

SCIENCE ET VIE

JUIN 1946

N° 345

20 FRANCS



LE CÂBLE HERTZIEN PARIS - MONTMORENCY

par A.-G. CLAVIER et G. PHELIZON

Ingénieurs au Laboratoire Central de Télécommunications

La presse quotidienne française du 19 avril 1946 a donné un compte rendu de l'inauguration par M. Letourneau, ministre des P. T. T., d'une liaison sur ondes centimétriques entre Paris et Montmorency, qui constitue la première application de « câble hertzien » en association avec le réseau normal de trafic interurbain de la région parisienne. Il s'agit de l'insertion d'un tronçon radio qui tient la place d'une section de câble et assure des transmissions de même qualité. Les résultats sont obtenus par l'emploi de vibrations électromagnétiques dont la longueur d'onde est de l'ordre de 10 cm. La haute qualité de la transmission a été obtenue par l'application simultanée de la technique de ces ondes ultracourtes et de la modulation de fréquence. L'équipement installé comporte la possibilité de douze communications simultanées dans chaque sens. On peut le considérer comme le prélude d'un développement technique de grande envergure : le câble hertzien se présente comme un concurrent moderne des meilleurs câbles téléphoniques ; héritier à la fois des recherches sur les ondes ultracourtes et des recherches sur le « radar », il offre, pour l'avenir, de remarquables possibilités.

L'INSTALLATION de câble hertzien inaugurée récemment entre Paris et Montmorency est la première au monde qui ait été incorporée dans un réseau de trafic public interurbain. Elle est l'aboutissement d'une longue série de travaux sur les ondes ultracourtes dont l'origine remonte au début même de la radio. En effet, dès que Maxwell eut publié son admirable anticipation théorique qui unissait sous une même nature physique les vibrations électriques et les vibrations lumineuses, les techniciens s'ingénierent à produire et à étudier les vibrations électromagnétiques d'aussi courte longueur d'onde que possible, c'est-à-dire celles dont les fréquences étaient les plus voisines des fréquences des vibrations de la lumière. Hertz, dès 1887, utilisa des ondes de 60 cm de longueur dans des expériences mémorables qui sont venues donner un définitif appui expérimental à l'hypothèse de Maxwell. C'est pourquoi il n'est que juste, quelque soixante ans après, d'associer le nom de Hertz à l'application des ondes centimétriques aux communications téléphoniques qui vont peut-être amener un bouleversement considérable dans la technique moderne des échanges de conversations à distance.

Des ondes longues aux ondes centimétriques

L'emploi des ondes électromagnétiques de très courte longueur paraissait ainsi, dès le début de la radio, devoir occuper la première place dans ses applications, et certains des dispositifs de Hertz représentent de géniales anticipations par rapport aux équipements les plus modernes ; on y voit, en particulier, l'emploi de miroirs cylindro-paraboliques (fig. 1).

Il a fallu cependant attendre presque trente-cinq ans avant que l'exploitation des propriétés des ondes ultracourtes soit reprise par les chercheurs. C'est que les ondes plus longues, de production plus facile, offraient un champ merveilleux à l'activité des techniciens : télégraphie sans fil, radiodiffusion. C'est aussi qu'il fallut attendre jusqu'en 1920 la découverte d'un oscillateur d'ondes ultracourtes entretenues : c'est en effet à cette date que parut dans la technique le tube à grille positive qui faisait usage, comme processus d'oscillation, d'un phénomène qui, jusqu'alors, avait été considéré comme nuisible dans la technique des tubes à vide, à savoir le temps extrêmement court, mais non négligeable devant la période des ultracourtes, que mettent les électrons à parcourir les intervalles entre les différentes électrodes de ces tubes.

Malgré ces possibilités nouvelles, les études relatives aux ondes centimétriques ne furent entreprises et maintenues que par un très petit nombre de chercheurs. La France tient un rang très honorable dans l'historique de ces travaux de pionniers ; qu'il nous soit permis, en particulier, de rappeler qu'en 1930 l'un d'entre nous réalisa entre Calais et Douvres une liaison radiotéléphonique sur 17 cm de longueur d'onde (1) qui est reconnue comme le point de départ du merveilleux développement moderne de la technique des ondes centimétriques. Intéressés par les résultats de cette démonstration, les ministères de l'Air français et britannique firent installer par les mêmes techniciens, en 1934, la

(1) Voir : « Les ondes très courtes dirigées modifieront-elles l'avenir de la radiotéléphonie ? » (*Science et Vie*, n° 169, juillet 1931) et « Les dernières expériences sur la Manche de téléphonie par ondes ultracourtes » (*Science et Vie*, n° 201, mars 1934).

