

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 31 (1953)

Heft: 1

Artikel: Le développement des moyens de transmission téléphonique à grande distance, en Suisse

Autor: Jacot, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-876335>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicato dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

Le développement des moyens de transmission téléphonique à grande distance, en Suisse

Par J. Jacot, Berne

621.395 (494)

Résumé. Après un bref aperçu historique du développement des moyens de transmission téléphonique dans le monde et leur introduction en Suisse, spécialement en ce qui concerne les répéteurs téléphoniques en général, on donne une description des divers types de répéteurs téléphoniques à 2 et à 4 fils. Les améliorations tant au point de vue électrique que construction mécanique, sont indiquées, en particulier la réduction toujours plus poussée du volume occupé par les équipements. Le nouveau type de répéteur universel est décrit avec ses possibilités d'application dans les divers circuits.

Dans le chapitre consacré à la téléphonie à courants porteurs, on indique d'abord comment cette technique s'est développée en Amérique et en Europe, et les raisons qui firent adopter la répartition généralement admise des voies dans l'échelle des fréquences, que ce soit sur les câbles à paires symétriques non chargées ou sur les paires coaxiales. On explique les raisons pour lesquelles on a commencé à poser en Suisse des câbles coaxiaux, et les types de répéteurs que l'on compte installer. Enfin, les différentes techniques utilisées sur les faisceaux hertziens et leurs applications en Suisse, sont indiquées comme dernière étape des moyens de transmission.

On peut s'attendre, semble-t-il, à une extension des systèmes à courants porteurs dans les réseaux ruraux et une application du nouvel élément, le transistor, sans parler des possibilités encore inconnues de la cybernétique.

Historique

Si l'on compare le réseau téléphonique suisse à grande distance tel qu'il était, il y a une trentaine d'années, à son état actuel, on est étonné de l'évolution rapide des moyens de transmission mis à la disposition des abonnés et des perfectionnements qui y ont été apportés. En effet, c'est en 1922 que, par suite de l'électrification des chemins de fer, l'administration des téléphones décida de supprimer peu à peu les longues nappes aériennes qu'elle avait posées pour écouler le trafic interurbain à grande distance, sans cesse croissant, et de mettre les circuits en câbles souterrains, afin d'échapper à l'influence des courants de la traction électrique. A la fin du siècle passé et jusqu'après la première guerre mondiale, la plupart des circuits interurbains étaient aériens, et des pro-

blèmes, avant tout d'ordre constructif, se posaient. Si la ligne devenait trop longue, on augmentait le diamètre du conducteur afin de maintenir l'affaiblissement dans des limites raisonnables.

Lorsque la technique des câbles téléphoniques, grâce à laquelle un certain nombre de conducteurs isolés les uns des autres sont réunis sous une même enveloppe métallique (plomb), fut suffisamment développée, les ingénieurs des télécommunications furent placés devant le problème très sérieux posé par l'augmentation de l'affaiblissement kilométrique qui résultait de la capacité plus grande entre les conducteurs et limitait la portée des circuits. Au début du XX^e siècle, le professeur serbe *Michaël Pupin* prit un brevet en Amérique pour une méthode permettant de réduire l'affaiblissement kilométrique des circuits en intercalant sur les lignes, à intervalles réguliers, des bobines d'inductance (appelées par la suite bobines Pupin). L'American Telephone and Telegraph Co. acquit les droits d'exploiter cette invention aux Etats-Unis d'Amérique pour la somme de 455 000 dollars. Les bobines Pupin sont aussi appelées bobines de charge, et l'on parle de la charge des circuits; elles représentent en effet une charge discontinue, puisque l'inductivité est concentrée en certains points. Un ingénieur danois, *Charles Emile Krarup*, développa, peu après, un autre procédé pour charger les circuits d'une manière continue. Contrairement à Pupin, il utilisa une charge continue en enroulant autour du conducteur téléphonique un fil ou un ruban d'une substance magnétique quelconque qui augmente le flux magnétique, donc l'inductance de la ligne.

Si le procédé de la pupinisation, qui avait déjà été signalé pour la première fois par le savant anglais Heaviside en 1877, réduit l'affaiblissement kilométrique, il limite également la gamme des fréquences transmise par la ligne, qui se comportera en effet

comme un filtre passe-bas possédant la propriété de ne laisser passer les courants et les tensions que jusqu'à une certaine fréquence appelée fréquence de coupure. Mais, grâce au fait que la transmission d'une bande de fréquences moins étendue permet d'obtenir encore une intelligibilité suffisante des messages transmis, la pupinisation des circuits interurbains fut introduite partout.

Un des éléments techniques importants du développement de la téléphonie à grande distance a donc été la mise en câble des circuits et leur pupinisation. Mais c'est surtout grâce à l'invention de la lampe amplificatrice ou tube électronique que les télécommunications à grande distance ont pu se développer si rapidement. En effet, malgré la charge des circuits, il arrive un moment où l'affaiblissement des circuits est si grand que les courants vocaux ne sont plus perceptibles qu'avec difficulté, d'autant plus qu'ils risquent d'être masqués par des tensions parasites (bruits ou diaphonie) provenant de sources étrangères ou d'autres circuits voisins.

Dans la transmission des signaux télégraphiques, on avait déjà cherché à augmenter la portée des circuits. Morse, entre autres, avait imaginé un dispositif par lequel les signaux télégraphiques affaiblis à l'extrémité de la ligne étaient régénérés grâce à une batterie locale. Les signaux étaient reçus par un relais télégraphique très sensible qui, grâce à une batterie locale, pouvait les retransmettre à leur amplitude originale vers la ligne suivante. On adapta ce système tout naturellement à la téléphonie en remplaçant le relais récepteur par un téléphone et le relais émetteur de signaux par un microphone; on accoupla les deux éléments pour constituer le premier répéteur ou amplificateur mécanique. Celui-ci était loin d'être parfait car, à cause de l'inertie et de la friction des parties mécaniques, le système ne fonctionnait pas pour des courants trop faibles. La distortion non linéaire était très grande. Néanmoins, un certain nombre de ces amplificateurs mécaniques furent mis en service aux Etats-Unis aux environs de 1904. La figure 1 montre un de ces amplificateurs. Les chercheurs redoublèrent d'efforts, imaginant des machines tournantes dans lesquelles le stator représentait le circuit d'entrée et le rotor le circuit de sortie. Des changements de l'intensité du champ dans le stator provoquaient des variations correspondantes de la tension du rotor. Mais pour éviter des bruits produits par la commutation, il fallait que la fréquence de commutation soit très élevée afin que sa fréquence propre soit plus élevée que la plus haute fréquence vocale à transmettre. Ces vitesses de rotation si élevées posaient évidemment des problèmes au point de vue de la résistance mécanique des éléments. Bien des variantes furent développées qui nous paraissent aujourd'hui bien rudimentaires et primitives.

Le véritable essor des répéteurs ou amplificateurs ne commença qu'avec l'apparition du tube électronique, qui fut réalisé grâce aux travaux indépendants

du savant américain *Lee de Forest* et du savant allemand *Robert von Lieben*.

Edison, déjà en 1844, avait observé qu'un filament porté à l'incandescence dans le vide émet des électrons qui se dirigent vers une autre électrode ou plaque lorsque celle-ci est reliée au pôle positif du filament; il s'établit ainsi un courant. Les noms de plusieurs savants tels que *Richardson*, *Thompson*, *Wehnelt*, *Flemings*, etc., sont liés aux études de l'émission électronique des corps chauffés.

Lieben utilisa d'abord des lampes remplies de gaz, mais y renonça par la suite, car elles étaient trop sensibles aux variations de la température et de la pression du gaz, et étaient par conséquent très instables. Grâce au développement de la technique du vide, on obtint des tubes avec un vide suffisamment poussé.

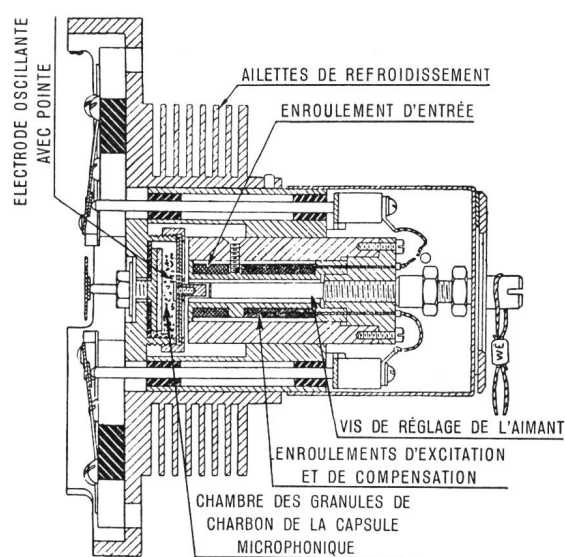


Fig. 1. Amplificateur mécanique

Le filament ou cathode est recouvert d'une couche très mince d'oxyde alcalino-terreux et, lorsque la température est suffisamment élevée, les électrons en mouvement, qui étaient retenus par les forces moléculaires lorsque le filament était froid, atteignent une vitesse assez grande pour que leur énergie cinétique soit assez élevée pour leur permettre de quitter le filament. Une deuxième électrode portée à un potentiel positif, l'anode, crée un champ électrostatique qui influence les électrons chargés négativement, de sorte qu'il se produira un courant électronique entre le filament et l'anode. L'introduction entre l'anode et le filament d'une troisième électrode appelée grille, permet de régler dans de larges mesures ce courant électronique. Une tension alternative appliquée à la grille apparaîtra amplifiée dans le circuit d'anode. Ainsi était créé un relais très sensible et sans inertie permettant d'amplifier les courants alternatifs.

Les premiers tubes électroniques furent utilisés avant tout pour la radiotélégraphie, et la guerre de 1914...1918 leur donna un essor très rapide. Les ingénieurs des télécommunications virent le parti qu'on

pouvait tirer de ce nouvel élément et se mirent à développer les premiers amplificateurs ou répéteurs téléphoniques. Avant de passer à leur introduction en Suisse, il est nécessaire d'indiquer certaines particularités de leur fonctionnement qui furent cause, au début, de bien des difficultés et déboires.

Pour échanger une conversation téléphonique, les deux abonnés sont reliés par deux fils, c'est-à-dire par une paire de conducteurs, et la conversation peut avoir lieu sans difficultés dans les deux sens de trans-

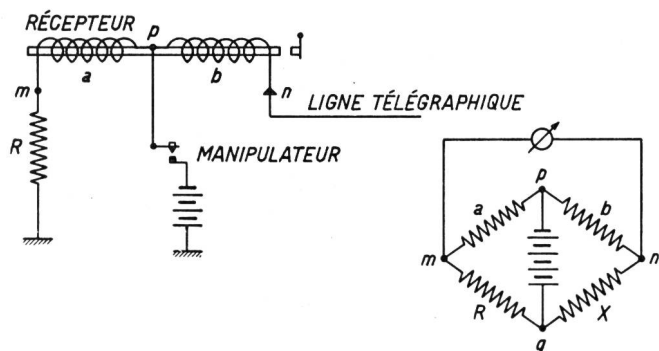


Fig. 2. Circuit télégraphique et équivalent électrique

mission, grâce à un aiguillage, dans chaque poste d'abonné, des courants vocaux du microphone vers le téléphone de l'autre abonné. Or, le phénomène d'amplification dans un tube électronique est à sens unique, de la grille vers l'anode, de sorte qu'on ne pouvait amplifier chaque fois que les courants téléphoniques dans un sens. Ici, de nouveau, on tira profit, pour l'appliquer dans le poste d'abonné, de ce que les télégraphistes avaient réalisé pour pouvoir transmettre des signaux dans les deux directions en utilisant le principe du pont de Wheatstone dans lequel, lorsque l'équilibre est réalisé par les quatre bras, aucun courant ne circule dans une des diagonales lorsqu'on alimente l'autre.

La figure 2 montre un tel circuit télégraphique avec son équivalent électrique (pont de Wheatstone).

La figure 3 montre un dispositif téléphonique tel qu'il fut déjà utilisé pour les premiers répéteurs mécaniques.

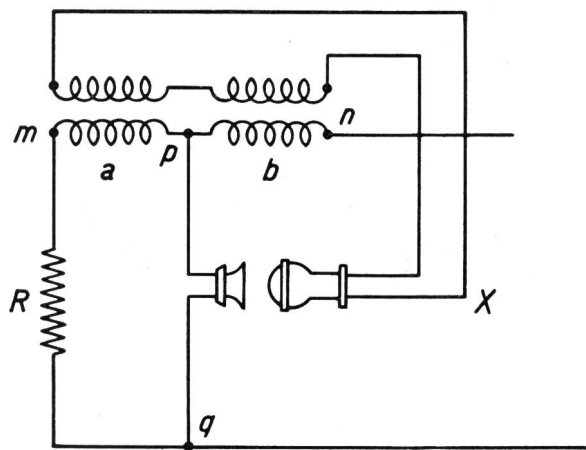


Fig. 3. Dispositif de répéteur mécanique

On sait que si l'équilibre du pont n'est pas réalisé au moyen des résistances R et X , le dispositif se met à osciller sous l'effet de simples secousses du microphone; ces oscillations seront entretenues et produiront un son dans le téléphone. On dit alors que le montage «siffle». Dans les répéteurs mécaniques on n'attachait pas une très grande importance à ce phénomène, car la sensibilité de ces appareils n'était pas très grande. Mais avec l'apparition du tube électronique, qui permettait une amplification beaucoup plus grande, le phénomène devint beaucoup plus gênant. Aussi, la mise en service des premiers répéteurs à deux fils était le plus souvent un travail de grande patience, du fait qu'on s'efforçait d'obtenir le meilleur équilibre possible.

Le premier amplificateur téléphonique ou répéteur à deux fils, étant donné qu'il n'utilisait que deux conducteurs pour l'échange des conversations dans les deux sens, était construit d'après le principe de la figure 4.

A part le circuit de la triode amplificatrice 4, nous voyons apparaître un élément nouveau, le transformateur différentiel qui est identique en principe à un montage en pont de Wheatstone. Quand les impédances des deux lignes sont identiques, le pont est en équilibre, et les courants amplifiés se répartissent

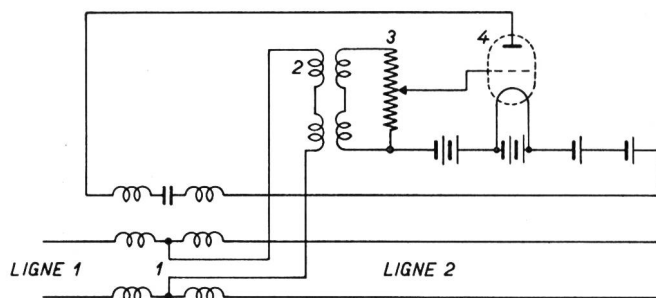


Fig. 4. Répéteur «21»

également entre les lignes 1 et 2. Les courants à amplifier passent par le transformateur d'entrée 2 et le potentiomètre de réglage 3 pour atteindre la grille de la triode 4.

Ce type d'amplificateur est connu sous la dénomination «répéteur 21», car il a deux sens d'amplification et un seul élément amplificateur.

Comme la condition essentielle pour que le répéteur fonctionne bien est que les deux lignes aient des caractéristiques absolument semblables, on était très limité dans l'application de ces répéteurs à deux fils. C'est pourquoi on développa le répéteur à deux fils du type 22, qui avait deux éléments amplificateurs et deux sens de transmission. Il y avait donc deux transformateurs différentiels et à chacun d'eux s'ajouta un élément nouveau: «l'équilibreur», qui est un réseau électrique dont les éléments sont choisis de manière que l'impédance résultante pour toute la bande de fréquences entrant en considération, soit la même que celle de la ligne à ces fréquences-là. La figure 5 donne le principe du répéteur à deux fils 22.

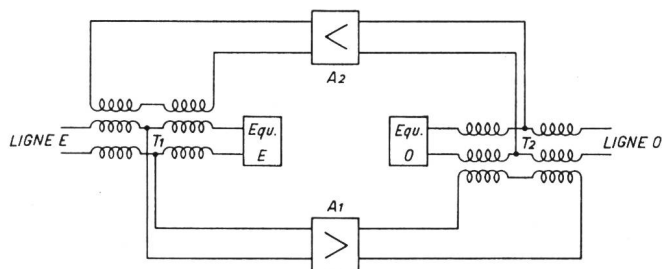


Fig. 5. Répéteur à 2 fils

 T_1/T_2 = transformateurs différentiels A_1/A_2 = éléments amplificateurs proprement dits

A côté du répéteur à deux fils, on développa pour les circuits d'une certaine longueur le répéteur à quatre fils, où l'on utilise deux paires de conducteurs pour une liaison téléphonique, une pour chaque sens de transmission. Sur chacune des paires on peut intercaler à intervalles réguliers des amplificateurs unidirectionnels très simples; l'aiguillage des courants vocaux pour chaque sens de transmission se fera aux deux extrémités grâce à des circuits semblables aux transformateurs différentiels, mais qu'on appelle «termineurs». Ainsi, chaque circuit à quatre fils n'aura que deux circuits différentiels où un équilibrage aussi bon que possible doit être réalisé pour empêcher le circuit de siffler.

Tel était donc l'état de la technique des télécommunications à l'étranger, principalement en Amérique, lorsque l'administration suisse décida la mise en câble des circuits.

C'est en juillet 1920 que des ingénieurs de la Western Electric Co. firent à Zurich les premières démonstrations pratiques d'un répéteur à deux fils intercalé sur une ligne interurbaine. Il s'agissait avant tout de persuader l'administration de la possibilité d'introduire un tel répéteur sur des lignes interurbaines quelconques car il convient de se souvenir que la composition de ces lignes formées de circuits aériens coupés par des tronçons de câbles était des plus complexes.

Le problème de l'équilibrage était évidemment le plus important, mais l'administration, en constatant les résultats satisfaisants des essais, entrevoyait déjà la pose, sur une plus vaste échelle, de câbles interurbains aussi homogènes que possible, et la réduction du diamètre des conducteurs, grâce à laquelle on devait réaliser une économie sensible.

