

LE RELAIS TELEPHONIQUE

Relais et amplificateurs téléphoniques.

Différents moyens d'augmenter la portée des circuits téléphoniques ont été indiqués aux pages « Lignes aériennes » et « Lignes souterraines ».

Indépendamment de la **pupinisation** et du mode de construction de **Krarup** * pour les câbles, on envisagea d'autres moyens et, en premier lieu, on pensa à augmenter l'intensité des courants microphoniques, mais les charbons, en s'échauffant, se dilataient et perdaient leur mobilité.

Cet inconvénient donna naissance à des microphones à circulation d'eau.

* Carl Emil Krarup était un ingénieur télégraphique danois, principalement connu pour l'invention d'un type de câble chargé, appelé éponyme câble Krarup, qui a amélioré la transmission des signaux téléphoniques, en particulier sur les câbles sous-marins.

On peut citer, tout d'abord, le microphone hydraulique du Professeur **Majorana**, susceptible de supporter des courants de plusieurs ampères ;

1905 Le premier microphone hydraulique italien a été conçu par le comte Quirio Majorana de la Poste italienne.

Dans le microphone de Majorana, une fine colonne d'eau tombait verticalement d'un jet ; la pression à cet endroit était modulée par le diaphragme du microphone, modifiant le diamètre de la colonne et faisant ainsi varier sa résistance électrique lorsqu'elle passait entre les deux contacts au fond du boîtier. Étant donné que l'élément résistif était de l'eau (ou plutôt de l'eau additionnée d'acide sulfurique ou de sels pour augmenter sa conductivité), un refroidissement était intégré, mais on peut supposer que si une puissance excessive était utilisée, des nuages de vapeur commenceraient à sortir du microphone.

Le microphone haute puissance de Majorana a été utilisé pour la première fois pour la téléphonie longue distance en Italie en 1906. Comme l'amplification en cours de route n'était alors pas possible, plus le signal du microphone est puissant, plus la distance que vous parcourez est grande pouvait communiquer.

L'étiquette sur l'écran indique "Microphone hydraulique à jet vibrant pour radiotéléphonie". L'embout buccal est la corne courte en haut, fixée par quatre vis. Le robinet tout en haut est le raccordement pour l'arrivée d'eau.



Ensuite le microphone réalisé, en 1907, par **Egner** et **Holmström** (téléphone à courant élevé), qui, après quelques perfectionnements, permit, en 1909, de correspondre entre Berlin et Stockholm, entre Paris et Stockholm et enfin entre Paris et Sundsvall, soit sur 2.850 kilomètres, dont 48 de câble.

Des résultats également satisfaisants furent obtenus avec le microphone **Ericsson**, dans lequel quatre électrodes creuses sont alimentées de liquide par un réservoir clos ; un dispositif de cloisonnement permet de monter ces quatre éléments, soit tous en parallèle, soit en deux séries de deux éléments placées en parallèle.

Les deux premiers de ces microphones furent également employés pour des transmissions radiotéléphoniques.

Le problème, qui avait donné naissance à tous ces instruments, devait nécessairement, par analogie, orienter les recherches vers une retransmission semblable à celle qu'on effectue sur les longues lignes télégraphiques.

L'idée d'un tel relais avait été formulée, dès 1878, par **Du Moncel**, mais, bien que **Hughes**, qui avait procédé à des expériences, ait déclaré les résultats satisfaisants, il semble que cette idée soit retombée dans l'oubli.

1878 un travail intéressant nous a été communiqué par **MM. Elihu Houston et Edwin Thomson** sur un **relais téléphonique** basé sur l'emploi du microphone. "*Dès le mois de février 1878, j'avais songé à ce problème, et voici ce que je disais dans ma communication à l'Académie du 25 février : Si les vibrations de la lame du téléphone récepteur étaient semblables à celles du téléphone transmetteur, il est facile de concevoir qu'en substituant au téléphone récepteur un téléphone à la fois récepteur et transmetteur ayant sa pile locale, ce dernier pourrait réagir comme un relais, grâce à l'intermédiaire de la bobine d'induction, et pourrait ainsi non-seulement amplifier les sons, mais encore les transmettre à toute distance; mais il n'est pas prouvé que les vibrations des deux lames en correspondance soient de la même nature, et si les sons résultent de rétractions et dilatations moléculaires, le problème serait beaucoup plus difficile à résoudre.*"

Ce sont des expériences à tenter. Eh bien! ces expériences ont été tentées avec succès par M. Hughes, qui, ainsi qu'on l'a vu, est parvenu, grâce à la combinaison du microphone au téléphone, à faire un relais téléphonique.

Le relais de MM. Houston et Thomson ne diffère de celui de M. Hughes qu'en ce que le microphone, au lieu d'être placé sur une planche de bois à côté du téléphone, est fixé sur le diaphragme lui-même du téléphone et se compose de trois microphones à charbons verticaux que l'on peut associer en tension ou en quantité, suivant les conditions de l'application. Le modèle de cet appareil est reproduit dans la *Telegraphic Journal* du 15 août 1878, et nous y renvoyons le lecteur qui voudrait avoir plus de renseignements à ce sujet.

D'un autre côté M. Hughes est parvenu à obtenir un relais téléphonique par l'intermédiaire de deux microphones à charbon vertical.

En plaçant sur une planchette deux microphones de ce genre, et reliant l'un de ces microphones à un troisième servant de transmetteur, alors que le second est mis en rapport avec un téléphone et une seconde pile, on entend dans le téléphone les paroles prononcées devant le microphone transmetteur sans que le relais téléphonique mette à contribution aucun organe électro-magnétique.

On peut encore obtenir la reproduction de la parole au moyen d'un microphone, en fixant sur la même planche que ce microphone un aimant en fer à cheval entre les pôles duquel est adapté un noyau de fer doux recouvert de la bobine magnétisante. C'est encore un système de relais téléphonique qui fonctionne sans diaphragme électro-magnétique.

M. **Ader**, de son côté, vient d'exécuter un modèle de téléphone qui a aussi son mérite. Le récepteur n'est autre chose qu'un électro-aimant ordinaire à deux branches, dont l'armature est soutenue à deux millimètres environ de ses pôles, par une lame de verre à laquelle elle est collée, et qui elle-même est fixée à deux supports rigides. Pour entendre, il suffit de l'appliquer contre l'oreille. Le transmetteur est une tige mobile de fer ou de charbon qui appuie sur un morceau de charbon fixe, sans autre pression que son poids, et qui porte une plaque concave devant laquelle on parle. Ces deux pièces sont disposées de manière à se mouvoir horizontalement, de sorte que, quand l'appareil est suspendu, le circuit est forcément disjoint par ce seul fait, alors qu'il se trouve fermé au moment où on prend l'appareil pour parler. La parole est très-bien reproduite avec ce système qui, exécuté dans de plus grandes dimensions, peut transmettre la parole à une certaine distance.

Le Directeur des ateliers de construction des télégraphes du Brésil **M. Bernard Enzmann** a dernièrement cherché une autre solution pour laquelle il a pris des brevets dans plusieurs pays au commencement de 1888.

Pour plus de détails sur l'emploi de ces diagrammes, consulter l'ouvrage de M. Blakesley. *On Alternating currents of Electricity*.

