

Des lignes téléphoniques à grande distance

par H. ANDRÉ

A M. le Président du C. S. L. M. T.

Mon cher Président,

Pour témoigner toute ma sympathie au « Club Sportif » et à son très actif président, j'ai demandé tout d'abord à y être admis comme Membre honoraire, et ensuite je crois ne pas pouvoir mieux témoigner ma collaboration à ce Club qu'en répondant à votre appel de participer à la rédaction de sa revue mensuelle. J'espère répondre à votre désir en vous proposant d'y insérer quelques petits articles de vulgarisation, qui n'ont d'autre but, que de chercher à intéresser les lecteurs au développement technique de nos divers départements et de mettre en évidence la contribution technique que notre Société « Le Matériel Téléphonique » apporte au développement de la téléphonie en France.

Je crois ne pas pouvoir mieux commencer qu'en cherchant, dans l'article ci-joint, à mettre en évidence l'immense progrès accompli dans la construction et l'exploitation des lignes à grande distance. Si d'autres que moi (plus compétents et mieux documentés) veulent bien m'aider dans l'accomplissement de cette tâche, je serai très heureux de leur collaboration qui pourrait se manifester, soit en vous envoyant directement et indépendamment des articles cherchant à atteindre le même but, soit en me faisant le grand plaisir de me faire connaître leurs critiques ou de m'envoyer des compléments d'information — toutes choses qui ne pourront en somme que contribuer à rendre la lecture de notre revue plus attrayante et plus instructive pour l'ensemble de nos membres et lecteurs — et peut-être même encourager les hésitants à se joindre à nous.

Si ce programme vous agréé, je vous prie, mon cher Président, de bien vouloir me le faire savoir, et de croire aux sentiments les meilleurs de

Votre tout dévoué,

H. ANDRÉ,

Membre honoraire.

Et tout d'abord, que veulent dire exactement, dans ce titre, les mots « à grande distance » ?

Il y a cinquante ans à peine, au début de la téléphonie, une ligne de 1.000 mètres eût, certes, pu être considérée comme une ligne à grande distance ; ce qui prouve que tout est relatif suivant l'époque où l'on se place. Il a fallu une succession ininterrompue de progrès pour rendre possible la transmission des communications téléphoniques sur des lignes atteignant quelques kilomètres de longueur.

En effet, au début, on n'employait que des lignes aériennes, et encore... quelles lignes ! Les fils étaient des fils de fer et le retour s'opérait par la terre. Ce n'est que bien après, en faisant usage de fils de cuivre et de lignes entièrement métalliques (c'est-à-dire avec retour par un deuxième fil), que l'on est parvenu, non seulement à construire des lignes plus longues, mais encore des lignes ayant un meilleur rendement et dépourvues de l'inconvénient fort grave d'être troublées par l'induction des lignes placées dans leur voisinage. On arriva ainsi à des lignes atteignant 800 kilomètres ; telle est, par exemple, la ligne ordinaire aérienne existant encore, et reliant Paris à Marseille. On pouvait s'entendre sur ces lignes aériennes, mais, par mauvais temps, les conversations devenaient très pénibles.

L'Administration des Téléphones sait combien des lignes de ce genre sont coûteuses et difficiles à entretenir. Il faut employer des fils de cuivre de haute conductibilité atteignant de 3 m/m 5 à 5 m/m de diamètre, ce qui nécessite l'emploi de gros isolateurs et de grands poteaux supports.

Mais passons rapidement sur cette époque préhistorique du téléphone, et arrivons sans plus tarder à l'époque moderne des... lignes « à grande distance », où ces mots « à grande distance » commencent à avoir un sens bien précis, puisque ces distances peuvent atteindre des milliers de kilomètres. Citons, par exemple, la ligne qui, en 1915 déjà, reliait New-York à San-Francisco et qui atteignait une longueur totale d'environ

5.000 kilomètres. On a fait mieux, depuis, c'est le cas de le dire ; en téléphonie, les progrès vont vite, et les distances atteignent à présent des longueurs fantastiques.

Parmi les inventions fondamentales, qui ont permis d'arriver à ce résultat fabuleux, citons l'emploi des bobines Pupin, que l'on place en série sur les fils aller et retour d'un circuit à des intervalles rigoureusement égaux, ces bobines ayant pour but de charger la ligne, c'est-à-dire d'augmenter sa self induction, pour combattre l'effet nuisible de la capacité.

Sur la première ligne téléphonique à grande distance citée ci-dessus, et qui, dès 1915, était exploitée commercialement, on a placé six relais téléphoniques, dont nous expliquerons plus loin la grande importance et le fonctionnement.

Disons tout de suite, que c'est bien intentionnellement, que nous disons que, les résultats obtenus actuellement sont extraordinaires, on pourrait même dire merveilleux, puisque non seulement les progrès accomplis (grâce aux inventions modernes) ont permis d'atteindre des longueurs de lignes vraiment fantastiques, mais encore ces lignes à grande distance peuvent être établies avec du fil plus fin que pour les anciennes lignes. Voilà le merveilleux : on fait mieux, on atteint des longueurs plus grandes tout en employant des fils plus économiques, puisqu'ils peuvent être

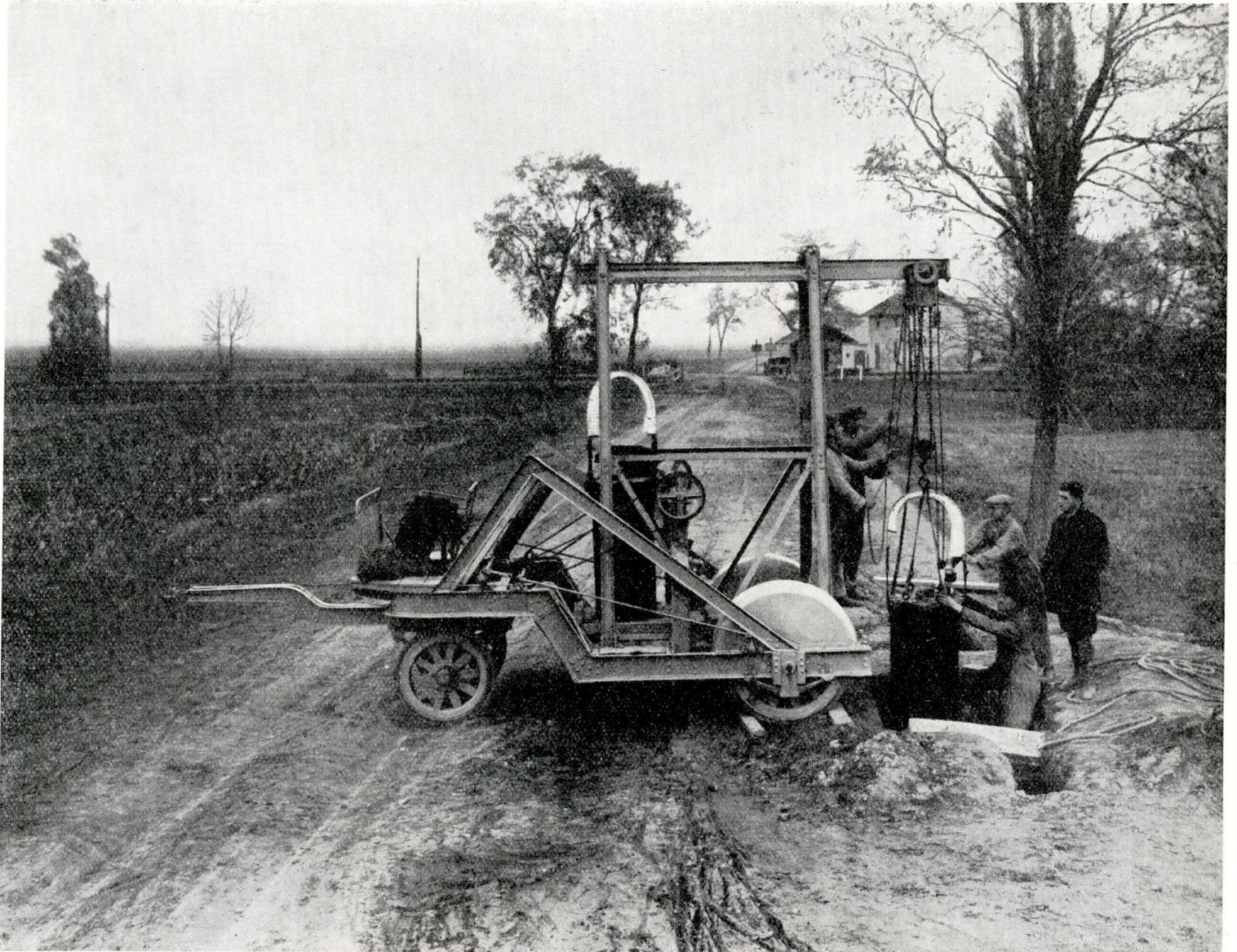
de moindre épaisseur. D'habitude, les progrès permettant d'arriver à des résultats meilleurs coûtent cher et augmentent le prix de l'exploitation. Ici, c'est le contraire : ces progrès ont eu ce résultat extraordinaire, d'augmenter le rendement et l'efficacité des lignes tout en en diminuant le prix, car l'emploi des fils fins, a permis de réunir de nombreuses lignes dans un seul et même câble sous plomb : soit aérien, soit souterrain.