Des répéteurs du système *Marius Latour*, de l'A.E.G. et de Siemens & Halske furent également essayés. D'autres essais furent entrepris à Altdorf, point névralgique du réseau suisse à ce moment-là, puisque c'était le début de l'artère du St-Gothard. Les trois circuits Berne-Lugano, Lausanne-Lugano et Lugano-Zurich furent équipés chacun d'un répéteur de fabrication différente (A.E.G., Siemens & Halske et Western) et après de longs travaux de mise au point à cause des lignes hétérogènes dont on disposait, on obtint des équivalents de transmission de 1.4 N, 1.5 N et 2.0 N respectivement.

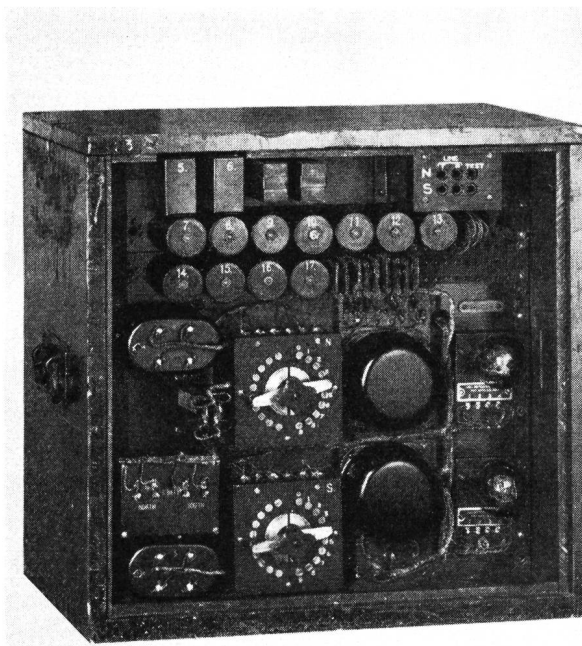


Fig. 6a. Répéteur à 2 fils «Western», vue avant

Une première installation de dix répéteurs à deux fils commandée à l'A.E.G. fut mise en service en 1922 à Altdorf. Le nombre des répéteurs fut porté à vingt en 1925. A cette époque, le trafic international prenant toujours plus d'importance, l'administration décida d'installer des répéteurs à quatre fils à Bâle

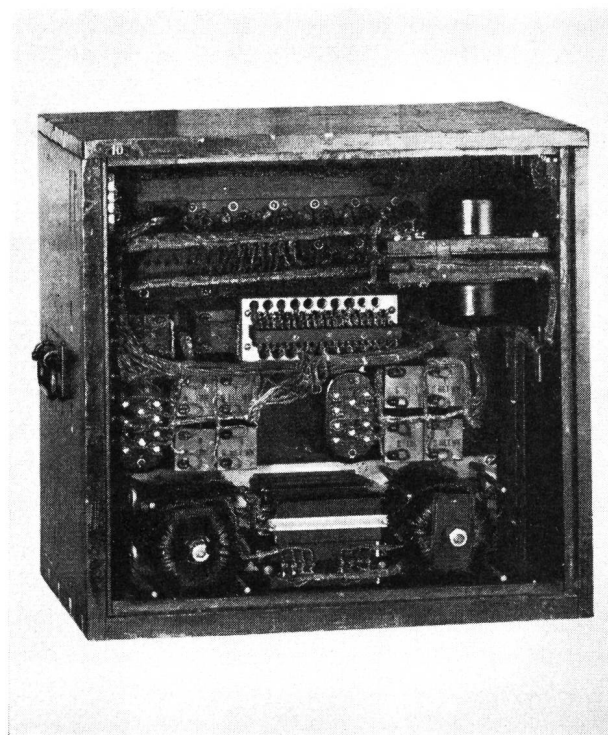


Fig. 6b. Répéteur à 2 fils «Western», vue arrière

puis à Zurich; ces répéteurs furent fournis par la Bell Telephone Mfg Co. à Anvers, compagnie associée à la Western Electric Co.

La figure 6 montre comment se présentait le premier répéteur à deux fils avec son signaleur (fabrication Western).

La figure 7 montre le développement des répéteurs téléphoniques en Suisse avec l'indication, dans l'ordre chronologique, de la mise en service des différentes stations de répéteurs, dont le matériel, à une exception près, a été fourni par la Bell Telephone Mfg Co. à Anvers ou par sa maison associée de Zurich.

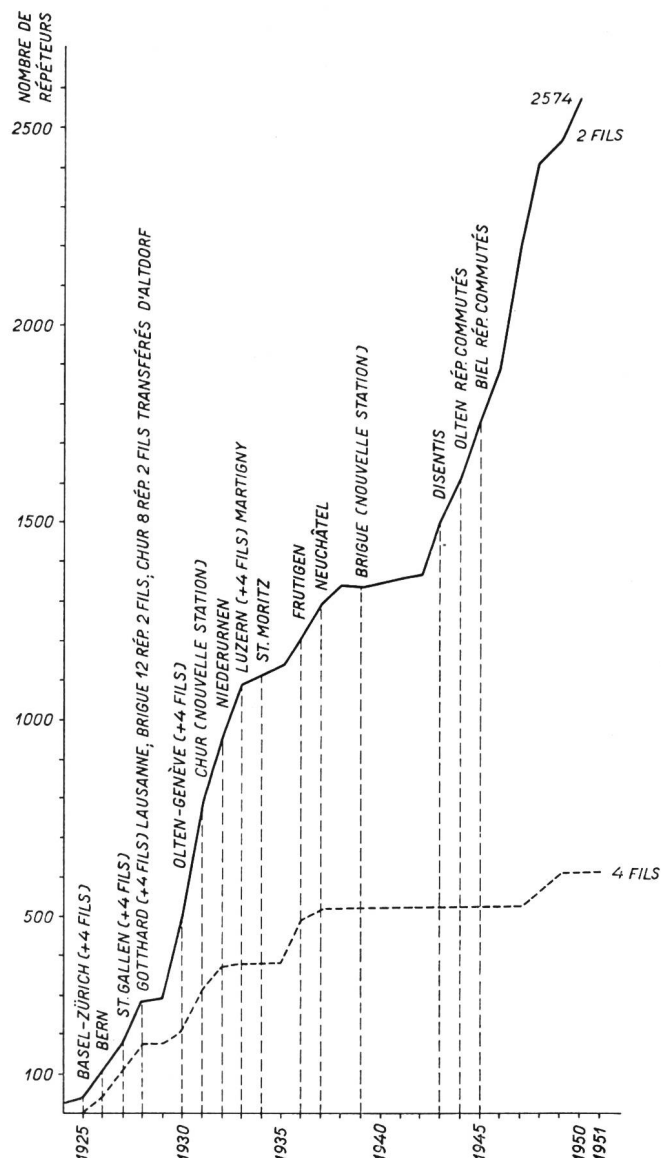


Fig. 7. Développement des répéteurs téléphoniques en Suisse

Si, en 1925, on comptait 20 répéteurs à deux fils, huit ans plus tard, en 1933, on en comptait plus de 1000; actuellement leur nombre est de 2574; 624 répéteurs à quatre fils sont en service.

Pour compléter cette rétrospective, il faut encore mentionner l'introduction en 1930, à Olten, d'amplificateurs d'un type spécial pour la transmission par

fil des programmes radiophoniques des studios aux émetteurs et bientôt aux abonnés à la télédiffusion (ou diffusion par fil). Enfin, il faut citer les premiers essais de téléphonie à courants porteurs qui datent de 1920 déjà, par lesquels différentes firmes essayèrent d'augmenter le nombre des circuits sur les lignes aériennes entre Berne, Bâle et Zurich. Mais ces équipements ne donnèrent jamais entière satisfaction; ils furent abandonnés, d'autant plus que l'introduction des câbles pupinisés ne permettait plus de transmettre des fréquences aussi élevées. Il est intéressant de constater que l'idée de superposer un certain nombre de voies téléphoniques au moyen de courants porteurs de fréquence élevée est déjà ancienne, mais qu'il a fallu un certain nombre d'années pour en améliorer les divers éléments constitutifs.

Répéteurs à deux fils

Les premiers répéteurs à deux fils étaient des appareils robustes, qui paraissent aujourd'hui très massifs; la matière première n'était pas économisée et, sur un bâti normal de 2,74 m de haut et 54 cm de large, on pouvait en loger 8. Les répéteurs eux-mêmes dépassaient en avant et en arrière du bâti. Les tubes amplificateurs étaient des triodes, elles aussi assez volumineuses; leur consommation était de 0,97 ampère sous une tension de 4,5 volts pour le filament et 130 volts pour l'anode. Dans les premiers modèles, la polarisation de la grille était réalisée par des piles sèches, mais, par la suite, un circuit de polarisation commun à toute une station fut prévu. Les filaments étaient très robustes et les fabricants garantissaient déjà une vie de 10 000 heures au moins. Les lampes de provenance américaine dépassaient largement ce chiffre. Les filaments de quatre tubes amplificateurs, donc de deux répéteurs, sont alimentés en série par la batterie de 24 V, un certain nombre de résistances permettant de régler le courant de chauffage à la valeur voulue.

La figure 8 donne le schéma de principe d'un répéteur type 22-A-1. Les translateurs et les équilibres sont montés sur un bâti séparé, de même que les signaleurs à 23 Hz pour la retransmission des appels. Chaque ligne est équipée de deux translateurs, un pour la ligne elle-même, l'autre pour l'équilibreur; la raison en est que l'impédance de l'équilibreur doit correspondre aussi exactement que possible à celle de la ligne et qu'il est plus simple de reproduire électriquement un translateur de ligne par un autre, à condition qu'ils soient choisis de manière à avoir exactement les mêmes caractéristiques. C'est pour cela que les translateurs des circuits à deux fils sont toujours montés par couple sur une même plaque de base.

Au début, les équilibres étaient évidemment individuels et le résultat de longues mesures et de patients essais. Lorsque, par suite de l'introduction des câbles chargés, les circuits devinrent plus homogènes, il fut possible de prévoir pour chaque type de ligne un même équilibreur dont le seul élément variable était

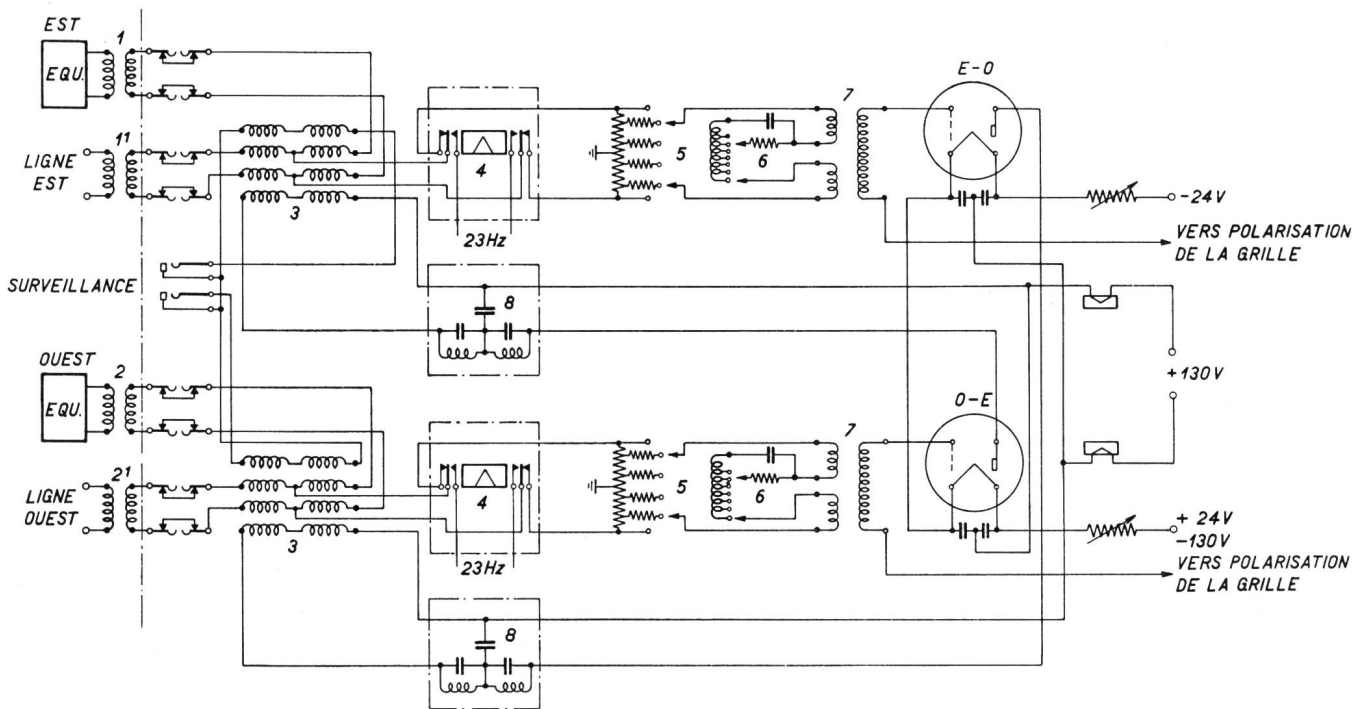


Fig. 8. Répéteur à 2 fils, type 22-A-1

1 et 1' = Paires de translateurs Est
2 et 2' = Paires de translateurs Ouest
3 = Transformateur différentiel

4 = Relais d'appel
5 = Potentiomètre
6 = Contre-distorsion

7 = Transformateur d'entrée
8 = Filtre
EQU = Equilibreur

le condensateur d'appoint qui reproduit la capacité des $3/10$ de la longueur d'arrivée. D'après l'américain *Hoyt*, sur les études duquel sont basés les équilibreurs de nos stations de répéteurs, si la distance de l'extrémité de la ligne à la première bobine de charge est égale à la moitié du pas de charge, la ligne pupinisée peut être assimilée à un filtre passe-bas terminé à mi-dérivation. D'autre part, au cinquième de la longueur d'arrivée, la composante réelle de l'impédance est à peu près indépendante de la fréquence jusqu'aux trois quarts de la fréquence de coupure. On obtient ainsi pour l'équilibreur fondamental un circuit relativement simple, complété par la capacité d'appoint, comme on vient de l'expliquer. Très vite on construisit des équilibreurs pour chaque type de charge seulement (H-177, H-107 et H-63), le circuit résonnant demeurant le même, les valeurs des résistances et des capacités additionnelles variant seules selon le diamètre du conducteur. La figure 9 donne un schéma du dernier type d'équilibreur pour circuits de charge H-177.

La figure 10a montre une vue de face d'un répéteur à deux fils avec ses deux potentiomètres à 9 plots et les deux filtres passe-bas qui limitent la bande de fréquences transmises pour faciliter l'équilibrage; à l'arrière (fig. 10b), on voit les deux transformateurs d'entrée, les deux différentiels faisant office aussi de transformateur de sortie, les bobines de self et les condensateurs des circuits de contre-distorsion qui permettent d'adapter dans une certaine mesure la courbe de gain en fonction de la fréquence à celle de l'affaiblissement du câble.

Ce type de répéteur fut installé en Suisse dans les diverses stations jusqu'au moment où un nouveau tube électronique à consommation de courant de filament plus réduite ($1/4$ d'ampère et 4 volts au lieu de 1 ampère et 4,5 volts) apparut sur le marché. Le schéma du répéteur demeura en principe le même, mais divers éléments tels que transformateurs d'entrée et de sortie, condensateurs, furent réduits très fortement dans leurs dimensions. Il fut possible par conséquent de n'occuper qu'une face de la platine et

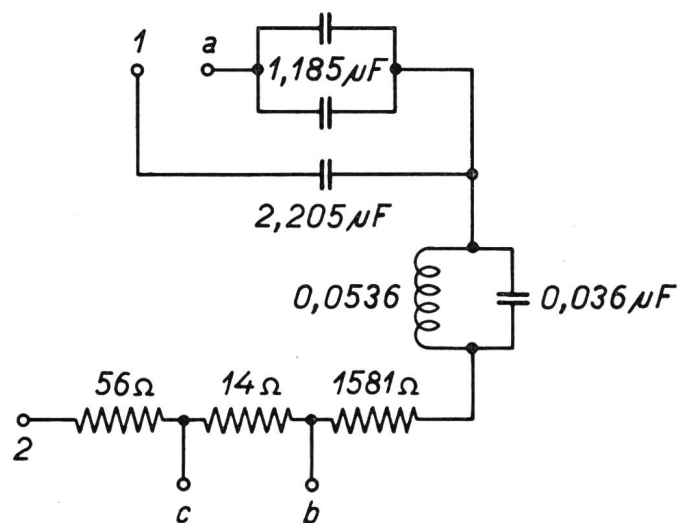


Fig. 9. Equilibreur pour charge H-177

Relier 1-a et b-c-2 pour H-177; 1,5 mm; H-177-63, 1,4 et 1,3 mm
Relier C-2 pour H-177-63, 0,9 mm (Standard)
Pas de connexions pour H-177-63, 0,9 mm, et H-177-107, 1,0 mm (Suisse)

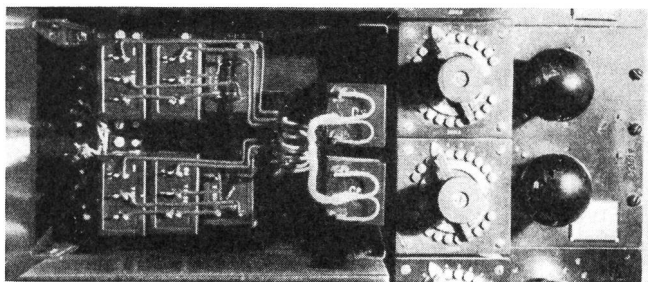


Fig. 10a. Vue avant d'un répéteur à deux fils

de monter deux demi-bâtis dos à dos, de sorte que vingt répéteurs à deux fils occupaient la même place que huit répéteurs de l'ancien modèle. Le potentiomètre de réglage du gain est aussi d'un type différent; il permet un réglage continu de la tension d'entrée de l'amplificateur grâce à deux billes d'acier qui se déplacent le long des résistances enroulées sur deux cylindres d'ébonite.

Consommation de courant total:

répéteur à deux fils ancien type: 10,8 watts;

répéteur à deux fils nouveau type: 3,98 watts.

