elles nécessitent des pôles en acier spécial extra-mince, perfectionné plus tard par les ateliers d'Imphy et Latour.

La multiplication cinétique fut cherchée dans d'autres combinaisons, de Franklin (1913) et de J. Bethenod (1914).

Concurremment Epstein imagina la multiplication statique de fréquence par harmoniques du flux dans un transformateur en

(1) Le dispositif de l'auteur, analogue à la décharge fractionnée de Gaugain (1850), fut utilisé à la Tour Eiffel par la T. M. pour des essais de transmission téléphonique à Verdun, avec modulation par microphone (1907).

(1) Pli cacheté à l'Académie des Sciences, et brevet américain, 1901.

acier spécial, rapidement saturé, et par résonance du circuit secondaire. En couplant en opposition deux de ces transformateurs, Maurice Joly (1911) a réalisé un tripleur de fréquence ; en introduisant au contraire l'harmonique par 2 une excitation en continu, il a construit un doubleur.

Ces multiplicateurs utilisés avant la guerre en Allemagne, notamment à Nauen (1912), ont été abandonnés en France en faveur des alternateurs à multiplication interne de fréquence par dentures spéciales (trois dents au rotor pour deux au stator). Ces alternateurs résultant des inventions successives de Latour, Bethenod, Belfils, exécutés par la Société Alsacienne de Constructions mécaniques et atteignant jusqu'à 250 et 500 kW avec des fréquences de 15 000 à 20 000 ($\lambda = 20\ 000$ à 15 000 mètres) et des régulateurs de vitesse Thury, furent installés par la Société Française Radio-électrique à Lyon (1919) à Sainte-Assise (fig. 4), Croix-d'Hins, etc.

Plus récemment s'inspirant des expériences de Martiensen (1910), Alexanderson (1913), Schmidt (1924) et Dornig (1924) ont réalisé des multiplicateurs de fréquence permettant d'atteindre, au moyen d'alternateurs de fréquences de 5 000 à 10 000 p/s, des longueurs d'ondes de 300 à 15 000 mètres.

Réception. — Pour la réception au son des ondes entretenues Tesla (1901) ajoutait dans le circuit de réception un interrupteur, Pedersen (1906) et Austin un vibreur (dit « tikker »).

Fessenden (1902) créa la réception amplifiée par l'interférence d'une source indépendante (méthode hétérodyne). On la réalise maintenant par lampes triodes.

Modulation. — Sur les ondes entretenues on a essayé la téléphonie en modulant le courant des décharges de l'arc ou de l'alternateur par de multiples microphones, refroidis pour supporter de fortes intensités, mis en série ou en dérivation sur le circuit de l'antenne ou sur une bobine du circuit oscillant. Colin et Jeance (1908-1914) obtinrent ainsi en épurant l'onde par deux accouplements successifs d'assez bons résultats, remarquables pour l'époque (200 km). L'auteur proposa (1902) un microphone à flamme conductrice

(voir plus haut), Majorana (1906), Vanni (1912) utilisèrent des microphones à jet d'eau avec d'intéressants résultats (500 et 5 000 km); Alexanderson faisait varier la saturation du noyau de fer d'une inductance en série dans l'antenne pour moduler les antennes excitées par alternateurs.

Certains de ces dispositifs font varier l'amplitude des oscillations, d'autres font varier la fréquence seule ou la fréquence et l'amplitude ; ils sont aujourd'hui abandonnés. Cependant, par ces moyens, Ruhmer a obtenu des transmissions téléphoniques multiples, par arc de Poulsen (1905).

LA NOUVELLE T. S. F. PAR LAMPES ÉLECTRONIQUES.

Vers 1912, une grande révolution se produisit brusquement dans la télégraphie sans fil, à la suite d'une invention, qui a rendu possibles la modulation, la réception, l'amplification, la production d'ondes entretenues de toute longueur. Elle fut l'aboutissement d'une expérience d'Edison (1883), qui utilisait, pour actionner un relais, l'émission d'électrons négatifs émis (comme l'expliqua plus tard J. J. Thomson) par un filament de charbon incandescent dans une ampoule isolée.

Réception. — En 1904, Fleming construisit d'après cela une valve détectrice peu sensible dans laquelle la force électromotrice induite par un transformateur ou Tesla d'antenne fait passer un courant entre un tube isolé et le filament chaque fois qu'il devient positif. Lee de Forest, dans son célèbre « audion », ajouta trois éléments nouveaux : un filament de tungstène dans du gaz inerte de faible pression (tube « mou »), une batterie de plaques B et

une électrode supplémentaire *a*, ou « grille » (1907) (fig. 5); Langmuir (1910) réalisa un vide parfait (tube « dur »), et ajouta la résistance de fuite de grille.

L'emploi des triodes resté peu connu fut réétudié en Europe par Von Lieben (1911), qui ajouta la polarisation des grilles. Aussitôt après, de nombreux développements furent imaginés presque simultanément.

Schloemilch et Von Bronk (1913) combinent deux étages amplificateurs, en haute et en basse fréquences, puis le premier montage « reflexe » à cristal. C. S. Franklin (1913) imagine la réaction électromagnétique par la plaque sur le circuit d'entrée de la grille (1). Plus tard Weagant et Schnell ont alimenté la bobine de réaction en dérivation par condensateur. E. H. Armstrong (1913) indique la réaction électrostatique par la capacité interne de la lampe entre grille et plaque. Plus tard l'auteur (1919) utilise une réaction rhéostatique. Lee et Hogan (1912) appliquent la méthode de réception par battements avec détecteur. Round (1913) réalise des battements autodynes et combine ce dispositif avec la détection. Meissner (1913), dans un brevet célèbre, décrit à peu près tous les modes d'emploi actuels des triodes que Langmuir indique aussi peu après.

