

NOTRE RÉSEAU NATIONAL DE TÉLÉCOMMUNICATIONS SE DÉVELOPPE AVEC :

LE NOUVEAU FAISCEAU HERTZIEN P.T.T. Paris-Lille, à ondes centimétriques

par Philippe FORESTIER

La réalisation du premier tronçon expérimental du faisceau hertzien sur 8 cm de longueur d'onde ouvre de nouvelles possibilités à la diffusion de la télévision. Artère téléphonique à grand débit, le système étudié en équipes mixtes par le Service de Recherches et de Contrôle Technique des P. T. T. et la Compagnie Générale de T. S. F. constituera un moyen de transmission idéal de la télévision à haute définition et des signaux vidéo de radar.

Conçus pour le trafic, les canaux aller et retour favoriseront les échanges simultanés de programmes télévisés entre l'étranger et la France. La télévision, comme la radio-diffusion, locataire de notre réseau téléphonique, pourra, dès lors, s'étendre au pays tout entier.

Notre collaborateur, M. Philippe Forestier, va présenter, ci-dessous, ce nouvel équipement. Grâce à l'obligeance des Services des P. T. T. et de la Compagnie Générale de T. S. F., la « T.S.F. » est heureuse de pouvoir donner à ses lecteurs les caractéristiques générales de ce nouveau système de grande classe dont certains éléments, entièrement originaux, comme les aériens, permettent d'escompter un rendement et une souplesse d'exploitation remarquables.

Le multiplex téléphonique

On connaît le principe d'une liaison téléphonique multiplex dont le but est la transmission simultanée d'un grand nombre de communications téléphoniques sur un circuit unique. Rappelons-le brièvement.

Les systèmes multiplex comportent principalement soit un dispositif à division du temps, multiplex à impulsions, soit un dispositif de division de fréquences, multiplex à transposition de fréquence. Ce dernier procédé est utilisé pour la liaison Paris-Lille.