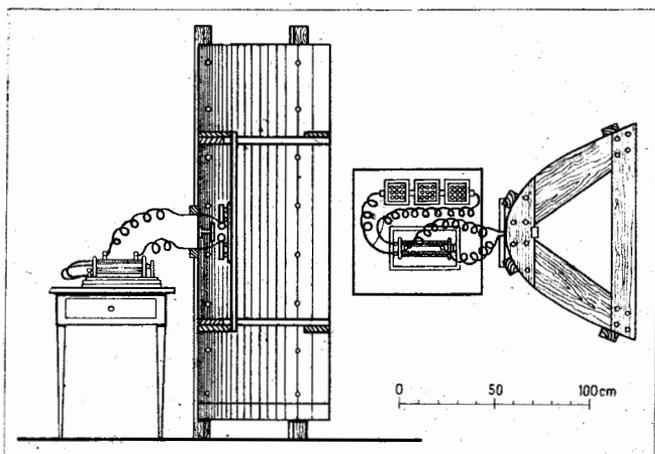


FIG. 1. — DESSIN DE L'APPAREILLAGE UTILISÉ PAR HERTZ EN 1887 POUR LES CONFIRMATIONS EXPÉRIMENTALES DES TRAVAUX THÉORIQUES DE MAXWELL
A gauche : coupe verticale; à droite : vue en plan d'un miroir cylindro-parabolique de 2 m de haut.

première liaison commerciale sur ondes centimétriques entre les aérodromes côtiers de Lympne en Angleterre et de Saint-Inglevert en France. La photographie (fig. 2) des pylônes de Saint-Inglevert avec le réflecteur parabolique de révolution, leurs lignes de transmission et l'allure générale de leur équipement, a été reproduite dans toute la presse mondiale. C'est vraiment là la naissance des télécommunications par ondes centimétriques.

Quel que fût l'intérêt, provoqué par cette extension du spectre électromagnétique utilisable, il fallut attendre la seconde guerre mondiale pour assister au véritable épanouissement de la technique des hyperfréquences. C'est que celles-ci se révélaient comme des outils extrêmement importants de la guerre moderne, et le conflit mondial de 1939 à 1945 fit assister à une véritable guerre des ondes courtes, où les Alliés conservèrent d'ailleurs constamment l'avantage : l'importance primordiale des ondes centimétriques pour les équipements de « radar » fut vite comprise par les Anglais et les Américains, qui consacrèrent à leur étude des moyens d'une ampleur extraordinaire ; des milliers de techniciens et d'énormes sommes d'argent furent employés aux recherches dans ce domaine. Les résultats ont eu une influence certaine dans le sort des batailles, bataille de l'aviation au-dessus de Londres, chasse des sous-marins, action offensive des chasseurs de nuit, etc.

Les expériences de Toulon

La France, qui avait cependant prévu l'importance de ces recherches — citons ici l'installation à Port Cros du seul poste radar à grande puissance qui ait été effectuée dans notre pays et les études sur le radar des laboratoires de Lyon du Matériel téléphonique, — se trouva, du fait des circonstances que l'on sait, dans l'impossibilité de tenir la place qui lui serait certainement revenue dans ce domaine, étant donné les travaux de ses pionniers. Mais, si

elle n'a pu participer aux applications de guerre, elle a pu, grâce à l'appui courageux des services techniques officiels, continuer des recherches dans le domaine des applications aux télécommunications. Ce sont ces recherches — effectuées en dépit des difficultés dues à l'occupant — qui viennent d'aboutir à l'inauguration du premier câble hertzien Paris-Montmorency.

Une première série d'expériences préliminaires fut conduite en 1941 dans la région de Toulon : un émetteur fut dissimulé à 700 m d'altitude dans le fort du Coudon et un récepteur installé dans des cabines spécialement construites à bord de bateaux mis à notre disposition par la Marine française et l'Administration des P. T. T. On put ainsi étudier l'efficacité des projecteurs en forme de cornet (fig. 3). On put aussi étudier les lois essentielles régissant la propagation des ondes électromagnétiques de cette fréquence ; à la fois jusqu'à l'horizon et au delà de l'horizon ; dans ce dernier cas, des circonstances anormales peuvent se produire telles que celles de la figure 4, qui montre qu'au lieu d'une décroissance régulière au delà de l'horizon, le signal peut présenter, dans certaines circonstances atmosphériques, une série irrégulière de maxima et de minima. Enfin, les expériences de Toulon montrèrent combien il était avantageux d'employer sur les ondes centimétriques une modulation de fréquence au lieu d'une modulation d'amplitude (1) ; avec l'équipement expérimenté à Toulon, la qualité de la transmission téléphonique était extrêmement bonne et, malgré que l'émetteur n'eût qu'une puissance utile de 3 watts, la sensibilité du récepteur était telle qu'en vue directe on aurait pu la conserver jusqu'à plusieurs milliers de kilomètres.

Le « câble hertzien »

L'historique du développement de l'application des ondes centimétriques aux radiocommunications étant ainsi décrit à grands traits, essayons de préciser quelles propriétés particulières rendent ces ondes spécialement attrayantes pour la réalisation des câbles hertziens. L'une de leurs caractéristiques les plus importantes est qu'elles permettent d'obtenir une directivité très marquée pour les faisceaux hertziens avec des dispositifs de faible encombrement. C'est une loi des systèmes électromagnétiques rayonnants que leurs propriétés directives se conservent quand on réduit leurs dimensions linéaires dans le rapport des longueurs d'ondes utilisées. Un dispositif ayant été étudié pour une longueur d'onde donnée, on aura donc inté-

(1) Dans le système habituel de modulation en amplitude, le courant modulateur de fréquence audible provoque des variations d'amplitude de l'onde porteuse ; dans le système de modulation de fréquence, ce courant modulateur provoque des variations de la fréquence autour de sa valeur normale. (Voir *Science et Vie*, N° 270, Décembre 1939).

rêt à employer à cet égard des longueurs d'ondes de plus en plus petites, pour autant toutefois que d'autres raisons ne viennent pas agir dans un sens différent, par exemple la moindre puissance disponible, ou des circonstances nouvelles dans les lois de propagation. Nous avons mentionné qu'en ce qui concerne ce dernier point, et pour des liaisons à vue directe, les ondes électromagnétiques présentent des propriétés favorables jusqu'à quelques centimètres de longueur d'onde.