Puis on construit des postes récepteurs à plusieurs étages amplificateurs alimentés par batterie commune : L. Brillouin et Beauvais relient les étages successifs par des résistances ; Latour (1916), par des transformateurs de haute fréquence (amplificateurs à résonance) et de basse fréquence ; il les groupe en série dans un montage réflexe.

Ensuite Laüt (1917) puis Lucien Lévy (1917), en France, et Siemens (1918), Armstrong en Amérique (1918) développent la méthode de « changement de fréquence » ou de « radiomodulation », et les postes « super-hétérodyne », à battements et moyenne fréquence inaudible. Les oscillations locales sont produites soit par une lampe hétérodyne séparée, soit par la lampe amplificatrice de haute fréquence, montage « tropadyne », montage « ultradyne » de Lacault (1923), soit par une lampe à deux grilles, montage de Scott-Taggart (1919) et de De Mare (1924). Jouaust (1922) a réalisé la réception par modulation du courant de plaque.

A un point de vue tout opposé, on supprime les accrochages dans les postes à plusieurs étages au moyen des dispositifs de compensation dite « neutrodynation » par condensateur de Round (1913), par transformateur ou inductance de F. Hazeltine (1919), par pont de Wheatstone de Rice (1917) etc., et enfin par l'addition d'une « grille de protection » imaginée par Schottky (1916) et Hull (1920) entre la grille de commande et la plaque et complétée plus tard par une troisième grille combattant l'émission secondaire de la plaque.

Au dernier inventeur sont dues le « dynatron » (1918), la lampe génératrice autodyne, le pliotron amplificateur, le kénotron redresseur ; on emploie aussi pour les redressements la valve de Fleming à une ou deux plaques, avec vide parfait ou imparfait.

Après Bolitho (1919), Armstrong a utilisé d'autres procédés de réaction variés pour obtenir la « super-réaction » qui permet d'obtenir une très grande sensibilité. David (1926) a perfectionné cette méthode pour les ondes courtes et très courtes. Mesny et Dufour l'ont étudiée par l'oscillographe.

Des procédés de multiplication de fréquence par lampes ont été étudiés par Abraham (1917) et par l'auteur (1919). Früs (1926) de Bellescize (1927), Van Roberts (1930), etc., ont imaginé des dispositifs de réglage automatique de puissance de la réception ; Armstrong a fait connaître les courbes caractéristiques des triodes, et Vallauri en a représenté l'ensemble en fonction de la résistance intérieure ρ et du coefficient d'amplification de la grille k par l'équation devenue classique :

$$\rho I = U + kv + s.$$

Au début de la guerre, la télégraphie française dirigée par le colonel Ferrié créa, par les travaux de Abraham, Beauvais, Biguet, le type de lampe triode française à filament de tungstène adopté par toutes les armées alliées ; et Armagnat, Abraham, Gutton, Beauvais, Jouaust, Latour, Laüt, Lucien Lévy, etc., en étudièrent les applications qui furent très importantes.

Langmuir (1920) créa une lampe à vide parfait avec filament en alliage de tungstène et thorium chauffé au rouge sombre.

(1) La priorité a été attribuée postérieurement en Amérique à de Forest, sur la présentation d'un carnet qui, aux yeux de juges européens, n'aurait eu aucune valeur.

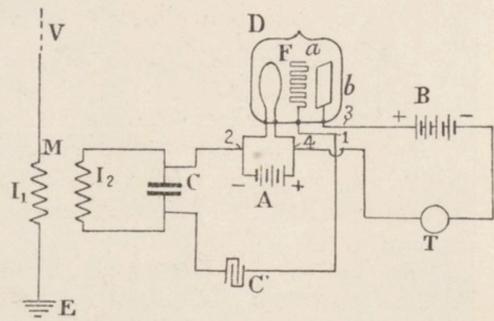


FIG. 5. — Schéma du premier dispositif de récepteur à lampes, Audion de de Forest, d'après son brevet original de 1907.

F, filament ; — a, grille ; — b, plaque ; — A B, batteries.

Puis, d'après les travaux de Wehnelt (1904) sur les oxydes alcalino-terreux, on a fait sur le filament des triodes de réception des dépôts de baryte ou de baryum. On a récemment réalisé le chauffage direct des triodes par courant alternatif au moyen de filaments de grosse section (Barthélemy 1919) puis le chauffage indirect d'une cathode tubulaire recouverte d'oxydes.

Émission. — Meissner (1914) a imaginé l'emploi de la lampe triode pour l'excitation de l'antenne d'émission, reliée à l'anode munie d'un circuit oscillant, ou excitée inductivement par ce

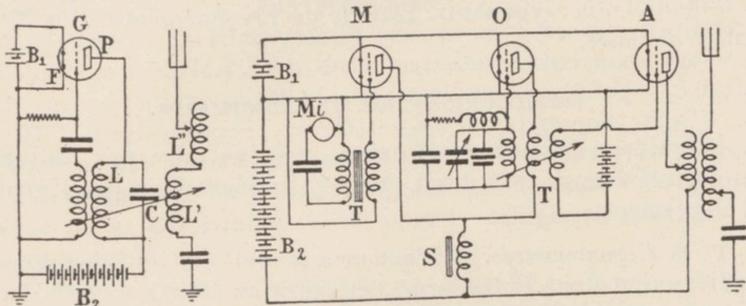


FIG. 6. — Principe de l'émission des ondes par une lampe oscillatrice autodyne.