Le système d'Enzmann est analogue au système d'exploitation télégraphique par courant de travail. L'inventeur emploie des émissions plus ou moins longues de courants alternatifs rapides; chaque émission de courant comprend un nombre plus ou moins grand d'ondulations, suivant qu'elle correspond à un trait ou à un point.



Fig 1

Au bureau transmetteur M. Enzmann se sert d'un manipulateur spécial (fig 1) pourvu d'un dispositif qui sert à interrompre automatiquement le courant primaire. Au bureau récepteur les courants alternatifs traversent les bobines d'un relais téléphonique dont la membrane enregistre les signaux dans un appareil spécial. Le relais téléphonique peut naturellement être employé avec un appareil enregistreur quelconque ou bien donner des signaux Morse sonores ; la durée de ces derniers est réglée par la durée de l'émission des courants alternatifs ; elle est courte pour un point, et plus longue pour un trait de l'alphabet Morse.

M. Enzmann a pu réaliser une économie considérable dans les frais de piles, car le courant qu'elles fournissent ne circule pas sur la ligne télégraphique, mais dans un circuit local seulement. Les piles sont d'ailleurs utilisées alternativement pour la transmission et la réception ; dans le premier cas, elles fournissent le courant primaire pour la bobine d'induction et dans le second elles ne servent que pour l'appareil local Morse. Cette utilisation double d'une même batterie est réalisée au moyen d'un simple commutateur. Avec une batterie composée de 2 à 8 grands éléments Meidinger, on peut produire un courant qui, grâce à la sensibilité du relais téléphonique, donne de très bons signaux

Morse sur une ligne d'une résistance de 1003300 ohms; on peut aussi tourner, mettre des aiguilles magnétiques en mouvement, etc.
La sensibilité du relais téléphonique permet également d'éviter l'emploi de relais de translation, car on pourra télégraphier directement même à de grandes distances.

L'installation des bureaux Morse serait fort simplifiée si chaque bureau réservait une ligne déterminée exclusivement à la transmission ou la réception. Comme les deux opérations ne sont pas simultanées, et comme les signaux émis par le poste expéditeur doivent être rendus visibles au poste récepteur, l'installation devient un peu plus compliquée.

La clef d'induction doit donc satisfaire aux deux conditions suivantes : à l'état de repos, elle doit intercaler le relais téléphonique dans la ligne télégraphique, mais en abaissant ce levier, ce relais doit être mis hors circuit en même temps que la bobine secondaire de l'inducteur doit être intercalée; d'autre part, le levier abaissé doit fermer le circuit de la pile à travers la bobine primaire de l'inducteur pour permettre la production des courants d'induction.

Une clef ordinaire suffit pour la solution du premier problème. Il suffit de la munir d'un levier H (fig. 1 et 2) en laiton mobile sur une pièce m, elle est attirée contre le contact de repos c par un ressort et vient se placer sur le contact a quand on l'abaisse.

Les deux ressorts et f1 f2 vissés sur la planchette servent à fermer le circuit de la pile P pendant la transmission; f2 est un peu plus élevé que f1 et se trouve sous une vis g qui entre dans le levier de la clef et dont l'extrémité inférieure est pourvue d'une pointe isolée.

Quand le levier H est abaissé il établit le contact entre f2 et f1 et ferme ainsi la pile P; ensuite H rencontre a et ferme ainsi le circuit pour les courants alternatifs. Il va sans dire que les deux clôtures doivent se suivre rapidement, sans quoi il ne pourrait pas entrer dans la ligne L un nombre considérable de courants alternatifs produits par l'inducteur.

La bobine d'induction J ne présente rien de particulier. L'interruption du courant s'effectue de la manière ordinaire par un marteau de Wagner.

Le relais téléphonique R est représenté en coupe et en plan sur les figures 3 et 4. Sur la paroi de derrière se trouve un aimant S en fer à cheval, fixé au moyen de la vis B et sur lequel le noyau de l'électro-aimant M est monté. Devant les pôles de ce dernier, une plaque en fer Q est disposée de manière à entrer en vibration quand les bobines de M sont parcourues par des courants alternatifs. Sur le côté extérieur du cadre se trouve encore un petit bras s formant un angle et tournant facilement autour de son axe. L'extrémité de ce bras s repose sur la plaque Q et oscille avec celle-ci. Le contact entre s et q peut être réglé à volonté au moyen de la petite vis q pourvu d'un écrou. Le contact est naturellement moins intime pendant les vibrations qu'à l'état de repos, par conséquent, un courant électrique traversant s et q sera beaucoup affaibli pendant les vibrations de la plaque Q, c'est-à-dire pendant la transmission d'une série de courants alternatifs. Tous les points de contact sont platinés.

En dehors de ces appareils et de l'appareil Morse X, chaque bureau est pourvu de deux bandes de laiton s munies de 3 bornes pour y fixer les fils de communication et d'un commutateur U dont le bras repose sur g pendant la transmission d'une dépêche et sur N pendant la réception.

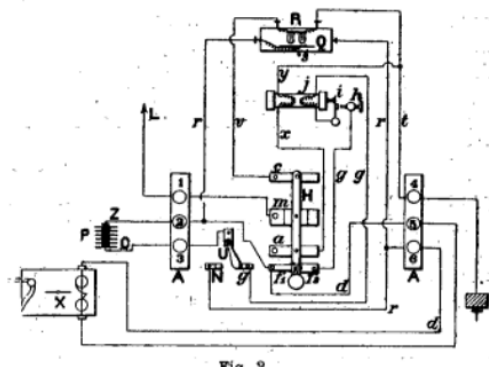


Fig 2

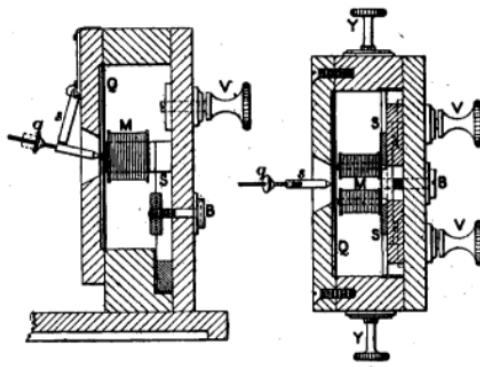


Fig 3 et 4

La communication entre les appareils est représentée sur la figure 2 où l'on voit facilement que l'inventeur a intercalé l'appareil Morse M dans le circuit dd et établi une dérivation rr dans laquelle le levier s et la plaque Q du relais se trouvent. L'intensité du courant en dd augmente par conséquent, et c'est ce qui fait écrire l'appareil X aussi longtemps que la membrane du relais vibre.

La transmission télégraphique se fait maintenant de la manière suivante :

Dans le bureau transmetteur, le bras du commutateur u est sur g. Si le levier H est au repos la pile est ouverte puisque f2 et f1 ne se touchent pas ; un chemin est ouvert de la ligne L par l, m et c à travers les bobines du relais R et par t et 4 à la terre T.