Les tubes amplificateurs utilisés sont aussi garantis pour une durée de 10 000 heures. La tension de polarisation de grille est de -8 volts au lieu de -9 volts pour

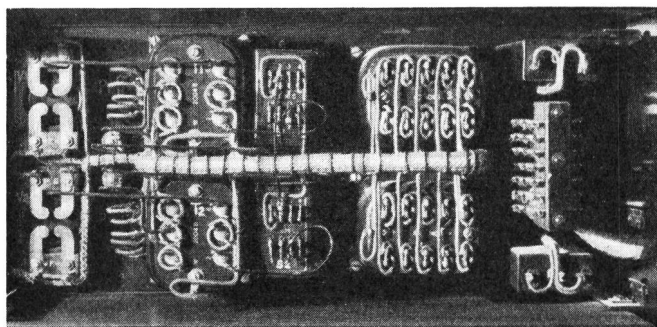


Fig. 10b. Vue arrière d'un répéteur à deux fils

les anciens tubes; ceci signifie un nouveau panneau de polarisation de grille et l'adaptation de l'ancien panneau dans les stations où les deux types de répéteurs existent. Le gain du maximum à 1000 Hz du répéteur de l'ancien modèle était de 2,2 N tandis que celui du nouveau modèle est de 2,3 N.

Les tensions de polarisation des grilles des deux premiers tubes sont dérivées d'un circuit spécial; celles des deux derniers tubes amplificateurs sont obtenues par la chute de tension des filaments des deux tubes précédents, c'est-à-dire du premier répéteur.

Dans les triodes $\frac{1}{4}$ d'ampère, des résistances spéciales sont connectées en parallèle aux filaments des triodes afin de réduire la diaphonie entre les deux répéteurs. L'anode doit être dérivée en un point de la résistance en parallèle au filament, de manière que le courant alternatif ne puisse circuler dans les autres

triodes. D'autre part, ces résistances ont pour effet de réduire le courant de chauffage à sa valeur normale, du fait que le courant d'anode s'y ajoute. Grâce à cet artifice la valeur prescrite de diaphonie de 8,5 N entre deux répéteurs sera toujours respectée.

Des relais d'alarme connectés dans les circuits d'anode, déclenchent une alarme en cas de défaut du courant d'anode.

Des jacks ou des panneaux de cavaliers centralisés permettent l'accès aux côtés lignes, équilibres et dispositifs d'appel des répéteurs, ce qui facilite toutes les mesures d'entretien.

Répéteurs à deux fils avec contre-réaction

Afin d'améliorer les caractéristiques des répéteurs à deux fils, c'est-à-dire, adapter mieux encore la courbe de gain à la variation de l'affaiblissement des lignes en fonction de la fréquence, rendre le gain du répéteur plus stable pour des variations des tensions d'alimentation, abaisser le niveau de bruit et diminuer la distorsion non linéaire, on a développé un nouveau type de répéteur qui utilise le principe de la contre-réaction. Cela consiste, comme on le sait, à ramener une partie de l'énergie de la sortie d'un amplificateur à l'entrée de celui-ci, en observant des règles bien définies afin que l'amplificateur demeure absolument stable. L'américain *Black* a montré en particulier qu'en appliquant la contre-réaction dans des conditions tout à fait spéciales, en tenant compte spécialement des conditions de phase, on arrivait à améliorer sensiblement les caractéristiques des amplificateurs, en ce qui concerne leur linéarité, la constance de leur gain, la distorsion non linéaire et les bruits. Comme la contre-réaction a pour effet de réduire le gain résultant de l'amplificateur, il fallait disposer d'un tube amplificateur ayant un facteur d'amplification propre plus élevé; c'est le cas en particulier pour les pentodes ou tubes à 5 électrodes ayant, outre la cathode, la grille de commande et l'anode, une grille-écran et une grille d'arrêt. Des pentodes à longue durée de vie, spécialement adaptées aux répéteurs téléphoniques, ont été fabriquées à cet effet.

Les éléments essentiels du répéteur tels que les transformateurs différentiels, les transformateurs d'entrée, les équilibres, les potentiomètres, etc., sont restés les mêmes. Le filtre est devenu plus compliqué, étant constitué de trois cellules permettant d'obtenir une coupure plus nette et une égalisation et un équilibrage plus parfaits pour une bande de fréquences plus large; le circuit de contre-distorsion est placé dans le circuit de contre-réaction et permet une adaptation plus précise du gain du répéteur à la ligne dans la bande de fréquences utiles.

Chaque répéteur possède son propre circuit de chauffage, les deux tubes étant alimentés en série, soit à partir de la batterie de 24 V, soit plus récemment, directement à partir du réseau alternatif à 50 Hz dont la tension est spécialement réglée.

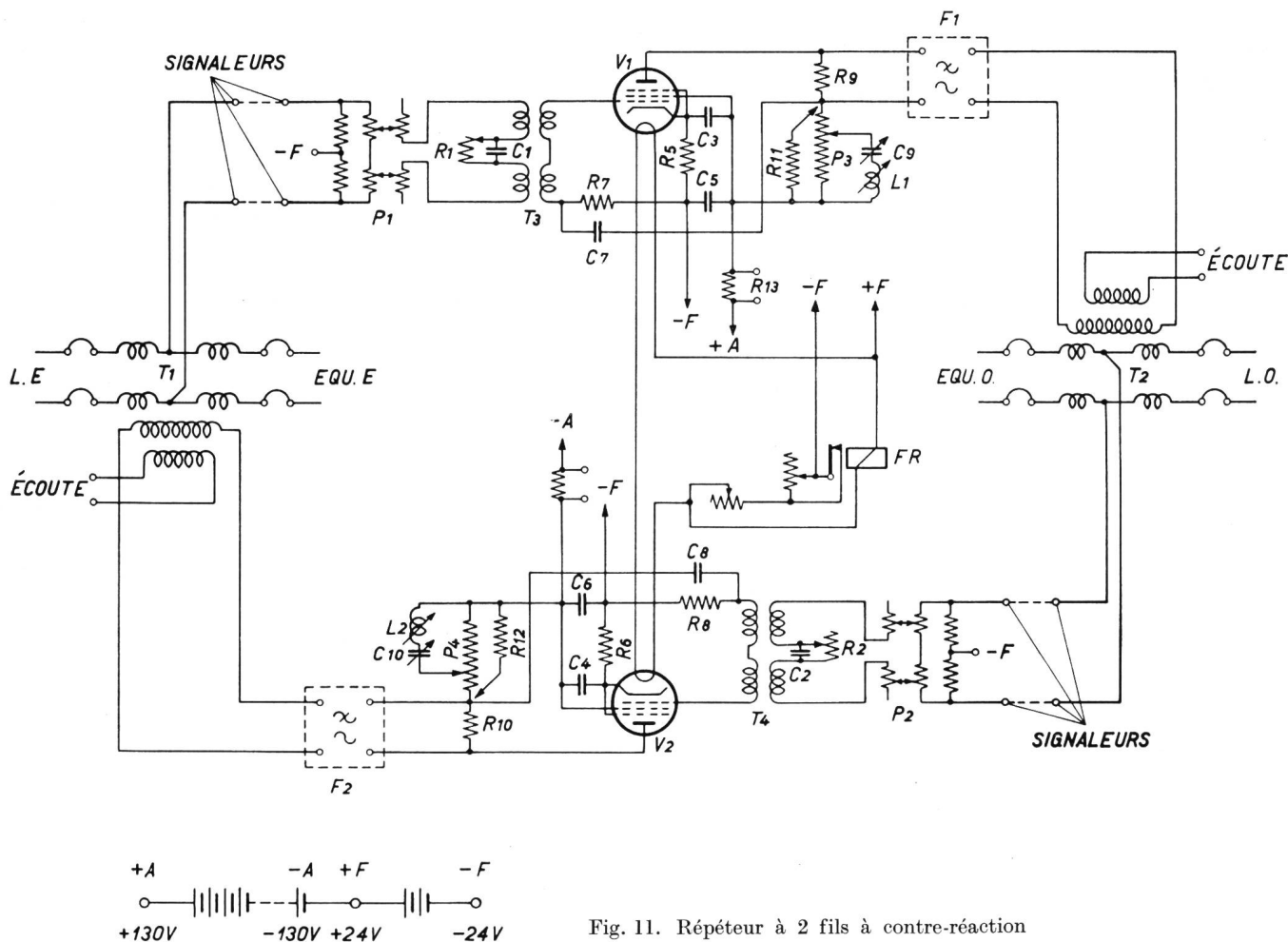


Fig. 11. Répéteur à 2 fils à contre-réaction

Les répéteurs n'occupent aussi qu'une face du bâti et on peut en équiper huit sur un bâti de 2,74 m de haut. Les cavaliers de coupure et de mesure sont montés de chaque côté du répéteur et ne sont par conséquent plus centralisés.

La figure 11 montre le circuit du répéteur.

Répéteurs commutés

Pour ramener l'équivalent total d'une communication par le réseau interurbain automatique à la valeur prescrite de 1 N, on intercale automatiquement dans les centres de concentration interurbaine des répéteurs commutés; on utilise à cet effet les répéteurs à 2 fils de l'ancien type, leurs caractéristiques étant suffisantes puisqu'il n'est pas question d'une égalisation parfaite des lignes. En lieu et place des équipements de signalisation, c'est-à-dire, entre les points milieux des transformateurs différentiels et les potentiomètres de réglage du gain, on introduisit quatre pertes de 0,1 N, 0,2 N, 0,4 N, et 0,8 N, qui peuvent être intercalées par des relais dont l'action est commandée par un circuit de réglage du gain dans le central automatique. Les combinaisons de relais, c'est-à-dire, le gain effectif du répéteur, sont déterminées par les affaiblissements des lignes qui entrent en considération lors de l'établissement de la communication, la valeur de ces affaiblissements étant

communiquée au circuit de réglage de gain par les quatre conducteurs de la ligne et de l'équilibreur.

Tous les répéteurs commutés sont réglés au même gain nominal de 1,7 N.

Une modification de peu d'importance dans le circuit d'alarme permet de bloquer et de signaler individuellement un défaut survenant à un des répéteurs d'un circuit d'alimentation commun à deux répéteurs.

Signaleurs

La transmission des appels se fait sur les circuits manuels répétés à deux fils par un courant de 23 Hz. A chaque répéteur, un signaleur se charge de la retransmission de ces signaux qui ne sont pas amplifiés par le répéteur lui-même. Le courant d'appel de la ligne agit sur un relais récepteur très sensible qui, à son tour, commande un relais d'émission qui envoie un courant d'appel de 23 Hz sur la ligne suivante. L'opération subit un certain retard afin d'éviter le déclenchement de faux signaux pendant la conversation. Le signaleur lui-même est branché entre les points milieux des transformateurs différentiels et le potentiomètre d'entrée. Des condensateurs empêchent le courant de signalisation de surcharger l'amplificateur.

Lorsque la sélection automatique à grande distance fut introduite en Suisse (vers 1932), un nouveau

signaleur à 50 Hz fut développé; les impulsions de sélection devaient être retransmises avec une plus grande exactitude et il n'était plus question d'introduire un retard quelconque dans la transmission des signaux. Les premiers relais de réception étaient des relais à courant alternatif, de construction assez massive. Bientôt, ces relais furent remplacés par des relais polarisés, très sensibles, le courant alternatif de la ligne étant redressé par des cellules au sélénium. Le signaleur lui-même est intercalé dans le circuit du répéteur comme le signaleur à 23 Hz.

Les résultats d'exploitation furent très satisfaisants et la distorsion des impulsions demeurait dans des limites tolérables tant que le nombre des retransmissions ne dépassait pas 4 ou 5, ce qui n'est pas le cas dans le réseau téléphonique national suisse.

Les signaux, qu'ils soient à 23 Hz pour l'appel manuel, qui devient de plus en plus rare, ou à 50 Hz pour l'appel automatique, sont équipés sur des bâtis spéciaux, la connexion avec les répéteurs se faisant par des répartiteurs spéciaux. Au début, les signaux à 50 Hz étaient combinés de manière à pouvoir être utilisés, moyennant le changement de certaines connexions, soit pour l'appel à 23 Hz, soit pour la sélection automatique à 50 Hz. Au point de vue construction, les signaux à 23 Hz, très encombrants, furent également améliorés et le volume occupé réduit.

Répéteurs à quatre fils

Le répéteur à quatre fils se compose de deux amplificateurs unidirectionnels intercalés sur chacune des deux paires de conducteurs qui composent un circuit à quatre fils; chaque paire sert à la transmission des courants vocaux dans l'un des sens de transmission, l'aiguillage étant réalisé aux deux extrémités du circuit, au termineur qui est relié à l'abonné par un circuit à deux fils ordinaire.

Le circuit à quatre fils pourra être très long et compter un grand nombre de répéteurs intermédiaires en cascade sans que sa stabilité en souffre puisqu'il n'y aura que deux montages différentiels, un à chaque extrémité. Le répéteur à quatre fils est donc essentiellement composé de deux amplificateurs unidirec-

tionnels. Ces amplificateurs ont deux étages d'amplification; le 1er étage a une lampe de tension (4102-D ou type 4020 A d'1/4 amp.), le 2e étage une lampe de puissance identique à celle qu'on utilise dans les répéteurs à deux fils. Le transformateur d'entrée a sept prises soudées, grâce auxquelles on peut régler le gain grossièrement; au point milieu du transformateur est connecté un circuit de contre-distorsion, grâce auquel on peut faire varier le gain en fonction de la fréquence. Le réglage fin du gain se fait au transformateur intermédiaire entre le 1er et le 2e étage; il se présente comme un potentiomètre du répéteur à deux fils. Les quatre tubes amplificateurs des amplificateurs qui constituent le répéteur à quatre fils sont connectés en série dans le circuit de chauffage. Les tensions de polarisation des grilles sont dérivées de chutes de tensions aux filaments des triodes ou aux bornes de résistances de la valeur désirée.

Des relais sont intercalés dans les circuits d'anode des deux tubes amplificateurs de sortie et signalent les interruptions du courant de chauffage ou de la tension d'anode. Le gain maximum des répéteurs à quatre fils est de 4,6 N; il est réglable par pas de 0,03 N. La puissance maximum débitée dans 600 ohms avec un taux d'harmonique inférieur à 5 % est de 50 mW.

Les autres améliorations apportées aux premiers types de répéteurs à quatre fils furent dues à l'introduction des tubes à consommation réduite de 1/4 d'ampère. Comme pour les répéteurs à deux fils, les éléments essentiels du répéteur se réduisirent quant à leur volume, et les tubes eux-mêmes disparurent sous un couvercle commun. Le répéteur lui-même n'occupait plus qu'un côté du bâti et il était possible d'en placer 16 au lieu de 5 sur un bâti normal, c'est-à-dire 8 sur chaque face (voir fig. 12).

Le volume des translateurs de ligne fut également réduit grâce à l'utilisation de nouveaux matériaux magnétiques pour les noyaux. On a aussi réduit les dimensions des correcteurs basse fréquence d'entrée pour la correction de la courbe d'affaiblissement du câble aux fréquences inférieures à 1000 Hz et des correcteurs de sortie pour l'adaptation de l'impédance de la ligne à celle de l'amplificateur.

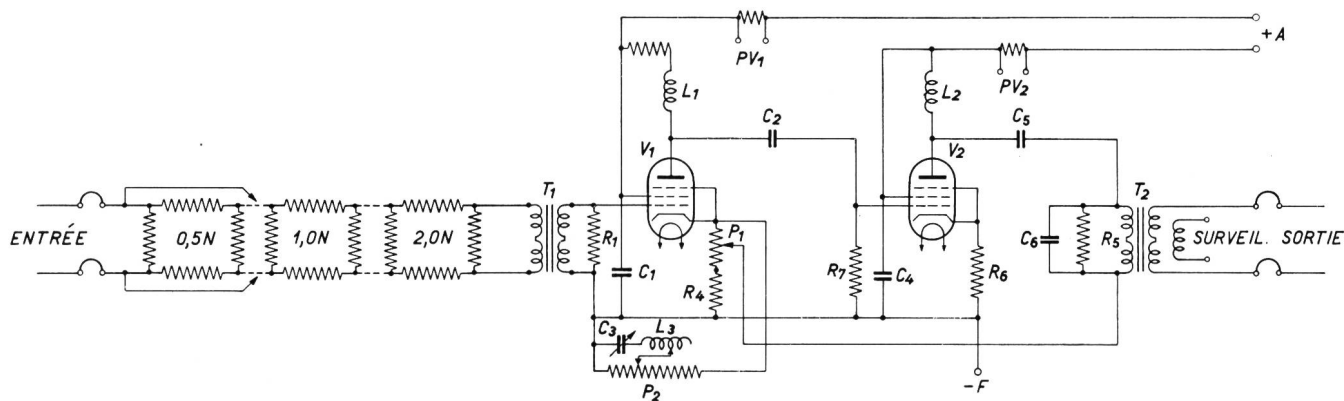


Fig. 12. Répéteur à 4 fils à contre-réaction

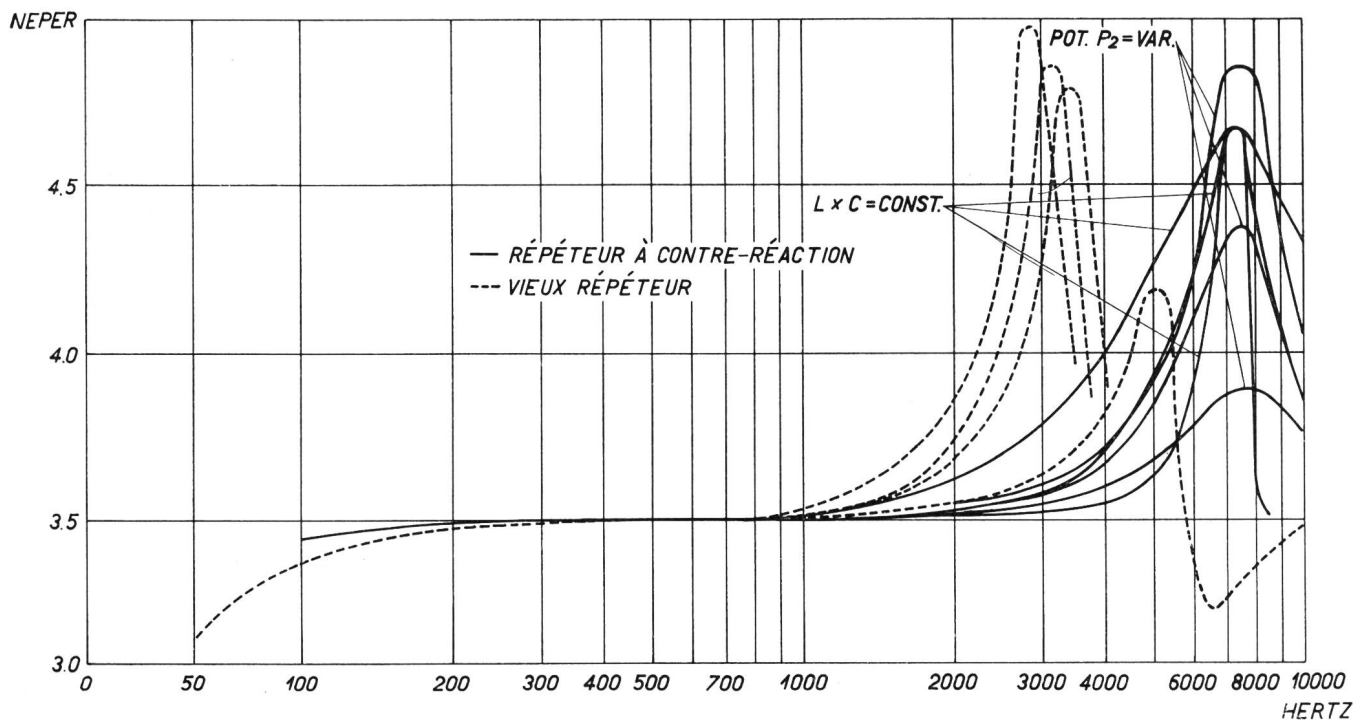


Fig. 13. Gain des répéteurs à 4 fils

La figure 13 montre différentes caractéristiques du gain d'un répéteur à quatre fils pour quelques positions du circuit de contre-distorsion qui se trouve dans le primaire du transformateur d'entrée.

