

LA TÉLÉPHONIE EN HAUTE FRÉQUENCE ET LA PROPULSION DES TRAINS PAR LES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Par A. GIVELET
INGÉNIEUR R. S. E.

I. - La téléphonie par les courants de haute fréquence et ses applications

Les applications modernes des courants de haute fréquence deviennent de plus en plus nombreuses. En dehors de la télégraphie et de la téléphonie sans fil, nous pouvons citer les applications électrométallurgiques qui utilisent l'alternateur à haute fréquence pour l'alimentation des fours à induction, l'éclairage par les tubes à lumière froide (tubes de Risler) qui demandent des fréquences considérables, la télégraphie et la

téléphonie simultanées, en particulier, la téléphonie sans fil spécial, sur les réseaux à haute tension, et enfin l'électrification des chemins de fer sans prise de courant, par l'utilisation d'ondes électromagnétiques.

C'est principalement de ces deux dernières applications, très intéressantes, dont nous allons nous occuper. Elles présentent, en effet, toutes deux un caractère commun : l'utilisation de la propagation des courants de haute fréquence le long de fils conducteurs. Dans le premier cas, on emploie des courants faibles de l'ordre du centième ou du milli-

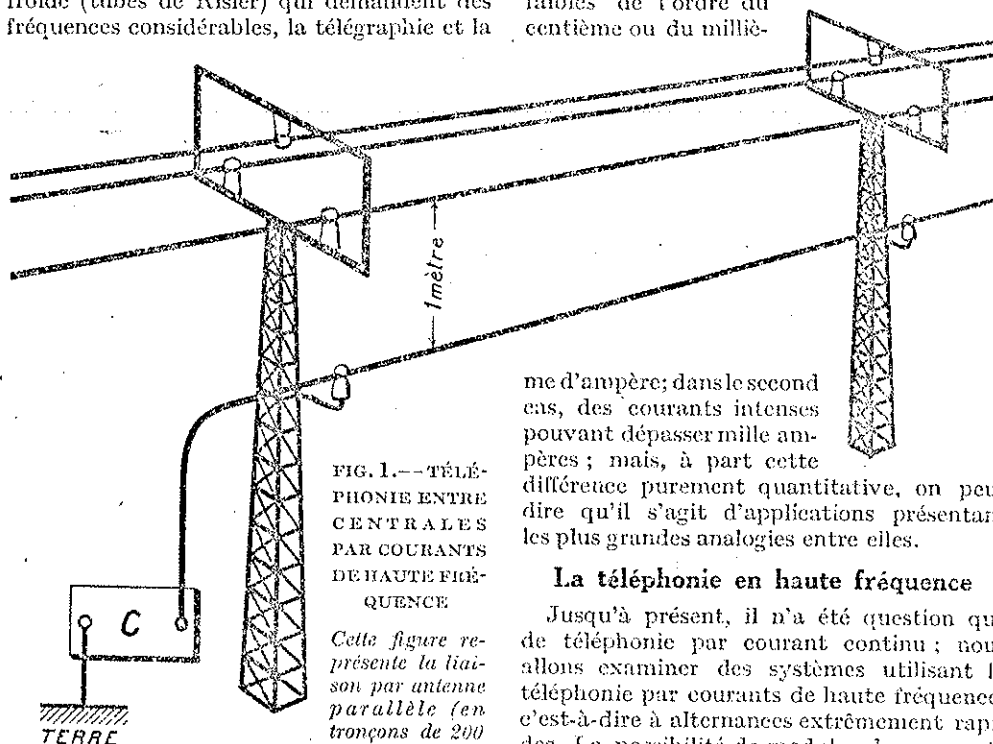


FIG. 1. — TÉLÉPHONIE ENTRE CENTRALES PAR COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE

Cette figure représente la liaison par antenne parallèle (en tronçons de 200 mètres) entre un poste téléphonique à haute fréquence et une ligne à haute tension (H.T.). C, appareils émetteurs ou récepteurs. La distance entre l'antenne HF et les lignes H.T. est au moins de 1 mètre.

me d'ampère; dans le second cas, des courants intenses pouvant dépasser mille ampères; mais, à part cette différence purement quantitative, on peut dire qu'il s'agit d'applications présentant les plus grandes analogies entre elles.