Nous voici donc arrivés, en plein dans la période moderne de l'emploi des câbles sous plomb pour l'établissement des lignes à grande distance. Le premier de ces câbles, installé en France en 1926, est le câble Paris-Strasbourg. Nous pouvons en être justement fiers, puisque c'est notre Société « Le Matériel Téléphonique » qui a introduit ce système de câble en France, et qui a mis au point, toutes les données techniques de ce grand travail. Les bobines Pupin et les relais téléphoniques, destinés à ce premier



Pose d'un câble à longue distance

câble, ont été construits dans notre usine de la rue de l'Est à Boulogne. Nous avons l'intention, dans un prochain article, de donner une description complète de ce câble et forcément nous exposerons en détail les données techniques y relatives ; nous dévoilerons, pour ceux qui ne les connaissent pas encore, les secrets dont on entoure volontiers la construction et le fonctionnement des principaux organes de ce câble, tels



Mise en place d'une bobine de charge

par exemple, les bobines Pupin, les relais téléphoniques ou amplificateurs, les filtres, les lignes artificielles d'équilibrage, etc., nous parlerons également des circuits fantômes, et

nous espérons ainsi satisfaire la juste curiosité de ceux qui s'intéressent au fonctionnement et à l'exploitation commerciale d'un « câble à grande distance ».



Des Lignes Téléphoniques à grande distance

par H. ANDRÉ

(suite de l'article paru dans le N° 3 de Janvier 1929)

Une simple description de la partie matérielle du câble à grande distance n'apprendrait pas grand'chose aux non initiés quant à son fonctionnement électrique. Cela reviendrait, par exemple, à décrire une automobile en disant qu'elle se compose d'un châssis, d'un moteur, d'un volant et d'un frein, et de laisser ensuite le lecteur se débrouiller pour comprendre le fonctionnement de l'ensemble de ce mécanisme.

A notre avis, une telle description ne serait pas intéressante, c'est pourquoi nous croyons qu'il est préférable de commencer par poser les données théoriques du problème qui nous occupe, de montrer ensuite comment la science a permis de le résoudre, et d'exposer enfin sa réalisation matérielle.

Théoriquement, rien n'est plus simple ; il s'agit, en effet, d'obtenir qu'une personne, placée à une extrémité de la ligne à grande distance, puisse se faire entendre par une autre personne placée à l'autre extrémité de cette même ligne.

Or, que se passe-t-il lorsque la personne parle devant le microphone ? Nous savons qu'elle émet des ondes sonores qui font vibrer la plaque de ce microphone lequel, à son tour, engendre des ondes électriques d'une fréquence équivalente à ces ondes sonores, qui se propagent le long de la ligne et font vibrer la plaque du récepteur qui engendre à son tour des ondes sonores, toujours de même fréquence, de telle sorte que la personne entend finalement les paroles émises devant le microphone.

N'est-ce pas que cela paraît simple ? On se demande même pourquoi il a fallu tant de longues recherches pour réaliser ce problème.

Puisque la ligne est parcourue par des ondes phoniques équivalentes aux ondes sonores et que ces ondes doivent aboutir *sans déformation* et avec une énergie suffisante

pour pouvoir actionner la membrane du récepteur, il semble tout naturel de chercher à savoir comment se comportent ces ondes électriques le long de la ligne. C'est ici qu'apparaît le nœud de la question.

Voyons d'abord de quelle nature sont ces ondes sonores et ces ondes électriques qui jouent le rôle principal dans

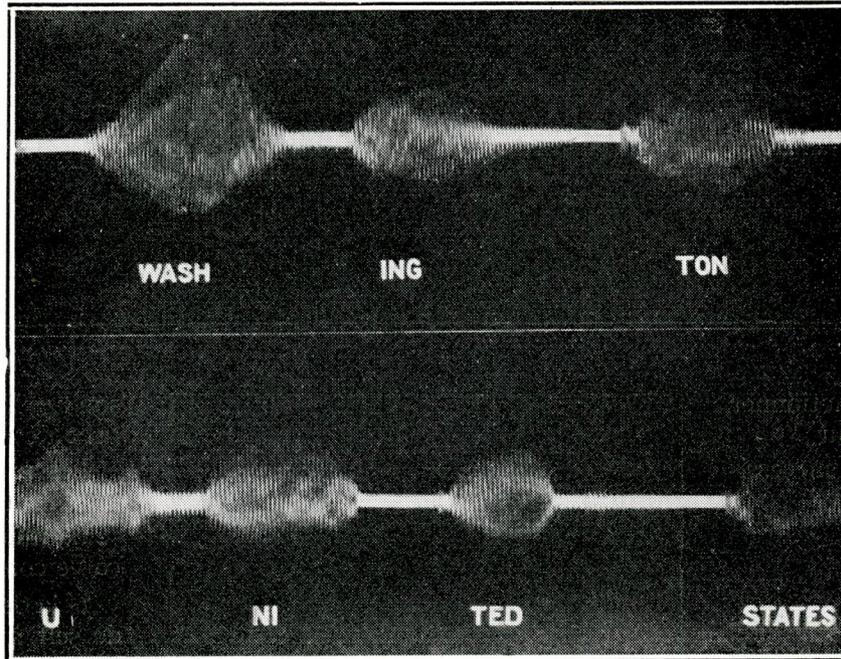
la transmission de la voix à grande distance. Les figures 1 et 2 montrent quelques photographies obtenues sur un film se déroulant avec une vitesse d'environ 33 centimètres par seconde devant un oscillographe qui indique les fluctuations ou fréquences du courant électrique lancé sur la ligne par le microphone lorsqu'on prononce les mots inscrits en dessous de ces divers groupes de courants phoniques. Ces figures donnent déjà une idée de la délicatesse et de la complexité de ces groupes d'ondes phoniques dont il faut,

d'une part, respecter la structure, et d'autre part, éviter la perte d'énergie.

Ces groupes de courant, qu'on pourrait appeler des « quanta phoniques », représentent bien la photographie du mot à transmettre, sans déformation ni perte sensible d'énergie, jusqu'à l'autre extrémité de la ligne.

Les ondes sonores émises par les voix d'hommes s'étagent de 100 à 1.100 vibrations par seconde, tandis que les voix de femmes s'étagent de 330 à 2.500 vibrations ; voilà donc de quoi nous disposons au point de départ de la ligne. D'un autre côté, les vibrations qui peuvent être perçues par l'oreille humaine s'étagent entre 16 vibrations par seconde (ronflement) et 40.000 vibrations par seconde (sifflement), ce qui représente plus de 12 octaves.

Si, sur la ligne à grande distance d'environ 500 kilomètres, allant de New-York à San-Francisco, il n'y avait



aucun organe spécial tel que des bobines Pupin ou des relais, les ondes phoniques, à l'arrivée à San Francisco, n'auraient plus qu'une énergie égale au cinquante billionième de l'énergie émise à New-York, c'est-à-dire qu'aucun son audible n'arriverait à San Francisco puisqu'il faudrait, pour être perçu, qu'il arrivât au moins un millième de cette énergie et que, même pour obtenir une bonne transmission, il faudrait au moins un centième de cette énergie.