Répéteurs à quatre fils à contre-réaction

Les tubes amplificateurs pentodes permettent d'appliquer également le principe de la contre-réaction aux répéteurs à quatre fils qui auront un coefficient de distorsion non linéaire plus petit et dont les variations de gain en fonction des variations des tensions d'alimentation seront minimales. Le circuit de contre-distorsion est intégré dans le circuit de contre-réaction et permet une égalisation plus précise des circuits. Le gain peut être réglé soit par l'intercalation de pertes fixes de 0,5, 1,0 et 2,0 N, soit par un potentiomètre à réglage continu qui relie la cathode du 1er tube au primaire du transformateur de sortie; on obtient ainsi une contre-réaction.

Ces répéteurs à quatre fils sont utilisés principalement pour les lignes où l'on désire superposer par modulation une deuxième voie à la voie basse fréquence car, dans ce cas, il est de première importance que l'égalisation soit réalisée pour une bande très étendue des fréquences transmises par la ligne et que le coefficient de distorsion non linéaire soit très faible, pour n'avoir pas d'effets d'intermodulation dans les répéteurs.

Afin de réduire encore davantage le volume occupé par les divers équipements de transmission, la Standard Téléphone et Radio S.A. à Zurich, a développé un nouveau principe de construction des bâtis et des équipements, qui permet de grouper un plus grand nombre d'éléments sur des bâtis identiques quant à leur construction mécanique, et procédé en

même temps à une certaine normalisation des pièces détachées. Les bâtis eux-mêmes sont constitués par des tôles d'acier coudées et soudées pour former une charpente rigide et plus légère. De chaque côté sont montés des blocs de connexions multiples, dans lesquels viennent s'insérer des fiches à couteaux, dont l'autre extrémité viendra établir le contact dans des blocs pareils, montés sur les panneaux eux-mêmes. Les panneaux peuvent s'insérer dans le bâti et sont fixés par quatre vis. Pour enlever l'appareil du bâti il n'est plus nécessaire de dessouder les connexions, il suffit d'enlever les fiches des deux côtés de l'appareil qu'on veut remplacer (débranchement ou mesure). Ce nouveau type d'équipement appelé NEP (new equipment practice, c'est-à-dire nouveau principe d'équipement) a été généralisé pour tous les équipements nouveaux livrés par la Standard dans les stations de répéteurs.

Un nouveau type de répéteur à quatre fils à contre-réaction a dû être développé pour tenir compte des avantages et des particularités du nouvel équipement. Le circuit est en principe identique à celui du répéteur mentionné plus haut, à quelques détails près. La figure 14 donne le schéma de principe d'un des sens de transmission du répéteur. Le réglage fin du gain se fait au moyen d'un potentiomètre à dix pas de 0,1 N qui se trouve dans le circuit de grille du premier tube amplificateur. Un circuit correcteur pour les basses fréquences est placé au point milieu du primaire du transformateur d'entrée T_1 et permet de corriger l'affaiblissement de la ligne pour un écart maximum de 1,3 N entre 50 et 3000 Hz. La correction des fréquences supérieures (3000 à 8000 Hz) est réalisée par un circuit spécial dans le circuit de

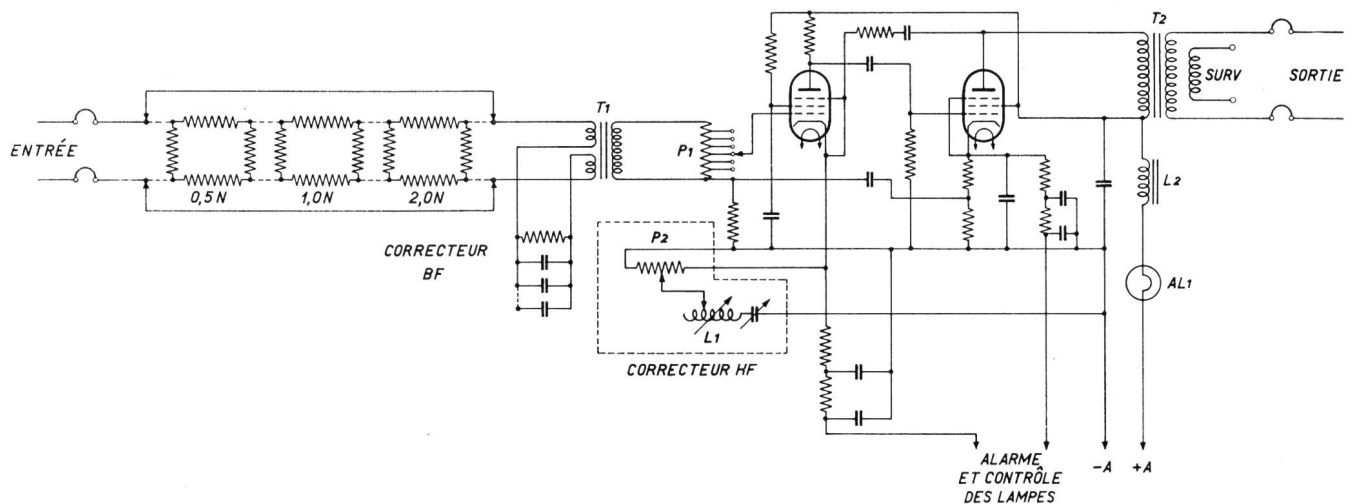


Fig. 14. Répéteur à 4 fils, type N.E.P.

contre-réaction où le potentiomètre P_2 permet de régler la valeur maximum de la courbe du gain.

Comme tubes amplificateurs, on utilise des tubes miniatures 8D3 dont les filaments sont alimentés en courant alternatif à 50 Hz (6,3 V, 1,2 A). La tension d'anode est, suivant les cas, 154 V (130 V + 24 V) ou 220 V.

Au point de vue caractéristiques électriques, le nouveau répéteur présente les particularités suivantes :

Gain maximum à 800 Hz: 4,8 N. Le gain peut être réglé par pas de 0,1 N entre 0,3 N et 4,8 N.

Bande de fréquences transmises 30 à 10 000 Hz.

Puissance de sortie maximum dans une impédance de 600 ohms: 100 mW.

Facteur de distorsion non linéaire à 800 Hz :

plus petit que 5% pour une puissance de sortie de 100 mW et plus petit que 1% pour une puissance de sortie de 10 mW.

Tension de bruit non pondérée: inférieure à 4,0 mV.

Ce type de répéteur représente actuellement le dernier stade du développement des répéteurs à quatre fils pour les lignes de téléphonie à deux bandes. Grâce d'abord à l'apparition des pentodes on a pu, avec la contre-réaction, améliorer les performances électriques tout en réduisant l'encombrement, puis, par l'application de nouveaux principes de construction, on a pu plus que doubler la capacité des bûtis.

Le circuit d'alarme qui permet de contrôler l'émission des tubes amplificateurs est d'un principe tout à fait nouveau et, comme il est commun à tout un bâti, permet d'économiser encore de la place occupée par les anciens relais d'alarme placés dans les circuits d'anode. En principe, on compare la chute de tension produite dans une résistance placée dans le circuit cathodique de chaque tube amplificateur avec la tension de polarisation de la grille du tube du panneau d'alarme. Cette tension de polarisation peut être réglée au moyen d'un potentiomètre P_2 . Une diminution du courant d'anode d'un tube quelconque aura pour effet de rendre la tension de grille du tube du panneau d'alarme plus négative, ce qui fera di-

minuer son courant d'anode et provoquera le fonctionnement de son relais d'anode. Un commutateur à plusieurs positions permet de mesurer successivement tous les courants d'anode des tubes en service dans un bâti; on pourra ainsi déterminer rapidement le tube défectueux.

Répéteurs universels

Un répéteur à deux fils se compose, en principe, de deux circuits différentiels et de deux éléments amplificateurs. Un répéteur à quatre fils terminal avec son termineur est, en principe, identique à un répéteur à deux fils auquel on aurait supprimé un des différentiels. Afin de n'avoir plus à prévoir un grand nombre de répéteurs de différents types (sauf pour des cas tout à fait spéciaux), on a développé un nouvel amplificateur unidirectionnel qu'on puisse utiliser dans la plupart des cas où des répéteurs téléphoniques sont nécessaires, en les associant, suivant le cas, avec des circuits différentiels, et les transformant ainsi en répéteurs à deux fils, fixes ou commutés ou en répéteurs à quatre fils terminaux. Le répéteur lui-même est un amplificateur à un étage utilisant comme tube amplificateur une pentode miniature 8D3. Le gain de l'amplificateur peut être réglé par les deux pertes fixes de 1 N et de 2 N, et par le potentiomètre P_1 à

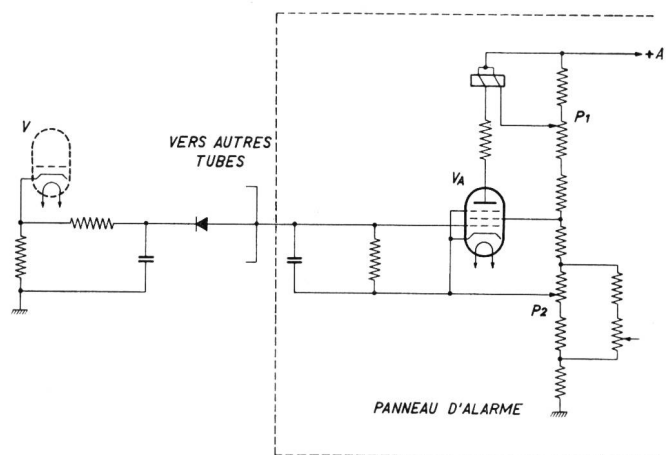


Fig. 15. Panneau d'alarme N.E.P.

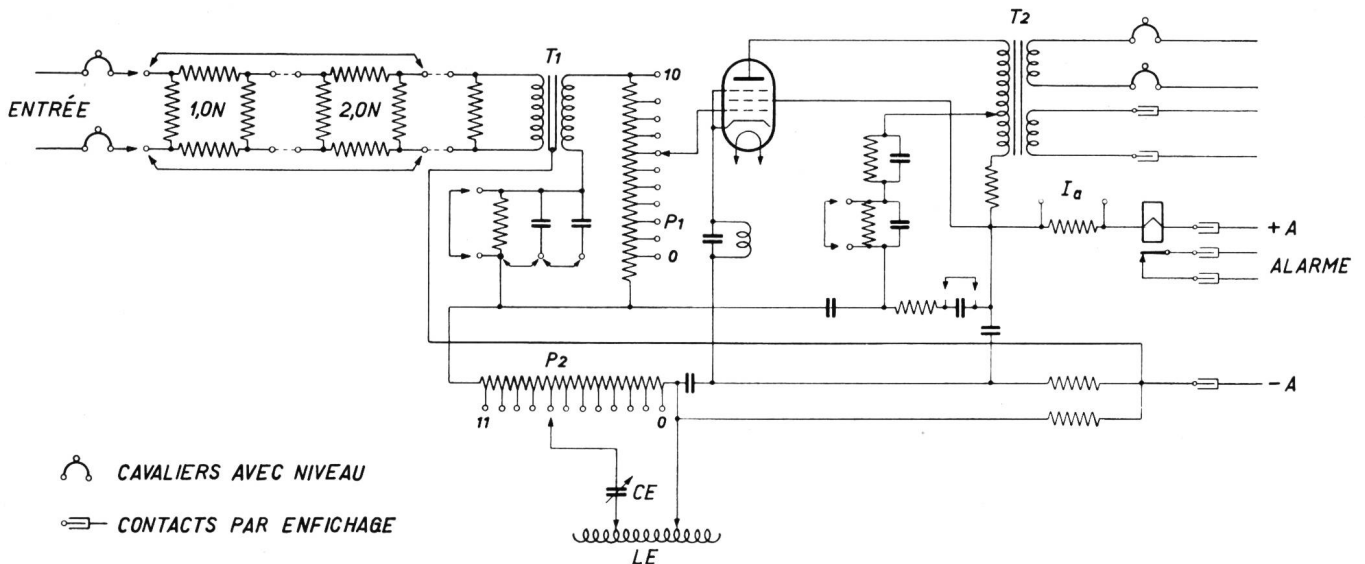


Fig. 16. Répéteur universel

10 pas de 0,1 N. Le gain maximum obtenu pour 800 Hz est de 4,2 N. Par suppression du condensateur de découplage de la résistance de la cathode on obtient une contre-réaction de courant qui améliore les caractéristiques de l'amplificateur.

Une contre-réaction de tension est dérivée d'une partie de l'enroulement primaire du transformateur de sortie T_2 . Le condensateur C_3 , lorsqu'il n'est pas court-circuité, permet une division de la tension de contre-réaction, dépendant de la fréquence, ce qui augmente la contre-réaction pour les fréquences inférieures. Dans le circuit de contre-réaction se trouvent également la self variable L_E et le condensateur variable C_E qui permettent de réduire la tension de contre-réaction à certaines fréquences. Par le potentiomètre à 11 plots P_2 on peut choisir la valeur absolue de la contre-réaction.

Le condensateur C_1 , en série avec le secondaire du transformateur d'entrée, permet de corriger la caractéristique du gain pour les fréquences inférieures à 800 Hz. La figure 16 montre le schéma de principe du répéteur.

Les caractéristiques électriques principales de ce répéteur sont les suivantes :

Gain sans contre-réaction: 6,0 N

Gain avec contre-réaction: 4,1 N \pm 0,1 N

Gain réglable par pas de 0,1 N entre 0,1 N et 4,1 N

Gain plat entre 200 et 3400 Hz avec déviation maximum de $\pm 0,05$ N par rapport à la valeur à 800 Hz et $\pm 0,15$ N à 7000 Hz.

Facteur de distorsion non linéaire: 3% 2% 1%

Puissance de sortie: 60 mW 30 mW 10 mW

Coefficient de réflexion par rapport à une résistance de 600 ohms: 0,05 entre 250 et 3400 Hz;

Différence du gain par rapport à la valeur à 800 Hz, grâce à la contre-réaction: max. 0,8 N.

Les éléments pour ajuster la courbe du gain dans le circuit de contre-réaction sont les mêmes que dans les répéteurs à 2 fils avec pentodes.

Anode: 130 V = ; 2,8 mA

Chauffage: 6,3 V \sim ; 0,3 A.

C'est surtout au point de vue construction que les répéteurs universels présentent des particularités intéressantes. L'amplificateur lui-même est monté sur une plaque de 70 \times 152 mm sur laquelle se trouve une fiche spéciale à 12 contacts à couteaux grâce à

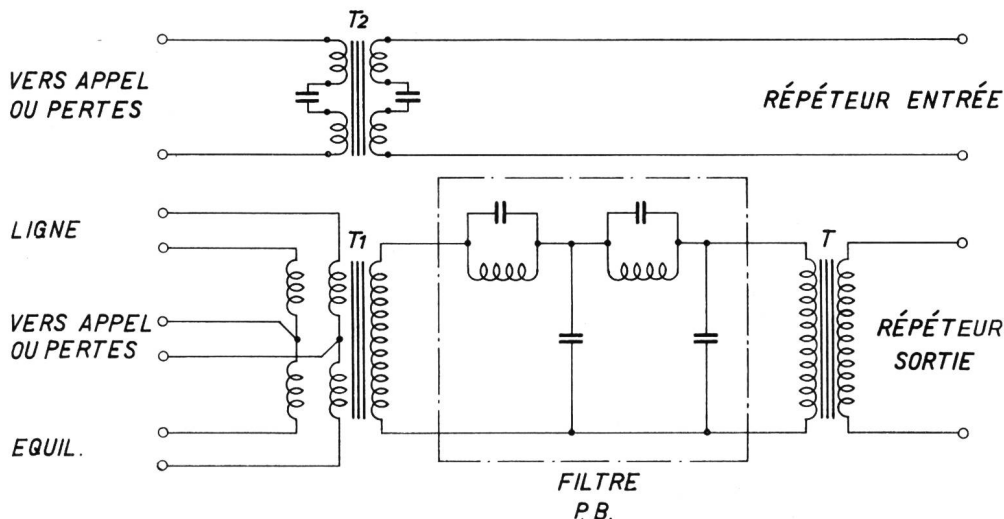


Fig. 17.