La téléphonie en haute fréquence

Jusqu'à présent, il n'a été question que de téléphonie par courant continu; nous allons examiner des systèmes utilisant la téléphonie par courants de haute fréquence, c'est-à-dire à alternances extrêmement rapides. La possibilité de moduler des courants de haute fréquence pour la téléphonie a été signalée par M. Maurice Leblanc dès 1886. Un peu plus tard, M. Turpain a introduit dans ces systèmes la détection telle qu'on la

pratique habituellement en radiotélégraphie; enfin, un ingénieur français, M. Neu, a proposé, au congrès de Marseille, la téléphonie sans fil spécial, en utilisant comme conducteurs les câbles à haute tension des réseaux de force et de lumière. Le brevet fondamental relatif à ce système de transmission a été pris en France le 25 juin 1915, par M. Marius Latour.

La téléphonie en haute fréquence présente un intérêt capital dans deux cas :

1° Lorsqu'il s'agit de relier une centrale électrique à ses sous-stations. En effet, dans ce cas, le courant alternatif à haute tension cause des perturbations considérables sur les systèmes téléphoniques ordinaires, tandis qu'il est sans influence sur les systèmes à haute fréquence, à cause de la grande différence des fréquences : celle des courants à haute fréquence étant de l'ordre de 100.000 périodes par seconde, et celle des courants de force et de lumière ne dépassant pas 50 (60 périodes au maximum, aux États-Unis, Californie) ;

2° Lorsqu'il s'agit de relier téléphoniquement un train en marche aux gares d'un réseau et, d'une façon générale, à tout bureau fixe.

Examinons ces deux applications toutes récentes et appelées à un bel avenir.

Téléphonie entre centrales. — Dans ces deux cas, les postes d'émission et de réception sont des postes à lampes audions, absolument semblables à ceux employés pour la radiotéléphonie. On sait que l'on réalise la production d'oscillations à haute fréquence dans ces postes par couplage électrostatique ou électromagnétique des circuits de plaque et de grille. (Voir *La Science et la Vie*, n° 41, page 411.) La modulation se fait, soit sur le circuit de grille, par l'intermédiaire d'un transformateur téléphonique dont le secondaire est shunté par un condensateur qui y est placé en dérivation, soit sur le circuit de plaque, en entourant ce circuit de quelques spires de fil branchées sur un microphone, dont les variations de résistance produisent une absorption variable du courant de plaque.

La réception s'effectue sur un amplificateur à lampes de type quelconque, mais de préférence à haute fréquence, car les appareils à basse fréquence amplifient surtout les parasites et les bruits divers connus sous le nom de *friture*. Toutefois, au lieu de recourir à des puissances élevées comme en téléphonie sans fil (par exemple 250 watts pour 100 kilomètres), on peut se contenter ici de quelques watts, l'énergie étant canalisée par des conducteurs. Il faut toutefois noter qu'il se produit une perte fort appréciable lorsqu'il se trouve des transformateurs sur le réseau, les courants à haute fréquence passant par capacité entre les spires de ces transformateurs ; cette considération amène à doubler

ou à tripler la puissance nécessaire dans certains cas.

Le point délicat dans ces installations est toujours la liaison entre les appareils émetteurs ou récepteurs et la ligne à haute tension.

On peut effectuer cette liaison soit par une antenne parallèle, soit par des transformateurs à haute

fréquence ou encore par des condensateurs.

Dans la liaison par antenne, il suffit de tendre un fil parallèle à la ligne sur une longueur de 200 mètres et à un mètre de distance environ. Ce fil agit par induction et transmet les courants de haute fréquence à la ligne haute tension par ondes électromagnétiques invisibles dans l'espace (fig. 1).

La liaison par condensateurs ou transformateurs permet de prendre un des fils pour l'aller et l'autre pour le retour (dans le cas des réseaux triphasés, un fil pour l'aller et deux pour le retour, ou réciproquement). Avec ce dispositif, le flux embrassé est moindre que dans le cas de l'attaque par fil parallèle, où le retour se fait par la terre et où la ligne de force se comporte comme une véritable antenne de T. S. F., captant les signaux des postes radiotélégraphiques lointains et les parasites provenant de l'atmosphère ou des effluves à haute tension. Les résultats obtenus sont donc meilleurs avec le système qui utilise la liaison par trans-