Moyens mis à notre disposition par la science et les inventeurs.

Pourquoi ces groupes d'ondes phoniques n'arrivent-ils pas à destination ? Pourquoi perdent-ils, en route, leurs formes, c'est-à-dire leur caractéristique déterminée par la fréquence spéciale à chaque son ? Pourquoi aussi perdent-ils en route une telle quantité d'énergie qu'il ne leur reste plus assez, au point d'arrivée, pour y actionner la membrane du récepteur ?

Examinons le problème successivement sous ses deux faces :

- 1° déformation des ondes ;
- 2° perte d'énergie.

Les ondes trouvent sur leur chemin le long de la ligne de grands ennemis qui leur font obstacle ; ce sont, entre autres et principalement, la capacité, les pertes d'isolement et la résistance de la ligne. La capacité et les pertes à l'isolement de la ligne ont surtout pour effet de déformer les ondes, et cette déformation est malheureusement différente suivant les fréquences, de sorte qu'un groupe d'ondes correspondant à un mot se déforme d'une façon irrégulière. Il en résulte donc, lorsque ce groupe arrive au bout de la ligne, qu'il n'a plus aucune ressemblance avec la figure qu'il avait au départ. Par conséquent, la voix se trouve déformée à tel point qu'elle devient inintelligible. Pour éviter cet inconvénient, le Dr. Pupin trouva qu'il suffisait de charger la ligne, c'est-à-dire de lui donner une quan-

tité de self susceptible de combattre le mauvais effet de la capacité. En effet, la théorie de Pupin montre que l'accroissement de la self-induction d'une ligne augmente ses qualités transmissives.

Pratiquement, deux procédés peuvent être employés pour obtenir une augmentation artificielle de la self-induction ; ce sont : 1° la Krarupisation (due à l'ingénieur danois Krarup) qui consiste à augmenter la perméabilité de l'espace entourant les conducteurs, en enroulant en spires jointives (autour des fils de cuivre qui constituent le circuit) un fil de fer doux oxydé dont le diamètre est de 2 à 3 dixièmes de millimètre ; 2° la Pupinisation, due au Dr. Pupin, consistant à intercaler de place en place dans le circuit des bobines de self. Cette deuxième méthode a sur la première l'avantage de permettre de réaliser une self additionnelle plus grande et de plus,

son application est plus aisée et d'un prix de revient moindre.

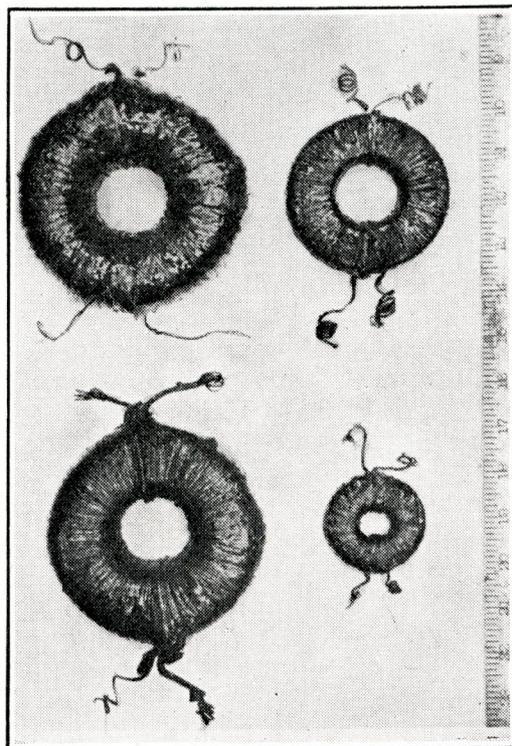
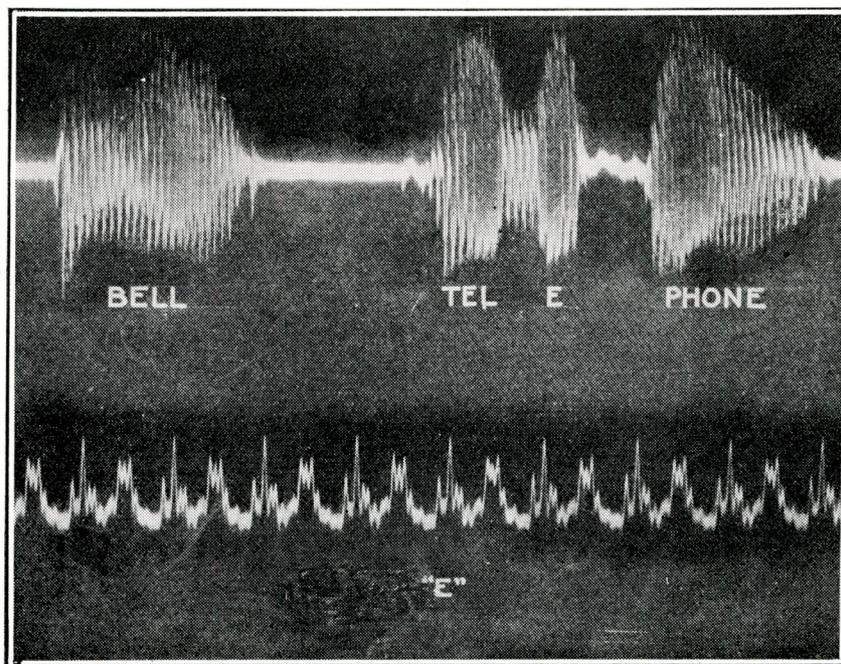
Les premières applications de la pupinisation remontent à 1901.

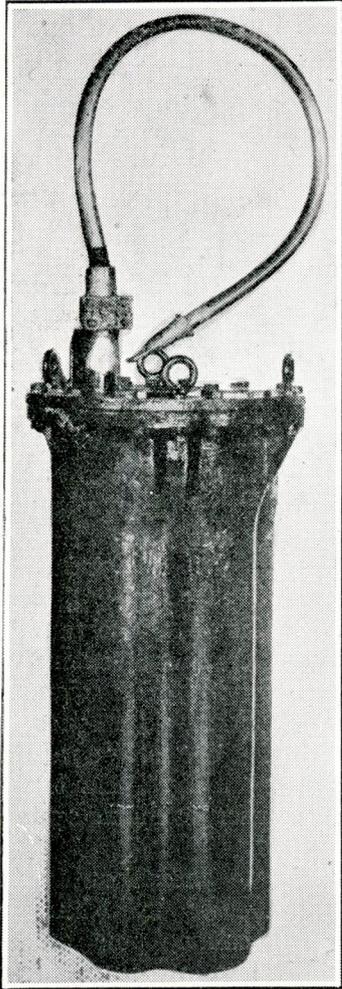
L'étude de la pupinisation d'un câble comprend :

- 1° la détermination de la quantité de self à ajouter par kilomètre ;
- 2° la répartition des bobines, contenant cette self, le long de la ligne ;
- 3° la spécification des bobines de self.

Il y a une valeur optimum de self qu'il serait nuisible de dépasser, aussi l'appelle-t-on la self maximum. Pour des circuits de capacité donnée, la self maximum est proportionnelle à la résistance kilométrique. Elle varie donc beaucoup avec le diamètre des conducteurs. Pratiquement, la quantité de self ajoutée est toujours assez largement inférieure à cette self maximum.

Voyons quel est l'effet pratique que produit, par exemple, la pupinisation de la ligne de 5000 kilomètres de New-York à San Francisco.





La seule présence de 400 bobines Pupin réparties le long de cette ligne améliore le rapport des énergies des ondes aboutissant au point terminus par rapport au point de départ, et le ramène à un millionième. Nous avons vu que ce rapport est encore insuffisant pour permettre l'audition du son au point d'arrivée, puisqu'il doit être de l'ordre de un centième. La seule présence des bobines ne suffit donc pas encore : il faut recourir à l'emploi de relais ou répéteurs dont nous allons bientôt être amenés à parler.

Mais auparavant, tâchons de montrer par une comparaison, quel est le rôle joué par les bobines de self.

D'abord, ces bobines de self ont pour effet de ralentir très notablement la vitesse de propagation des ondes phoniques le long de la ligne.