L, C, inductance et capacité accordées et formant circuit bouchon; — L agit par induction sur l'antenne et sur la grille.

FIG. 7. — Principe de l'émission des ondes produite par une oscillatrice O, modulée par une modulatrice M et renforcée par une amplificatrice A.

B, B₂, batteries; — Mi, microphone; — S, bobine d'arrêt.

circuit, pour purifier l'onde de ses harmoniques; des étages de lampes amplificatrices sont intercalés dans les postes puissants; elles travaillent dans la partie droite de leur caractéristique. Bethenod (1916) a indiqué la condition d'auto-amorçage. Morecroft (1921) a préconisé des régimes à harmoniques; Blanchard (1921) a donné un calcul de la triode génératrice; l'auteur a rattaché (1923) le fonctionnement à celui du pendule et montré que par conséquent l'oscillatrice doit jouer le rôle d'un clapet s'ouvrant au moment où s'annule le courant oscillant. La puissance est limitée seulement par l'échauffement de la plaque.

On a pu augmenter progressivement la puissance des lampes destinées à l'émission à filament de tungstène pur ou thorié jusqu'à 100 kW en ajoutant les dispositifs de refroidissement par ventilation ou par circulation d'eau contre une anode extérieure métallique. En France, Holweck (1929) a construit des lampes de grande puissance reliées à une machine pneumatique.

De nombreux chercheurs et, dernièrement, Marique (1929), ont étudié la multiplication des fréquences par triodes.

Modulation. — La modulation peut se faire en faisant varier simplement le potentiel de grille de l'oscillatrice par microphone agissant en série ou par un transformateur (Round et Colpitts 1914); on a indiqué d'autres moyens, et Heising (1915) a imaginé la modulation la plus employée (dite par absorption) à courant total constant; la modulatrice doit être trois ou quatre fois plus puissante que l'oscillatrice si l'on veut obtenir la modulation de

100 % sans distorsion. Toute onde porteuse de fréquence F équivaut à la superposition d'une onde porteuse réduite et de deux autres ondes de fréquences (F + f) et (F - f), dites ondes « latérales »; dans la modulation téléphonique f varie ainsi que les amplitudes des deux ondes latérales, à l'arrivée après amplification qui doit être proportionnelle, on reconstitue les trois ondes pour les détecter (fig. 8).

Carson a imaginé, pour économiser la puissance, de supprimer l'onde porteuse et même une des ondes latérales et de les rétablir à la réception par une hétérodyne. On peut rendre la téléphonie secrète en changeant la fréquence des bandes ou en les inversant.

Si on module la fréquence au lieu de l'amplitude, la largeur de la bande occupée, comme le montre Van der Pol (1930), est pratiquement en téléphonie le double de la plus grande des valeurs F et δf (largeur de la bande des f); dans les transmissions télégraphiques à grande vitesse, il se produit en outre des bandes sur tous les harmoniques impairs de la fréquence F; ce qui rend difficile la transmission en radiovision.

LES ONDES COURTES, TRÈS COURTES, ULTRA-COURTES.

1° Après la guerre, grâce aux ondes pures qu'ils avaient à leur disposition, les amateurs obtinrent des portées considérables avec des postes à triodes de faible puissance, utilisant, près de la mer loin des forêts, des ondes courtes (10 à 100 mètres); mais ces

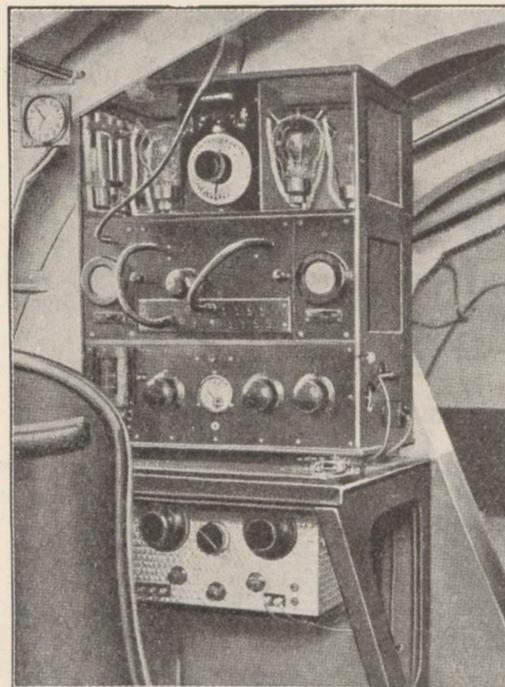


FIG. 9. — Vue d'un poste d'avion émetteur et récepteur (ondes longues et ondes courtes).

ondes subissent des effets de mirage (Guinchant 1924) ou d'après Kennelly (1903), des réflexions sur la couche hypothétique de Heaviside. Cette partie de la stratosphère est ionisée par les rayons ultra-violet du soleil, peut-être même par des électrons comme dans le cas des aurores boréales expliquées par Villard (1911) et Störmer (1920). Chauvard (1921-1923) en dirigeant les ondes au-dessus de l'horizon par une antenne vibrant en harmonique impair, constata la

production de zones de silence; Eccles admet comme cause de mirage, une ionisation croissant avec l'altitude; pendant la nuit, elle disparaît dans les couches inférieures et la propagation se fait par réflexion successive; pendant le jour, elle s'étend et cause une absorption plus forte; suivant les heures du jour la longueur d'ondes optima à choisir pour assurer la transmission varie pour chaque portée.