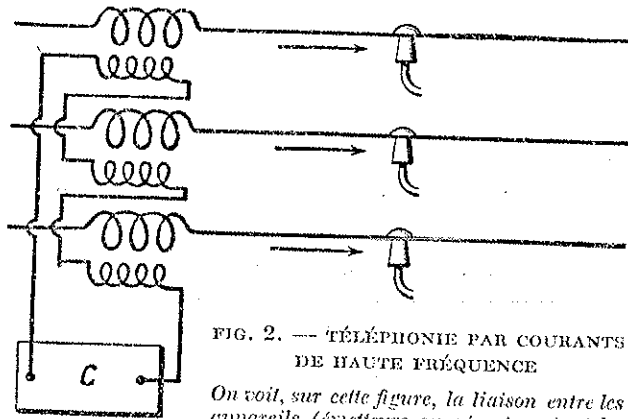


FIG. 2. — TÉLÉPHONIE PAR COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE

On voit, sur cette figure, la liaison entre les appareils (émetteurs ou récepteurs) et les lignes à haute tension par transformateurs pour la téléphonie sur ces lignes. C, appareils reliés aux secondaires des transformateurs.

formateurs ou condensateurs (fig. 2, 3 et 4).

Une des installations les plus remarquables réalisées en ces derniers temps est celle du réseau de la Basse-Isère, due à M. Marius Lator, sur fils à 120.000 volts, entre l'usine électrique de Beaumont-Monteux, dans la Drôme, et le poste de transformation de la Rivière, à Saint-Etienne (distance 90 kilomètres) environ.

La liaison entre les conducteurs à haute tension et les appareils téléphoniques s'effectue à la fois par transformateurs et condensateurs; le transformateur, monté sur des pieds isolants, mesure 1 m. 70 de haut, et la hauteur des condensateurs, y compris l'isolateur de sortie, atteint 2 m. 24. La fréquence employée varie de 50.000 à 200.000 périodes par seconde (fig. 5, 6 et 7).

Dans cette installation, l'appel s'effectue à l'aide du courant à haute fréquence; on se sert pour cela d'une lampe audion (figure 4) dont la grille est rendue fortement négative à l'aide d'un potentiomètre (sorte de rhéostat à curseur), de façon qu'aucun courant ne puisse passer; si une tension alternative est appliquée à cette grille au moment de l'appel, le courant peut traverser la lampe à certains instants et un relais

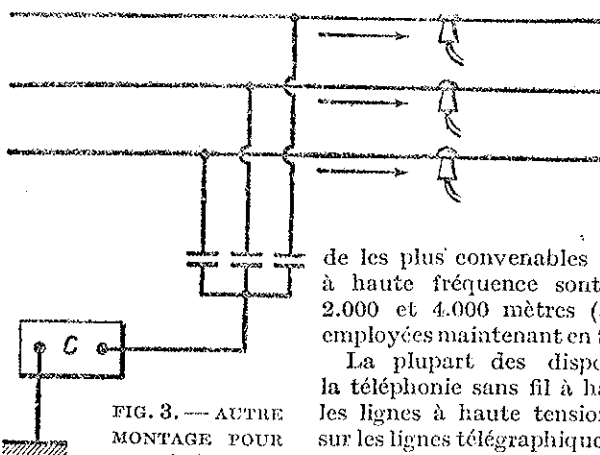


FIG. 3. — AUTRE MONTAGE POUR LA TÉLÉPHONIE PAR COURANT DE HAUTE FRÉQUENCE

Ici, la liaison s'effectue au moyen de condensateurs pour la téléphonie sur les lignes à haute tension. Une des armatures des condensateurs est reliée aux appareils d'utilisation C, l'autre aux lignes HT; le circuit haute fréquence se ferme par la terre.

Claude, appareil analogue à un galvanomètre à cadre mobile, ferme le circuit local d'un avertisseur sonore. En général, les longueurs d'on-

de les plus convenables pour la téléphonie à haute fréquence sont comprises entre 2.000 et 4.000 mètres (analogues à celles employées maintenant en téléphonie sans fil).

La plupart des dispositifs usités pour la téléphonie sans fil à haute fréquence sur les lignes à haute tension sont applicables sur les lignes télégraphiques ordinaires; mais, alors, la réalisation est beaucoup plus facile puisqu'il n'est plus nécessaire de recevoir aux forts isolements imposés par la présence de la haute tension. Des essais très réussis viennent du reste d'être effectués à ce sujet, en France, entre Lille et Boulogne, par l'Administration des postes et télégraphes.