Sur une ligne non chargée ayant des fils de 2 à 4^{mm}, la propagation de l'onde se fait avec une vitesse comparable à celle de la lumière qui, comme on sait, est de 300.000 kilomètres à la seconde, et en même temps, elle remédie au défaut de déformation de ces ondes, déformation due en grande partie à la capacité de la ligne. On peut donc imaginer, pour concrétiser très approximativement ces effets, que les bobines de self réparties le long de la ligne jouent le rôle d'obstacles contre lesquels les groupes d'ondes viennent se heurter successivement de façon à permettre ainsi aux diverses fréquences composant un groupe de se reformer suivant la figure qu'elles avaient au point de départ. Chaque groupe ou quanta d'ondes phoniques se déplace indépendamment des autres groupes et maintient ainsi sa consistance figurative correspondant au mot qu'il doit véhiculer à l'autre extrémité de la ligne. Malheureusement, si le groupe se reforme figurativement, il perd de son énergie, comme on l'a vu plus haut, puisque cette énergie (après le franchissement des 400 bobines de la ligne New-York-San Francisco) a été réduite à un millionième de celle du point de départ.

Avec 6 relais intercalés le long de cette ligne on a pu ramener ce rapport des énergies à UN quatre-vingtième, ce qui correspond à un affaiblissement total de 2,24 qui

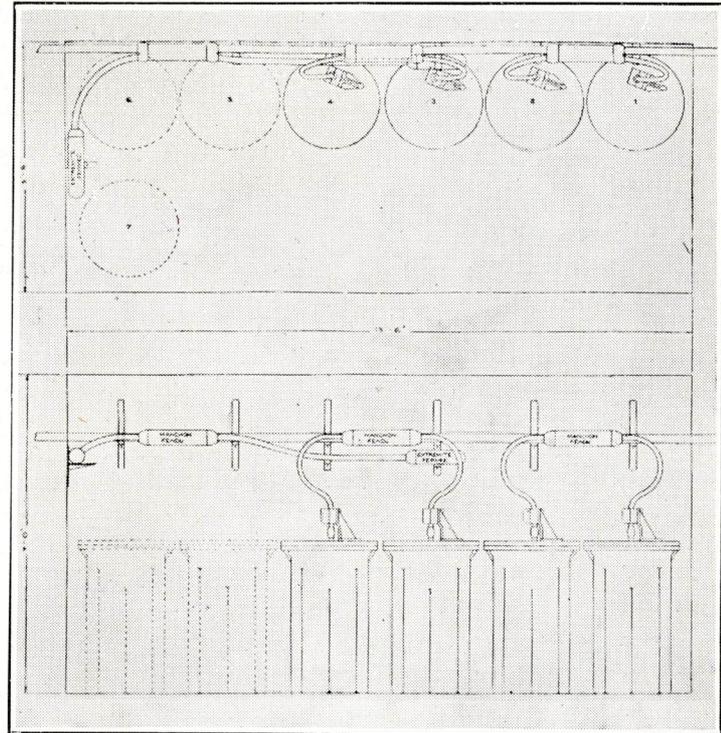
est très acceptable pour assurer une excellente transmission téléphonique commerciale.

Elles seules les bobines Pupin sont donc insuffisantes pour assurer une bonne communication à grande distance et c'est pourquoi nous allons bientôt être amenés à parler des relais ou répéteurs.

La fig. 3 montre l'évolution qu'a subie la bobine Pupin en tant que construction matérielle. La bobine montrée dans le coin supérieur de gauche est du type 1904 avec noyau en fil de fer ; la bobine inférieure de gauche est du type 1916 avec noyau en grains de fer très finement pulvérisé ; la bobine supérieure de droite est le type 1924 avec noyau en grains de fer très finement pulvérisé ; la bobine inférieure de droite est le type 1927 avec noyau en permalloy.

Il est à remarquer que ce dernier type est beaucoup moins encombrant que les autres modèles tout en leur étant égal, sinon supérieur, au point de vue de la qualité. Ce type 1927 présente des avantages considérables au point de vue pratique.

Au sujet du permalloy, nous ouvrons ici une parenthèse en disant que cet alliage possède des propriétés remarquables qui ont déjà permis de réaliser des choses



extraordinaires telles que, par exemple, rendre possible l'emploi de câbles télégraphiques sous-marins à des distances quatre fois plus grandes qu'il n'avait été possible de le faire auparavant.

La fig. 4 montre un pot de bobines Pupin muni d'un câble de sortie simple. La fig. 5 montre comment ces pots ainsi amorcés sont disposés dans une chambre et comment ils sont reliés au câble à grande distance.

(A suivre.)

Des Lignes Téléphoniques à grande distance

par H. ANDRÉ

(suite de l'article paru dans le N° 6 d'Avril 1929)

Augmentation de la portée des communications téléphoniques au moyen des relais.

Le relais téléphonique a permis de transformer profondément la constitution des réseaux interurbains et internationaux : les fils de cuivre de gros diamètres (égaux ou supérieurs à 3 mm) ne seront plus jamais utilisés pour les circuits téléphoniques, et cependant la portée de ces communications est considérablement agrandie. On voit par là quelle énorme économie de cuivre résulte de l'application de cette invention.

Parmi les divers types de relais qui ont été soumis à des essais pratiques, nous pouvons citer :

1° Le relai mécanique, qui consiste dans la combinaison d'un récepteur et d'un microphone amplificateur. Le récepteur agit sur la partie mobile du transmetteur, ce dernier étant agencé de façon à augmenter les sons reçus au moyen d'un dispositif convenable, comme cela se passe dans le relai « Shreeve » ou dans le relai « Brown ».

On a éprouvé avec ces relais mécaniques des difficultés pour obtenir leur bon fonctionnement dans les deux sens, soit par la méthode de l'équilibrage des lignes de chaque côté du relai, soit par l'usage d'un commutateur automatique. On a abandonné ces relais pour ne se servir que de ceux décrits ci-après :

2° Relais à lampes à vide, dont les avantages sont les suivants :

- a) Absence d'inertie ;
- b) Absence de réglage mécanique.

Toutefois, ce système nécessite l'emploi de hauts voltages (130 volts) pour assurer le fonctionnement des amplificateurs.

Le relai téléphonique doit comporter un montage réversible des amplificateurs permettant de causer dans les deux directions.

La lampe à 3 électrodes utilisée pour amplifier les ondes phoniques est bien connue des amateurs de T.S.F.

Le relai téléphonique à lampe compense, pour chaque section de câble, l'affaiblissement résultant des constantes électriques de la ligne.

Différents modes d'utilisation des amplificateurs téléphoniques.

Si un relai est intercalé d'une façon permanente sur un circuit téléphonique, on l'appelle « relai embroché ». Si un relai est disposé pour être inséré sur un dicorde d'un tableau téléphonique interurbain, on l'appelle « relai d'intercommunication ».

Les relais téléphoniques réduisent avec succès l'affaiblissement et accroissent sensiblement le volume de la parole reçue, mais ils ne permettent pas de remédier à la déformation des ondes phoniques. Un relai mal réglé

peut même aggraver les effets de cette déformation, et ces effets eux mêmes peuvent introduire des sifflements qui altèrent beaucoup la qualité de la transmission téléphonique.

Lorsqu'un câble comprend un grand nombre de circuits ayant chacun, au même endroit, un relai amplificateur, on réunit tous ces amplificateurs dans un bâtiment qu'on appelle « station de relais embrochés ». C'est ainsi que, pour le câble Paris-Strasbourg on a organisé sept stations comportant un nombre total de 460 relais

dont nous reparlerons plus loin en détail.

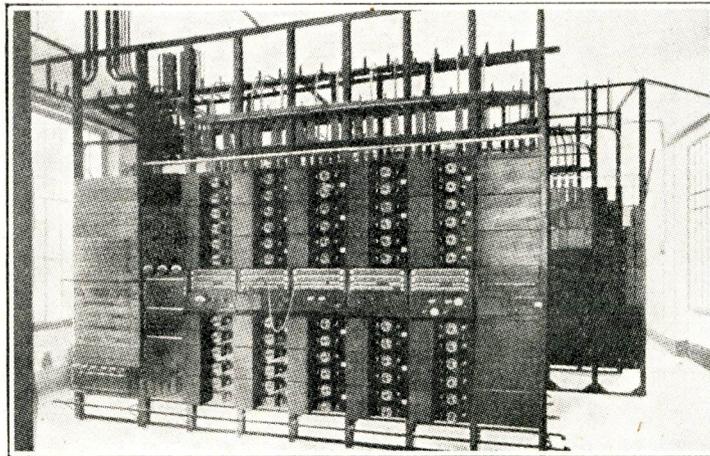
A présent que nous avons très sommairement exposé le rôle joué par les bobines Pupin et par les relais téléphoniques d'une ligne à grande distance, nous allons ci-après essayer d'exposer l'ensemble des circuits utilisant ces divers organes et nous pourrons donner la description du matériel entrant dans l'établissement d'un réseau de lignes à grandes distance.