2° On a obtenu des ondes très courtes (inférieures à 15 mètres) en employant pour l'émission une triode génératrice suivant le montage Ditte (1917) retrouvé par Hartley, et appliqué à deux lampes symétriques par Mesny. David (qui perfectionna la super-réaction) et Beauvais, travaillant la question sous les ordres de Ferrié (1922-1926), constatèrent que les longueurs d'ondes au-dessous de 10 mètres la nuit et 8 mètres le jour ne sont pas réfléchies et ne peuvent donc être utilisées que comme des rayons lumineux. Ils ont pu établir cependant des radiocommunications entre Nice et la Corse, complétées par des liaisons avec les lignes téléphoniques terrestres, quoique la ligne droite entre les deux postes passe cependant à plusieurs kilomètres au-dessous du niveau de la mer. Beauvais a pu réaliser dans les environs de Paris des communications à 28 km par ondes de 0^m 18;

3° Mesny (1928) a reproduit les expériences de Hertz avec les ondes d'environ 1 mètre en rendant symétrique le montage de

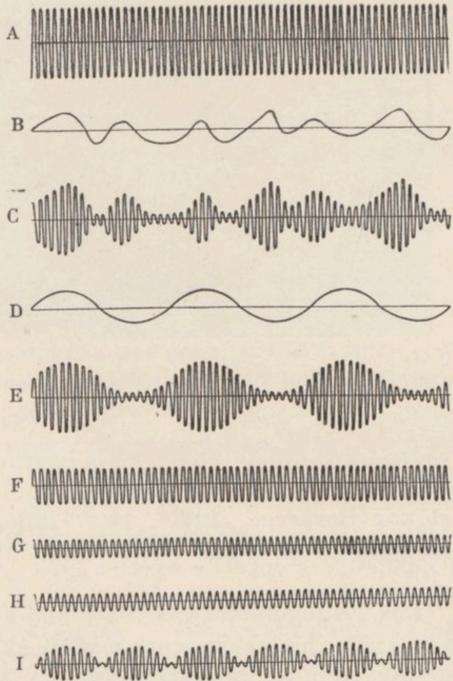


FIG. 8. — Principe de la modulation en radiotéléphonie.

A, onde porteuse de haute fréquence produite par l'oscillatrice; — B, modulation du courant microphonique; — C, onde porteuse modulée; — D, cas particulier d'un courant microphonique sinusoïdal; — E, courant modulé correspondant; — F, onde porteuse; — G et H, ondes latérales; — I, courant modulé formé des deux bandes latérales.

Gutton et Touly (1917), qui utilise comme capacité du circuit oscillant la capacité interne entre grille et plaque d'une triode.

Barkhausen a découvert des oscillations ultra-courtes ($0^m 25$ à $0^m 50$) d'électrons libres entre la plaque d'une triode et la grille portée à un potentiel plus élevé. Pierret (1929), guidé par Gutton a pu descendre à $0^m 12$, $0^m 18$ en donnant à la plaque un potentiel négatif et reliant la grille à une petite antenne; Beauvais utilise ce dispositif pour des transmissions, entre de petites antennes d'émissions et de réception placées dans des réflecteurs paraboliques, jusqu'à des distances de 30 km; les rayons hertziens traversent non les obstacles, mais parfaitement la brume, aussi bien que les rayons infra-rouges, utilisés concurremment par Fournier (1925).

LES ONDES DIRIGÉES.

Marconi a dirigé les ondes de Righi (1898), d'abord par des projecteurs, puis par des fils disposés en cylindre parabolique (1899). Puis, à la suite de Garcia (1901), il a employé l'antenne en L, bien directionnelle à la réception, mais peu à l'émission. L'auteur a préconisé (1903) pour la première fois des réseaux d'antennes verticales équidistantes alimentées par une source unique avec des différences de phases régulières produites par distribution se succédant comme celles des traits d'un « réseau de diffraction » optique et calculables par les formules

classiques; il prévoit l'émission transversale et l'émission tangentielle, dont il réalisa, comme cas particulier compatible avec les grandes ondes, le cadre ouvert à deux antennes espacées d'une demi-longueur d'ondes excitées en oscillations forcées en

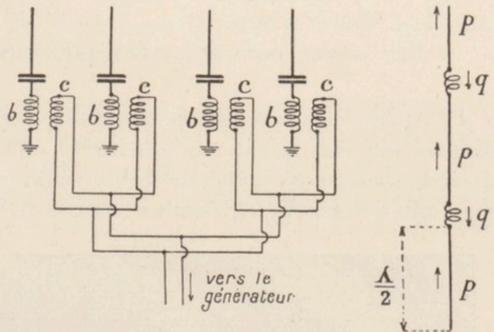
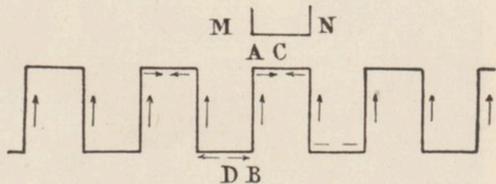


FIG. 10. — Principe de l'antenne à rideaux du « beam system ».

b, c, transformateur Tesla au pied de chaque antenne; — *p*, éléments radiants d'une antenne; — *q*, bobines intermédiaires.

FIG. 11. — Principe de l'antenne en grecque de Mesny, excitée par le circuit MN.



$3/2$ ondes. Bellini et Tosi associèrent ensuite (1907) deux de ces cadres avec un inducteur double à bobines tournantes dit « radiogoniomètre », à Boulogne (1908) et la Compagnie Marconi en fit de nombreuses applications. Bouthillon, puis Bellini ont calculé divers cas d'antennes associées et la courbe d'émission cardioïde; Alexanderson a construit (1917) un réseau à émission tangentielle à fils descendants d'une ligne horizontale.