Téléphonie avec les trains en marche. — En 1885, Edison a fait breveter un système de télégraphie électrostatique par induction applicable aux trains en marche. L'induction se produisait entre une plaque métallique placée sur le toit d'un wagon et reliée à l'un des pôles d'une bobine de Ruhmkorff (véritable transformateur), d'une part, et les fils télégraphiques disposés au-dessus et tout le long de la voie, d'autre part.

Divers inventeurs, en particulier les Suédois MM. Werner et Warfinge, ont imaginé

des systèmes de téléphonie avec les trains en marche, basés sur l'induction électromagnétique entre un circuit placé sur un wagon et les lignes télégraphiques ordinaires. Des dispositifs analogues à ceux que nous avons signalés à propos de la téléphonie par circuits combinés ou « circuits fantômes » empêchaient les brouillages en-

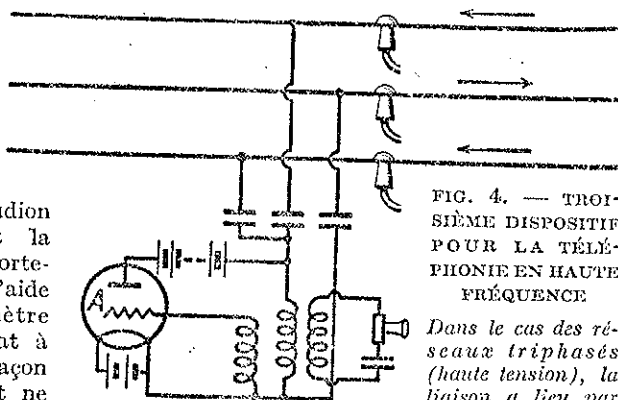


FIG. 4. — TROISIÈME DISPOSITIF POUR LA TÉLÉPHONIE EN HAUTE FRÉQUENCE

Dans le cas des réseaux triphasés (haute tension), la liaison a lieu par trois condensateurs avec un conducteur d'aller et deux conducteurs de retour, ou inversement. Les armatures des condensateurs sont reliées aux lignes HT, et à des bobines de self-induction (résistances inductives), ainsi qu'à un tube à vide à trois électrodes (émetteur), en dérivation sur le fil d'aller et les deux fils de retour HT. Un petit microphone commande les courants de haute fréquence suivant les modulations de la voix.

tre ces courants téléphoniques et les courants télégraphiques circulant dans les lignes. Malheureusement, ces divers dispositifs semblent d'une application difficile, et la téléphonie avec les trains en marche n'est devenue pratique que par l'emploi des courants de haute fréquence produits par les lampes à trois électrodes. Deux applications remarquables de ce système ont été faites récemment : l'une sur la ligne à courant continu 3.000 volts « Chicago-Milwaukee-Saint-Paul », aux États-Unis ; l'autre sur la ligne à vapeur Berlin-Hambourg, en Allemagne. Dans le premier cas, le fil de contact qui amène le courant aux moteurs du train sert à canaliser les courants de haute fréquence pour la téléphonie ; dans le deuxième cas, des antennes placées sur un wagon agissent par induction sur un fil porté par les poteaux télégraphiques plantés le long de la voie. Ces derniers essais paraissent avoir donné toute satisfaction, et il serait possible, très prochainement, de téléphoner de toute ville d'Allemagne, par l'intermédiaire du réseau de l'État, avec un voyageur du train Berlin-Hambourg.

Dans toutes ces installations, il faut éviter avec soin les parcours souterrains, à cause de la grande capacité des câbles par rapport à la terre, cette capacité offrant une dérivation trop aisée aux courants de haute fréquence, qui disparaissent ainsi dans le sol. On évite l'effet nuisible de ces parcours en les shuntant par un fil aérien sur lequel l'antenne du wagon agit par induction, et en plaçant, à l'entrée et à la sortie des câbles, des bobines de self-induction qui empêchent les courants de haute fréquence d'aller se perdre dans la terre.