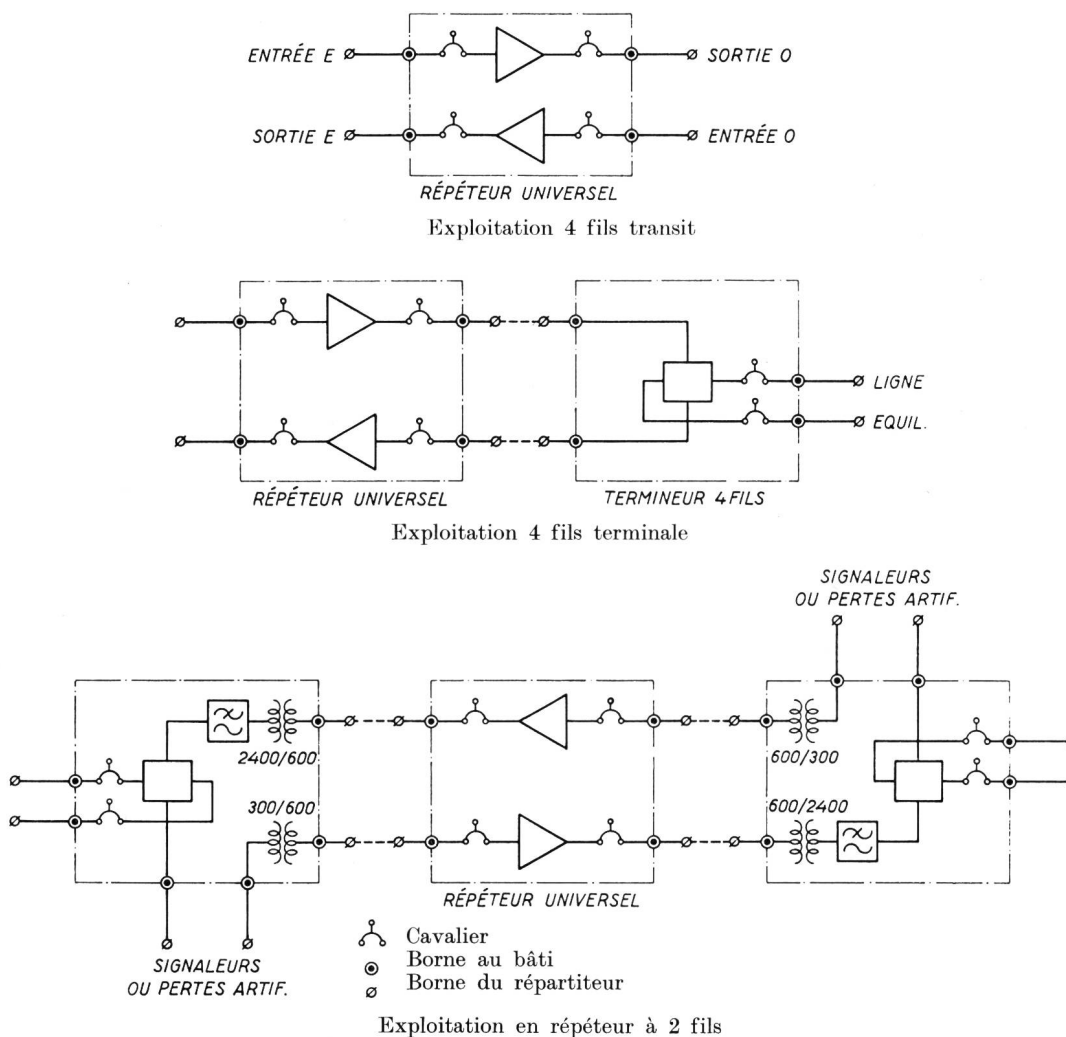
Termineur pour répéteur universel

laquelle on peut enficher l'amplificateur sur le bâti. La profondeur de l'amplificateur est de 120 mm. A la partie frontale de l'amplificateur se trouvent les douilles permettant de relier au moyen de cavaliers de coupure l'entrée et la sortie du répéteur par le bâti aux autres équipements. Six amplificateurs peuvent être montés sur la largeur d'un bâti normal; comme il existe 10 de ces séries d'amplificateurs, un bâti pourra en loger 60. Au milieu du bâti se trouve un petit panneau d'étriers pour les enroulements d'écoute, les lignes de mesure et de service, les boutons poussoirs pour l'occupation et les lampes d'occupation. Pour pouvoir passer du circuit à quatre fils au circuit à deux fils, il faut disposer de circuits d'aiguillage, autrement dit de transformateurs différentiels. Ceux-ci sont constitués comme le montre la figure 17. Par rapport au circuit différentiel ordinaire des répéteurs à deux fils, le circuit d'aiguillage est caractérisé par le fait qu'on a ajouté un transformateur à l'entrée et à la sortie de l'amplificateur afin d'adapter son impédance de 600 ohms à celle du transformateur différentiel en ses points milieux (300 ohms) et au filtre passe-bas. Des signaleurs B.F. ou des pertes artificielles variables pour répéteurs commutés peuvent être inter-

calés entre les points milieux de T_1 et le primaire de T_2 . Un filtre passe-bas ayant une impédance caractéristique de 600 ohms limite la bande de fréquences et corrige l'impédance du différentiel côté ligne pour maintenir l'affaiblissement de réflexion entre le répéteur et la ligne dans les limites prescrites. Le filtre peut être changé suivant la pupinisation de la ligne. La figure 18 montre les différentes possibilités de connexion des répéteurs.

Sur une face d'un bâti normal on peut équiper 60 circuits différentiels, de sorte qu'un bâti de 60 répéteurs universels associé à un bâti de 60 termineurs permet par l'association au moyen de renvois de chaque fois deux amplificateurs et deux termineurs, de constituer 30 répéteurs à deux fils. On a gagné ainsi presque le double de place par rapport aux répéteurs à deux fils à contre-réaction où on pouvait équiper 16 répéteurs sur un bâti double face.

Avec deux bâtis de répéteurs et un bâti de termineurs on peut constituer au total 60 termineurs pour circuits à quatre fils, avec répéteurs de ligne et d'émission. On voit donc que le gain au point de vue de la place occupée est très grand, de même que les avantages pour la maintenance, car, grâce au rem-



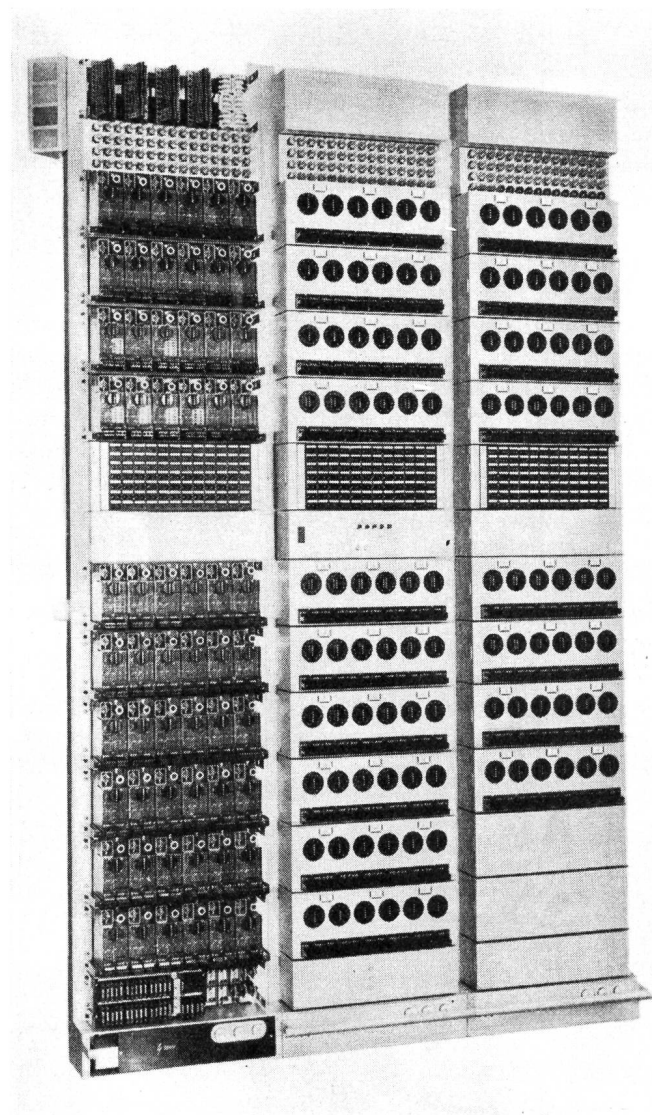


Fig. 19. Bâties de répéteurs universels

placement facile des éléments, on peut réaliser, au moyen de simples renvois au répartiteur, toutes les combinaisons voulues allant du répéteur à deux fils au répéteur à quatre fils terminal ou de transit (fig. 19).

Amplificateurs radiophoniques

Au moment de l'extension de son réseau interurbain par câbles, l'administration se préoccupa de mettre à la disposition des organismes de radiodiffusion des circuits de meilleure qualité pour relier les studios et les émetteurs entre eux et permettre également des échanges de programmes de radiodiffusion avec l'étranger.

Les premiers amplificateurs radiophoniques permettaient de transmettre une bande de fréquences beaucoup plus étendue, de 30 à 10 000 Hz. Ils comportaient un amplificateur principal à deux étages d'amplification avec triodes, qui amplifiaient les signaux musicaux affaiblis sur la ligne, et un certain nombre d'amplificateurs auxiliaires qui distribuaient

les programmes sur les lignes aux points d'embranchement.

Une première amélioration des caractéristiques de ces amplificateurs, surtout au point de vue de la distorsion non linéaire, fut réalisée grâce au montage en push-pull des amplificateurs auxiliaires. Puis, en 1938, un nouveau type d'amplificateur radiophonique fut introduit, dans lequel on appliqua le principe de la contre-réaction. L'impédance de sortie fut réduite à 1 ohm, de sorte que les amplificateurs auxiliaires devenaient superflus puisqu'on pouvait alimenter à partir d'un seul amplificateur jusqu'à 30 circuits radiophoniques. En même temps, les équipements furent adaptés aux conceptions modernes de construction. Nous renvoyons le lecteur, pour de plus amples détails sur ces amplificateurs, à l'article publié dans le « Bulletin technique » 1939.*)

Un nouveau type d'amplificateur radiophonique fut mis en service dernièrement, pour tirer parti, en particulier, des possibilités offertes par les circuits combinés des quarts non chargés des câbles à paires symétriques pour téléphonie à courants porteurs. Ces amplificateurs tiennent compte des dernières recommandations du C.C.I.F. en ce qui concerne l'élargissement de la bande des fréquences transmise par les circuits radiophoniques dits « normaux » (voir « Bulletin technique » 1952, n° 3, p. 81...87).

On voit que le développement des amplificateurs radiophoniques a suivi une évolution identique à celle des répéteurs téléphoniques: amélioration des caractéristiques; concentration des équipements par réduction du volume des éléments grâce aux progrès réalisés dans la fabrication des pièces détachées et à l'utilisation de matières premières nouvelles (alliages ferro-magnétiques nouveaux, par exemple); introduction des tubes amplificateurs pentodes; application de la contre-réaction.

Téléphonie à courants porteurs

Le réseau interurbain suisse fut très rapidement saturé par suite de l'augmentation constante du trafic téléphonique dû en grande partie à l'automatisation toujours plus complète du réseau téléphonique national. D'autre part, la Suisse jouant un rôle important comme pays de transit dans les liaisons téléphoniques internationales, les possibilités de créer de nouveaux circuits internationaux à quatre fils furent bientôt très limitées. On chercha un moyen d'augmenter rapidement, sans avoir à poser de nouveaux câbles, le nombre des circuits à quatre fils. Les circuits combinés à charge H-20 ayant une fréquence de coupure de 7000 Hz, il semblait possible de diviser cette bande de fréquence disponible et de superposer à la voie basse fréquence proprement dite, dont la bande passante serait limitée à 3000 Hz, une deuxième voie téléphonique transposée dans le spectre des fréquences de 3000 à 6000 Hz. Cette « voie portée » est obtenue

*) H. Jacot. Le développement des amplificateurs radiophoniques en Suisse depuis 1930. Bulletin technique PTT 1939, n° 3, p. 87...94.

par modulation d'un courant porteur de 6000 Hz et par élimination, au moyen de filtres, de la bande latérale supérieure de modulation et du courant porteur lui-même. Des équipements de ce type furent mis en service en 1937 entre Bâle et Zurich et permirent de gagner six circuits à quatre fils. Grâce à la bonne qualité des câbles interurbains, les conditions de diaphonie furent satisfaisantes; certaines améliorations des caractéristiques des répéteurs intermédiaires permirent de réduire les effets d'intermodulation à un minimum. Plus tard des circuits de ce genre furent également créés sur l'artère du St-Gothard. Ces dernières années, afin d'augmenter le nombre des circuits à quatre fils avec la France, on réalisa un certain nombre de circuits porteurs à deux bandes sur les circuits combinants H-44, au moyen d'équipements spécialement développés pour le compte de l'administration française des PTT par la Société anonyme des télécommunications (SAT) à Paris. La fréquence de coupure de ces circuits étant aux environs de 5900 Hz, la fréquence du porteur a dû être abaissée à 5100 Hz, ce qui a pour effet de réduire la largeur de la bande latérale inférieure de modulation transmise. Les deux voies ne s'étendent que jusqu'à 2100 Hz environ mais, malgré tout, la qualité des circuits est suffisamment bonne. Inutile de dire qu'il s'agit là d'une solution passagère destinée à procurer temporairement les circuits nécessaires jusqu'au moment où ils pourront être remplacés par des circuits de meilleure qualité, dans les câbles à courants porteurs à paires symétriques non chargées.

Le principe de la téléphonie par courants porteurs était connu depuis longtemps et on l'appliquait déjà en grand en Amérique sur les lignes aériennes. En effet, la bande de fréquences retransmise par un circuit aérien est beaucoup plus large que celle qui serait strictement nécessaire à une bonne transmission téléphonique, qui s'arrête à 2400 Hz ou 3400 Hz pour les circuits modernes.

Les ingénieurs des télécommunications eurent alors l'idée de tirer parti de la bande des fréquences supérieure qui était à leur disposition, en l'occupant par un certain nombre de voies téléphoniques préalablement transposées dans l'échelle des fréquences, par modulation en amplitude. A l'autre extrémité de la ligne, les signaux modulés sont retransposés par démodulation, procédé inverse à la modulation, et rétablis dans le spectre des fréquences vocales original. Grâce à ce procédé, et en prenant toutes les précautions nécessaires pour que les abonnés ne se gênent pas mutuellement dans leurs communications, il était possible de véhiculer en commun sur une même ligne un certain nombre de communications téléphoniques.

En Suisse, dans les années 1920 et 1921 déjà, des essais avaient été faits sur la ligne aérienne reliant Bâle à Berne, pour ajouter par modulation à haute fréquence, comme on disait, une deuxième communication à la voie basse fréquence existante. Ces essais

ne furent pas très satisfaisants, les interruptions étaient trop nombreuses et la qualité laissait à désirer. Les causes de cet insuccès provenaient vraisemblablement de l'instabilité des caractéristiques des tubes amplificateurs, dont la fabrication était bien loin d'avoir atteint l'état de perfection actuel, et de l'imperfection des filtres, dont la technique n'était pas encore suffisamment avancée. Le fruit n'était pas encore mûr et il fallut encore un grand nombre d'années pour l'amener à maturité.

Au début de la deuxième guerre mondiale, le trafic téléphonique augmenta d'une manière rapide (besoins militaires, économie de guerre, etc.) et, à cause des difficultés d'approvisionnement en matières premières, plomb, cuivre, il n'était plus possible de poser les câbles nécessaires. La téléphonie par courants porteurs sur câbles qui s'était fortement développée à l'étranger était seule capable de procurer économiquement les circuits requis.

Suite aux bonnes expériences faites aux Etats-Unis d'Amérique avec la téléphonie à courants porteurs sur les lignes aériennes on développa un nouveau système, procurant 12 voies à courants porteurs sur une paire symétrique non chargée en câble, ceci grâce aux progrès réalisés dans le domaine des tubes électroniques et des amplificateurs (pentodes, contre-réaction, etc.), grâce à l'application de cellules redresseuses (oxyde cuivreux) dans les modulateurs, et grâce à l'emploi de lames de cristaux de quartz dans les filtres.*)

En 1933, des essais furent effectués par les laboratoires de la Bell Telephone à Morristown dans l'état de New-Jersey, pour l'application de la téléphonie multiple sur des câbles. Les modulateurs étaient encore réalisés au moyen de tubes électroniques et les filtres étaient à bobines et condensateurs. Un câble spécial fut posé sur une distance de 40 km; 68 paires avec des répéteurs intermédiaires tous les 40 km pouvaient être connectées en série, afin de constituer un circuit à quatre fils d'une longueur totale de 1360 km. Neuf voies téléphoniques étaient juxtaposées dans l'échelle des fréquences entre 4 et 40 kHz, chaque voie ayant à sa disposition une bande de 4 kHz. La bande effectivement transmise par chaque voie s'étendait de 250 à 2750 Hz. Les résultats obtenus furent très satisfaisants, mais des équipements de ce type ne furent pas mis en exploitation, les laboratoires de la Bell Telephone continuant leurs études afin de résoudre dans la mesure du possible les problèmes qui se posaient, par exemple, réduction de la diaphonie aux fréquences élevées, augmentation de la stabilité des répéteurs intermédiaires, construction de stations de répéteurs intermédiaires non surveillées, compensation automatique des variations de l'affaiblissement du câble en fonction de la fréquence et de la température, développement d'équipements terminaux pouvant être utilisés par d'autres systèmes

*) *A. B. Clark and B. W. Kendall. Carrier in Cable. Bell Syst. Techn. J. 12 (1933), 251...263.*

à courants porteurs (lignes aériennes, câbles non chargés ou paires coaxiales en voie de développement), augmentation de la bande de fréquences transmise pour chaque voie, etc.