Les lampes triodes, permettant l'entretien des ondes courtes sinusoïdales, ont récemment rendu possible la réalisation de réseaux à grand nombre d'antennes; pour leur donner un rayonnement suffisant, diverses solutions ont été imaginées (fig. 10 à 12).

Pour les transmissions transatlantiques la Compagnie Marconi emploie le « beam system » Franklin

(1925), formé de fils verticaux comprenant plusieurs demi-longueurs d'ondes de même signe, les autres étant repliés, ou bobinées horizontalement et alimentés en phase par une distribution, de réglage délicat. En France, la Société Française Radio-électrique, après des essais d'antennes en escalier de Chireix (1923), utilise pour les transmissions Paris-Alger, Paris-Buenos-Ayres, etc., le projecteur C. M. (Chireix-Mesny) (fig. 13) formé de deux antennes à zigzags en série de Chireix (1925) excitées en leur milieu (fig. 12), comme la remarquable antenne en grecque (1925)

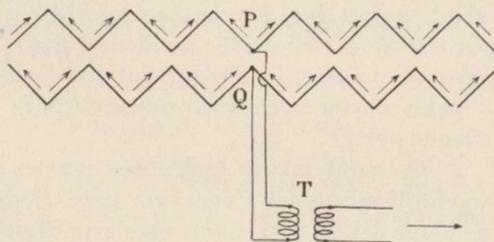


FIG. 12. — Principe de l'antenne en dents de scie de Chireix, excitée par le transformateur T.

de Mesny (fig. 11) (qui a en donné le calcul détaillé) et encadrées par deux antennes semblables excitées par induction.

La Compagnie allemande « Telefunken » a alimenté des fils horizontaux demi-ondes par des distributeurs verticaux. Aux États-Unis, on emploie des projecteurs en grecque ou des antennes en « arête de poisson » de Carter (1929).

Toute antenne projecteur est complétée par une antenne miroir semblable, isolée et placée à un quart de longueur d'onde en arrière, et interchangeable avec elle pour inverser la direction d'émission. La liaison de l'antenne au poste émetteur s'opère par « feeders » non rayonnants. L'angle de rayonnement est de 25° à faible distance.

RADIOGONIOMÉTRIE ET RADIOPHARES.

Le guidage des navires et avions peut se faire par radiogoniomètres à terre ou à bord (avec radiophares) ou par signaux d'alignement.

1° *Radiogoniomètres.* — L'auteur a breveté en (1902) le premier radiogoniomètre à cadre fermé, et décrit en 1908 les essais faits avec le concours de P. Brenot à bord du baliseur de La Rochelle (cadre de 4×8 mètres et détecteur électrolytique Ferrié); d'autres essais ont été faits en 1912 et 1913 à Brest et à Paris. Concurrément Bellini et Tosi employèrent leur radiogoniomètre avec levée de doute par antenne unipolaire induit mobile et deux cadres fixes (1904).

Pendant la guerre, le colonel Ferrié et Armagnat ont réalisé de plus petits cadres avec lampes électroniques (voir aussi en Amérique Pickard). Mesny a ajouté un compensateur de la capacité

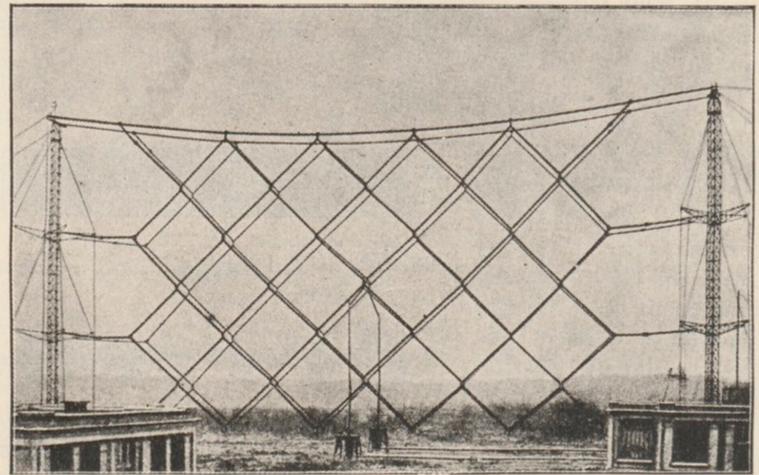


FIG. 13. — Vue d'une antenne projecteur C. M. de Saint-Assise (1928).

cadre-terre (1920) et relevé la courbe d'erreur quadrantale. Des cadres à prise de terre médiane ont été réalisés par Bellini (1923) et par Bevéage (1929). Des radiogoniomètres à deux cadres croisés ont été établis par l'auteur (1909-1917) et par Robinsnn (1917).

Les radiogoniomètres sont employés à terre surtout pour l'aviation; les navigateurs maritimes préfèrent, en général, les goniomètres de bord recevant les émissions des radiophares.

2° *Radiophares automatiques fixes.* — Les premiers ont été brevetés par l'auteur (1901) et installés (en 1912) sur les côtes de France par le Service des Phares avec matériel de la Société Française Radio-électrique, sur ondes de 125 mètres. Aux États-Unis des radiophares à étincelles furent installés en 1915.

Sur les plans de l'auteur, furent installés à Gris-Nez (1923) le premier radiophare fixe à lampes triodes sur courant alternatif musical et à Ouessant (1927) le premier radiophare de grand atterrissage commandé automatiquement par horloge (1925) par le Service des Phares, lequel poursuit depuis lors l'exécution d'un vaste programme du directeur Babin, comprenant 4 radiophares de grand atterrissage (portée 300 km) et plus de 25 postes de brume (80 km).