Si le levier H est abaissé, il ferme le circuit de la pile P du pôle positif C passant par 3, u, g, la bobine primaire de l'inducteur J et par son interrupteur automatique i, b, par g, f2, f1 et au pôle négatif et l'interrupteur automatique commence à fonctionner; mais, dès que le levier H arrive sur le contact a, l'inducteur J émet des courants alternatifs passant d'un côté par x, a, m, et t dans la ligne L et d'un autre côté par y, t et 4 à la terre T. L'envoi des courants alternatifs dure aussi longtemps que H reste en contact avec a. Comme le bras u du bureau récepteur repose sur N la pile P émet constamment un courant local en partie par dd et z et en partie par n, q, s, r. Quand les courants alternatifs arrivent à ce bureau ils vont de L par l, m, t et v dans les bobines du relais R et continuent ensuite par t et 4 jusqu'à la terre, alors l'électro-aimant M fait vibrer la plaque Q et diminue ainsi le contact entre s et q ; le courant passant par l'appareil Morse X se trouve par suite considérablement renforcé et l'appareil trace un trait ininterrompu tant que dure la série des courants alternatifs, c'est-à-dire tant que H reste abaissé au bureau de transmission.

Mais on peut aussi laisser u sur g dans le bureau récepteur.

Dans ce cas l'appareil X ne peut naturellement pas fonctionner ; par contre le relais R fonctionnera comme un parleur et les sons émis sont de la même durée que les émissions de courants alternatifs par conséquent R donne pour un abaissement momentané de la clef au bureau de transmission un son bref correspondant au point dans l'alphabet Morse et pour un abaissement prolongé un son plus soutenu correspondant au trait de sorte que les signaux composés par ces différents sons sont aussi facilement perceptibles que ceux qui sont écrits sur une bande de papier; la lecture par l'oreille exigera certainement moins de peine et moins d'attention soutenue que lorsque le commencement et la fin de chaque signal sont indiqués par un bruit dans la plaque téléphonique.

Rappelons pour terminer comment on s'est efforcé, par d'autres moyens plus ou moins parfaits, d'arriver à des résultats analogues au moyen d'un téléphone ou d'un corps vibrant.

Il faut d'abord mentionner le téléphone harmonique du Pr. [Elisha Gray](#) de Chicago qui a réalisé la [télégraphie multiple](#) au moyen de diapasons réglés à un son déterminé, L'appareil fonctionne avec des courants de pile d'une même direction, qui sont décomposés en impulsions rapides au moyen de vibreurs. (*C'est le dispositif imaginé par Sieur et employé dans l'appel phonique de van Rysselberghe. N. D. L. R*)

Les relais employés par Gray ressemblent au point de vue de leur fonctionnement électrique aux relais téléphoniques d'Enzmann, mais Gray a recours à des communications locales très compliquées avec deux circuits locaux pour empêcher le payeur de donner de faux signaux.

Le capitaine [Zigang](#) a introduit dans sa trompette électrique un parleur pour la télégraphie militaire qui produit les signaux Morse de la même manière que le relais téléphonique d'Enzmann par des sons plus ou moins longs; mais Zigang télégraphie simplement avec des courants de travail et ne donne qu'à son récepteur un dispositif permettant l'interruption automatique des courants télégraphiques longs et courts.

Déjà un peu avant MM. [Edison](#), Smith et [Gilliland](#) avaient imaginé un système télégraphique permettant de communiquer entre un train en marche et les gares.

Les signaux Morse sont également reproduits dans un téléphone par des sons plus ou moins longs, les courants alternatifs sont communiqués à la ligne et au téléphone par l'induction statique au moyen de charges et de décharges de condensateurs ; ces derniers étaient d'abord chargés d'électricité alternativement positive et négative par les courants induits dans la bobine secondaire d'un inducteur voltaïque.

On travaille avec le courant de repos ce qui rend la lecture des signaux plus difficile parce que les sons émis par le téléphone ne représentent pas les signaux même mais seulement les intervalles qui les séparent.

Plus tard Edison s'est également servi du téléphone dans son [phonoplex](#) pour la reproduction des signaux Morse mais chaque signal est ici indiqué par un bruit au commencement et à la fin. Chaque bruit correspond d'ailleurs à l'émission de deux courants d'induction, un courant d'ouverture puissant et un courant de fermeture plus faible, le système a donc une certaine analogie avec celui de Varley dont nous avons parlé plus haut.

Comme on le sait, le phonoplex était au commencement un duplex car, comme dans le système van Rysselberghe, les courants destinés à produire les signaux soit sur un relais soit sur un parleur étaient amortis par un gradateur pour ne pas agir sur le téléphone, la bobine du gradateur et une clef de Morse étaient en même temps placés dans un circuit local afin d'envoyer les courants d'induction sur la ligne pour chaque fermeture et interruption du courant local.

L'abaissement de la clef provoquait d'abord l'interruption du courant local, mais immédiatement après quand le levier de la clef arrivait sur le contact de travail il était de nouveau fermé par l'introduction d'une résistance assez considérable; quand la clef se relevait, cette dernière fermeture prenait fin et la première était rétablie sans la résistance, chaque mouvement de la clef donnait donc lieu à l'émission d'un onde d'extra-courant.

Edison a plus tard développé son phonoplex en un triplex en intercalant dans le circuit local d'un deuxième gradateur, un intercepteur téléphonique automatique analogue à la trompette de Zigang, ce qui permettait, par l'abaissement de la clef, d'envoyer une série de paires d'extra courants de puissance égale.

L'électrophone ou le [phonopore](#), de M. Charles Langdon-Davies, présente aussi une certaine analogie extérieure avec le dispositif de M. Enzmann. Le but de M. Langdon-Davies est également d'utiliser simultanément la même ligne pour la télégraphie ordinaire et la téléphonie. Le phonopore construit en forme de bobine ressemble exactement à une bobine d'induction ordinaire; il a également une bobine primaire, mais au lieu de la bobine secondaire de l'inducteur le phonopore est muni d'une bobine composée de deux fils isolés et très longs qui tous les deux sont isolés à un bout tandis que les deux autres bouts sont reliés par l'appareil télégraphique ordinaire avec la ligne. Le phonopore est donc un condensateur et comme tel il peut amener les courants téléphoniques alternatifs envoyés dans la ligne à un relais spécial intercalé dans l'un des fils où il les fait agir. Ce relais actionne un appareil Morse ou parleur, mais d'une manière presque identique et aussi compliquée que chez Gray, au moyen de deux circuits locaux et d'un électro-aimant. Le transmetteur est une clef Morse comprise dans le circuit de la bobine primaire qui, à l'aide d'un interrupteur automatique sur le phonopore, envoie une série rapide de courants à travers la bobine primaire dès que son levier est abaissé, de sorte que cette bobine agit de nouveau avec les deux autres enroulements comme un condensateur et la ligne est par conséquent parcourue par une série de courants alternatifs.

Les téléphones et les appareils analogues sont employés déjà depuis longtemps pour donner des signaux d'appel. Il est inutile de rappeler les nombreux appareils de ce genre qui ont été construits.

Le capitaine **Cardew** a donné, dans une Conférence, devant la « Society Tetegraph Enginens, tous les détails des nombreux essais entrepris dans le but d'utiliser le téléphone comme récepteur pour la [télégraphie militaire](#). Lui aussi s'est efforcé de remplacer les bruits secs dans la plaque téléphonique par des sons plus ou moins longs et produits par des émissions de courants d'une durée égale à celle du signal. Ces séries de courants étaient envoyées par des interrupteurs automatiques (parleurs de **Theiler**). L'interrupteur était en partie compris dans un circuit local formant pour la pile une dérivation à la ligne télégraphique.

Nous pouvons enfin mentionner les expériences communiquées à l'Académie des Sciences, par M. [Ader](#), en 1888.