La transmission du spectre de modulation qui pré-

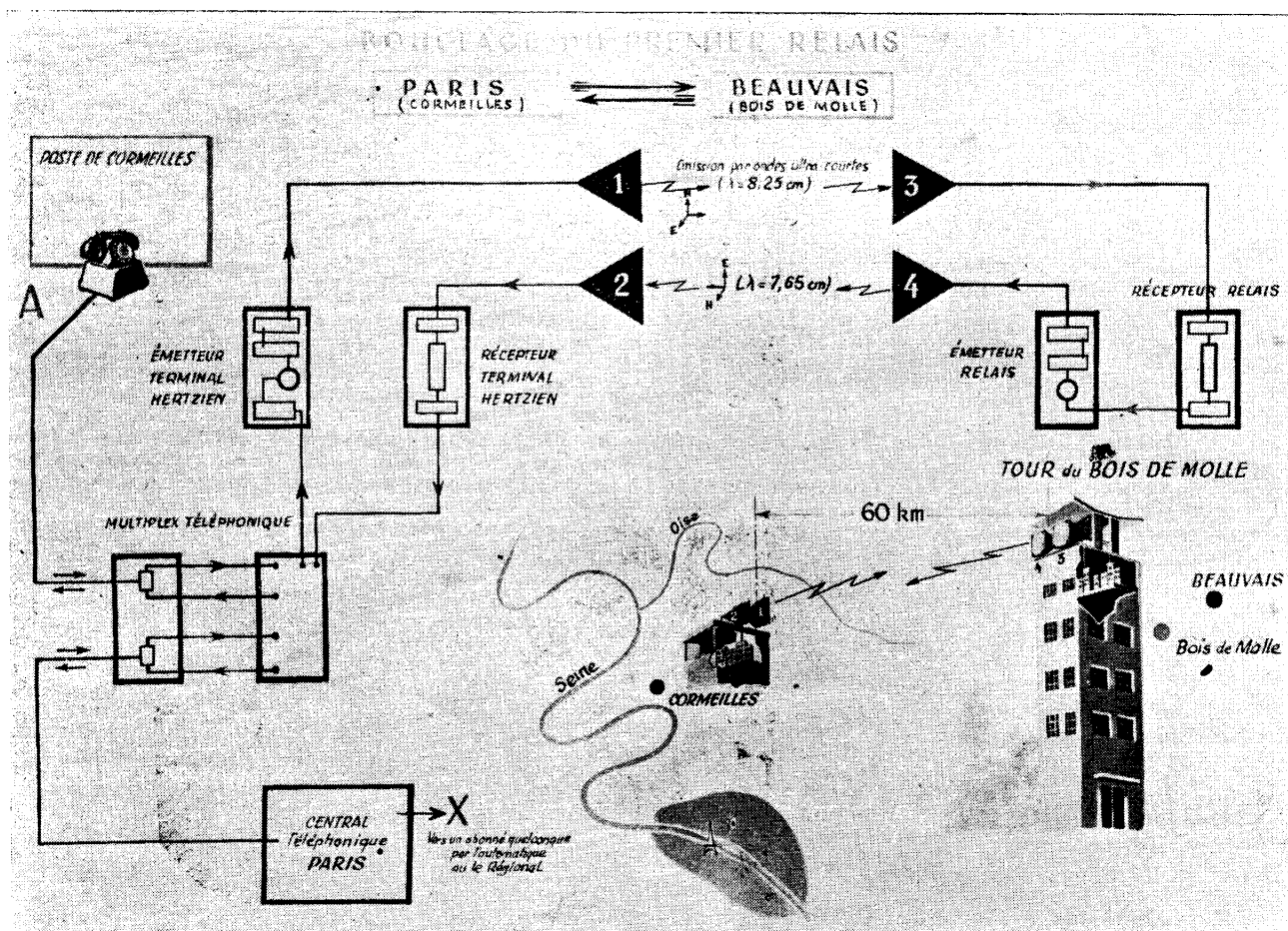


FIG. 1.

sente des composantes de fréquences très élevées, exige des circuits à large bande passante, qui n'ont pu trouver une forme acceptable qu'avec le câble coaxial, si l'on s'en tient à la transmission sur fils.

On en connaît les multiples avantages, qui ont permis un notable accroissement de la qualité des transmissions à grande distance : absence de bruits, bonne intelligibilité, stabilité et sécurité incomparables. Par surcroît apparaît une qualité non négligeable : l'économie substantielle de matières premières rares et d'importation, problème économique qui prend toute sa signification dans la conjoncture actuelle. C'est ainsi que le câble coaxial Paris-Toulouse permet l'utilisation d'une seule paire de conducteurs (coaxial) pour six cents circuits téléphoniques.

L'onde hertzienne support de modulation

Le câble coaxial apporte une solution au problème de la transmission des voies téléphoniques multiples. Cependant, la télévision à grande largeur de bande, fraction importante du trafic dans l'avenir, ne serait pas transmise correctement par le câble matériel.

Aussi est-il apparu nécessaire de recourir à d'autres méthodes de transmission. L'onde hertzienne de très haute fréquence fournit une solution élégante au problème : tout en supprimant le support métallique et ses servitudes de pose, d'entretien et d'établissement, coûteux en matières premières, le faisceau hertzien assure la transmission de la téléphonie et de la télévision à haute définition. Les distorsions introduites par le câble coaxial et le faisceau hertzien sont, par ailleurs, du même ordre et les nombreux essais déjà effectués donnent tout lieu de prévoir que la sécurité de fonctionnement est équivalente pour les deux systèmes.

Le premier faisceau hertzien multiplex

En 1948, après les essais concluants de faisceau hertzien à faible portée et nombre de voies réduit, l'Administration des P.T.T. entreprit, en collaboration avec la Compagnie Générale de Télégraphie sans Fil (C.S.F.) — qui fut, rappelons-le, la première au monde à mettre au point un radar de marine, en 1935 — l'étude des câbles hertiens à grand rendement et grande distance.