3° *Boussoles hertziennes à lecture directe.* — Suivant la voie de Artom (1922), Busignies a imaginé (1922-1930) divers dispositifs ingénieux de boussoles hertziennes, dans lesquels sont combinés une antenne fixe, un cadre récepteur et l'aimant du galvanomètre tournant ensemble à 10 t/s environ.

4° *Emissions tournantes.* — La Société Telefunken avait produit en 1912 des émissions tournantes par un ensemble de cadres fixes et de commutateur tournant. Pour éviter l'emploi d'une montre, l'auteur a breveté (1912) l'émission de « tops » par un cadre tournant (ou mieux un inducteur tournant et deux cadres) avec antenne fixe. Ce dispositif a été essayé à la Télégraphie militaire (1919), et par Smith-Rose (1929). Marconi a fait tourner, sur chariot mobile, une antenne à projecteur parabolique pour ondes courtes, à Inchkeith (1926) et à Douvres (1928).

5° *Alignements.* — Aux radiophares se rattachent les postes d'alignement hertzien établis sur deux principes différents; d'abord la comparaison de deux émissions imbriquées, égales et alternées produites par des cadres croisés, imaginée par Scheller (1907), perfectionnée par Dellinger et Diamond (1923), est employée aux Etats-Unis par l'Aviation. En France, ce principe est appliqué par du Bourg de Bozas (1927) pour la navigation aérienne et par Besson (1930) pour la navigation maritime en remplaçant l'un des cadres par une antenne.

D'autre part, le balancement d'une ligne de silence a été réalisé et essayé au Havre par Aicardi (1927) avec deux antennes à ondes courtes; l'auteur a breveté (1929) un dispositif du même genre avec deux cadres ou un cadre et une antenne, pour ondes quelconques.

6° *Guidage par câble.* — L'idée est ancienne et a été utilisée en divers pays pendant la guerre. Elle a été très étudiée pour le guidage des navires et des avions en Angleterre par Crossley (1921), et en France par Loth (1917-1930), qui utilise pour l'écoute par cadres les champs d'induction produits par des courants alternatifs musicaux circulant dans des câbles aériens ou sous-marins, avec retour par conducteurs latéraux ou dans une ligne encerclant un aéroport. Le même inventeur a proposé (1928) un système plus compliqué de guidage par émissions tournantes synchronisées.

ETAT ACTUEL DE LA RADIOTÉLÉGRAPHIE ET DE LA RADIOPHONIE.

Si nous laissons de côté les nombreux postes portatifs, tous à lampes, employés par l'armée, l'aviation, la marine, nous trouvons des postes destinés aux services suivants :

1° *Services de navigation.* — De nombreux navires sont équipés pour recevoir les signaux des radiophares (λ 950-1 050 mètres) et échanger des communications avec les postes côtiers (λ 500 à 600). Les ondes amorties donnant des brouillages seront remplacées par des ondes entretenues par émetteurs à lampes, déjà très employés. Les avions sont équipés avec des postes à lampes sur ondes longues et courtes.

La Bell Telephone Co, après des essais depuis 1915, a réussi à établir (1929) un système de radiotéléphonie permanent entre plusieurs navires transatlantiques et deux postes côtiers puissants, en Angleterre et aux Etats-Unis, au moyen d'un système combiné d'ondes longues de 4 mégacycles (reçues jusqu'à 350-550 km) et de quatre ondes courtes renvoyées par la couche de Heaviside à des portées variables. Les postes émetteurs du bord sont de 580 watts. La principale difficulté résulte des parasites industriels du bord.

2° *Anciens postes terrestres des transmissions télégraphiques à ondes longues.* — Les émetteurs à étincelles ont presque disparu, les arcs disparaîtront; les alternateurs assurent encore de bons services; les lampes sont de plus en plus employées: un groupe d'oscillatrices, fixant la fréquence, excite des groupes d'amplificatrices en parallèle alimentant l'antenne; les effets de couplage entre les antennes voisines servant à des émissions simultanées sont compensés par des liaisons inductives (Bethenod 1921).

Les pertes sont réduites par des contrepois d'antenne. L'émission est manipulée à faible vitesse ou par des appareils Baudot ou Wheaststone. La réception est faite sur cadre par un amplificateur à étages multiples (avec éventuellement un changement de fréquences) et un « onduleur »; des lampes limitent les parasites. On emploie aussi les dispositifs Verdant ou Carpentier à exécution différée (1928-1930), antiparasites. Certains de ces postes transmettent aussi des conversations téléphoniques.

3° *Postes récents à ondes courtes* (14 à 80 mètres). — Ces postes émettent des puissances réduites, sur des réseaux d'antennes

multiples donnant plusieurs ondes de rechange suivant les heures du jour. Une oscillatrice stabilisée par un quartz (sur un de ses harmoniques) excite des étages amplificateurs éventuellement neutrodynés, dont l'un est modulé, et dont le dernier excite les circuits d'antenne par feeders non rayonnants.

A la réception, une antenne semblable excite un amplificateur à nombreux étages, et éventuellement à changement de fréquence et à filtre de bandes (bandes de 200 à 300 cycles pour la télégraphie, 5 000 à 8 000 pour la transmission de la parole). L'amplificateur à basse fréquence est relié à un onduleur ou à une ligne téléphonique. Dans les transmissions en duplex, on empêche les réflexions de sons et les distorsions de phase par des circuits spéciaux.