Ader propose de reproduire les signaux Morse, pour la télégraphie sous-marine dans un téléphone.

En télégraphiant avec des courants de deux directions il veut obtenir des sons plus forts et de longueur égale, mais dans deux téléphones différents, dans l'un appliqué à l'oreille gauche on n'entendra que les signaux donnés par des courants positifs tandis que l'oreille droite ne perçoit que ceux donnés par des courants négatifs. (*c'est notre créateur de la stéréo*)

Dans les deux cas on se sert d'un interrupteur automatique et dans le dernier encore de piles locales qui sont augmentées ou diminuées selon les uns des courants télégraphiques.

C'est ainsi qu'en 1899, la Telegraph and Téléphone Co offrait une prime d'un million de dollars à l'inventeur d'un relais téléphonique analogue au relais télégraphique.

Le principe commun à tous les relais, qui furent tout d'abord imaginés, est le suivant :

la membrane d'un récepteur est rendue solidaire de la plaque d'un microphone, à laquelle elle communique tous ses mouvements; on a ainsi une reproduction du courant d'arrivée, mais la fidélité plus ou moins grande de celle-ci dépend essentiellement de la construction de l'appareil, car la membrane réceptrice, dont le rôle ordinaire est de déplacer seulement des couches d'air, doit ici entraîner un ensemble doué d'inertie et engendrant des frottements, d'où une altération dans la retransmission.

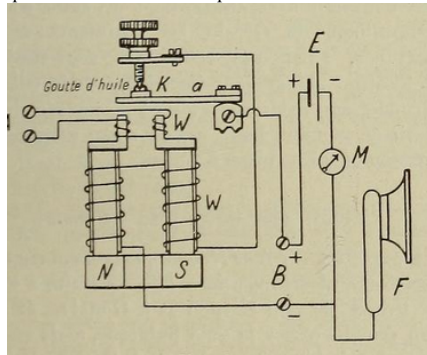
Les divers systèmes se distinguent précisément par les moyens employés pour tourner cette difficulté.

En 1910, S. G. Brown construisit un relais, dans lequel le microphone est constitué par une petite pointe de platine s'appuyant sur une lame de même métal, portée par la membrane du récepteur; les vibrations de cette membrane, sous l'action des courants téléphoniques, provoquent de petites coupures du circuit microphonique; la résistance de cet intervalle varie dans de très grandes proportions pour des changements très faibles de l'écartement des électrodes, de sorte que des coupures de l'ordre d'une fraction de micron suffisent pour le fonctionnement de ce relais. Deux ans plus tard, l'inventeur remplaça ce dispositif par un microphone à granules de charbon; des essais, effectués entre Londres et Berlin, donnèrent de très bons résultats.

Nous relevons dans la Zeitschrift für Fernmechanik, les détails suivants sur un relais téléphonique construit par M. S. G. Brown.

Le problème du relais téléphonique n'a pas encore reçu une solution parfaite.

Le renforcement des très faibles courants transmissifs de la parole parvenant à l'extrémité d'une ligne n'a pu être encore obtenu avec un degré suffisant d'exactitude de manière que ces courants renforcés puissent être acheminés sur une seconde ligne. Pourtant M. G. Brown est arrivé à un résultat important et pratique.



Le dispositif employé est représenté sur cette figure.

Les courants d'arrivée sont amenés, par les bornes A d'un enroulement W en fil fin, enroulement dont les nombreuses spires se trouvent disposées sur les épanouissements polaires d'un aimant permanent.

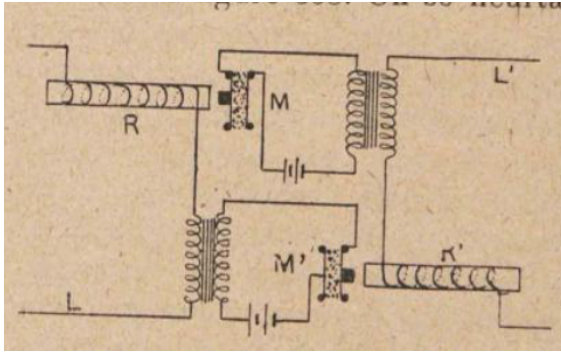
Sur les branches de cet aimant glissent les tubes sur lesquels on a enroulé quelques spires d'un gros fil W du circuit local. Les courants parasites prenant naissance dans les tubes en cuivre doivent compenser l'effet magnétique des courants renforcés du circuit local. Avec l'enroulement W se trouve monté en série, outre la batterie locale E, le récepteur téléphonique F et le contact microphonique K. La petite lame de contact disposée sur l'armature a, large d'environ 10 mm, est formée de platine iridiée ainsi que la pointe de la vis de réglage. Cette vis de réglage est disposée de manière que l'armature a commence à osciller exactement comme un interrupteur à marteau.

Alors on fait tomber sur le point de contact une goutte d'huile. Dès ce moment, l'armature cesse d'osciller et le relais se trouve réglé pour le renforcement des courants. Les effets magnétiques excessivement faibles des courants transmissifs de la parole en W donnent lieu à des mouvements très minimes de l'armature, ce qui occasionne de fortes oscillations de l'intensité du courant du circuit local. Le contact K doit alors se trouver complètement protégé contre les ébranlements extérieurs. Le réglage délicat du contact, nécessaire dans la pratique, constitue le principal point faible de tout l'appareil, car ce réglage peut se modifier très vite et très rapidement.

Le relais Erdmann, dans lequel les vibrations de la membrane réceptrice sont transmises à la membrane microphonique par une colonne gazeuse en mouvement; Une soupape, en s'ouvrant plus ou moins sous l'influence de l'électro-aimant récepteur, fait varier la pression dans un tube où circule le gaz, et cette variation agit à son tour sur la membrane du microphone.

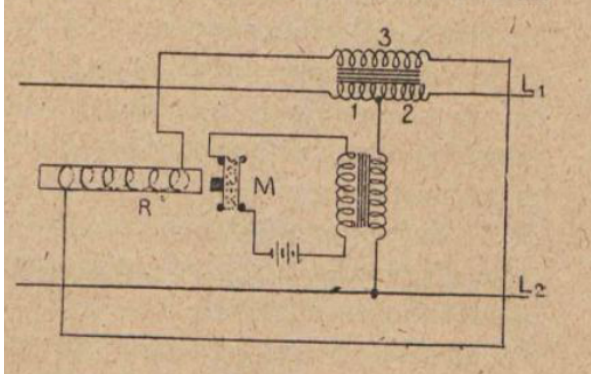
Les relais de ce genre présentaient l'inconvénient de ne pouvoir fonctionner que dans un seul sens; on pensa tout d'abord à duplexer la ligne, mais on éprouva de grandes difficultés à maintenir un bon équilibre, par suite, notamment, des variations de la résistance d'isolement; dans les expériences relatées ci-dessus, Brown fit usage d'un commutateur automatique extrêmement sensible, pour intervertir les connexions suivant le sens des courants téléphoniques reçus.