II. - Électrification des chemins de fer sans prises de courant

On sait qu'une grosse difficulté dans l'électrification des chemins de fer consiste dans la captation des courants intenses d'une vitesse élevée. Cette difficulté semble devoir

actuellement limiter la vitesse des trains à 80 kilomètres-heure. Pour diminuer le courant capté, il faut augmenter la tension, mais avec le courant continu adopté officiellement pour les chemins de fer français, il semble difficile de dépasser une certaine valeur. Cette valeur a, d'ailleurs, été fixée à 1.500 volts par la commission d'études, composée des représentants des ministères et des grandes compagnies de chemins de fer.

Le courant alternatif simple ou monophasé élimine en grande partie cette difficulté, car il permet d'utiliser, comme en Suisse, des tensions de 15.000 volts ; malheureusement, en France, ce système a été rejeté, car il occasionne des troubles aux lignes télégraphiques et téléphoniques placées le long des voies. Ces considérations ont amené M. Maurice Leblanc à imaginer un système de traction électrique sans prise de courant et sans action perturbatrice sur les lignes télégraphiques ou téléphoniques ordinaires.

Le principe de ce système est le suivant : au-dessus de la voie ferrée se trouvent suspendus deux conducteurs, composés chacun de condensateurs cylindriques concentriques et parcourus par des courants de haute fréquence. Ces courants de haute fréquence sont captés, non plus par un organe frottant, archet ou pantographe, mais par induction électromagnétique, au moyen d'autres conducteurs parallèles, placés sur le toit des wagons à 0 m. 40 au-dessous des conducteurs fixes cylindriques.

Les points les plus remarquables de l'invention de M. Leblanc sont les suivants :
1° Le courant à haute fréquence est produit par des générateurs à vapeur de mercure à quatre électrodes, ces tubes comportant, en plus de la cathode, de l'anode et de la grille habituelles, une anode auxiliaire, électrode positive servant à maintenir l'arc sans cesse allumé (fig. 10, page 115).
2° La distribution du courant de haute fréquence se fait à intensité constante, d'après le principe indiqué autrefois par M. Bou-

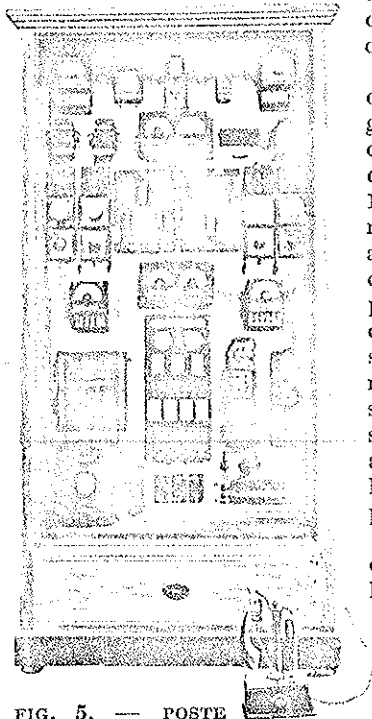


FIG. 5. — POSTE DE TÉLÉPHONIE EN HAUTE FRÉQUENCE

Modèle de l'ingénieur Marius Latour pour le réseau de haute tension (120.000 volts) de la Basse-Isère, entre l'usine de Montoux (Drôme) et le poste de transformation de la Rivière, à Saint-Étienne (distance : environ 90 kilomètres).

cherot ; cette intensité reste donc constante, quelle que soit « l'impédance » en ohms du récepteur, c'est-à-dire quelles que soient sa résistance ohmique, sa self-induction et la pulsation de la force électromotrice d'induction ;

3° Le circuit de réception placé sur le train est accordé à la résistance, tout comme un poste récepteur de T. S. F. Le maintien de la résonance est automatique, grâce à un régulateur, analogue au régulateur Thury, qui agit sur un variomètre (analogue à un variomètre d'antenne) et qui modifie automatiquement la longueur d'onde du circuit de réception afin de maintenir l'accord parfait ;

4° Le courant de haute fréquence est ramené sur le train à une fréquence beaucoup plus basse, par exemple à une fréquence de 25 ou de 15 périodes par seconde seulement, ce qui permet d'alimenter des moteurs d'induction de traction à rotor en cage d'écurieuil, les plus simples et les plus robustes de tous. La transformation s'effectue au moyen de quatre tubes à vapeur de mercure et d'un commutateur tournant, com-