Les systèmes rayonnants les plus pratiques sur les ondes centimétriques sont les miroirs paraboliques et les cornets électromagnétiques. La liaison Lympe-Saint-Inglevert a donné, dès 1930, un exemple de l'emploi des miroirs paraboliques de révolution qui s'est généralisé pendant la guerre pour les équipements de radar. Les expériences de Toulon et le câble hertzien Paris-Montmorency font usage de cornets ou pavillons électromagnétiques dont les dimensions ont été étudiées pour obtenir un haut pouvoir concentrateur que l'on pourra observer sur la figure 5.

La seconde propriété dominante des ondes centimétriques en ce qui concerne les radio-communications tient à la valeur très élevée de la fréquence porteuse ; une onde de 10 cm à une fréquence de 3 000 millions de périodes par seconde. Comme les dispositifs de rayonnement présentent autour de la fréquence porteuse des propriétés sélectives qui limitent l'écart relatif de fréquence admissible par rapport à cette porteuse, il y a un grand intérêt à l'emploi de fréquences aussi élevées que possible si l'on veut passer des signaux qui nécessitent une large bande de fréquence modulante : c'est bien le cas du câble hertzien que l'on prévoit dans l'avenir pour un grand nombre de communications téléphoniques, chacune occupant, par exemple, 4 000 périodes par seconde, et les diverses voies étant transposées en fréquence les unes à côté des autres. Cet avantage des ondes centimétriques sera encore plus sensible quand il s'agira de passer des signaux de télévision qui, avec les hautes définitions que réclame la technique moderne, demanderont des bandes de fréquence atteignant jusqu'à dix millions de périodes par seconde, et même davantage.

L'exposé qui précède explique clairement, croyons-nous, ce que c'est qu'un câble hertzien : c'est un faisceau d'ondes électromagnétiques projeté d'un point émetteur à un point récepteur en vue directe, très fortement concentré, et susceptible de servir de support à un grand nombre de communications téléphoniques simultanées comme le ferait le câble téléphonique le plus moderne. Mais, à la différence de ce dernier, il n'y a plus aucun conducteur matériel entre les deux stations ; il en résulte une économie considérable dans la dépense de première installation et une impossibilité absolue d'interruption des communications par rupture du circuit.

La liaison Paris-Montmorency

Le problème à résoudre était donc la réalisation d'un tronçon radio pouvant s'insérer dans un réseau de télécommunications à courants porteurs sur câbles ; on sait que, dans un tel système à courants porteurs, les voies téléphoniques à transmettre simultanément aboutissent à un équipement terminal qui fait le grou-

page de ces voies en les juxtaposant côte à côte dans le spectre de fréquence, l'intervalle de fréquences réservé à chaque voie étant en général de 4 000 périodes par seconde (1).

Le système particulier d'équipement terminal dont il s'agissait de transmettre les signaux sur le câble hertzien Paris-Montmorency groupe les douze voies téléphoniques dans une bande de fréquences s'étendant entre 12 000 et 60 000 périodes par seconde. C'est ce signal composite qui est transmis par le câble et qui sert directement à la modulation de l'émetteur radio, sans qu'il soit nécessaire d'interposer aucun organe démodulateur auxiliaire. On peut dire que l'équipement radio joue le rôle de répéteur pour le tronçon de câble hertzien.

Le problème ne va pas sans soulever de grandes difficultés techniques : la principale est la nécessité d'obtenir un taux d'intermodulation entre voies suffisamment faible. L'intermodulation est l'influence parasite des signaux transmis par les onze voies adjacentes sur la voie que l'abonné utilise. Or, les distorsions qui se produisent dans les différents circuits, tant à

(1) Le principe de la téléphonie par courants porteurs est le même que celui de la radiotéléphonie : les courants de fréquence audible modulent une onde de haute fréquence. Le câble transmet simultanément plusieurs de ces ondes de haute fréquence et, par suite, assure plusieurs communications simultanées. (Voir *Science et Vie*, n° 160, octobre 1930.)



FIG. 2. — ASPECT DE L'INSTALLATION DE LA PREMIÈRE LIAISON COMMERCIALE SUR ONDES CENTIMÉTRIQUES LYMPNE-SAINT-INGLEVERT EN 1934 (17 CM DE LONGUEUR D'ONDE)