Description des circuits à grande distance.

Une ligne téléphonique est caractérisée par 4 quantités physiques :

- 1° La résistance électrique ;
- 2° La capacité électrostatique ;
- 3° La résistance d'isolement ;
- 4° La self-induction.

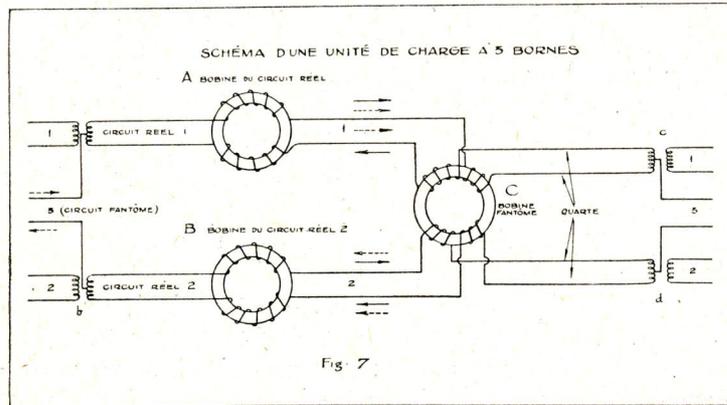
1. — La résistance électrique absorbe de l'énergie et réduit conséquemment le courant qui circule sur la ligne ;



Salle de repéreurs.

cette réduction est d'autant plus considérable que la section du conducteur est plus faible.

2. — La capacité qui existe entre deux conducteurs voisins séparés par un isolant est égale à celle d'un condensateur formé par deux plaques conductrices ou armatures représentant ces conducteurs, ces plaques étant disposées parallèlement et séparée l'une de l'autre par un isolant pouvant être soit de l'air, soit un diélectrique



quelconque tel que le mica. La capacité est d'autant plus grande que les dites armatures sont plus rapprochées. Alors qu'un condensateur ne laisse pas du tout passer le courant continu, il a la propriété de laisser passer le courant alternatif, et cela d'autant plus facilement que la fréquence de ce courant est plus élevée.

3. — La résistance d'isolement entre deux conducteurs du circuit et entre chaque conducteur et la masse (représentée par le restant du câble et de la terre) donne une mesure des fuites dues au manque d'isolement.

4. — La self induction tend à s'opposer à la variation du courant et à contrebalancer en partie l'effet nuisible de déformation que produit la capacité.

Lignes aériennes.

Les conducteurs les plus rapprochés d'une ligne aérienne sont espacés d'environ 30 centimètres, de sorte que la capacité qui existe entre ces deux conducteurs est très faible et son effet nuisible est à peu près compensé par la self induction qui est propre à ces conducteurs. Ceci explique pourquoi, dans les temps préhistoriques de la Téléphonie, alors que les bobines Pupin et les répéteurs étaient inconnus, les ingénieurs, pour arriver à transporter la voix sur les longues lignes aériennes, n'avaient à combattre que les effets nuisibles de la résistance et de l'isolement, et ils étaient ainsi amenés tout naturellement à installer des conducteurs en fils de cuivre de haute conductibilité et d'un diamètre élevé. Cela se traduisait en dépenses considérables et en difficultés très grandes pour l'établissement de ces lignes.

Lignes de câbles.

Dans les câbles, au contraire, les conducteurs sont entassés les uns contre les autres ; certains câbles ont

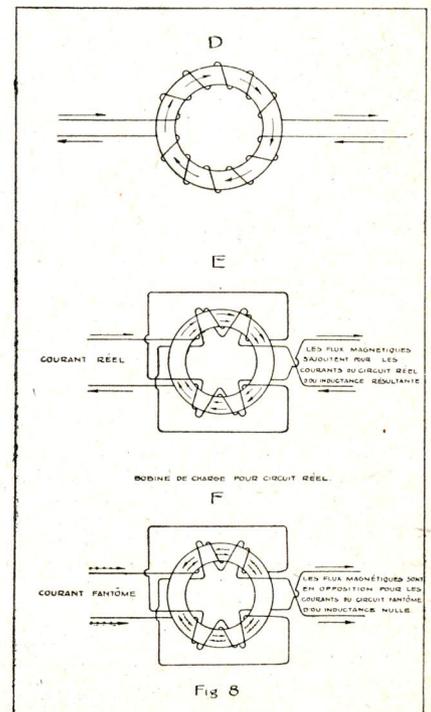
jusqu'à 1200 et 2000 paires de conducteurs, ils sont donc très voisins ; sur un long parcours, la capacité entre ces divers conducteurs devient très appréciable et peut ainsi avoir des effets très nuisibles. En effet, cette capacité peut permettre au courant à haute fréquence de passer aisément d'un fil à l'autre, de sorte qu'une faible partie de ce courant parvient à l'extrémité éloignée de la ligne à grande distance. Ceci se traduit en un gros affaiblissement du courant. Comme nous l'avons dit plus haut, ce passage du courant d'un fil à l'autre est d'autant plus facile que la fréquence est plus élevée. Ceci veut dire par exemple que, pour un groupe d'ondes phoniques qui comprend des fréquences très diverses correspondant à un mot énoncé au point de départ de la ligne, il se produira (en même temps qu'un affaiblissement général des ondes) une déformation de la figure que représentait ce groupe d'ondes, et par conséquent, ce groupe ne pourra plus reproduire ce dit mot au point terminus de la ligne.

Comme nous l'avons déjà dit précédemment, la self-induction qui est propre à la ligne du câble et qui est trop faible pour combattre la grande capacité de la ligne, doit être augmentée artificiellement par l'adjonction de bobines Pupin ; c'est ce qui s'appelle « charger la ligne ». Une analogie mécanique permet de comprendre le fonctionnement de cette pupinisation de la ligne.

Supposons qu'on essaie de faire onduler un fil léger et long. Les ondulations s'amortissent presque tout de suite. C'est le cas d'un câble non chargé. Si on recouvre le fil léger d'un ruban pesant et qu'on essaie de nouveau de le faire onduler, on voit que les ondulations se transmettent bien plus facilement, quelle que soit leur période. C'est le cas d'un câble chargé par la méthode Krarup, déjà décrite plus haut. Le même résultat peut être obtenu en lestant régulièrement le fil avec des grains de plomb, ce qui correspond à la méthode Pupin.

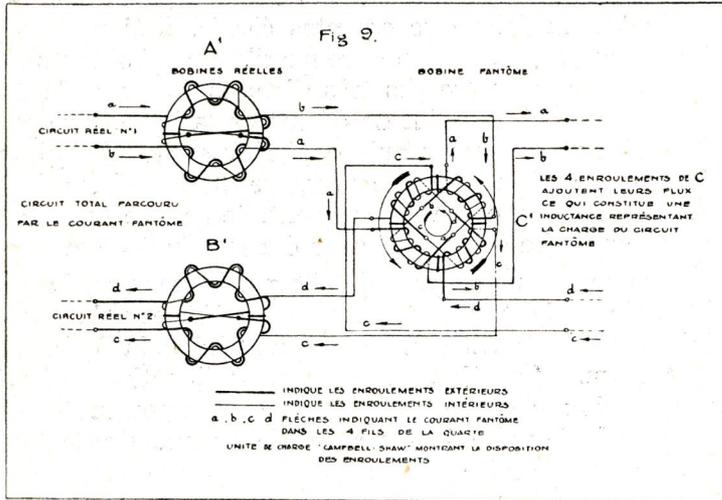
Toutefois, en ce cas (tout comme pour un câble pupinisé), il n'est pas possible d'augmenter la fréquence des oscillations au-delà d'une certaine limite, nommée « fréquence de coupure ».