Ce mode permutation était assez délicat, et l'on chercha à rendre la conversation bi-latérale en faisant usage de deux relais et en mettant sur chaque branche de la ligne le récepteur de l'un et le transmetteur de l'autre, suivant un montage tel que celui de la figure suivante :



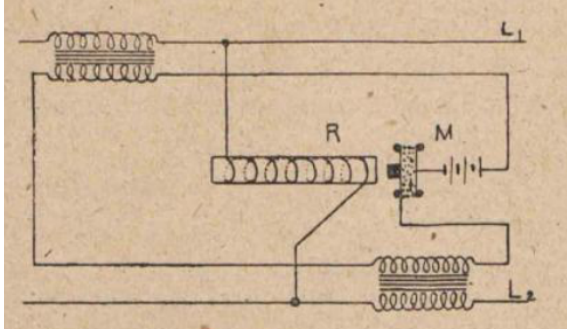
On se heurta alors à des phénomènes de résonance, qu'on caractérise en disant que les relais forment « ronfleur » : en effet, si la membrane de l'un des microphones vient à recevoir une impulsion accidentelle, les courants induits, qui en résultent, vont se fermer sur la seconde ligne en traversant le second récepteur; celui-ci, à son tour, réagit sur son propre microphone, qui induit des courants dans le premier récepteur, et ainsi de suite, de telle sorte que la vibration est indéfiniment entretenue.

Pour remédier à cet inconvénient, **Edison, en 1912**, réalisa le montage en différentiel, représenté par la figure suivante :



Les courants de la ligne passent dans les enroulements 1 et 2 d'un transformateur différentiel; ceux qu'ils induisent dans l'enroulement 3 se rendent dans le récepteur de l'unique relais et agissent sur le microphone: celui-ci induit à son tour de nouveaux courants, qui, par son secondaire, en dérivation entre 1 et 2, se partagent en parties égales sur les deux côtés de la ligne, si les impédances au départ sont convenablement équilibrées, mais leur action sur l'enroulement 3 est nulle.

La **Western Electric Co** obtint un résultat analogue par le montage en pont de Wheatstone indiqué ci-après :

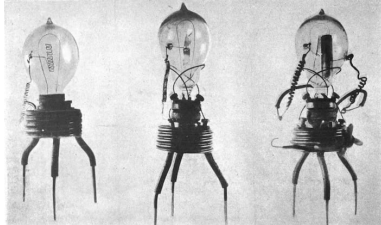


Le récepteur est en dérivation sur les deux fils de ligne; le microphone agit dans les primaires de deux bobines dont les secondaires sont en série sur les fils de ligne, de part et d'autre de la dérivation : si les impédances sont égales sur les deux branches, les courants transmis ne peuvent pas passer par la dérivation.

Deux inventions survinrent en téléphonie, qui sont à considérer comme de grandes conquêtes de la technique moderne: la bobine **Pupin** (1899) et la lampe amplificatrice de **de Forest** (1906), dont l'utilisation pratique ne fut pas immédiate.

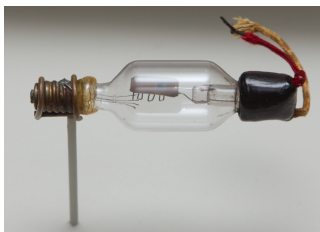
La question des relais téléphoniques entra dans une phase nouvelle lorsqu'on pensa à utiliser, pour cet usage, les **tubes à gaz ionisé**; en effet, on obtenait, de la sorte, un retransmetteur absolument dépourvu de toute inertie mécanique, et on devait arriver à une reproduction beaucoup plus fidèle de la parole transmise.

Fleming le 16 novembre 1904, breveta le tube redresseur à deux électrodes, qu'il appela grille oscillatrice.



Valve Fleming

Puis en **1906** en insérant une grille entre l'anode et la cathode d'une lampe diode, l'Américain **Lee De Forest** inventa la **première triode** nommée **Audion** : un tube à vide capable de provoquer l'amplification d'un signal électrique.



L'**audion** consistait en un tube de verre sous vide contenant trois électrodes : un filament chauffé, une grille et une plaque. Il est important dans l'histoire de la technologie car il a été le premier appareil électronique largement utilisé capable d'amplifier ; un petit signal électrique appliqué à la grille pourrait contrôler un courant plus important circulant du filament à la plaque. La triode Audion d'origine avait plus de gaz résiduel dans le tube que les versions ultérieures et les tubes à vide; le gaz résiduel supplémentaire limitait la plage dynamique et donnait à l'Audion des caractéristiques non linéaires et des performances erratiques. Développé à l'origine comme détecteur de récepteur radio hors site en ajoutant une électrode de grille à la valve Fleming, il a trouvé peu d'utilisation jusqu'à ce que sa capacité d'amplification soit reconnue vers 1912 par plusieurs chercheurs, qui l'ont utilisé pour construire les premiers récepteurs radio amplificateurs et oscillateurs électroniques. Les nombreuses applications pratiques pour l'amplification a motivé son développement rapide, et l'Audion original a été remplacé en quelques années par des versions améliorées avec un vide plus élevé.

Dès 1911, **Cooper Hewitt** démontra, à l'aide d'un tube à vapeur de mercure, que, si l'on enlève le diaphragme d'un récepteur téléphonique et si on maintient l'électro-aimant à proximité du tube à gaz ionisé, on peut amener l'espace occupé par ce gaz à subir des variations de résistance correspondantes aux ondes sonores, et former ainsi une s transmetteur téléphonique ; un peu plus tard, de Forest a fait la même démonstration en employant son récepteur radio-télégraphique connu sous le nom de audion.

En 1912, **Lieben-Reisz** construisit un relais dans lequel l'amplification du courant téléphonique s'obtient en faisant passer le courant reçu entre deux électrodes placées dans un tube à vapeur de mercure. Un courant de haute tension passe dans le tube, entre l'une de ces électrodes et une électrode auxiliaire, et subit des variations correspondantes à celles des courants téléphoniques; en connectant deux ou plusieurs relais semblables en série, on multiplie les effets et, en employant des transformateurs convenablement construits, on peut relier des circuits de longueurs inégales et de caractéristiques différentes vent proposés; les meilleurs résultats furent obtenus à l'aide de la lampe-valve à trois électrodes, modification de la valve de Fleming, à laquelle on a adjoint une électrode supplémentaire, appelée couramment grille; on trouvera plus loin la description et fonctionnement de cette lampe.