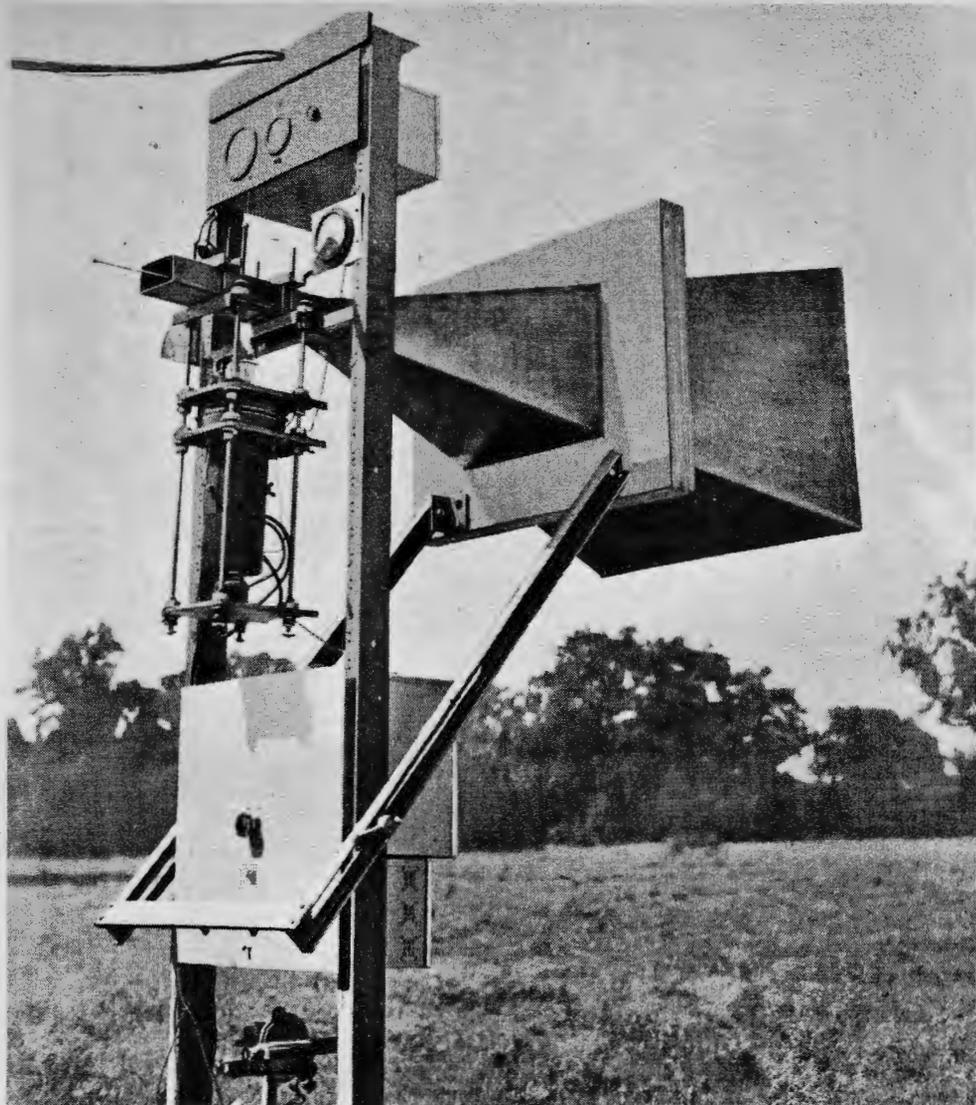


FIG. 3. — L'ÉMETTEUR EXPÉRIMENTAL AYANT PERMIS L'ÉTUDE DE LA PROPAGATION DES ONDES CENTIMÉTRIQUES (EXPÉRIENCES DE TOULON, 1941)

l'émission qu'à la réception, donnent naissance à une telle intermodulation qui se traduit par l'apparition d'un bruit parasite qui peut même, dans certaines conditions, devenir intelligible ; ce dernier cas, que l'on appelle plus spécialement *diaphonie*, est particulièrement gênant et nuit à la discrétion que l'abonné est en droit d'exiger pour sa conversation. On conçoit que, pour une transmission de haute qualité, cette perturbation doit rester à un niveau très inférieur au niveau du signal transmis et, pour citer un chiffre, on estime que, dans les circuits internationaux, le rapport signal/diaphonie doit être

supérieur à 55 « décibels » (soit un rapport de 250 000 en puissance) (1).

On atteint une telle qualité dans la technique des courants porteurs sur câble par la réalisation de répéteurs dont l'intermodulation propre est de de l'ordre de — 70 décibels (1/10 000 000 en puissance) grâce à l'emploi des procédés de

(1) Le bel (le décibel est le dixième du bel) est une unité de variation de puissance sonore ; le nombre de bels est le logarithme (de base 10) du rapport des puissances sonores considérées.

contre-réaction (1), ce qui permet la mise en série d'un certain nombre de ces répéteurs. Les exemples, d'ailleurs peu nombreux, de liaisons radio sur ondes métriques transmettant quelques voies et expérimentées avant 1939 avaient montré que le taux d'intermodulation de - 50 décibels (1/100 000 en puissance) est pratiquement déjà difficile à atteindre.

La modulation en fréquence

Examinons donc les procédés qui permettent de réaliser un câble hertzien de qualité comparable à celle des circuits à courants porteurs par câble. C'est, en premier lieu, le choix d'un type de modulation approprié. Le câble hertzien Paris-Montmorency fait usage de la modulation en fréquence (2) de l'onde émise. Un premier avantage en découle en ce qui concerne la protection contre les bruits parasites inévitables qui proviennent de l'agitation thermique des électrons dans les circuits et les lampes. Cet avantage

(1) Voir : « Les progrès de l'amplification en radio » (*Science et Vie*, n° 240, juin 1937).

(2) Voir : « La radiodiffusion sans parasites grâce à la modulation en fréquence » (*Science et Vie*, n° 270, décembre 1939).