Étudions d'abord les caractéristiques d'un système de charge des circuits du câble où chaque circuit est constitué par une paire de conducteurs (isolés au papier et torsadés). Chacune de ces paires



est également torsadée avec une seconde paire analogue, ce qui constitue une unité de 4 fils appelée *quarte* (voir fig. 7). L'étude de la fig. 7 permet de voir que chaque unité de 4 fils ou quarte permet d'obtenir en réalité trois circuits, dont deux sont dits « réels » et dont le troisième est appelé « circuit fantôme ».

Le circuit réel 1 correspond à la paire 1 de la quarte, le circuit réel 2 correspond à la paire 2 de cette même



quarte, et enfin le circuit fantôme 3 est constitué par l'ensemble des 4 fils en utilisant, en parallèle, pour l'aller, les deux fils de la paire 1, et pour le retour, les deux fils de la paire 2.

A gauche et à droite de la fig. 7, on voit les amorces de ce circuit 3 qui partent respectivement du centre des bobines transformatrices différentielles *a, b, c, d*, intercalées sur les circuits réels 1 et 2.

Grâce à ces bobines transformatrices différentielles nommées ordinairement des « translateurs », on voit qu'on peut économiser 2 fils sur les 6 qu'il eût fallu pour faire 3 circuits indépendants.

S'il n'y avait pas de circuit fantôme, il ne faudrait, pour la pupinisation d'une quarte, qu'une seule bobine de charge sur chacun des circuits réels, c'est-à-dire les bobines A et B montrées sur la fig. 7.

Les flèches en traits pleins montrent le sens du courant dans chacun des circuits réels 1 et 2, et les flèches en traits pointillés montrent le sens du courant dans le circuit fantôme 3.

La bobine de charge du circuit fantôme est montrée en C.

La fig. 8 montre plus en détail comment sont constitués les enroulements de ces bobines de charge des circuits réels. En D sont montrés, de la façon la plus simple, les deux enroulements schématisés d'une bobine, chaque enroulement correspondant à un fil de ligne; mais en réalité, pour mieux équilibrer ces bobines, on étend chaque enroulement sur l'ensemble du noyau, comme cela est montré en E, pour le courant (flèches pleines) d'un circuit réel, et en F pour l'inductance nulle résultant du courant (flèches pointillées) du circuit fantôme.

Sur la fig. 8, en E, en suivant le sens du courant (flèches pleines) du circuit réel, on voit que les flux magnétiques s'ajoutent, produisant ainsi une inductance qui constitue la charge du circuit réel.

De même en F, on voit (si cette même bobine est parcourue par le courant flèches pointillées du circuit fantôme) que les flux magnétiques produits par ces enroulements sont en opposition, d'où il résulte une inductance nulle pour le circuit réel correspondant.

On voit donc par là que le circuit fantôme n'est aucunement chargé par les bobines A et B (fig. 7) destinées aux circuits réels. Pour obtenir la charge de ce circuit fantôme, il faut recourir à une bobine supplémentaire à 4 enroulements, comme cela est montré en C (fig. 7) et en C' (fig. 9). Sur cette dernière figure, on montre la première partie de chacun de ces enroulements de la bobine C' en traits forts, la deuxième partie de chacun de ces mêmes enroulements étant montrée en traits fins; ceci permet de mieux suivre le courant passant dans chaque fil de ligne correspondant à chacun de ces enroulements. Sur la fig. 9, les flèches indiquent le sens du courant du circuit fantôme, lequel courant, comme nous l'avons déjà expliqué, ne produit aucune charge en A' et B' des circuits réels, mais qui au contraire en C' produit, pour les flux magnétiques qui en résultent dans chacun des 4 enroulements, des inductances qui s'ajoutent toutes les quatre et produisent une inductance finale utile qui constitue la charge du circuit fantôme.

(A Suivre.)

Des Lignes Téléphoniques à grande distance

par H. ANDRÉ

(suite de l'article paru dans le N° 7 de Mai 1929)

Des interférences ou des mélanges de conversations entre les circuits.

Dans les câbles, par suite de la très grande proximité des divers conducteurs, il y a, en plus de l'effet nuisible des capacités, à prendre également des précautions pour éviter les interférences ou les mélanges de conversations entre les divers circuits du câble.

Nous avons déjà dit que dans les câbles on constitue des quartes comprenant chacune une torsade de 2 paires de fils déjà torsadés, ce qui a pour effet de réduire les capacités parasites dans le câble. Il subsiste néanmoins des déséquilibres de capacité qu'il faut nécessairement réduire lors de l'installation du câble, au moment où on réalise la jonction entre les différents tronçons de ce câble. Les 4 fils d'une quarte ont entre eux et par rapport à la masse du câble des capacités élémentaires.

La fig. 10 représente schématiquement ces capacités élémentaires d'une quarte dont les fils sont montés par leurs sections en 1, 2, 3 et 4. Ce schéma rappelle celui d'un pont de Wheatstone et tout comme pour ce dernier, on peut dire (s'il y a parfaite symétrie), qu'en introduisant, d'une part, une force électromotrice (tel qu'un oscillateur), entre les deux conducteurs 1 et 2 d'une paire, et en introduisant, d'autre part, un récepteur entre les fils 3 et 4 de l'autre paire, ce récepteur doit rester silencieux. Au contraire, s'il y avait eu dissymétrie, il eût fallu (pour obtenir cet équilibre) ajouter, par exemple, une certaine capacité c intercalée sur les traits pointillés reliant les fils 1 à 3. Cette capacité donne la mesure du déséquilibre existant entre les fils de ladite quarte.

La fig. 10 bis montre que, par quarte, il existe 3 de ces déséquilibres k_1, k_2, k_3 :

- 1° Entre les deux circuits réels ;
- 2° Entre le circuit fantôme et le circuit réel 1 ;
- 3° Entre le circuit fantôme et le circuit réel 2.

Avant de raccorder deux tronçons successifs du câble, on relève systématiquement des déséquilibres de capacité de k_1, k_2 et k_3 , en grandeur et en signe, et on cherche à rétablir l'équilibre total en connectant ensemble les quartes dont les déséquilibres sont égaux et de signes contraires. Ce procédé, qui ne nécessite que des mesures rapides, a l'avantage de ne pas demander l'utilisation de condensateurs supplémentaires d'équilibrage.

Application des amplificateurs aux divers circuits du câble Paris-Strasbourg.

La différence essentielle qui existe entre l'application des amplificateurs, d'une part, à la radiotéléphonie, et d'autre part, aux circuits des câbles à grande distance, est qu'en radiotéléphonie l'amplification a toujours lieu dans le même sens, tandis que sur les circuits des câbles à grande distance les conversations s'échangent dans les deux sens de la transmission. Ces amplificateurs à 2 sens des câbles ne doivent donner lieu ni à amorçages de sifflement, ni à des déformations par réaction d'un amplificateur sur l'autre.

Des circuits à 2 fils.

Pour résoudre le problème d'équilibrage dans les circuits à 2 fils, on a été amené, pour chaque relais R, à utiliser deux éléments amplificateurs distincts, un pour

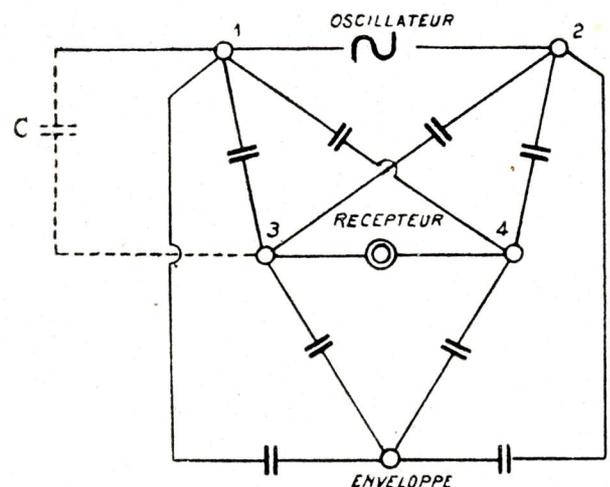


Fig.10

chaque sens de la transmission. De plus, on associe un transformateur différentiel distinct à chacun de ces amplificateurs (voir fig. 11). Dans ce système, chaque ligne est individuellement équilibrée par une ligne artificielle nommée équilibreur. C'est ainsi que, sur la fig. 11, on voit la partie ouest de la ligne à grande distance à 2 fils aboutir en O au premier transformateur de sortie

(partie centre de gauche de la figure), et on voit la partie Est de la même ligne aboutir en E au deuxième transformateur de sortie du relais R. Ce relais R se trouve donc intercalé sur la ligne à grande distance à 2 fils. A chacun des transformateurs O et E aboutissent, d'une part, en O l'entrée de l'élément amplificateur OE, et d'autre part, la sortie de l'autre EO. Ces connexions sont symétriques; c'est ainsi que les points centraux du transformateur O sont reliés à l'amplificateur supérieur

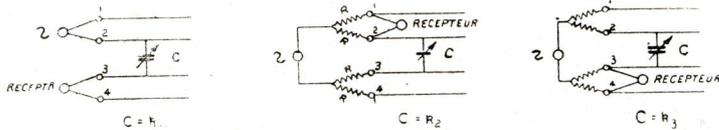


Fig 10 Bis

OE, tandis que les points centraux p_1 , p_2 du transformateur E sont reliés à l'amplificateur inférieur EO.