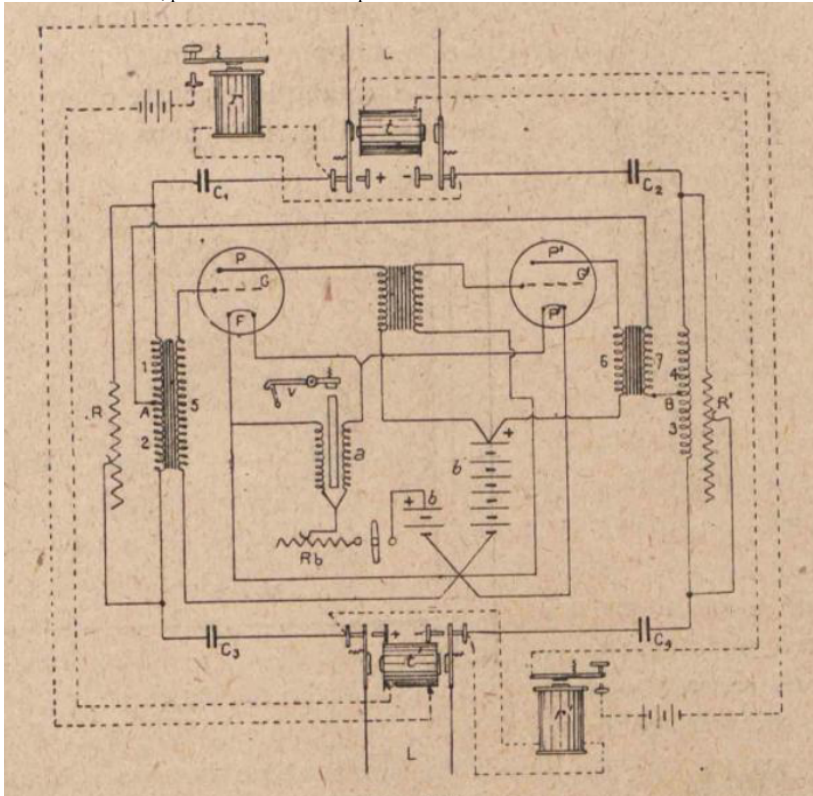
Il existe un grand nombre de montages, permettant tous la conversation dans les deux sens et évitant l'amorçage des oscillations entretenues, susceptibles de produire un ronflement ou un sifflement continus, dans les cas où les impédances des deux lignes raccordées sont inégales. Tous ces montages peuvent se classer en deux catégories générales : ceux qui comportent des dispositifs différentiels, avec ou sans capacités et résistances de compensation; et ceux qui réalisent l'équilibre à l'aide de lignes artificielles. On désigne couramment sous le nom de relais téléphonique embroché, celui qu'on intercale, d'une façon permanente, sur un circuit déterminé; le relais téléphonique d'intercommunication est celui qu'on place sur les cordons des tableaux téléphoniques, en vue d'améliorer les communications entre deux circuits quelconques.

1917 Le Relais téléphonique embroché, à transmission d'appels

Installé à Lyon, en 1917, sur le circuit Paris-Marseille n° 3, en fil de cuivre de 3 mm.5; l'audition est équivalente à celle qu'on obtient sur deux autres circuits Paris-Marseille, qui sont en fil de cuivre de 5 millimètres.

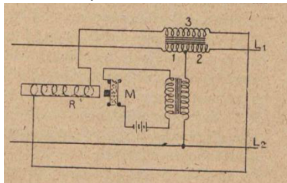
L'emploi de relais permet donc de réaliser des économies considérables sur le prix d'établissement des circuits.

— Ce relais a été construit par le Service d'Etudes et de Recherches Techniques de l'Administration, à l'aide d'appareils établis par M. **Marius Latour**. Il comprend un amplificateur à deux étages, formé de deux lampes-valves montées en série, à la partie supérieure du meuble, et dont les filaments sont alimentés par une batterie, b, de 6 volts, à travers un rhéostat, placé entre les deux lampes.



Les deux plaques, P et P', sont portées à un potentiel positif par une batterie, b', dont la tension peut varier entre 50 et 100 volts, suivant l'isolement de la ligne. Le fonctionnement est le suivant :

Les enroulements 1, 2, 3, 4 et 5 constituent un seul et même transformateur; les courants de conversation, arrivant par la ligne, L, ou par L', parcourent les enroulements 1, 2, 3 et 4; ils sont reproduits, par induction, dans l'amplificateur par la grille, G, de la lampe de gauche et en sortent, après amplification, par la lampe de droite et l'enroulement 6 ; ils gagnent la ligne par l'enroulement 7, placé en dérivation sur le circuit, entre les points A et B, c'est-à-dire au milieu des enroulements 1 et 2 d'une part, 3 et 4 d'autre part; deux résistances de compensation, R et R', shuntant les divers enroulements du transformateur 1, 2, 3, 4, 5, permettent d'atténuer les effets du déséquilibre des impédances entre les deux côtés de la ligne; on les règle à l'aide de deux manettes placées à l'avant, du meuble, de telle sorte que, si les impédances des deux sections deviennent inégales, une partie du courant passe par les résistances de compensation qui, en diminuant ainsi l'amplification, empêchent l'auto-excitation du relais. On a là, en réalité, un montage différentiel, dérivé de celui d'Edison.

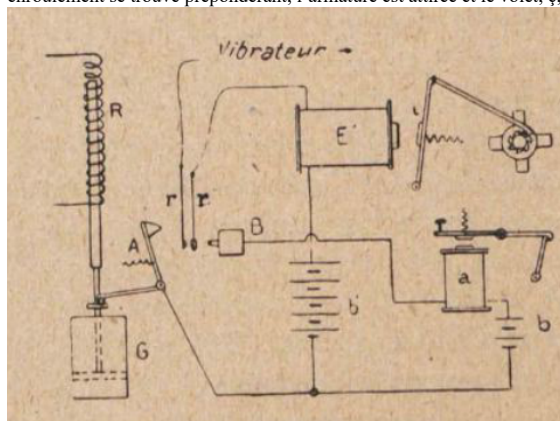


Relais Edison

Les courants de signalisation (courants continus ou alternatifs à basse fréquence) en traversant les enroulements du relais, pourraient subir un affaiblissement et parvenir aux bureaux extrêmes avec une intensité insuffisante.

Un dispositif, analogue à un translateur télégraphique, et auquel le courant nécessaire est fourni par la machine d'appel du bureau intermédiaire, assure la réexpédition de ces signaux. A cet effet, le relais est bloqué par quatre condensateurs, C, de 4 microfarads chacun ; les deux fils de ligne, de chaque côté, sont renvoyés à ces condensateurs par l'intermédiaire des armatures des relais retransmetteurs, dont les butoirs de repos communiquent également avec l'entrée et la sortie d'un relais récepteur, rr' ; lorsque des courants d'appel arrivent de la ligne L, par exemple, ils se rendent dans le relais récepteur, qui actionne, à son tour, le relais, transmetteur, t. ; celui-ci, coupant la communication de la ligne, L', avec les condensateurs, reproduit sur cette ligne les appels venus de L.

La station de relais est avertie automatiquement, dans le cas où l'une des lampes est devenue hors d'usage : à cet effet, l'alimentation des lampes a lieu à travers l'un des enroulements d'un annonciateur polarisé, a, dont le second enroulement est relié directement au pôle négatif de la batterie; le sens de ces courants et le nombre d'ampères-tours est tel que, lorsque l'allumage est normal, les actions magnétiques sur le noyau s'annulent; mais, dès que l'un des filaments devient défectueux, le second enroulement se trouve prépondérant, l'armature est attirée et le volet, c; de l'annonciateur ferme le circuit d'une sonnerie.



Les opératrices extrêmes peuvent commander à volonté l'allumage ou l'extinction des lampes du relais; dans ce but, les relais récepteurs, r et r', peuvent, par une seconde armature, fermer également le circuit d'un relais à action différée, R (voir figure ci dessus) rendu très paresseux par un frein à glycérine, G. Lorsque le circuit est fermé, l'armature se met lentement en marche, mais la brièveté des signaux d'appel ne lui permet pas d'accomplir la totalité de sa course. Par contre, si l'un des extrêmes envoie un courant prolongé, pendant le temps nécessaire pour compter lentement jusqu'à 5, l'appendice, A, peut donner le retour des batteries aux deux ressorts, r et r', reliés respectivement à un vibrateur et à un électro-aimant d'allumage, E'; l'armature de celui-ci agit sur une came analogue à celle d'un commutateur d'éclairage; elle allume les lampes si elles sont éteintes et réciproquement; en outre, l'opératrice entend un son, produit par le vibrateur, et contrôle ainsi la manœuvre effectuée. Pour appeler la station de relais, les extrêmes envoient un courant plus prolongé, d'une durée égale au temps nécessaire pour compter jusqu'à 20; l'appendice, A, monte alors jusqu'à ce que le ressort, r' vienne toucher la butée, B, et fermer le circuit de la batterie d'allumage, b, sur un annonciateur, a, monté sur la face avant du meuble, au-dessous de la lampe de gauche.