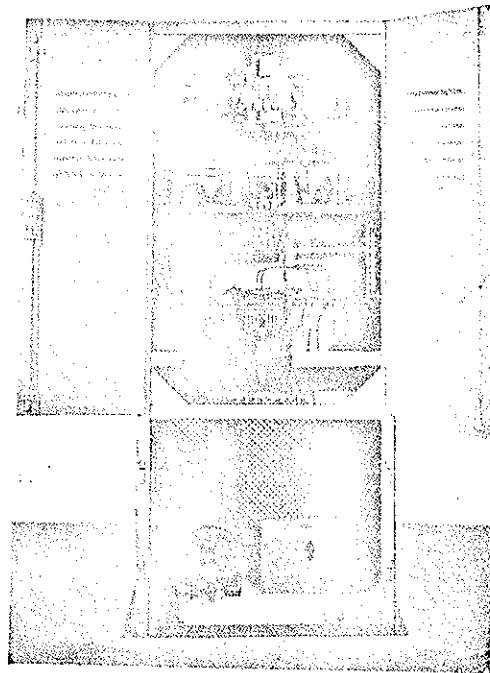
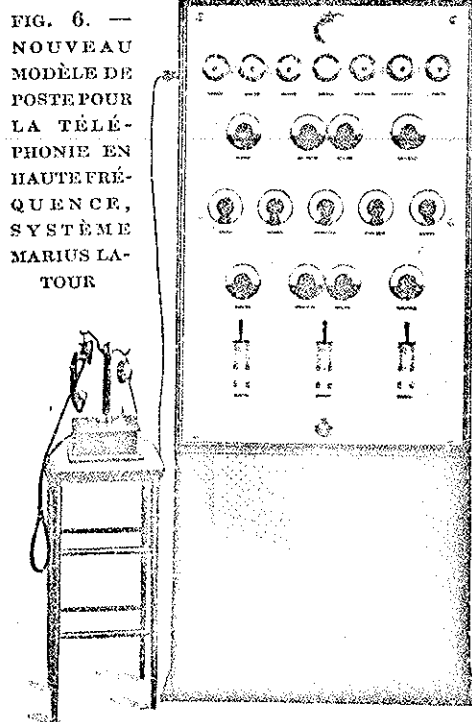


FIG. 7 — ARMOIRE-POSTE DE TÉLÉPHONIE EN HAUTE FRÉQUENCE

Même appareil que le précédent, mais vu par derrière, les volets de l'armoire étant ouverts. Au sommet il y a quatre lampes à vide à trois électrodes chacune. Celle de gauche est « amplificatrice », la suivante « modulatrice » et les deux dernières à droite « génératrices ». Généralement, on n'emploie qu'une lampe génératrice, bien que les deux peuvent être couplées en parallèle. Le but de ces postes est la superposition des communications téléphoniques en H.F. sur les lignes téléphoniques aériennes ordinaires des P. T. T., afin de multiplier les communications.



Ce poste est utilisé pour le réseau haute tension 120.000 volts et haute fréquence (100.000 à 200.000 périodes par seconde) de la région de Nancy. Il est vu de face avec tableau indicateur et les interrupteurs, en bas. Le téléphone en haute fréquence est situé sur le côté du poste-armoire.

prenant des secteurs convenablement décalés les uns par rapport aux autres. On peut obtenir ainsi des courants triphasés qui permettent aisément l'alimentation des moteurs synchrones de traction. Il convient de remarquer que les commutateurs tournants coupent le courant au moment où il passe par zéro, les étincelles de rupture ne sont donc pas à craindre avec ce dispositif d'électrification des chemins de fer sans prise de courant, seulement par induction électromagnétique à travers l'espace.

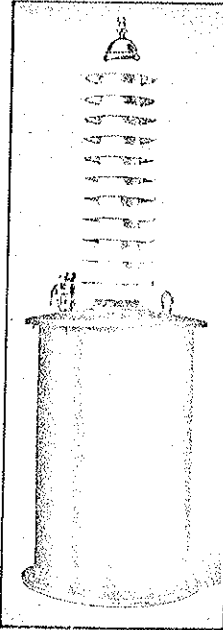
La fréquence adoptée dans ce système est de 20.000 périodes par seconde.