L'équilibrage de la partie ouest de la ligne se fait d'une façon indépendante de celui de la partie Est de la même ligne. Comme il est peu probable que les deux lignes soient simultanément déséquilibrées, la déformation est peu à craindre. En outre, le courant de sortie d'un amplificateur se divise en parties égales entre, d'une part, la ligne à laquelle le courant amplifié est destiné, et d'autre part, l'équilibreur correspondant à cette ligne. Il s'ensuit qu'il ne peut pas se produire de réaction d'un amplificateur sur l'autre, ni entre deux stations voisines de relais.

On voit très bien sur la fig. 11 que l'amplificateur supérieur O E n'amplifie que les courants venant de l'ouest et allant vers l'est, tandis que l'autre amplificateur EO n'amplifie que les courants venant de l'Est et se dirigeant vers l'ouest.

Pour mieux faire comprendre le fonctionnement du relais R, suivons le courant venant par exemple de O et se dirigeant vers E :

1° Le courant de la ligne O arrive en p_1 , p_2 , au centre du transformateur de sortie de gauche, et de là, il se partage à peu près également entre le potentiomètre OE où il est utilisé pour l'amplification et, le filtre 2 où il se dissipe sans effet utile ni nuisible, puisque ce filtre 2 se trouve du côté sortie du transformateur EO. Une troisième partie, très minime, de ce courant se dirige vers l'équilibreur où il n'a d'effet ni utile ni nuisible;

2° Le partie dite du courant qui est arrivée au potentiomètre OE, se dirige vers l'enroulement primaire du transformateur d'entrée OE dont le secondaire est rattaché à la grille de la lampe amplificatrice OE et permet ainsi aux ondes du courant venant de O de produire (par le jeu bien connu de la lampe) des courants amplifiés allant vers la plaque de cette lampe, par là au filtre 1 et ensuite à l'enroulement primaire du transformateur de sortie correspondant à la ligne E...

3° Cet enroulement primaire produit, sur ses deux

enroulements secondaires, des courants « égaux » dont l'un utile se dirige vers la ligne E, et l'autre vers l'équilibreur 2. Ces courants, étant égaux, n'ont par conséquent aucune action sur la dérivation partant des points p_1 et p_2 , milieu de ce transformateur, et allant vers le transformateur inférieur EO...

En effet, vu l'équilibrage parfait entre les impédances de la ligne E et de l'équilibreur 2, il ne se produit pas de différence de potentiel entre les points p_1 et p_2 , et par conséquent aucun courant nuisible ne se dirige vers l'autre transformateur EO. Il en résulte que le courant amplifié par la lampe supérieure OE n'influence en rien la lampe inférieure EO, à la condition, bien entendu, que l'équilibreur 2 soit bien réglé par rapport à la ligne E de façon à bien partager en deux parties égales le courant produit dans les enroulements secondaires du transformateur de sortie correspondant...

Montage symétrique de la 2^e lampe.

Il va sans dire que le fonctionnement de la lampe EO, pour le courant allant de E vers O, est semblable et tout à fait symétrique à celui que nous venons de décrire ci-dessus pour la lampe OE. Ces deux lampes peuvent même fonctionner simultanément de façon à assurer les conversations engagées simultanément dans les deux sens.

Des circuits à 4 fils.

Un perfectionnement très important a été apporté

RELAIS R A 2 AMPLIFICATEURS
POUR CIRCUIT A 2 FILS

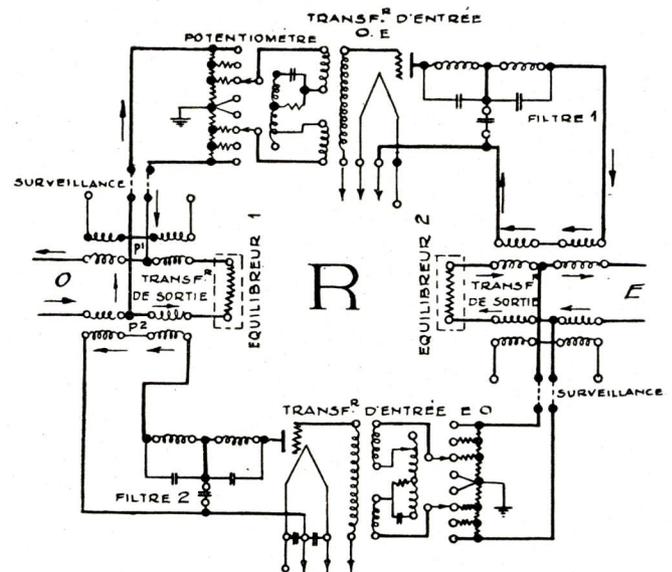


FIG. 11

dans la technique des câbles à longue distance par la création des circuits à 4 fils dont le principe est le suivant :

Les lignes téléphoniques urbaines ordinaires O et E venant de chez les abonnés aboutissent, comme il est montré en A et B sur la fig. 12, chacune a un système différentiel appelé appareil d'extrémité du circuit à 4 fils. Cet appareil différentiel est donc situé dans la ville où se

trouve l'abonné. Supposons que la ligne O soit située à Paris et la ligne E à Strasbourg. Les deux appareils d'extrémité A et B correspondant à ces lignes, et dont l'un se trouve donc également à Paris et l'autre à Strasbourg, sont reliés entre eux par un circuit à 4 fils dont 2 fils forment le circuit sens Ouest-Est et dont les deux autres fils forment le circuit Est-Ouest. Chacun des deux appareils d'extrémité du circuit à 4 fils A et B comporte

LIGNE A 4 FILS
DISPOSITION SCHEMATIQUE DES RÉPÉTEURS r
PLACÉS A LA SUITE LES UNS DES AUTRES.

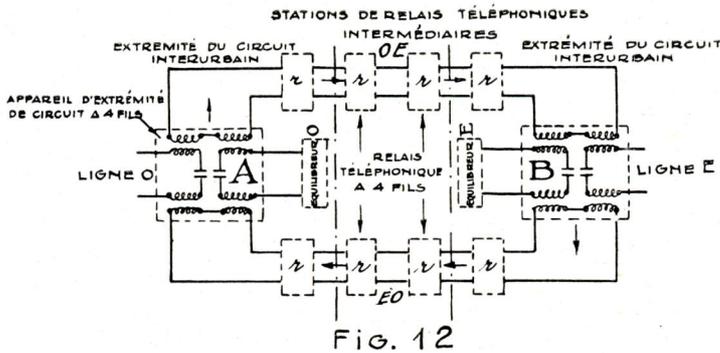


FIG. 12

un équilibreur de la ligne urbaine correspondante. Cet équilibrage a pour effet (comme nous l'avons déjà vu ci-dessus pour les circuits à 2 fils) d'éviter que, en ces points extrêmes A et B, le courant amplifié ne reparte vers la personne qui parle.