En 1949, les premiers essais d'équipements, ces derniers résultant de travaux antérieurs de la C.S.F., purent être effectués entre Paris et le Bois-de-Molle, et c'est ainsi que le 12 juillet 1951 la première section de l'artère téléphonique hertzienne Paris-Lille pouvait être présentée. La figure 1 donne schématiquement le processus de la liaison.

720 circuits téléphoniques répartis sur trois fréquences porteuses deviendront disponibles. Chacune de ces porteuses constitue l'équivalent d'une ligne indépendante et peut porter soit 240 voies téléphoniques, soit un programme de télévision à haute définition.

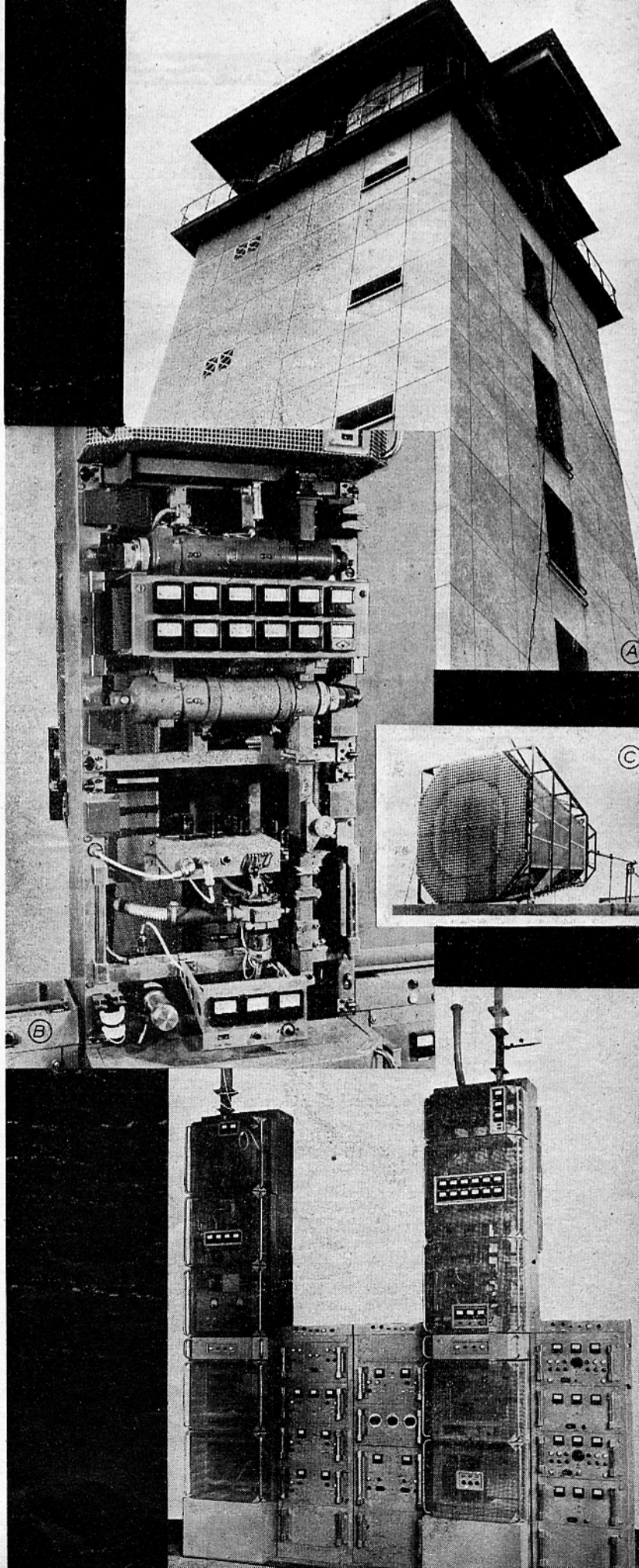
En résumé, l'exploitation pourra comporter : soit 720 circuits téléphoniques, soit un circuit vidéo télévision, plus 480 circuits téléphoniques.