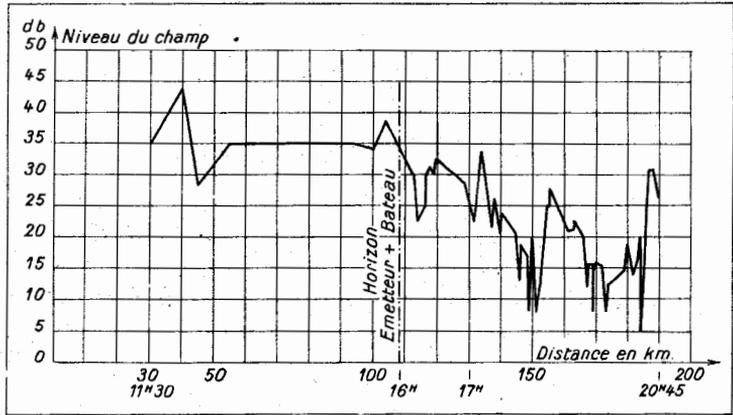


FIG. 4. — COURBE DE VARIATION DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE EN FONCTION DE LA DISTANCE DE L'ÉMETTEUR D'ONDES CENTIMÉTRIQUES

On notera les conditions anormales de propagation observées au delà de l'horizon.

n'apparaît toutefois que si la quantité dont varie la fréquence par la modulation, ou, comme on dit, l'« excursion de fréquence », est suffisamment grande par rapport à la fréquence modulante la plus élevée. C'est un important avantage des ondes centimétriques de permettre la réalisation d'excursions de fréquences suffisamment grandes.

De plus, les récepteurs à modulation de fréquence sont, dans une très large mesure, insensibles aux variations d'amplitude de l'onde reçue et, de ce fait, la transmission ne subit

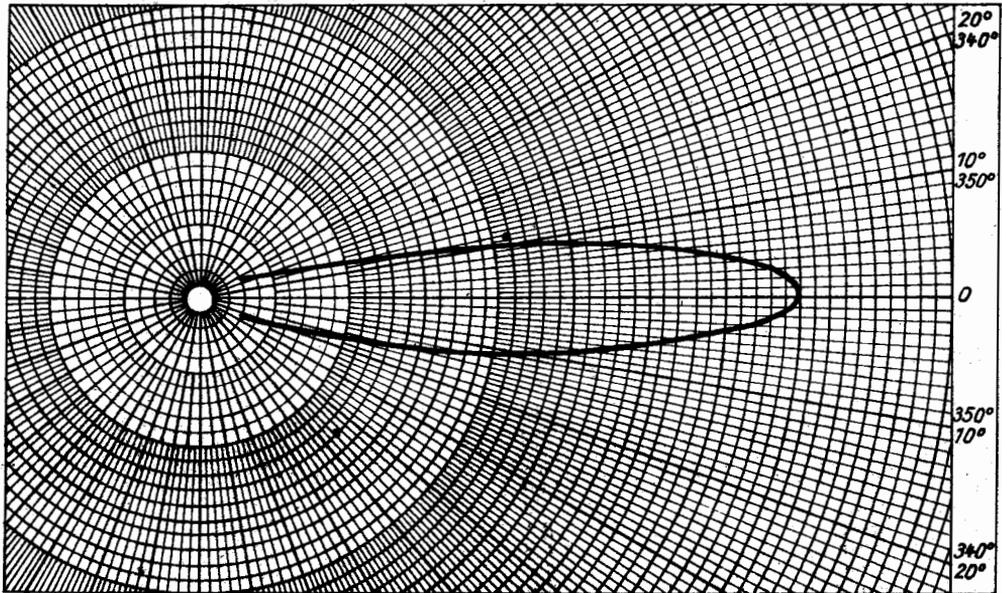


FIG. 5. — DIAGRAMME DE RAYONNEMENT D'UN CORNET ÉLECTROMAGNÉTIQUE MONTRANT LE POUVOIR CONCENTRATEUR DE CE TYPE D'AÉRIEN DIRECTIF

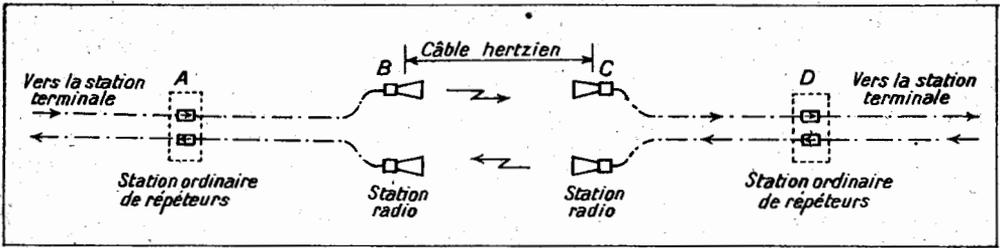


FIG. 6. — EXEMPLE D'INSERTION D'UN CÂBLE HERTZIEN DANS UN RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE A COURANTS PORTEURS
Entre A et B, C et D, le signal composite est transmis par un câble réel. Entre B et C, il est transmis par le câble hertzien.

pas de variations de niveau ou, comme disent les téléphonistes, l'« équivalent de transmission » reste constant.

Reste à obtenir un taux d'intermodulation suffisamment faible. Il a fallu, pour ce faire, recourir à un procédé dérivé du principe de la contre-réaction et transposé au cas particulier de la modulation de fréquence (1). Seule l'appli-

cation de ces procédés de « compression de fréquence » tant à l'émission qu'à la réception a permis d'atteindre un taux de diaphonie suffisamment petit pour répondre aux exigences des normes internationales.