Pour les cas où les postes extrêmes oublieraient d'éteindre les lampes, un boulon, placé entre les deux commutateurs de compensation, permet d'actionner en local le relais, R, et de provoquer l'extinction.

Ce système de relais a été utilisé, pendant la dernière guerre, notamment pour assurer la liaison entre Compiègne, siège du Grand Quartier Général, et Milan, base du corps expéditionnaire français en Italie. lia été installé ultérieurement à Lyon, sur le circuit Paris-Turin.

...

Les brevets INPI

- Genre de relais téléphoniques [163206](#) 08.07.1884 ; BOY Paris
- Relais téléphonique [171673](#) 15.10.1885 ; DE COMBETTES Léonce VERSTRAET Louis Paris
- Système de relais téléphonique [218880](#) 23.01.1892 ; LAULANIE Paris
- Nouveau relais téléphonique [239009](#) 04.06.1894 ; GILLMORE Paris
- Nouveaux systèmes de microphones et relais téléphoniques [246887](#) 25.04.1895 ; LE GOAZIOU Pierre Paris
- Relais téléphoniques, [293269](#) 14.10.1899 ; RICHARD-CHALEIL Clermont-Ferrand
- Relais téléphonique acoustique [297879](#) 06.03.1900 ; LEARD Auguste DIGEON et aîné Paris
- Relais téléphonique [302424](#) 24.07.1900 ; TICE URMSON PARSONS HULL Paris
- Relais téléphonique [310065](#) 18.04.1901 ; ANGELINI JENGO Paris
- Relais téléphonique [309871](#) 12.04.1901 ; FABRIZI BLANC Paris

En Suisse

Citons ici in extenso, avec la permission de son auteur, M. Mûri, chef de la division des télégraphes et des téléphones, l'exposé de ces deux inventions dans sa brochure, publiée en 1930, « Le développement du téléphone en Suisse »

C'est la bobine de réactance ou bobine Pupin, imaginée par le professeur serbe Pupin. Intercalée sur les conducteurs d'un câble à des intervalles réguliers d'environ 1,8 km, cette bobine a pour effet de diminuer sensiblement l'affaiblissement de la voix et d'accroître ainsi la portée des communications téléphoniques. Mais cette invention, à elle seule, eût été insuffisante pour assurer une audition parfaite sur de longs câbles; il fallut recourir à un autre dispositif, au **relais ou amplificateur téléphonique** qui, inventé peu avant la grande guerre, reçut dès lors de notables perfectionnements.

Cette dernière invention a contribué encore plus que la première à améliorer les communications téléphoniques par câble. Le but du relais amplificateur est de restituer au courant de conversation affaibli par la distance la quantité d'énergie perdue. Il permet non seulement d'augmenter la portée d'audition de la parole, mais encore, et c'est là un avantage inestimable, de réduire notablement le diamètre des conducteurs nécessaires et, partant, le coût des lignes souterraines. Au lieu des conducteurs de cuivre de 3 mm employés dans la construction des lignes aériennes on peut, grâce au relais amplificateur, utiliser des conducteurs de 1 mm ou d'un diamètre plus petit encore, suivant les circonstances.

Les relais téléphoniques sont groupés dans des stations dites amplificatrices où, si besoin est, ils sont surveillés et réglés. Ces stations sont espacées les unes des autres de 75 à 150 km suivant la constitution des câbles. Les conducteurs de 1 mm de diamètre doivent être amplifiés tous les 70 à 80 km, ceux de 1,5 mm tous les 150 km en moyenne.

La Suisse possède des stations amplificatrices à Brigue, Lausanne, Berne, Olten, Zurich, St-Gall, Coire, Altdorf, Faido et Lugano.

Pour la mise en valeur pratique des deux inventions retentissantes de Pupin et de de Forest, la direction des télégraphes suisses élabora tout d'abord un programme pour un réseau interurbain souterrain devant rester limité aux besoins du pays. Mais l'idée d'une interpénétration téléphonique des pays européens cheminait.

Au printemps 1923 les représentants officiels des Etats de l'Europe occidentale, la Suisse comprise, se réunirent en conférence à Paris en vue d'étudier les voies et moyens propres à développer uniformément et rationnellement le réseau téléphonique européen. De cette conférence naquit le « Comité consultatif international des communications téléphoniques à grande distance » (aujourd'hui C. C. I. F.). Ce comité arrêta les programmes de construction et fixa les normes et dispositions devant régler la téléphonie internationale.

L'exécution du programme suisse dut être activée en raison de l'électrification générale des grandes lignes des chemins de fer fédéraux. Conformément à ce programme une artère principale a été constituée au travers du territoire national, de Genève à St-Gall, avec ramifications de Lausanne à Brigue, de Berne à Neuchâtel, Bienne et La Chaux-de-Fonds d'une part et de Berne à Interlaken d'autre part, d'Olten à Bâle, d'Olten et de Zurich au Tessin par Lucerne et le Gothard, de Zurich à Coire et l'Engadine, de Winterthour à Schaffhouse et de Frauenfeld à Kreuzlingen. Une dernière ramification, de Lausanne à Yverdon, va très prochainement réaliser le parachèvement du programme suisse.

Rappelons à ce sujet que l'établissement du premier tronçon Genève-Lausanne (60 km) du réseau interurbain a été établi en 1920, dans le court délai de 4 mois, pour être inauguré la veille de l'ouverture de la première assemblée de la Société des Nations.

(Dans la suite il fallut poser sur tronçon un deuxième, puis un troisième câble, comme il a fallu le faire, au reste, entre d'autres centres importants tels que Berne et Zurich, Zurich et Bâle, par exemple.) Le câble pupinisé, à 40 X 2 paires, fut fourni et posé par la maison Siemens et Halske. Nous citons ce fait parce qu'il marque le point de départ des efforts entrepris par l'administration des télégraphes auprès des industriels nationaux, afin que la Suisse devienne de moins en moins tributaire de l'étranger pour la fourniture de ses câbles interurbains aussi bien qu'urbains. Ces efforts ont été couronnés de succès. Les câbleries de Cossonay, de Cortaillod et de Brougg sont maintenant outillées pour satisfaire aux exigences de la téléphonie moderne.

L'augmentation énorme des conducteurs souterrains — près de 1 100 000 km de longueur de fils — est significative de la popularité toujours plus grande dont jouit l'usage du téléphone au sein des populations de la Suisse. L'augmentation des conducteurs aériens — 48 613 km — est plus modeste. La prépondérance des lignes souterraines est

manifeste, ce qui ne veut point dire que les lignes de poteaux disparaîtront de nos campagnes.

En Amérique :

L'un des premiers domaines dans lesquels les valves (Triode, lampe à vide) ont été utilisées était la fabrication de répéteurs téléphoniques, et bien que les performances soient médiocres, elles ont permis d'améliorer considérablement les circuits téléphoniques longue distance.