Ce dernier point présentait un intérêt particulier, du fait qu'on était en train d'améliorer la qualité des postes téléphoniques, et du fait qu'une augmentation de la bande transmise vers les fréquences supérieures, améliore dans des proportions sensibles la netteté des conversations.

Tous ces facteurs, auxquels il faut ajouter ceux non négligeables d'ordre économique, guidèrent le développement du nouveau système à courants porteurs type «K». Dans ce système, basé sur le principe de la ligne à quatre fils, où l'on utilise une paire séparée pour chaque sens de transmission, de préférence dans

deux câbles distincts afin de réduire les effets de para-diaphonie, nous trouvons 12 voies juxtaposées dans l'échelle des fréquences de 12 à 60 kHz, chaque voie occupant une bande de 4 kHz. Une des bandes latérales de modulation ainsi que le porteur sont supprimés en ligne, ce qui présente de grands avantages, en particulier en ce qui concerne les amplificateurs de ligne. Grâce à l'emploi de pentodes et du principe de la contre-réaction, la qualité des amplificateurs fut grandement améliorée en ce qui concerne leur stabilité et la distorsion non linéaire, cause de diaphonie inintelligible. Dans les modulateurs et les démodulateurs, les tubes électroniques furent remplacés par des cellules à oxyde cuivreux, et les filtres à bobines et condensateurs furent remplacés par des filtres à cristaux de quartz, qui donnent une coupure très

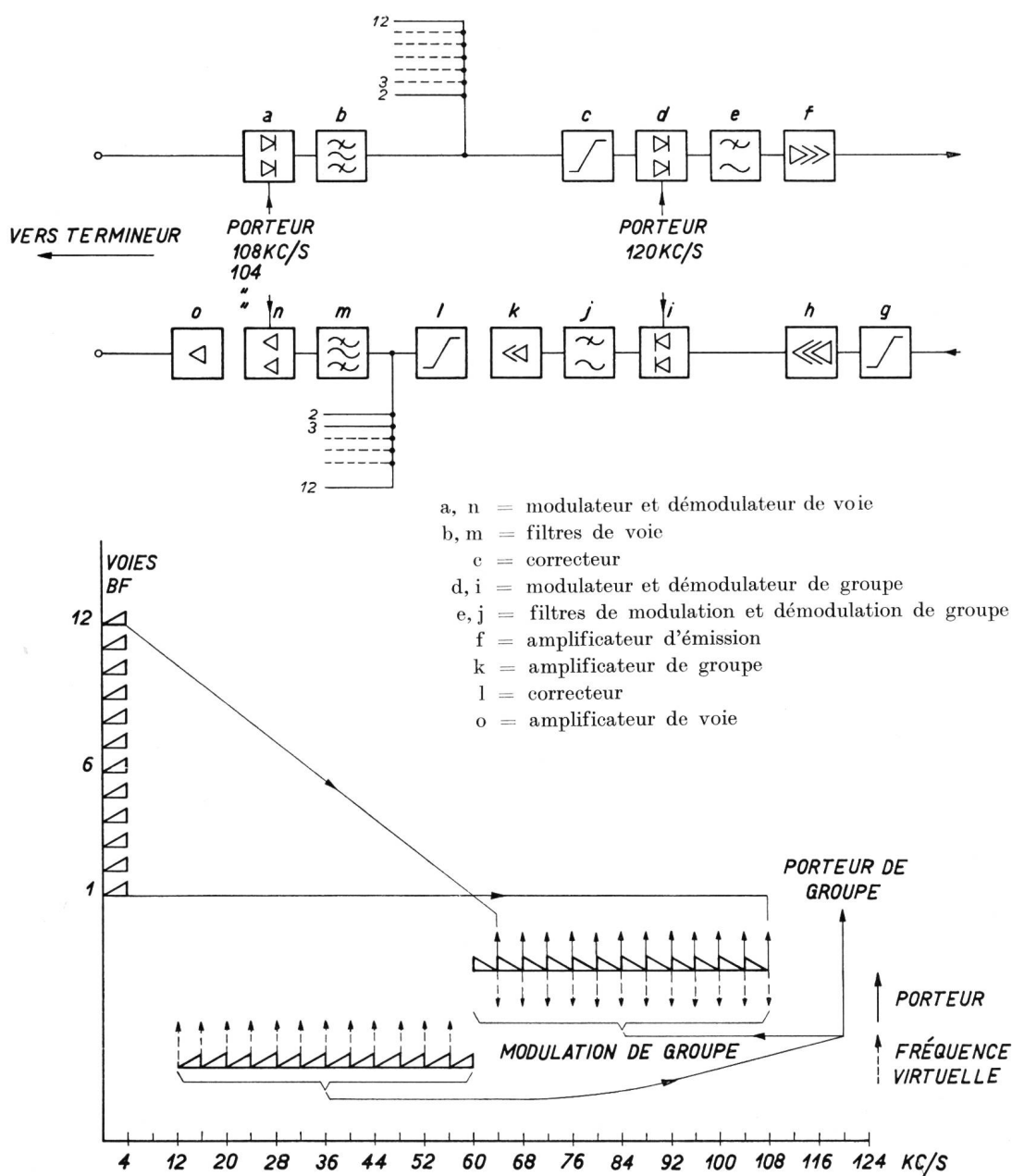


Fig. 20. Porteurs système «K»

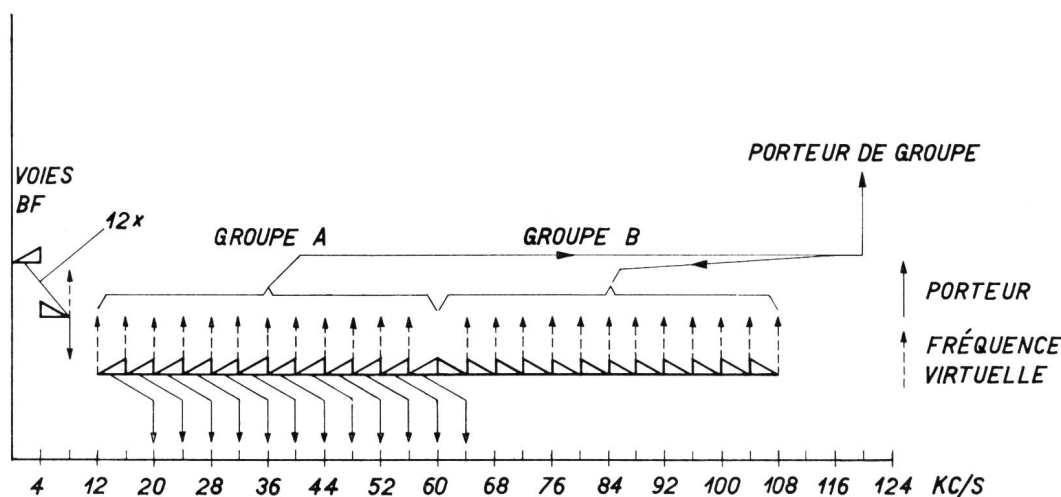
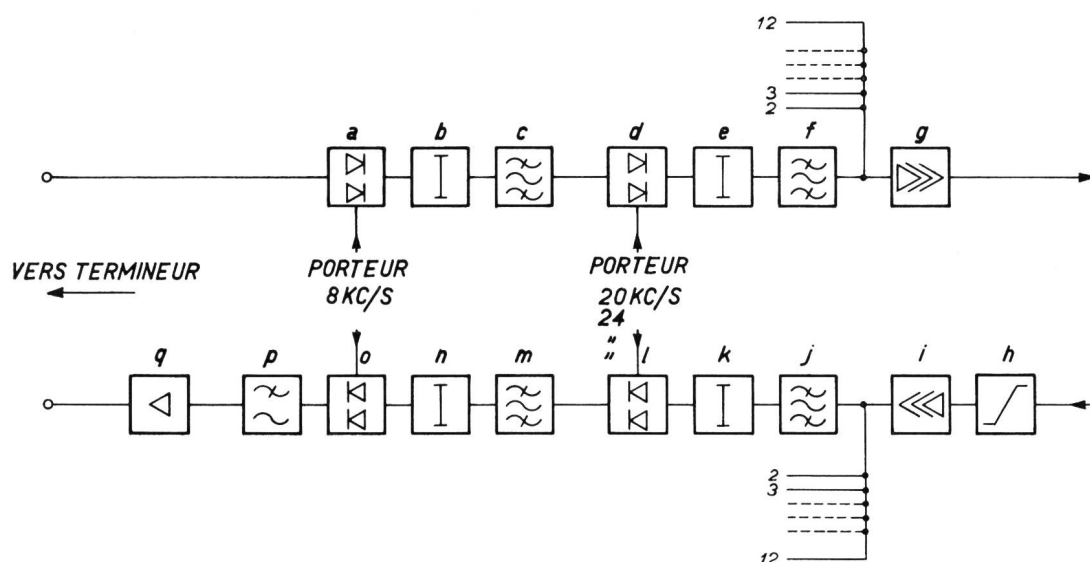


Fig. 21

Porteurs système «U»

a = prémodulateur
 b, e, k, n = pertes artificielles
 c, m = filtres de voie
 d = modulateur de bande
 f, j = filtres de bande
 g = amplificateur d'émission
 h = correcteur de ligne
 i = amplificateur de réception
 l = démodulateur de bande
 o = prédémodulateur
 p = filtres passe-bas
 q = amplificateur de voie

brusque. Le principe de ce système à courants porteurs est illustré par la fig. 20. Les voies basse fréquence sont transposées au moyen de 12 porteurs de 108 kHz à 64 kHz distants de 4 kHz, dans la gamme des fréquences de 60 à 108 kHz, les filtres passe-bande à cristaux de quartz éliminant le porteur et la bande latérale supérieure de modulation. Par une modulation de groupe au moyen d'un porteur de 120 kHz, l'ensemble des 12 voies est transposé en bloc dans l'échelle des fréquences que les voies occuperont sur la ligne entre 12 et 60 kHz. Par cette deuxième modulation, les voies seront transmises dans l'ordre direct des fréquences, alors que par la première modulation elles étaient transmises dans l'ordre inverse des fréquences.

De plus amples détails sur ces systèmes porteurs ainsi que sur leurs éléments constitutifs tels que modulateurs, filtres, amplificateurs, sont donnés dans les numéros 5 et 6 de l'année 1945 de ce bulletin, auquel nous renvoyons le lecteur.*)

C'est donc dès 1936 qu'apparut en Amérique le premier système à courants porteurs pour câble, qui

forma la base des systèmes actuels et dont le groupe primaire, obtenu par simple modulation et occupant la bande des fréquences entre 60 et 108 kHz, constitua l'élément de base des systèmes à courants porteurs à très grand nombre de voies, sur paires coaxiales, par exemple. Des essais de transmission de 240 voies téléphoniques juxtaposées par modulations de groupes successives dans l'échelle des fréquences 60 à 1020 kHz furent effectués entre New-York et Philadelphie sur une distance de 150 km, sur un câble coaxial posé à cet effet. Au début de 1937, des systèmes à courants porteurs à 12 voies basés sur le même principe, construits par la Standard Telephone and Cable à Londres, furent mis en service entre Bristol et Plymouth sur des câbles à 19 paires non chargées.

En Allemagne, à la même époque, plusieurs maisons, telles que Siemens & Halske, A. E. G., Lorenz, encouragées par le Reichspost-Zentralamt, travaillaient également au développement de systèmes à courants porteurs permettant d'obtenir d'une manière plus rationnelle et plus économique les circuits nécessaires pour écouler le trafic interurbain grandissant. Au début, par raisons d'économie, on se contenta d'une bande de 3 kHz par voie. Dans les années

*) H. Jacot. Principes de la téléphonie à courants porteurs. Bull. techn. PTT 1945, n° 5, p. 193...203 et n° 6, p. 248...256.

1937 et 1938, des voies à courants porteurs furent mises en service sur le premier câble coaxial du continent européen entre Berlin et Leipzig. Ajoutons que ce câble était avant tout destiné à des transmissions d'images de télévision.

Mais un nouveau système, ayant des caractéristiques identiques au système «K», quant à la position des voies dans l'échelle des fréquences, fut développé. Comme il n'était pas possible d'obtenir des cristaux de quartz en quantité suffisante, il fallut adopter une technique différente pour obtenir une élimination suffisamment radicale des produits gênants de modulation. Dans le système développé en Allemagne et appelé système «U», on procède d'abord par une modulation à 8 kHz de chacune des 12 voies. Douze filtres passe-bande identiques, qui doivent satisfaire à des conditions assez serrées de fabrication, éliminent les bandes latérales supérieures de modulation ainsi que le porteur; au moyen d'une deuxième modulation de bande par 12 porteurs de 20 à 64 kHz et espacés de 4 kHz, on transpose chacune des 12 voies à sa place définitive (12 à 60 kHz) dans le spectre des fréquences transmis en ligne. Les filtres passe-bande éliminant les porteurs et les bandes latérales supérieures de modulation sont plus faciles à réaliser, puisque les deux bandes latérales de modulation sont distantes de 8 kHz. La figure 21 montre le principe de ce système «U».

Le C.C.I.F., dans sa XI^e Assemblée plénière, en 1936, à Copenhague, s'était déjà occupé de la question de la téléphonie par courants porteurs sur câbles non chargés et avait reçu plusieurs communications au sujet des nouveaux systèmes en développement en particulier aux Etats-Unis d'Amérique et en Grande-Bretagne. En 1938 déjà, dans la réunion de la 3^e commission d'experts, le C.C.I.F. recommandait l'adoption d'un élargissement de la bande des fréquences effectivement transmises, c'est-à-dire un espacement des fréquences porteuses de 4000 Hz. De plus, il recommandait également la disposition des voies dans la bande de 12 à 60 kHz.

C'est en se basant sur les recommandations et sur le principe du système «U» que l'Institut des courants faibles de l'Ecole polytechnique fédérale à Zurich construisit deux équipements à courants porteurs à 12 voies dont trois voies furent démontrées en octobre 1942 entre Olten et Zurich, lors de la journée de la technique des télécommunications. En 1944, douze voies furent mises en service entre Berne et Zurich, deux paires de conducteurs ayant été déduplinisées à cet effet; cinq répéteurs intermédiaires étaient intercalés à Kirchberg, Bützberg, Olten, Wildegg et Wohlen (à Baden dans l'autre sens). Les équipements étaient très volumineux (deux voies par face de bâti) et plusieurs éléments durent être remplacés; la maison Hasler S.A. à Berne se chargea de la construction sur des bases rationnelles d'un système identique, qui présentait une plus grande sécurité à l'exploitation.

Les résultats satisfaisants obtenus avec les systèmes à courants porteurs sur des quarts de câbles téléphoniques ordinaires dont on avait supprimé la charge et pour lesquels on avait ajouté des panneaux d'équilibrage spéciaux afin de réduire la diaphonie, incita l'administration suisse à utiliser cette nouvelle technique afin d'obtenir les circuits qui lui faisaient défaut. Elle chercha à acquérir des équipements de l'étranger auprès des maisons spécialisées, ce qui était assez difficile du fait de l'état de guerre régnant en Europe, qui isolait complètement notre pays. Il fut néanmoins possible d'obtenir des équipements terminaux pour 12 voies du type U, de la maison Siemens à Berlin, ainsi que des équipements d'un type spécial primitivement prévus pour des lignes aériennes de la Bell Telephone à Anvers; il était absolument exclu d'obtenir à ce moment-là des équipements du type K avec filtres à cristaux.

La majeure partie des équipements purent être mis en service en 1945 et le réseau des circuits à courants porteurs s'étendit bientôt sur tout le pays: faisceaux Berne-Zurich, Bâle-Zurich, Lausanne-Zurich et également Lugano-Zurich par le câble du St-Gothard, pour lequel on utilisa les deux paires de la quarte pilote sous plomb entre Altdorf et Lugano pour un des sens de transmission, et deux paires de la couche des quarts extérieures pour l'autre sens.

Dès la fin des hostilités en Europe, il fut possible d'obtenir des systèmes «K» qui furent montés à Zurich, Bâle et Lugano, où ils remplacèrent les systèmes BOA de la Bell Telephone d'Anvers, primitivement montés. Le système BOA est un système tout à fait anormal dans lequel on commence par transposer toutes les voies au moyen d'un porteur de 72 kHz dans la bande de 72 à 76 kHz. Ces bandes de modulation modulent ensuite 12 porteurs de 88 à 132 kHz, les bandes latérales supérieures de modulation étant éliminées par des filtres relativement simples à construire, du fait de l'écart relativement grand entre les deux bandes latérales. Par contre, les filtres passe-bande de la première modulation sont assez difficiles à réaliser à cause de la largeur de bande relative très étroite. Les voies sont transmises dans l'ordre inverse des fréquences entre 12 et 60 kHz.

Entre temps, l'industrie suisse des télécommunications, en particulier les maisons Albiswerk S.A. à Zurich et Hasler S.A. à Berne, se mit à construire en toujours plus grande série des équipements à courants porteurs, d'après le système U, adapté aux exigences particulières de l'administration, de sorte que lorsqu'on commença la pose de câbles à courants porteurs spéciaux entre Bâle-Olden et Zurich et Zurich-Coire en 1946, on disposait des équipements terminaux nécessaires. Le réseau des câbles porteurs s'étendit très rapidement puisqu'il va maintenant de Lausanne à St-Gall et que l'artère Berne-Zurich vient d'être doublée par deux nouveaux câbles porteurs via Lucerne.

On peut se demander pour quelles raisons notre administration choisit des câbles à paires symétriques non chargées, alors que partout, en Grande-Bretagne et en France en particulier, les administrations s'orientaient surtout vers le nouveau câble coaxial qui venait d'être normalisé par le C.C.I.F. (diamètre du conducteur extérieur 9,4 mm) et qui permettait, aux dires des constructeurs, une économie sensible au point de vue du prix de revient et des matières premières nécessaires.