à l'amplificateur lui-même sont, sinon entièrement éliminées, du moins considérablement réduites, la contre-réaction introduisant dans l'appareil ces mêmes distorsions, mais de signe contraire.

Ce procédé, appliqué à un modulateur de fréquence, élimine également les distorsions dues au modulateur, tout en réduisant l'« excursion de fréquence », ou quantité dont varie la fréquence par la modulation, d'où le nom de « compression de fréquence ».

(1) Le procédé de contre-réaction, appliqué par exemple à l'amplification d'une tension alternative, consiste à faire agir sur les bornes d'entrée de l'appareil, outre cette tension, une partie de la tension alternative recueillie sur les bornes de sortie, mais en inversant les phases. L'amplification de la tension primitive est ainsi abaissée, mais les distorsions dues

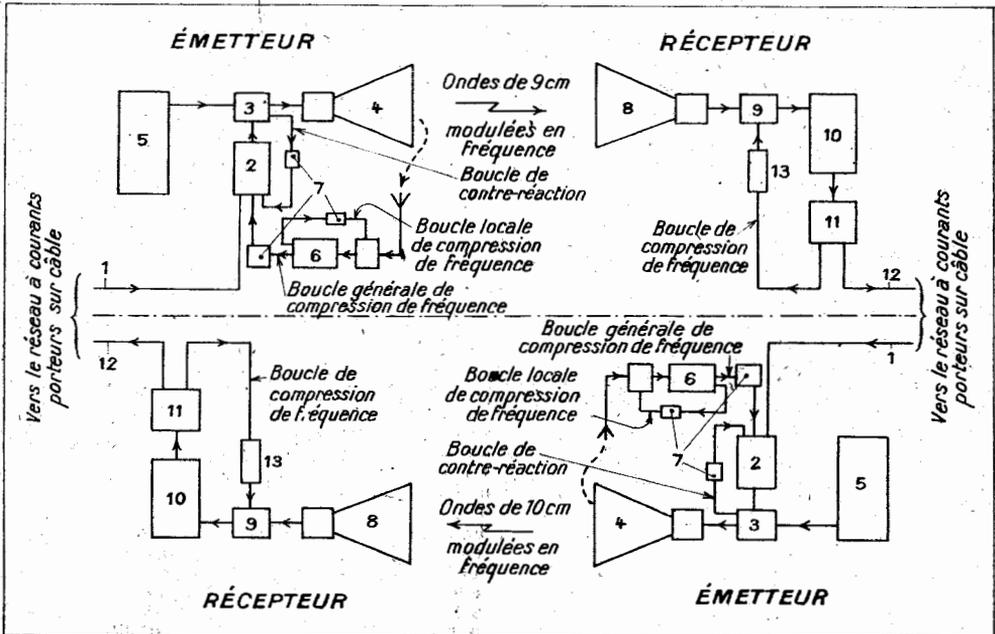


FIG. 7. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE L'ÉQUIPEMENT DE LA LIAISON PAR CÂBLE HERTZIEN PARIS-MONTMORENCY
Émetteur : 1, câble d'arrivée du signal ; 2, préamplificateur de modulation ; 3, étage de puissance de l'amplificateur de modulation ; 4, pavillon électromagnétique d'émission ; 5, source d'alimentation haute tension stabilisée ; 6, récepteur auxiliaire pour la compression de fréquence ; 7, correcteurs de phase assurant la stabilité des circuits de compression de fréquence. — Récepteur : 8, pavillon électromagnétique de réception ; 9, changeur de fréquence ; 10, amplificateur moyen à large bande ; 11, circuits démodulateurs ; 12, câble de départ du signal ; 13, correcteur de phase assurant la stabilité du circuit de compression de fréquence.

L'équipement émetteur

L'ensemble de l'équipement est schématisé sur la figure 7, dans laquelle on voit que la liaison comprend un appareillage distinct pour chaque sens de transmission : le premier chemin utilise une longueur d'onde de 10 cm, le chemin inverse une longueur d'onde de 9 cm, ce qui permet d'éviter toute interaction entre les deux

débouche une courte ligne de transmission reliée au tube oscillateur, tout l'ensemble étant placé dans un carter de protection.

Le générateur d'ondes centimétriques est un tube à modulation de vitesse (fig. 10) défilant une puissance haute fréquence de l'ordre de 30 watts ; la modulation en fréquence de l'oscillation produite s'obtient en agissant sur la tension anodique du tube émetteur qui possède