Cette question a fait l'objet d'un rapport de MM. Clark et Osborne (Etats-Unis), dans lequel les auteurs font un intéressant historique de l'installation des câbles téléphoniques aux Etats-Unis, et montrent les étapes successives qui ont conduit à la technique moderne des câbles à grande distance.

Les premiers circuits en câbles pupinisés utilisés aux Etats-Unis furent posés en 1902.

La distance couverte n'était que de 17 km, entre New York City et Newark dans le New Jersey. Au cours des années suivantes, la portée des câbles s'accrût et atteignit des distances de l'ordre de 150 km. Ces câbles primitifs ne contenaient que des circuits réels.

Ce n'est qu'en 1910 que les problèmes posés par l'utilisation des circuits combinés ou fantômes — notamment en ce qui concerne les phénomènes de diaphonie entraînés par déséquilibre entre conducteurs furent résolus et permirent la pose d'un câble destiné à relier Boston à Neponset (Massachusetts).

L'année 1914 marque le point extrême de l'évolution des câbles chargés à conducteurs de gros diamètre, avec la pose du câble de Boston à Washington couvrant une distance de 724 km.

En janvier 1915, le répéteur téléphonique à tube à vide fut utilisé pour la première fois avec succès, lors de l'inauguration de la ligne téléphonique New York — San Francisco. On chercha à développer ces installations; mais, on ne tarda pas à constater que les circuits à 2 fils munis de répéteurs auraient toujours une portée limitée, en raison des difficultés d'équilibrage des répéteurs et de l'influence marquée des phénomènes de diaphonie dans ces circuits. Aussi fut-on conduit à expérimenter une nouvelle méthode consistant à utiliser des circuits à 4 conducteurs.

Cette expérimentation mit en évidence des difficultés d'un autre ordre, notamment celle d'obtenir une courbe d'affaiblissement à peu près uniforme pour toutes les fréquences transmises.

En 1932 Il fallut alors, procéder à des études nouvelles sur la valeur de la charge à donner aux bobines Pupin, étude qui aboutit au système de pupinisation connu sous la désignation abrégée H. 44-25, consistant dans l'introduction tous les 1830 m de bobines de 44 mH. sur les circuits réels et 25 mH. sur les circuits fantômes. D'après les auteurs, ce fut le commencement des circuits modernes en câbles à grande distance en Amérique.

Après cet exposé, MM. Clark et Osborne passent à la spécification des circuits téléphoniques interurbains en câbles, signalant qu'ils se borneront à citer les caractéristiques principales des types de circuits utilisés aux Etats-Unis en s'efforçant d'en justifier le choix. Ils passent ainsi en revue : les constantes du câble interurbain normal utilisé dans le réseau du système Bell; les caractéristiques des circuits réels et des circuits fantômes; les conditions d'utilisation des circuits à 2 et à 4 fils; l'inductance et l'espacement des bobines de charge qui, pour des raisons d'économie, correspondent à des pas de pupinisation respectivement de 915 et de 1830 m — ; l'espacement des répéteurs et des régulateurs automatiques de

la transmission — les répéteurs étant placés à une distance aussi voisine que possible de 80 km, les régulateurs automatiques, généralement introduits sur les câbles aériens d'une longueur supérieure à 80 ou 160 km étant disposés de préférence toutes les deux stations de répéteurs .

Les auteurs examinent également: les gains de transmission des répéteurs tant en ce qui concerne les circuits à 4 fils que les circuits à 2 conducteurs; la régularité de l'impédance en ce qui concerne l'utilisation des circuits à deux fils et la limitation de la diaphonie, tant à l'émission la plus importante pour les circuits à deux fils qu'à la réception la plus importante pour les circuits à quatre fils . Ils signalent à ce sujet les précautions prises dans la constitution des câbles pour séparer l'un de l'autre le groupe des voies d'aller et le groupe des voies de retour des circuits à 4 fils, à cause des différences relativement importantes entre les niveaux de transmission sur les voies d'aller et de retour. Enfin, ils examinent le problème de la limitation de la distorsion de phase, très importante dans le cas des longs circuits à 4 fils, et à laquelle on peut dans une certaine mesure porter remède par l'utilisation de dispositifs appelés « compensateurs de phases ».

Les auteurs examinent ensuite les caractéristiques de fonctionnement des câbles. Après avoir défini la perte nette minimum de puissance en service et indiqué le rôle qu'elle joue dans la détermination des portées des câbles selon leur spécification, ils étudient, avec courbes à l'appui, les pertes nettes minima de puissance admissibles en service pour des circuits à deux fils et à quatre fils utilisés exclusivement pour le trafic terminal. Suit rémunération des conditions imposées aux caractéristiques techniques des câbles aux Etats-Unis, de manière à permettre l'interconnexion des divers réseaux. Ces conditions, relativement peu différentes de celles qui ont été arrêtées par le Comité consultatif international des communications téléphoniques à grande distance, figurent en même temps que ces dernières au rapport.

L'une des parties les plus intéressantes de l'étude concerne les conditions à imposer à l'avenir aux câbles téléphoniques pour la réalisation des très grandes portées. Les spécifications actuelles permettent de réaliser dans de bonnes conditions des liaisons atteignant 3000 km. Mais, l'expérimentation effectuée sur des longueurs de câble à 4 fils dépassant 6000 km a montré que des modifications devront être apportées aux caractéristiques, si l'on veut établir de bonnes liaisons à des distances de cet ordre ou à des distances supérieures.

Il faudra, en particulier, des supprimeurs d'écho plus efficaces. Les appareils du type ordinaire ne permettent pas, pour des distances de l'ordre de 6000 km, une exploitation convenable avec la perte nette de puissance de 9 décibels qu'il est désirable de réaliser.

En ce qui concerne la distorsion de phases, alors que des compensateurs ne semblent pas nécessaires pour des circuits de l'ordre de 3000 km, il faudra envisager l'utilisation systématique de tels dispositifs lorsque la distance deviendra double.

Le temps de propagation lui-même, dans un circuit à charge légère de 6000 km, prend une importance relativement grande; il devient de l'ordre du quart de seconde dans chaque sens, ce qui est la limite provisoire fixée par le C. C. I. Tph. pour la communication entière. En raison de ce temps de propagation, les supprimeurs d'écho introduisent certains troubles dans l'échange des communications. En supposant, en effet, les supprimeurs d'écho distants de 3000 km, le temps de propagation entre ces dispositifs est de l'ordre du huitième de seconde pour chaque sens de transmission. S'il y a une simultanéité de conversation aux deux extrémités du circuit, les deux supprimeurs d'écho fonctionnent en même temps, bloquant chacun

une voie du circuit, et introduisent, de ce fait, dans la conversation, des trous qui sont appréciables.

Toutes ces considérations montrent que des circuits en câbles meilleurs que les circuits actuels sont nécessaires pour réaliser d'une manière satisfaisante des communications à très grandes distances.

Peut-être faudra-t-il s'adresser au téléphone par courant porteur pour résoudre ce problème, la vitesse de propagation d'un tel courant étant de l'ordre de 160 000 km à la seconde en tenant compte de l'accroissement du temps de propagation dû aux appareils.

Comme conclusion de leur rapport, les auteurs signalent que, bien que le développement de la technique de la téléphonie à grande distance ait été très rapide au cours des derniers vingt ans, il n'est pas exagéré de prévoir pour les vingt ou trente prochaines années des progrès techniques au moins aussi importants.