4° *Radiodiffusion.* — Dans tous les pays on renforce les postes d'émission de radiodiffusion pour réduire les perturbations des parasites et on cherche à transmettre exactement toutes les fréquences du spectre musical théoriquement 16 à 1200 cycles environ. Il existe actuellement trois catégories de ces postes: des postes puissants à ondes longues (1300 à 1900 mètres) qui sont employées en Europe seulement; des postes à « ondes courtes » (200 à 550 mètres) de puissances très variées très nombreux; on cherche à réduire les interférences des ondes réfléchies sur la stratosphère en abaissant la direction de ces ondes par des antennes demi-ondes; enfin, en voie de développement, des postes à « ondes très courtes » (20 à 40 mètres) avec antenne formée d'un élément multionde semblable à un fil vertical de l'antenne projecteur (fig. 10).

A la réception, les appareils ont été modifiés progressivement: au début avec des stations peu nombreuses, on utilisait des amplificateurs à résistance (1924); puis, quand il a fallu éviter les brouillages on a eu recours aux postes à un ou plusieurs étages de résonance (toujours employés aux Etats-Unis) puis aux postes superhétérodynes. La recherche de meilleures qualités musicales et l'emploi de lampes plus puissantes suscitent un retour aux étages multiples en résonance.

APPLICATION DE LA RADIOÉLECTRONIQUE

A LA TÉLÉPHONIE SUR FIL ET A LA RADIOTÉLÉPHONIE GUIDÉE.

Tout en me gardant de vouloir empiéter ici sur le sujet traité par M. Reynaud-Bonin dans l'article précédent, je dois signaler que la radioélectronique a trouvé d'importantes applications dans les transmissions par ligne :

1° Squier (1910-1911) et Erskine Murray (1911) ont eu l'idée de guider les ondes produites par alternateur à haute fréquence par des fils isolés (ou même posés sur le sol), et l'armée américaine a fait usage de cette méthode.

En 1920 et 1921, la Société Telefunken, puis en France Latour, etc., ont breveté l'utilisation des courants de haute fréquence pour des transmissions téléphoniques entre usines de distribution d'électricité.

2° D'autre part, sur les grands réseaux téléphoniques à câbles ou aériens, les relais électromagnétiques peu efficaces ont été remplacés par des stations de relais à lampes triodes dits « répéteurs » à deux directions, à deux ou à quatre fils. La liaison téléphonique Montevideo à Santiago (Chili) à travers les Andes est assurée par huit stations de répéteurs (1929).

3° Maurice Leblanc (1884) avait proposé la transmission multiplex par oscillations de haute fréquence (par étincelles) reprise en 1906 par Vreeland, Ehret et Kitsu et par Ruhmer (1909) au moyen de l'arc de Poulsen. Grâce aux amplificateurs à lampes, la Bell System Co, la Western Electric Co, etc., ont mis au point la téléphonie multiplex par onde porteuse, dans laquelle on utilise les circuits de Colpitts et Blackwell, et d'autres, pour la sélection et les filtres électriques, passe-bas de Pupin, passe-haut et passe-bandes de Campbell et Wagner [voir, à ce sujet, un livre spécial de M. David (1920)]. On ne peut utiliser que des fréquences porteuses de 6 000 à 30 000 cycles. Les mêmes dispositifs servent pour les transmissions télégraphiques.

Télémechanique. — En utilisant le détecteur pour alimenter un relais de télécommande, Branly (1900), puis Torrès (1901) Gabet (1902), etc., imaginèrent divers appareils sélecteurs rudimentaires à roues à rochet, combinateurs, dashpots, etc., commandant tour à tour à volonté diverses manœuvres, mais restant à la merci des brouillages systématiques.

L'auteur a introduit (1901) le procédé de sélection protégée dit « double syntonie » combinant la résonance des circuits électriques sur différentes ondes avec la résonance de relais vibrants sur les fréquences musicales des émetteurs correspondants ; puis (1914) des relais de résonance de très basse fréquence suivant le rythme d'un commutateur tournant ou d'une horloge. La première de ces solutions a été transposée ensuite dans la technique électronique par divers inventeurs en combinant les sélections par haute fréquence et par audio-fréquence, ou mieux par moyenne fréquence ; notamment en France, à la Radiotélégraphie militaire, Guéritot (1919), puis David (1925) ont mis au point des dispositifs de télécommande d'avions, de sous-marins, etc. La seconde solution est employée pour la remise à l'heure radiotélégraphique des pendules électriques (Lavet, 1928), la commande des signaux, etc.

Applications scientifiques. — Les amplificateurs électroniques sont susceptibles d'applications scientifiques indéfinies ; nous ne pouvons ici en citer que quelques-unes.

Ferrié a réalisé (1909) la détermination des longitudes par T. S. F., l'émission de signaux horaires puissants (qui a fait choisir la France comme siège du Bureau international de l'Heure) ; puis les mesures du temps, de la gravité, du passage d'une étoile dans le champ d'une lunette (avec Jouaust, 1928.)

Abraham et Bloch (1917) ont réalisé des mesures de précision de la fréquence par le multivibrateur de Abraham et l'entretien de l'électrodiapason.

On peut aussi citer de l'auteur diverses méthodes de mesure par les amplificateurs et leur combinaison avec l'oscillographe (1919) ; une méthode de mesures des déplacements et pressions (1929) ; de Toulon, la comparaison des intensités lumineuses (phono-luxmètre) et le chronométrage des mouvements ; de Whidding Fon (1920), l'ultra-micromètre de haute précision à condensateur appliqué aux déformations internes des matériaux par Santo Rini (1929) ; de Dupin (1928), un appareil de mesure de vitesse et de pression de courant d'eau.