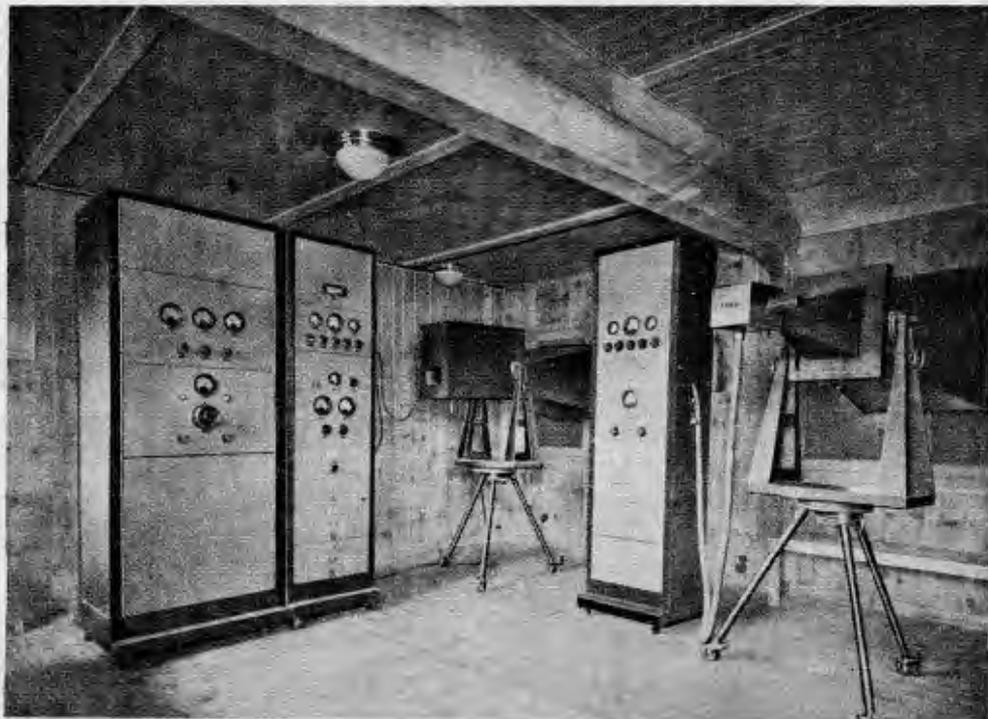


FIG. 8. — VUE D'ENSEMBLE DE LA STATION DE MONTMORENCY DU CABLE HERTZIEN

parties de l'équipement. Pour ajouter une sécurité supplémentaire à cette indépendance des deux sens de transmission, les polarisations des deux rayonnements sont différentes, la première étant dans le plan vertical, la seconde dans le plan horizontal.

En dehors de ces différences de longueurs d'onde, les schémas des deux sens de transmission sont très sensiblement identiques. La figure 9 montre l'équipement d'émission à 10 cm de longueur d'onde. On remarquera tout d'abord le cornet ou pavillon électromagnétique servant à la concentration du faisceau hertzien ; il est monté sur trépied orientable, muni de secteurs gradués, pour permettre le pointage précis en site et en azimut.

Du côté de son sommet, ce pavillon pyramidal est terminé par un tronçon de guide d'ondes (1) à section rectangulaire, dans lequel

(1) Tube métallique où les ondes d'une fréquence supérieure à une certaine fréquence (dite « de coupure ») sont canalisées et transmises avec de moindres pertes que par les lignes conductrices ordinaires.

une caractéristique « fréquence-tension » très sensiblement linéaire (1) sur une plage d'oscillation de l'ordre du million de cycles. La fréquence de l'onde émise étant ainsi fonction des tensions appliquées au tube, il est nécessaire, pour obtenir une stabilité suffisante de la transmission, que les sources d'alimentation soient elles-mêmes très stables. C'est ce qui explique que la source haute tension occupe à elle seule une des baies-armoires de l'équipement. La haute tension de 5.000 volts, nécessaire au fonctionnement de l'émetteur, est stabilisée par un procédé de contre-réaction dans lequel l'élément de référence est une pile étalon ne débitant aucun courant. Ce procédé permet d'obtenir pour l'émetteur une stabilité de la fréquence porteuse de l'ordre de 1/100 000.

La deuxième baie-armoire de l'équipement d'émission contient l'amplificateur de modulation et les organes nécessaires à la « compres-

(1) C'est-à-dire qu'il y a proportionnalité entre les variations de tension et les variations de fréquence.

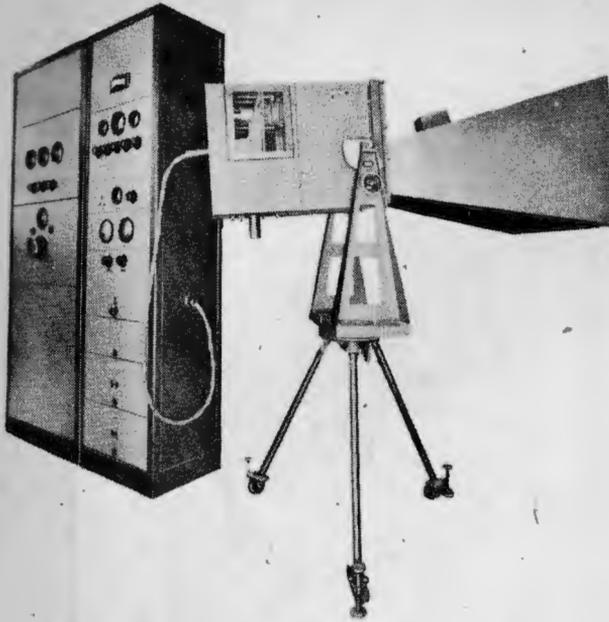


FIG. 9. — L'ÉQUIPEMENT D'ÉMISSION SUR 10 CM DE LONGUEUR D'ONDE DU CABLE HERTZIEN PARIS-MONT-MORENCY

sion de fréquence » d'émission, schématisés sur la figure 7.

L'amplificateur de modulation, comprenant un étage de puissance et un préamplificateur, est muni d'une boucle de contre-réaction locale, qui assure un taux de distorsion très faible. Il est alimenté directement par le signal venant du câble à courants porteurs, au même titre que le serait le répéteur d'une station ordinaire.