Un examen de la configuration de notre réseau interurbain national permet de donner une réponse nette à cette question, car les systèmes à courants porteurs sur paires symétriques non chargées étaient seuls capables à ce moment-là de donner la flexibilité voulue dans l'établissement des faisceaux de lignes dans des directions différentes et garantissant en même temps la sécurité à l'exploitation. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que les voies à courants porteurs devaient s'incorporer sans autre formalité dans notre réseau interurbain automatique intégral et que des interruptions de faisceau trop longues causeraient des perturbations sensibles dans le trafic téléphonique automatique. Il n'en est pas de même dans le trafic manuel ou à sélection automatique par une opératrice, puisque les lignes sont constamment surveillées. D'autre part, il est incontestable qu'au moment où notre administration se décida pour la technique des courants porteurs, le problème de la dérivation de groupes primaires et secondaires dans une artère coaxiale, n'était pas encore entièrement résolu.

L'introduction de la téléphonie multiple en Suisse, qui fut réalisée dans un temps record, posa un certain nombre de problèmes annexes très importants. Ainsi il fallut développer un nouveau système de signalisation à fréquence vocale afin de pouvoir transmettre les signaux de sélection automatique entre les centraux automatiques; on opta pour une fréquence de 3000 Hz, le choix de cette fréquence étant guidé par des considérations de distribution de l'énergie vocale dans le spectre des fréquences et de la bande encore intégralement transmise par chaque voie. Les signaux, en effet, devaient être assez simples pour ne pas devenir trop coûteux, sans pour cela provoquer des risques de déclenchements de faux signaux sous l'influence des courants vocaux transmis sur la même voie de transmission. Pour surveiller les voies et remplacer les opératrices des circuits manuels, on transmet sur chaque groupe de 12 voies une onde pilote de 60 kHz; lorsque la ligne subit des variations de niveau trop grandes, qui risqueraient d'influencer la qualité de la transmission, tous les circuits sortants sont bloqués par l'intermédiaire d'un récepteur pilote, et les équipements automatiques des circuits entrants sont libérés automatiquement.

En outre, il fallut construire des équipements d'énergie spéciaux pour les stations de répéteurs intermédiaires, pouvant garantir une alimentation sans

interruption des anodes et des filaments de chauffage des tubes amplificateurs. La solution adoptée prévoit une seule batterie d'anode de capacité suffisante pour pouvoir alimenter la station pendant quelques heures en cas de panne du secteur. Cette batterie est maintenue en état de charge par un redresseur à lampes à vapeur de mercure ou à cellules redresseuses au sélénium. Les filaments des tubes électroniques sont alimentés directement à partir du secteur dont la tension est réglée automatiquement dans des limites assez étroites. En cas de panne du secteur, un groupe convertisseur alimenté par la batterie d'anode fournit le courant alternatif pour le chauffage des filaments. Comme le temps de refroidissement des tubes amplificateurs à chauffage indirect est assez long, le démarrage du groupe convertisseur ne produit pas d'interruption dans la transmission, la variation de gain étant pour ainsi dire inexistante.

La qualité des premiers câbles à paires symétriques non chargées étant assez bonne, il fut possible d'augmenter le nombre des voies transmises sur chaque paire de 12 à 24, la bande des fréquences transmises s'étendant de 12 à 108 kHz. Dans le système «U», on obtenait le deuxième groupe de 12 voies ou groupe «B» par une modulation de groupe à 120 kHz. Les groupes sont séparés par des filtres de transfert de groupes.

Lors de la pose du câble St-Gall-Zürich, on choisit la distance entre stations de répéteurs intermédiaires de manière à pouvoir transmettre jusqu'à 36 voies sur les paires dont la diaphonie était suffisante aux fréquences supérieures. Avec le nouveau câble Berne-Lausanne, grâce à de nouvelles méthodes d'équilibrage développées par le laboratoire de recherches et d'essais des PTT suisses, il fut possible d'envisager la transmission simultanée de 48 voies par paire. Il faut évidemment adapter les amplificateurs intermédiaires à ces nouvelles conditions, tant au point de vue de la bande transmise, qui s'étend maintenant de 12 à 204 kHz, qu'au point de vue de la compensation des variations de l'équivalent de transmission des lignes en fonction de la température du câble, qui se fait sentir d'une manière plus prononcée aux fréquences élevées. On a donc prévu pour les longues lignes une régulation automatique du gain des amplificateurs en fonction des variations de la température du câble, variation que l'on détermine par la mesure de la résistance d'une paire du câble. Mentionnons en passant que, peu après la fin de la deuxième guerre mondiale, un nouveau système pour téléphonie à courants porteurs était apparu; développé en collaboration avec l'administration néerlandaise des téléphones par la maison Philips, il est spécialement adapté à la constitution de 48 voies à courants porteurs. Les 12 voies de chaque groupe primaire sont d'abord modulées à 60 kHz; la bande latérale inférieure de modulation ainsi que le porteur sont éliminés. Les filtres à selfs et condensateurs occupent un volume très réduit, grâce à l'utilisation pour les

noyaux d'un nouveau matériau, le «ferroxcube» ayant un coefficient de surtension d'environ 500 à 60 kHz. Ces filtres doivent avoir une coupure très nette. Dans une deuxième modulation par 12 porteurs différents espacés de 4 kHz à partir de 192 kHz, les 12 voies sont transposées dans la gamme de 252 à 300 kHz; grâce à la fréquence élevée de la première modulation, les produits indésirables sont éliminés par un filtre très simple. Les groupes des 12 voies sont finalement transférés à leur place définitive dans l'échelle des fréquences sur la ligne par des modulations de groupe avec des porteurs dont la fréquence sera de 240, 360, 408 ou 456 kHz, selon qu'il s'agira du 1er, 2e, 3e ou 4e groupe.

L'avantage de ce système réside dans le fait que les éléments des modulations de voies sont identiques. La présentation du matériel est aussi nouvelle, tous les appareils se présentant sous forme de tiroirs, qu'on peut enficher dans le bâti; un bâti double face peut loger 24 voies à courants porteurs. Les premiers équipements de ce type furent mis en service en Suisse, en 1947, à Coire, pour les Jeux Olympiques d'Hiver à St-Moritz.

Dans les pays voisins, des réseaux de circuits à grande vitesse de transmission se développaient aussi à une allure plus ou moins rapide, et il était naturel que certains de ces faisceaux touchent notre pays. C'est ainsi que l'Autriche d'abord, et la France ensuite, envisagèrent une extension de leurs réseaux à câbles coaxiaux en construction vers la Suisse. Il était dès lors indiqué de continuer ces nouvelles artères par des câbles du même type. La liaison avec l'Autriche s'arrête pour le moment à St-Gall, et celle avec la France à Berne, d'où elle va rejoindre à Besançon, via Neuchâtel-Morteau, la nouvelle artère Dijon-Nancy. L'administration italienne à son tour décida, en accord avec notre administration, de prolonger l'artère coaxiale Rome-Milan vers Lugano, où elle sera connectée à l'artère coaxiale du St-Gothard, qui rejoindra à Zurich notre réseau à courants porteurs sur paires symétriques non chargées.

Systèmes à courants porteurs sur câbles coaxiaux

Répéteurs coaxiaux

Afin d'obtenir des lignes aussi homogènes que possible et éviter les difficultés provenant de l'interconnexion de tronçons équipés d'amplificateurs de lignes de types différents, l'administration décida d'adopter dans chaque cas le même type de répéteur que celui utilisé par le pays voisin, jusqu'à la station de régulation de ligne. C'est ainsi que jusqu'à St-Gall, les répéteurs seront du type Standard Telephone and Cable de Londres (STC), et que, jusqu'à Berne, ils seront du type développé par le Service des Recherches et du Contrôle techniques (SRCT) de l'administration française. Des développements très longs et onéreux peuvent être évités, et cette manière de faire permet de garantir la mise en service des installations dans les délais prévus. Grâce aux renseignements et à l'aide

précieuse de l'administration française, il a été possible à la maison Hasler S.A. de fabriquer dans un temps record les répéteurs coaxiaux pour le tronçon frontière française-Berne.

Les deux types de répéteurs diffèrent en principe l'un de l'autre sur plusieurs points (sécurité, alimentation, compensation des variations de l'affaiblissement de la ligne avec la température, etc.). Les deux répéteurs sont l'un et l'autre à trois étages d'amplification. La bande de fréquences transmise s'étend de 60 à 4,1 MHz.

Dans le répéteur du type SRCT, nous avons en principe deux amplificateurs en parallèle, qui constituent deux chemins d'amplification indépendants couplés entre eux par les transformateurs d'entrée et de sortie. Chaque chemin d'amplification peut assurer à lui tout seul l'amplification des signaux de la ligne sans que l'on observe une variation de gain. Les filaments des tubes sont chauffés par courant alternatif dérivé du câble lui-même, où il est injecté entre conducteur central et conducteur extérieur par une station d'alimentation qui peut alimenter de chaque côté jusqu'à cinq stations intermédiaires téléalimentées. La tension d'anode est fournie par des redresseurs au sélénium qui tirent également le courant alternatif nécessaire du câble. Des filtres d'aiguillage spéciaux à l'entrée et à la sortie du répéteur séparent les courants d'alimentation à 50 Hz des courants à haute fréquence. Chaque tube ou paire coaxiale alimente un chemin de transmission de chaque répéteur, ce qui augmente la sécurité, car si l'alimentation d'une des paires vient à manquer, le répéteur continue à fonctionner sur un de ses chemins d'amplification pour chaque sens de transmission. Chaque section d'amplification est complétée par trois lignes artificielles, correspondant chacune à une section de câble de 450 mètres pour une section uniforme de 9 km. Deux correcteurs, l'un à l'entrée, l'autre à la sortie, permettent en commun avec la courbe du gain de l'amplificateur qui est légèrement ascendante dans la bande des fréquences, d'obtenir l'égalisation désirée d'une section de 9 km. La correction des variations de l'affaiblissement du câble en fonction de la température est réalisée par l'insertion ou la mise hors circuit d'une ligne artificielle correspondant à une section de câble de 450 mètres. En effet, à une variation de la température du câble de 5° C correspond une variation de l'affaiblissement de 1%. Le correcteur, dont l'affaiblissement correspond à 5% d'une section normale, pourra compenser la variation d'affaiblissement d'une section de 9 km pour un changement de température de 25° C. Les correcteurs de température sont enclenchés au moyen de relais spéciaux qui sont commandés depuis la station de régulation sur une des paires interstitielles placées autour des paires coaxiales. Dans les paires coaxiales, le coefficient de température de l'affaiblissement est pratiquement indépendant de la fréquence, ce qui n'est pas le cas pour les câbles à paires symétriques non chargées.

Deux ondes pilotes à 308 kHz et 4092 kHz sont transmises en permanence sur la ligne, et un système voltétrique compare leurs niveaux à la sortie des amplificateurs de réception des stations surveillées. Une variation trop grande de ces niveaux déclenche une alarme ou agit sur le dispositif de commande automatique des correcteurs de température qui, par les paires interstitielles, provoquera l'insertion ou le retrait des correcteurs dans les stations intermédiaires non surveillées selon un ordre prédéterminé. Un récepteur pilote sélectif à 308 kHz placé à la sortie de chaque chemin d'amplification permet, par transmission d'alarme sur les paires interstitielles, de signaler le répéteur défectueux à la prochaine station surveillée.

L'amplificateur coaxial de la STC a aussi trois étages d'amplification, mais un seul chemin d'amplification, la sécurité étant obtenue par deux tubes amplificateurs en parallèle dans chaque étage. Le circuit est prévu de manière qu'une défaillance d'un tube quelconque ne provoque pas de variation de gain, un seul tube pouvant assurer à lui tout seul l'amplification des signaux. Les répéteurs intermédiaires sont alimentés en énergie électrique également par le câble, mais la tension du réseau à 50 Hz emprunte les deux conducteurs centraux des deux paires coaxiales d'un système complet, qui comprend en effet une paire coaxiale pour chaque sens de transmission.

Un complément de ligne ajustable par pas d'un quart de mille (400 mètres) ramène l'affaiblissement total d'une section entre stations de répéteurs à celle d'une section normalisée de 6 milles (env. 9,6 km). Deux correcteurs, un à l'entrée et l'autre à la sortie, servent en commun avec la caractéristique de gain de l'amplificateur à l'égalisation de chaque section. Des filtres d'aiguillage à l'entrée et à la sortie, ainsi que des redresseurs pour les tensions d'anode complètent l'équipement comme dans le cas précédent. Dans ce système, nous avons deux ondes pilotes à 60 kHz et à 4092 kHz, la première servant à la synchronisation des maîtres oscillateurs, la seconde à la régulation. A chaque amplificateur est adjoint un régulateur pilote qui comprend un circuit sélectif, un amplificateur à deux étages et un redresseur à cristal (germanium). Le courant redressé agit sur un relais marginal qui contrôle la polarisation du tube d'un oscillateur à 2 kHz; le niveau de sortie de celui-ci variera en conséquence et contrôlera un réseau de thermistances dans le circuit de contre-réaction de l'amplificateur (réseau β). Ce réseau fera varier le gain de l'amplificateur en fonction de la fréquence et en fonction des variations de l'affaiblissement de la ligne sous l'effet des changements de température. Lorsque les sections de régulation sont longues, il est prévu dans les stations principales une deuxième onde pilote de régulation à 2792 kHz, qui permet de compenser les variations causées par les changements de la température ambiante des équipements.

Le schéma de principe de l'amplificateur STC donné à la figure 22 illustre bien la complication des amplificateurs à large bande qui doivent pouvoir amplifier une bande très large de fréquences (60 à 4100 kHz) avec un gain relativement élevé (jusqu'à 6 N à 4,1 MHz) absolument constant et une puissance maximum disponible à la sortie au voisinage du point de surcharge de 180 mW environ. De plus, les coefficients de réflexion à l'entrée et à la sortie entre l'amplificateur et la ligne doivent remplir des conditions assez sévères, afin de réduire les échos, en régime d'impulsions, et les oscillations de la courbe de l'affaiblissement en fonction de la fréquence, en régime permanent.

Les répéteurs des stations principales et des stations terminales comprennent encore un certain nombre d'éléments auxiliaires, pour le transfert et la dérivation des groupes secondaires, le transfert des ondes pilotes, et, par conséquent, un deuxième amplificateur d'émission identique en principe à l'amplificateur de ligne pour ramener les signaux affaiblis par les équipements de transfert au niveau voulu.

Toute la technique des amplificateurs à large bande est en pleine évolution, et on peut s'attendre encore à des perfectionnements importants dans ce domaine, particulièrement si on veut transmettre par câbles les signaux de télévision avec une définition de 625 lignes. Non seulement il faudra élargir la bande de fréquences au moins jusqu'à 6 MHz, si ce n'est plus, mais il faudra maintenir les conditions de phase dans des limites très étroites par des correcteurs spéciaux.

Equipements de modulation pour câbles coaxiaux

Nous avons déjà indiqué que le groupe primaire B qui occupe la bande de 60 à 108 kHz constitue la base des systèmes de téléphonie à courants porteurs sur câble coaxial. On réunit cinq de ces groupes primaires dans la bande de 312 à 552 kHz par modulation de groupes et on constitue ainsi le groupe secondaire de base qui comprend 60 voies. Ces groupes secondaires ainsi constitués sont transférés par une nouvelle modulation de groupe à leur place définitive dans le spectre des fréquences sur la ligne. La figure 23 montre cette répartition des 960 voies sur la ligne. Les courants porteurs des voies sont tous des multiples de 4 kHz, ceux des groupes primaires des multiples de 12 kHz et ceux des groupes secondaires des multiples de 124 kHz. Tous ces courants porteurs sont dérivés par multiplication d'une fréquence de base de 4 kHz qui est pilotée elle-même par un oscillateur à quartz de 100 kHz ayant une très haute stabilité (10^{-7} au moins). Tous les organes importants, pouvant affecter en cas de défaut un très grand nombre de voies, sont équipés en double (lampes ou étages d'amplification). Il est possible, par des équipements de transfert spéciaux, de dériver ou d'injecter un certain nombre de groupes secondaires dans les stations principales. Cela pose du reste, au point de vue filtrage, des problèmes assez difficiles à résoudre.

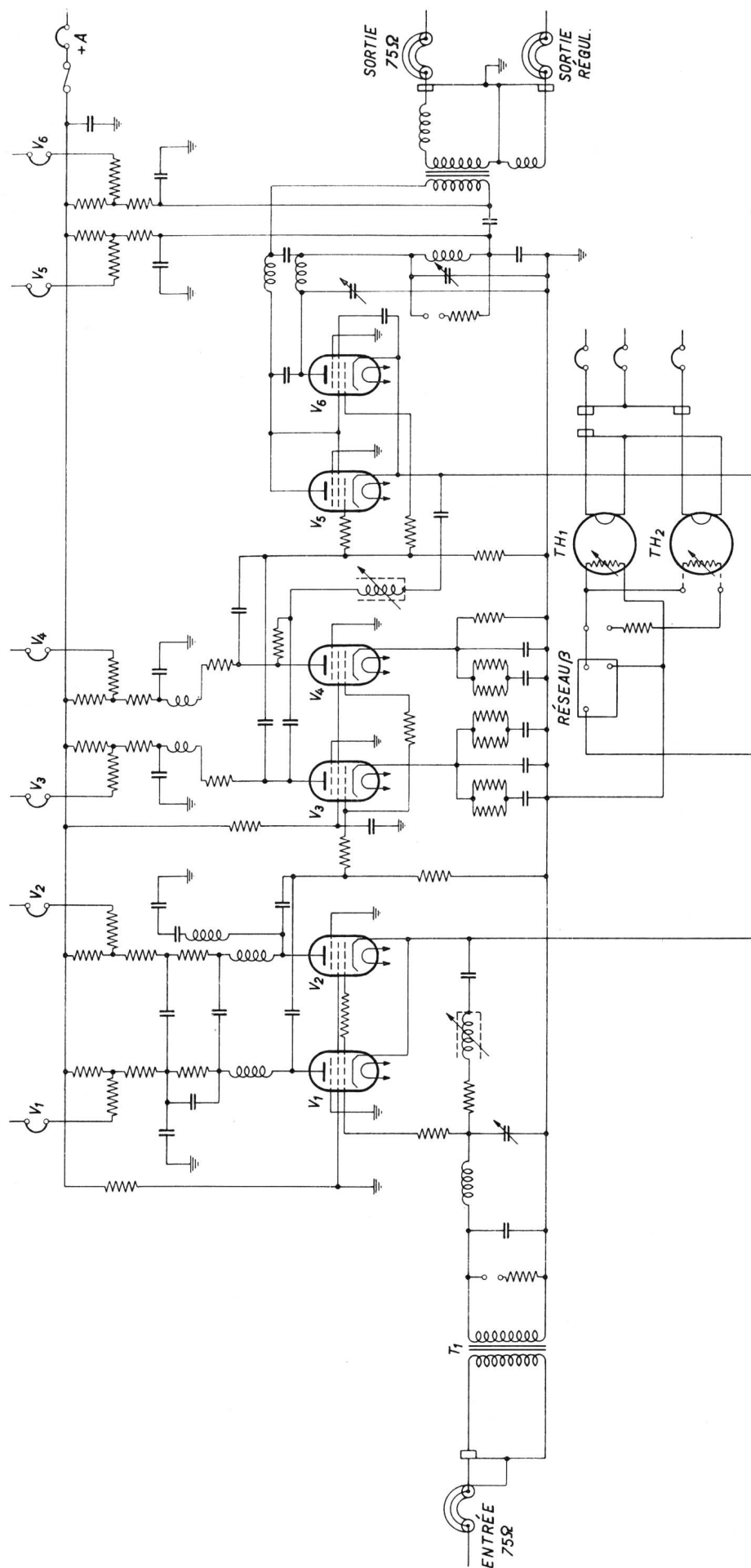


Fig. 22. Répéteur coaxial 4 MHz type STR

On voit que, ces trente dernières années, des perfectionnements importants et rapides ont été réalisés dans le domaine de la téléphonie par courants porteurs. Il y a loin des essais timides de transmettre une ou deux voies sur des circuits aériens à la transmission simultanée de 960 voies sur une paire coaxiale.