Le système présenté par M. M. Leblanc est donc des plus remarquables ; toutefois, il présente encore certains inconvénients, qui sont justement ceux que l'on reproche encore au système triphasé ; il nécessite deux

fils aériens au-dessus de chaque voie et il utilise le moteur à induction, dont le manque de souplesse est en général un grand inconvénient en traction. L'emploi des moteurs à collecteur, du type répulsion-série compensée, du système Heyland (voir *La Science et la Vie*, n° 73), remédie, en partie, par la disposition ingénieuse des balais fixés par rapport aux balais mobiles, à ce défaut de manque de souplesse et de démarrage aisé des électromoteurs.

III. — Traction des automobiles par la haute fréquence

M. Maurice Leblanc a imaginé, en outre, la traction électrique des automobiles par transmission d'énergie en courants à haute fréquence. Le dispositif consiste à établir sur les routes deux che-



mins électriques bien distincts, dans le sens montant et celui descendant de la circulation.

Chaque chemin se compose de deux caniveaux écartés de 1 m. 35, largeur de la voie de la voiture. Dans chaque caniveau, on place sur des isolateurs un conducteur cylindrique à double paroi, formant un condensateur. Tous les 500 mètres, se trouve un poste transformateur avec des lampes à vapeur de mercure pour entretenir dans les conducteurs un courant d'une fréquence de 20.000 périodes. Ces postes reçoivent leur énergie en courant continu à haute tension, par le câble venant de l'usine génératrice située généralement à grande distance.

Sous la voiture, non loin du sol, se trouve un cadre tubulaire en cuivre rouge dont les longs côtés

FIG. 8. — TYPE DE CONDENSATEUR DE LIAISON POUR TÉLÉPHONIE EN HAUTE FRÉQUENCE
Ce condensateur de liaison, pour téléphonie sur ligne de haute fréquence à 120.000 volts, mesure 2 m. 24 de hauteur, y compris l'isolateur (colonne de soudoups) que l'on voit au-dessus.

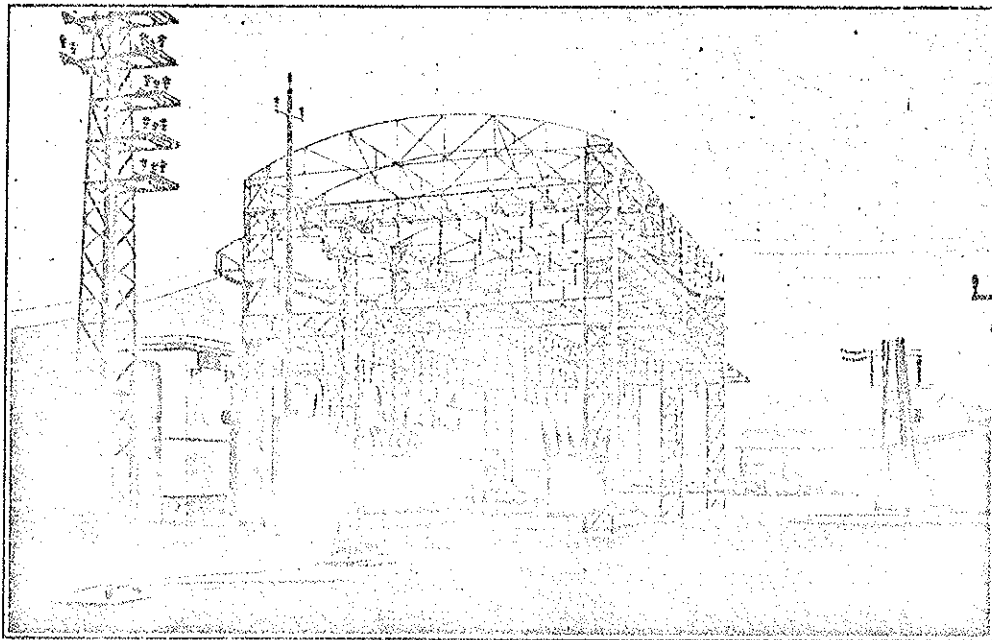


FIG. 9. — LIGNES DE HAUTE TENSION DU RÉSEAU DE LA BASSE-ISÈRE
Cette photographie montre l'arrivée des lignes de haute tension au poste de transformation de la Rivière, à Saint-Etienne, distant de 90 kilomètres de l'usine électrique de Beaumont-Montoux (Drôme).