Réalisation du faisceau Paris-Lille

Quatre servitudes essentielles étaient à observer par la réalisation matérielle de la liaison :

- facilité de modulation à large bande,
- restitution fidèle de cette modulation,
- sécurité de la transmission,
- secret.

La première de ces servitudes n'appelait pas obligatoirement l'emploi de la fréquence de 4.000 Mc/s. choisie. La raison de ce choix réside dans la possibilité offerte par cette fréquence de réaliser des faisceaux extrê-



A. La tour-relais du Bois-de-Molle. — B. Vue intérieure de l'un des racks de la station-relais. — C. Un aéroport avec sa lentille frontale de focalisation. — D. L'ensemble de l'équipement d'une station-relais.

mement directifs, d'éviter ainsi les couplages entre les diverses voies du faisceau et de réduire les distorsions dues aux réflexions sur les obstacles du parcours.

Cette grande directivité assure en outre un rendement énergétique élevé, permettant l'utilisation d'émetteurs de faible puissance.

Enfin, les distances de propagation limitées à ces hyperfréquences assurent déjà le secret de la liaison.

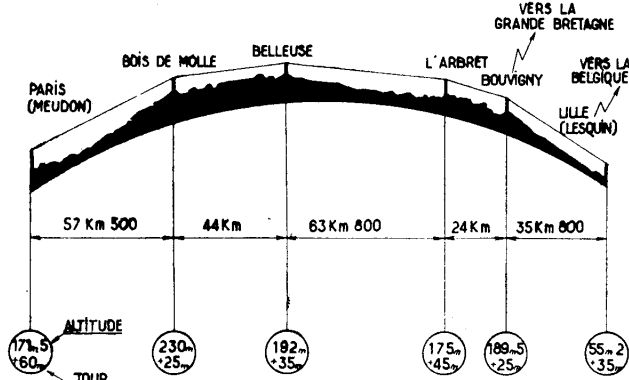


Fig. 2.

La topographie du parcours, représentée par la figure 2, montre la nécessité de le scinder en cinq sections jalonnées par des relais situés sur des points hauts en visibilité optique.

Principe de la transmission

Il n'aurait pas été immédiatement possible d'assurer la transmission de 720 communications simultanées sur une seule porteuse : l'avenir montrera dans quelle mesure le nombre de voies transmises sur chaque porteuse pourra encore être augmenté. De toute manière, du point de vue exploitation, la répartition du groupe de communications en trois porteuses procure l'avantage de pouvoir dériver une quelconque de ces porteuses vers une autre destination sans qu'il faille au préalable opérer de démodulation.

Le choix des fréquences porteuses du système à trois canaux, dans les deux sens, a demandé une étude très poussée afin d'éviter qu'aucune interaction n'existe entre canaux voisins d'un même tronçon du parcours et les tronçons précédents et suivants. Un plan de fréquence a donc été établi à la suite de l'étude de toutes les réactions secondaires qui pourraient se produire ; il consiste dans des décalages de fréquences alternés et symétriques autour d'une fréquence centrale non utilisée, toutes les fréquences définies selon cette règle restant dans la gamme de 4000 Mc/s. Dans ces conditions, un seul type d'antenne à large bande sert pour le rayonnement et la réception des trois canaux, assurant la simplicité des installations.

Réalisation pratique des équipements

Les travaux du S.R.C.T. et de la C.S.F. dans le domaine des hyperfréquences ont permis la réalisation de tubes particulièrement étudiés : un klystron à large bande, pour obtenir une modulation de fréquence linéaire, un tube à propagation d'onde, pour amplifier la porteuse modulée de faible puissance.

L'oscillateur-pilote est un klystron réflex K.R. 63 : le spectre modulant délivré par les équipements multiplex à transposition de fréquence est appliqué au réflecteur de ce klystron, réalisant ainsi la modulation de fréquence. Le tube pilote travaille en permanence sur une charge résistive constante : une très faible fraction de la puissance produite, environ 1/1000 de watt est ensuite amplifiée par tubes à propagation d'onde (T.P.O.). Le niveau de sortie est ainsi amené à 1 W. pour l'attaque d'un aérien très spécial dont nous verrons plus loin la constitution.