D'autres applications intéressantes sont en cours pour l'électrothérapie, le chauffage des fours électriques à haute fréquence, etc.

Des amplificateurs à courant continu ont été réalisés par Laüt (1917), Abraham (1917), Blondel et Touly (1919), Turner (1919).

Langevin a imaginé (1918) le sondage sous-marin par le son par vibration du quartz piézo-électrique qui repose sur l'emploi d'émetteurs et de récepteurs à triodes. Il emploie les ultra-sons de 30 000 à 100 000 p/s. Concurremment, Marti a construit un appareil de sondage chronographique ; la Sub Marine-Signal Co en a construit un analogue, avec amplificateur illuminant un index lumineux au néon ; des dispositions analogues sont employées dans le « strobonéon » de Routin (1927), transmetteur radiotélégraphique d'ordres et d'angles.

Dans la phonométrie, Langevin (1928) a imaginé le phonomètre à quartz piézo-électrique ; Chavasse et Gosselin (1928) un microphone à quartz, qui donne une courbe de fidélité linéaire ; Grutzmacher un analyseur harmonique de la voix, etc.

Applications diverses dans les domaines acoustiques et optiques. — La place nous manque ici pour exposer toutes les applications de la Radioélectricité, et nous traiterons dans un article spécial, qui continuera celui-ci dans un numéro ordinaire du *Génie Civil*, la transmission électrique des images, la radiovision, la musique électronique, et le cinéma parlant.

CONCLUSION.

La revue trop brève qui précède du développement, si rapide, souvent si imprévu, de la Radiotechnique, le court aperçu qu'on a donné des applications touffues et toujours en marche de la triode de Lee de Forest, montrent que cette nouvelle branche des sciences industrielles a franchi à pas de géant des étapes extraordinaires, dont il n'y a pas d'autres exemples dans l'histoire de l'industrie. On ne peut l'expliquer que par le développement également inouï de la Physique moderne et par la convergence des recherches effectuées simultanément en tous pays par une foule innombrable de spécialistes, entraînés par les Services télégraphiques et téléphoniques pendant la guerre, et d'amateurs suscités par la radiophonie.

La France, qui a été associée aux premières découvertes, a pu, pendant la guerre, obtenir sous l'animatrice direction du général Ferrié, la première place dans la T. S. F. Elle a, depuis, grâce aux efforts de ses techniciens et des Administrations militaires et civiles, et aux heureuses initiatives de la Compagnie générale de Télégraphie sans fil et d'autres Sociétés, pu jouer un rôle de premier plan dans tous les progrès réalisés, et dans l'établissement des transmissions à très grande distance.

Ce développement entraîne des conséquences sociales encore difficiles à évaluer pleinement, mais déjà prévisibles : une élévation progressive et rapide du niveau des connaissances scientifiques, économiques, littéraires, artistiques des masses ; l'accroissement rapide et peut-être excessif du nombre des techniciens, particulièrement des électriciens ; une modification inévitable de la mentalité générale du public, constamment sollicité par de nouvelles représentations de la vie, de nouvelles facilités de communications et d'informations.

On a dit du XIX^e siècle qu'il a été le siècle des chemins de fer et des machines ; on dira peut-être un jour que le XX^e siècle a été celui des radiocommunications et de la radioélectronique.

André BLONDEL,
Membre de l'Institut,
Inspecteur général des Ponts et Chaussées,
Anciennement adjoint à la Direction des Phares et Balises.

LES PROGRÈS DE LA GÉODÉSIE, DE LA TOPOGRAPHIE ET DE LA CARTOGRAPHIE AU COURS DU DERNIER DEMI-SIÈCLE

Un grand nombre des multiples branches de la science de l'ingénieur, civil ou militaire, sont étroitement tributaires de ces autres sciences, géodésie, topographie, cartographie, qui, non seulement concourent à l'établissement de documents cartographiques (cartes et plans) aux diverses échelles, mais fournissent des données numériques, coordonnées, altitudes, etc., souvent indispensables pour toutes sortes de projets et de travaux.

C'est ainsi que des cartes d'ensemble et des levés de détail précis sont nécessaires pour étudier et résoudre les grands problèmes relatifs à l'extension du système de nos voies de communication (routes, chemins de fer et voies navigables). Sans cartes marines exactes, nos vaisseaux ne sauraient traverser rapidement les mers ni sortir des ports ou y entrer en toute sécurité. La navigation aérienne réclame des cartes spéciales appropriées à ses besoins. Les opérations du génie rural (irrigations, régularisation du régime des eaux, etc.), l'utilisation des forces hydro-

électriques, l'assainissement et l'extension des agglomérations urbaines, sont autant de travaux qui ne sauraient être conduits rationnellement et économiquement si les ingénieurs qui en sont chargés manquent des documents cartographiques nécessaires. De tels documents sont à la base de tout cadastre définissant les limites des propriétés et les droits des propriétaires.

Nos efforts pour l'exploitation de nos possessions coloniales sont sans aucun doute mieux conduits et susceptibles d'un plus grand rendement quand nous possédons une connaissance exacte de la configuration des territoires souvent immenses à mettre en valeur, et, après les avoir occupés, notre premier soin doit être d'en posséder au plus tôt une image fidèle.

Enfin, sans parler de l'utilité des cartes pour les opérations stratégiques ou tactiques d'une guerre, depuis longtemps admise avec raison comme un dogme entraînant pour presque tous les Etats l'obligation de posséder un Service géographique militaire, la