Afin de satisfaire aux demandes des organismes de radiodiffusion, on a prévu de constituer, dans les câbles à large bande de fréquences, des circuits normaux pour transmissions radiophoniques, en utilisant la bande des fréquences correspondant à trois voies téléphoniques d'un système à courants porteurs. On ne pourra utiliser qu'un seul ensemble de trois voies par groupe primaire de douze voies. Ce circuit normal pour transmissions radiophoniques utilisera de préférence la bande de fréquences de 84 à 96 kHz, la fréquence porteuse étant de 96 kHz. Des recommandations très précises ont été faites par le C.C.I.F. au sujet des conditions que doivent remplir ces circuits.

Il est évident qu'un grand nombre d'autres éléments auxiliaires mais nécessaires ont dû être développés, et sont encore en développement à l'heure actuelle, pour assurer une exploitation toujours plus sûre des circuits à courants porteurs. Cela nous entraînerait trop loin d'entrer dans ces détails.

Pour pouvoir transmettre un grand nombre de circuits simultanément sur un même moyen de transmission, il faut que celui-ci permette de transmettre un spectre de fréquences suffisamment large. Dans les câbles, on a commencé par supprimer la charge des

circuits, ce qui permet de transmettre jusqu'à 48 voies et même 60 voies (en Allemagne) par paire; puis on utilisa les propriétés de la paire coaxiale qui permet d'en transmettre beaucoup plus. Mais, dans le domaine de la radioélectricité, on avait fait entre temps également des progrès considérables, et plusieurs nouveaux moyens de transmission par l'éther avaient été développés, comme la modulation de fréquences, la modulation par impulsions, etc. Les services de recherches des différents pays se mirent aussi à déterminer par des mesures systématiques les conditions de propagation des diverses longueurs d'ondes et surtout des ondes plus courtes (décimétriques et centimétriques) à cause de l'encombrement toujours plus grand de l'éther. Ainsi se développa toute une technique des liaisons radioélectriques par ondes dirigées, dans laquelle une visibilité optique ou quasi optique entre les stations-relais doit être réalisée. Ces « faisceaux hertziens » disposent d'une bande de fréquences très large et il était naturel qu'on songe à les utiliser comme moyens de transmission multiplex pour la téléphonie.

La modulation de fréquence présente des avantages très grands, au point de vue rapport signal/bruit entre autres, de sorte qu'elle est généralement appliquée dans les faisceaux hertziens. Possédant dès lors un moyen de transmission à très large bande de fréquences, on peut utiliser aux extrémités les mêmes équipements que ceux des courants porteurs à 12, 24, 48 ou 60 voies, c'est-à-dire, qu'on peut directe-

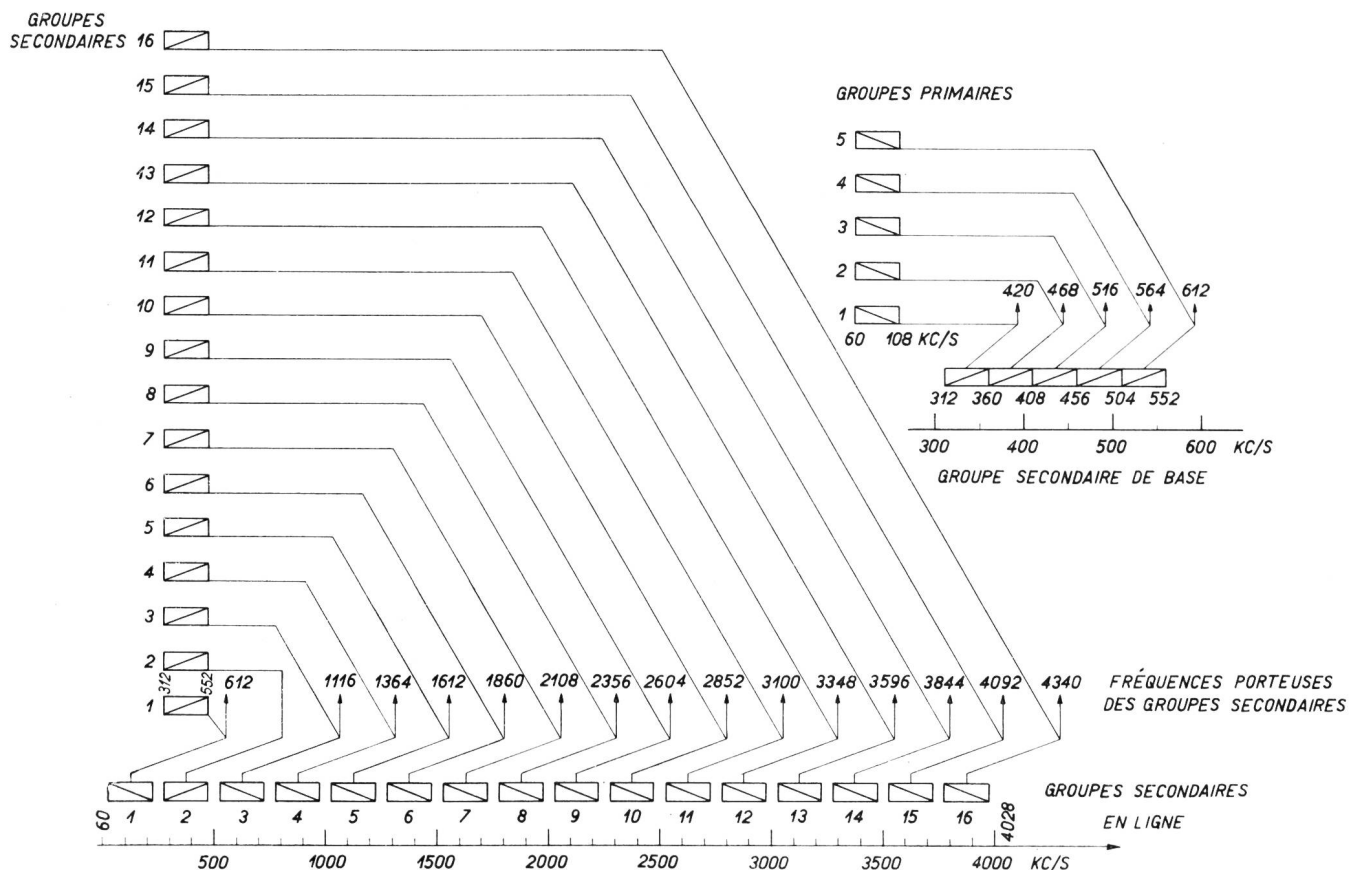


Fig. 23. Système coaxial à 960 voies

ment transmettre un ou deux groupes primaires ou un groupe secondaire (ou plusieurs, comme devront le démontrer les essais en cours), et le raccordement au réseau téléphonique par câbles à paires symétriques non chargées ou par paires coaxiales sera très facile. La difficulté de grouper un grand nombre de voies réside dans l'obtention de taux de distorsions non linéaires très faibles qui sont la cause de diaphonie entre voies.

L'application de la nouvelle technique de la modulation par impulsions permet de grouper sur une même porteuse jusqu'à 24 voies. Dans ce système de modulation, le porteur est constitué par une série d'impulsions identiques et répétées à la «fréquence de répétition» ou de «définition» (8000 Hz par exemple). Cette série d'impulsions est caractérisée par l'amplitude, la durée ou largeur ou la périodicité de répétition des impulsions (qui fixe la position des impulsions dans le temps). Suivant que l'on agit sur l'un de ces trois paramètres on aura une modulation par impulsions d'amplitude (P.A.M.), une modulation par impulsions de durée (P.D.M.) ou une modulation par impulsions en position (P.P.M.) que l'on appelle souvent modulation de phase. Plus récemment on a développé un nouveau procédé de modulation: la modulation par impulsions codées (P.C.M.) dans lequel on procède d'abord à une «quantification» de l'amplitude du signal modulant et transmet les valeurs obtenues sous forme de code, comme cela se pratique dans la télégraphie. La quantification est l'opération qui consiste à diviser l'intervalle de variation de l'amplitude de l'onde modulante en un certain nombre de paliers également espacés et à confondre toutes les amplitudes tombant entre deux paliers successifs avec la valeur du palier le plus proche. Pour reproduire convenablement des conversations téléphoniques, il suffit d'avoir une centaine d'échelons de quantification. A chaque palier est attribué un numéro d'ordre et l'opération de codage consiste à transcrire ce numéro d'ordre dans un système de numérotation déterminé (code binaire, ternaire, etc.). La modulation codée présente de grands avantages, en particulier en ce qui concerne la protection des signaux contre le bruit de fond et les parasites, car il suffit de pouvoir déceler avec sécurité dans le bruit la présence ou l'absence d'impulsions codées.

Dans la transmission multivoies à courants porteurs, les voies sont distribuées dans l'échelle des fréquences, tandis que dans la modulation par impulsions, elle sont réparties dans le temps. L'origine des temps est déterminée par une impulsion de synchronisation qui se différencie des impulsions de voies par sa forme (durée). Le procédé est identique à celui du télégraphe Baudot; on dispose donc d'un distributeur qui donne voie libre successivement au signal de chaque voie.

Il était naturel qu'un pays aussi montagneux que le nôtre, avec de nombreux points élevés accessibles d'où l'on peut avoir des liaisons optiques avec de

vastes régions, incitât l'administration à établir des liaisons de ce genre lorsque les techniques respectives furent suffisamment au point. C'est ainsi qu'on établit en 1947 une première liaison Genève-Zürich à ondes métriques, avec stations-relais au Chasseral et à l'Uetliberg, à six voies en modulation de fréquence. Puis, on mit en service, en 1951, une autre liaison nord-sud, de Berne à Lugano, avec deux stations de relais à la pointe du Sphinx près du Jungfraujoch et au Monte Generoso, sur ondes métriques également, liaison permettant de transmettre deux groupes primaires à 12 voies transposés par les équipements à courants porteurs de Berne et Lugano dans la gamme des fréquences de 108 à 204 kHz (groupes C et D), la bande transmise restant à l'intérieur d'un octave, afin de réduire les effets d'intermodulation. Ces 24 voies, 12 avec Berne et 12 avec Zürich, sont actuellement incorporées dans le réseau interurbain automatique et elles ont permis d'établir une partie des circuits nécessaires jusqu'au moment où l'artère du St-Gothard actuellement entièrement occupée sera désengorgée par la pose du câble coaxial prévu. Enfin, une autre liaison multiplex par ondes centimétriques, utilisant la modulation par impulsions en position, a été mise provisoirement en service cet été entre Genève et Zürich, avec des stations de relais au Chasseral et à l'Uetliberg comme pour le premier faisceau à 6 voies mentionné qui a été mis hors service. Cette nouvelle liaison à 23 voies a permis à l'administration de libérer un certain nombre de conducteurs entre Genève et Lausanne et de procéder à des travaux de dépupinisation et de rééquilibrage de plusieurs quarts pour pouvoir établir un certain nombre de systèmes à courants porteurs supplémentaires avec Genève. Malgré les résultats relativement satisfaisants obtenus avec les faisceaux hertziens, de nombreux perfectionnements devront encore être apportés dans les équipements pour réaliser la sécurité parfaite exigée par les services d'exploitation. Il n'y a du reste rien d'étonnant à cette constatation si l'on songe aux débuts de la téléphonie par courants porteurs où le personnel des services d'exploitation était plutôt méfiant à l'égard de ces équipements compliqués comprenant un nombre important de tubes électroniques sujets à des défaillances plus nombreuses que des résistances ou des condensateurs, par exemple. Mais nous sommes dans le cas des faisceaux hertziens au début du développement, et l'on peut envisager déjà dans un avenir peut-être pas trop éloigné des cas où des artères par câbles seront complétées pour des raisons de sécurité également, par des faisceaux hertziens. Quant à savoir quelle est la méthode la plus favorable, transmission par voie hertzienne de nombreux groupes à 12 voies ou modulation par impulsions, il est difficile de le dire d'une manière absolue, cela dépendant de chaque cas particulier.

Conclusion

En passant en revue d'une manière bien incomplète le développement des équipements de transmis-

sion des lignes interurbaines, ces trente dernières années, on a pu constater les efforts considérables qui ont été faits, d'un côté, pour améliorer la transmission téléphonique (élargissement de la bande des fréquences transmises, stabilité, etc.) et, d'un autre côté, pour diminuer le prix de revient des équipements (réduction du volume des éléments, matériaux nouveaux, etc.). Malgré la complication plus grande des équipements, on s'est efforcé d'en faciliter la maintenance afin d'augmenter la sécurité des circuits; à cet effet on a amélioré les méthodes de construction et surtout on a développé un grand nombre d'appareils et de méthodes de mesure qui constitueraient à eux seuls un chapitre important et très vaste de cette étude que nous ne pouvons que mentionner sans nous y attarder davantage.

Grâce aux perfectionnements réalisés dans tous les domaines et surtout grâce à la possibilité d'utiliser des matériaux nouveaux, la technique de la téléphonie multiple par courants porteurs a pris un essor considérable et rapide ces dix dernières années et a permis d'établir d'une manière plus économique encore les circuits nécessaires à l'écoulement rapide du trafic téléphonique. Ce développement ne s'arrêtera certainement pas là, puisque déjà on abandonne les câbles normaux à isolation au papier pour utiliser un nouveau type, le câble coaxial, et qu'on s'évade même de la matière pour transmettre un grand nombre de communications au moyen de faisceaux hertziens, tirant profit des possibilités innombrables de la transmission radioélectrique.

Nous devons être particulièrement reconnaissants à ceux qui nous ont précédés dans la carrière et qui ont posé avec un courage méritoire et une confiance sans limite en l'avenir, les jalons du futur réseau de télécommunication à grande distance; soucieux également de l'amélioration de la qualité de la transmission, ils s'intéressèrent dès le début aux nouveaux éléments et n'hésitèrent pas à en faire l'essai. Il ne faut pas oublier que des essais pareils présentaient aussi des risques beaucoup plus grands qu'à l'heure actuelle, puisque les moyens pour mesurer ou juger objectivement la qualité de transmission des réseaux et de leurs équipements étaient plus rudimentaires; le transport du premier oscillateur à tube de mercure était par exemple toute une expédition: une personne était spécialement chargée de transporter le tube sur ses genoux, afin d'atténuer les secousses du chemin de fer!

Dans quelle voie la technique des télécommunications s'orientera-t-elle dans l'avenir? Il est évidemment difficile de le dire d'une manière certaine ignorant des surprises que le génie inventif de l'homme nous réserve. Une extension des courants porteurs dans les réseaux ruraux aura certainement lieu, grâce à une simplification encore plus poussée des équipements. Notre administration particulièrement intéressée à cette question a déjà mis à l'étude depuis quelques années des systèmes à courants porteurs pour courtes distances dont les premiers prototypes seront mis à l'essai cette année encore.

Les efforts pour réduire toujours plus le volume occupé par les équipements se poursuivent; le tube électronique resta l'élément le plus volumineux d'un amplificateur jusqu'à l'apparition d'un nouvel élément, le transistor ou triode au germanium, qui, sous des dimensions assez réduites, permet d'obtenir une amplification de l'ordre de 50 dB. Ce nouvel élément, qui tire parti des propriétés de certains semi-conducteurs comme les cristaux de germanium, a été inventé et mis au point dans les Bell Laboratories aux Etats-Unis, en 1948. Grâce au fait qu'il est très robuste, n'étant pas dans le vide, qu'il ne consomme pas de courant de filament et que le volume qu'il occupe est extrêmement réduit, on songe déjà à l'utiliser dans des répéteurs immergés ou dans de nouveaux répéteurs à deux fils qu'on pourrait enficher dans les câbles, comme des bobines Pupin, et qui seraient télé-alimentés depuis une des extrémités. Ces répéteurs à deux fils spéciaux de gain réduit peuvent être assimilés à une impédance négative qu'on intercalerait en certains points de la ligne et qui auraient pour effet d'en réduire l'équivalent.

Que nous réserve la théorie nouvelle de la «cybernétique» ou théorie du signal et de l'information? Nous n'en savons rien, car là aussi le génie inventif de l'homme est à l'œuvre et peut-être que nos descendants auront trouvé le moyen d'expédier sous forme très condensée, à des allures toujours plus rapides, leurs messages d'un bout de l'univers à l'autre.

Nous osons seulement exprimer l'espoir que les progrès réalisés dans ce domaine particulier des télécommunications le seront toujours pour le bien de l'humanité. En rapprochant les individus et en leur permettant d'échanger leurs opinions, on arrivera à une compréhension toujours plus parfaite entre les peuples et à un esprit de tolérance plus grand dans le monde.