A chaque relais, l'amplificateur-émetteur portera la puissance rayonnée à 1 W.

A la réception, on opère tout d'abord un filtrage des porteuses de chaque canal. Un premier changement de

fréquence effectué par un mélangeur à cristal ramène toutes les fréquences utilisées sur le faisceau hertzien à la valeur de 105 Mc/s. L'amplificateur moyenne-fréquence à 105 Mc/s, de gain compris entre 60 et 80 décibels, pourra être établi avec des tubes de structure classique à très grand facteur de mérite.

Au terminal arrivée, l'amplificateur M.F. est suivi d'un discriminateur très linéaire qui permet de restituer le spectre de modulation.

Le diagramme figure 3 permet d'illustrer très simplement le fonctionnement des relais et terminaux. Les photographies A, B, C, D montrent une tour-relais et une partie de son équipement.

Les aériens

Le cliché C représente un des projecteurs hertiens établis par la C.S.F., d'une conception très hardie et d'un rendement énergétique élevé. Leur puissance de focalisation est telle qu'à 60 km du projecteur le faisceau hertzien n'a qu'une largeur de 500 m, ce qui, chiffré pour l'angle du faisceau, donne un affaiblissement de 6 décibels à $\pm 1^\circ$ de l'axe et un champ nul, soit un affaiblissement total, à $\pm 2^\circ$. Aucun lobe secondaire n'apparaît sur le diagramme de rayonnement.

Le projecteur est constitué par un cornet, en tronc de pyramide, de 3 m $\times$ 3 m d'ouverture, possédant une lentille frontale originale, constituée par une plaque métallique percée de trous. Cette disposition a permis une excellente focalisation et un gain élevé de l'ordre de 40 décibels (par rapport à un radiateur omnidirectionnel) et une large bande passante de 200 Mc/s. Les projecteurs émetteurs et récepteurs sont placés de part et d'autre des tours relais et sont orientés avec précision vers les stations précédentes et suivantes de la chaîne.

Conclusion

On conçoit les difficultés de mise au point d'un tel ensemble. Pourtant la réalisation conduite en un temps record a permis des essais satisfaisants contrôlés par

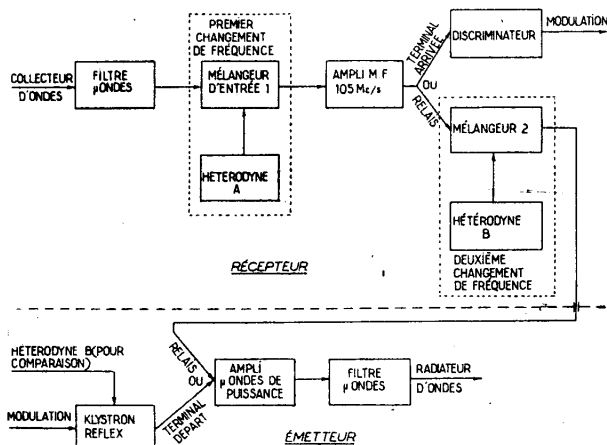


Fig. 3.

appareils de mesure, démontrant que la transmission sans diaphonie des 240 voies téléphoniques par canal était assurée. Les essais avec un signal vidéo 819 lignes ont montré qu'aucune perte de définition n'apparaissait.

Ainsi la France peut-elle s'enorgueillir de posséder l'ébauche du premier câble hertzien mixte, construit dans le monde, utilisable en téléphonie multiplex à grand nombre de circuits et en télévision à haute définition. C'est là aussi le premier tronçon de la trame de relais projetés qui couvriront tous les pays de l'ouest européen et établiront tout d'abord la liaison Paris-Lille-Londres-Bruxelles.

En terminant la présentation de cette réalisation de classe internationale de technique purement française nous sommes heureux de rendre hommage aux éminents ingénieurs et techniciens des P.T.T. et de la C.S.F. qui ont étudié, conçu et réalisé les équipements, et de louer leur fructueuse collaboration.