Le long du circuit à 4 fils (s'étendant entre les deux appareils A et B), on peut intercaler autant de relais amplificateurs r que cela est nécessaire. Les deux fils OE comprennent des lampes amplifiant dans le sens Est-Ouest, et de même, les deux fils EO comprennent un nombre symétrique de lampes amplifiant dans le sens Est-Ouest, comme cela est indiqué par les flèches sur la fig. 12. Chacun des circuits OE et EO, n'ayant que des amplificateurs opérant dans un seul sens, et de plus, comme l'équilibrage n'a lieu qu'aux extrémités O et E de la ligne à grande distance et que, en outre, on prend soin dans le câble de faire cheminer ces deux circuits OE et EO loin l'un de l'autre, il est possible de réaliser (dans chaque station de relai r) une amplification bien plus grande que dans les stations de relai R des lignes à 2 fils dont il a été parlé ci-dessus. Grâce à cette facilité d'amplification relativement élevée des stations r , on peut réduire notablement le diamètre des conducteurs des circuits OE et EO composant le circuit total à 4 fils, et on peut ainsi réaliser, dans des conditions techniques meilleures, des circuits aussi économiques que les circuits à grande distance ne comportant en tout que 2 fils.

Les répéteurs permettent également (dans le système des circuits à 4 fils) de corriger dans une certaine mesure la déformation résiduelle apportée par la ligne, et en particulier de réduire les phénomènes nuisibles de l'écho.

Pour la facilité d'exposition, le schéma de la fig. 12 ne montre, en r , les stations de relai téléphoniques à 4 fils que par des traits pointillés.

La fig. 13 donne plus en détail le montage et les connexions correspondant à un de ces répéteurs r choisi, par exemple, sur la ligne OE, c'est-à-dire qu'il est muni de lampes amplifiant dans le sens Ouest-Est. Il va de soi que la même disposition convient aussi bien à la ligne EO. Il suffit de placer les entrées et les sorties des lampes dans les sens voulu pour le circuit correspondant. Sur la gauche de la fig. 13, on voit en O l'entrée de la ligne OE venant de l'ouest et se dirigeant, par l'intermédiaire du transformateur d'entrée a , vers la grille de la première lampe de ce relai; puis, par le transformateur de couplage, vers la grille de la deuxième lampe dont la plaque de sortie est reliée au transformateur de sortie qui est connecté à la partie de la ligne OE qui se dirige vers l'Est. On voit donc que, avec ce système de relai à 4 fils, il y a deux étages d'amplification dans chacun des répéteurs.

Transmission des courants d'appel.

Sur les câbles à grande distance il n'a pas été trouvé avantageux de relayer tout le long de la ligne le courant d'appel à 20 périodes utilisé ordinairement pour appeler les postes des abonnés. Ce courant à 20 périodes n'est, en effet, pas susceptible d'être amplifié par les répéteurs ordinaires des stations de relai. Pour y remédier, on s'arrange dès le départ de ce courant d'appel à 20 périodes à le transformer en un courant à 500 périodes par un dispositif spécial. Ce courant à 500 périodes peut être rangé dans les courants à fréquence vocales. On a soin de l'interrompre 16 fois par seconde. Ce courant vocal ainsi interrompu 16 fois par seconde peut être amplifié par les répéteurs ordinaires de la ligne et il arrive, ainsi renforcé, à l'autre bout de la ligne à grande distance où un second dispositif le transforme à nouveau en un courant d'appel à 20 périodes avec lequel on peut finalement

AMPLIFICATEUR POUR CIRCUITS A 4 FILS

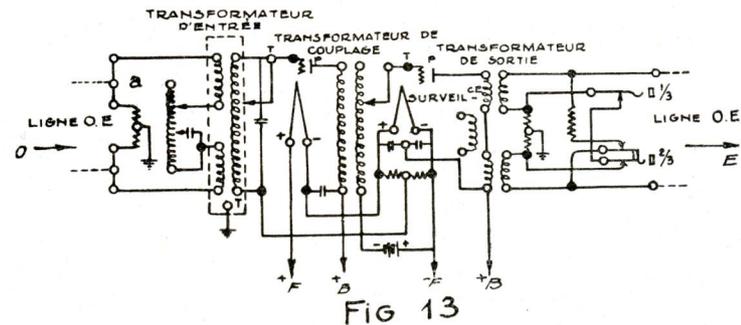


FIG 13

actionner, soit la sonnerie de l'abonné, soit le relai d'appel du bureau central demandé.

Ce système ne nécessite d'appareils spéciaux qu'aux deux extrémités du circuit à grande distance; il utilise les stations existantes de relai sans rien y modifier ni rien y ajouter.

La découpe à 16 périodes de ce courant d'appel à fréquence vocale évite le fonctionnement accidentel du dispositif convertisseur d'appel placé à l'extrémité réceptrice de la ligne à grande distance. En effet, grâce à ces

16 interruptions à la seconde, il est impossible qu'un courant de conversation *ordinaire non interrompu* puisse agir sur le dispositif du convertisseur spécial réservé au courant d'appel et réglé spécialement pour obéir à ces 16 interruptions. Il n'est donc pas à craindre que l'abonné puisse (en cours d'une conversation) recevoir dans l'oreille un courant d'appel à 20 périodes par suite du fonctionnement intempestif de ce convertisseur.

Récapitulation des données techniques du problème.

En récapitulant tout ce que nous avons dit jusqu'à présent dans cet exposé sans prétention scientifique, nous voyons que nous pouvons arriver à la conclusion qu'il est possible d'assurer, dans de bonnes conditions techniques et commerciales, des conversations téléphoniques sur des circuits interurbains ou internationaux dont la longueur peut parfois atteindre plusieurs milliers de kilomètres. Ce résultat est obtenu grâce :

1° à l'emploi de la pupinisation, c'est-à-dire de la charge judicieuse des lignes, cette pupinisation permettant de diminuer l'affaiblissement et d'empêcher la déformation des ondes, ce qui améliore les qualités de la transmission ;

2° à l'emploi des répéteurs à 2 ou à 4 fils permettant (tout en réduisant la section des conducteurs qui composent les circuits) de conserver au courant assez d'énergie pour assurer une bonne audition au point terminus d'arrivée ;

3° à l'emploi de translateurs qui permettent, par l'usage des circuits fantômes, de réaliser trois circuits avec quatre fils seulement au lieu de six, soit donc avec une économie réelle d'un circuit sur trois, tout en assurant avec ces quatre fils le même trafic et le même volume de conversations simultanées que si l'on avait utilisé 6 fils pour former ces 3 circuits ;

4° à l'emploi de dispositifs très simples permettant, au départ, la transformation du courant d'appel ordi-

naire à 20 périodes non amplifiable en un courant amplifiable à fréquence vocale de 500 périodes, et en interrompant, de plus, ce dernier courant 16 fois par seconde, ce courant d'appel ainsi formé passant aisément par les répéteurs ordinaires de la ligne et, dès son arrivée au point terminus d'arrivée, étant automatiquement retransformé en un courant d'appel ordinaire à 20 périodes pouvant agir directement sur les sonneries d'appel des abonnés ou sur les signaux d'appel des bureaux centraux de la ville destinatrice.

Il ne nous reste plus, pour terminer, qu'à donner une description très succincte de la partie matérielle du problème, c'est-à-dire de la fabrication, de l'installation et de l'exploitation du câble et de tout ce qui s'y attache, tel que, par exemple :

Le câble proprement dit mis sous plomb et armé ; les pots pour bobines de charge et les chambres destinées à les recevoir ; les répéteurs, leurs bâtis et leurs accessoires, le tout installé dans les stations placées le long du câble ; l'énergie électrique assurant le fonctionnement du système ; les appareils d'essai permettant un bon entretien ; etc., etc.

Nous avons déjà trouvé, pour ce qui précède, la collaboration de nos collègues spécialisés en la matière. Ils ont bien voulu nous aider de leurs bons conseils et de leur précieuse documentation. Nous les en remercions très cordialement et espérons qu'ils voudront bien continuer cette précieuse et indispensable aide pour mener à bien la dernière partie de notre exposé. Nous pourrions ainsi terminer avec l'espoir d'avoir pu contribuer à donner à nos collègues du Club Sportif quelques notions claires et précises sur les lignes et les câbles à grande distance, et d'avoir montré aux spécialistes de bonne volonté la voie à suivre pour faire paraître d'autres articles de vulgarisation poursuivant le même but.

H. ANDRÉ.