La distorsion qui peut prendre naissance pendant l'opération de modulation en fréquence du tube émetteur est, à son tour, corrigée par une boucle générale de « compression de fréquence ». Pour réaliser une telle opération, il faut capter à la sortie de l'émetteur une faible fraction de l'énergie rayonnée et l'envoyer dans un récepteur local à changement de fréquence ; après démodulation, le signal obtenu est réinjecté à l'entrée de l'amplificateur de modulation en lui donnant une phase telle qu'il soit en opposition avec le signal de modulation proprement dit. De cette façon, pour une tension donnée du signal d'entrée, la déviation de fréquence de l'émetteur est réduite d'un facteur qui constitue le taux de « compression de fréquence ». On démontre qu'il en résulte une diminution correspondante de la distorsion subie dans l'émetteur, pourvu que l'équipement auxiliaire interposé n'introduise pas lui-même de déformation appréciable. Il faut donc que la qualité de cette « chaîne de retour » soit supérieure à la qualité que l'on désire obtenir pour l'ensemble. On obtient à nouveau ce résultat par l'emploi d'une compression de fréquence locale qui englobe tous les circuits du récepteur auxiliaire. En dernier ressort, la qualité de cette chaîne

de retour repose sur la linéarité de la caractéristique de modulation fréquence-tension du tube jouant le rôle d'oscillateur local dans le récepteur auxiliaire. C'est pourquoi on a utilisé à cet effet un tube à grille positive qui présente le grand avantage d'avoir une caractéristique de fréquence linéaire sur une étendue de plusieurs dizaines de mégacycles, et qu'on ne fait travailler que sur une faible étendue de cette caractéristique.

Enfin, pour faire jouer au maximum au tube à grille positive son rôle de « référence de linéarité », on l'a incorporé dans un système de changeur de fréquence équilibré qui évite le rayonnement de l'oscillateur local dans l'aérien et supprime de ce fait l'effet des échos venus des réflexions extérieures et susceptibles d'intro-

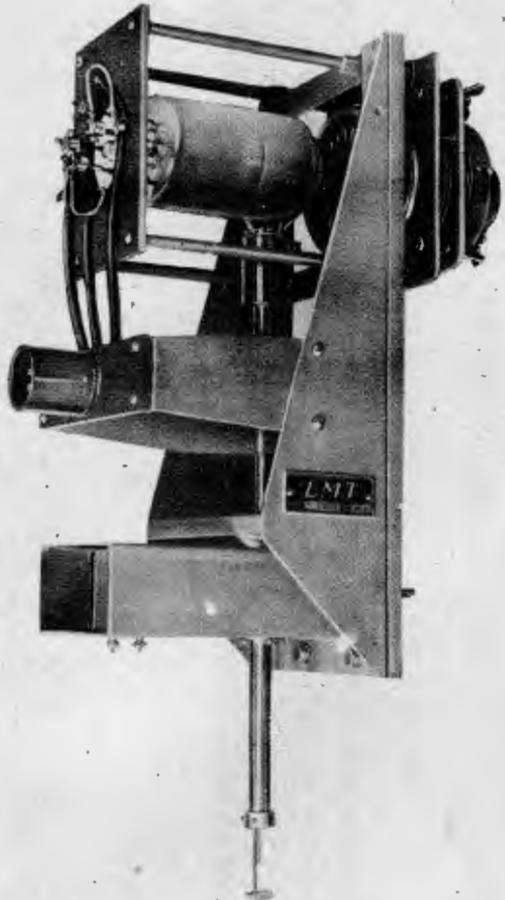


FIG. 10. — LE TUBE A MODULATION DE VITESSE DES ÉLECTRONS, SERVANT DE GÉNÉRATEUR D'ONDES CENTIMÉTRIQUES DANS L'ÉMETTEUR DU CABLE HERTZIEN. On remarquera, à la partie inférieure, le tronçon de guide d'ondes qui canalise les vibrations électromagnétiques vers le cornet rayonnant.

duire une distorsion non linéaire supplémentaire pouvant, dans certaines conditions d'installation, devenir inacceptable.

Il est curieux de remarquer que c'est à l'emploi du tube à grille positive, celui même qui permit les expériences fondamentales de Calais-Douvres, que le câble Paris-Montmorency doit de présenter une qualité qui lui permet de soutenir avantageusement la comparaison avec les meilleurs circuits téléphoniques du type ordinaire.

Une difficulté particulière, qui a été résolue lors de la mise au point de l'équipement, est l'obtention de boucles de contre-réaction, ou de compression de fréquence présentant une stabilité suffisante, difficulté accrue en raison du nombre important d'étages successifs mis en jeu dans ces boucles. On a pu obtenir une protection suffisante contre l'amorçage d'oscillations par la réalisation de correcteurs de gain et de phase permettant de modeler suivant une caractéristique optimum la courbe du gain autour de la boucle jusqu'à une fréquence bien supérieure à la fréquence maximum du signal transmis.

L'équipement récepteur

L'équipement de réception met également en œuvre, avec des conséquences tout aussi favorables, le principe de la compression de fréquence. La figure 11 montre la réalisation de l'équipement de réception à 9 cm de longueur d'onde.

On y retrouve un pavillon électromagnétique semblable à celui qui est utilisé à l'émission. Les ondes captées sont concentrées au sommet du pavillon et envoyées par un câble au récepteur proprement dit situé dans la baie-armoire. Le changeur de fréquence utilise comme oscillateur local un tube à grille positive tandis que le mélangeur est constitué par un tube diode de construction spéciale, à distance filament-plaque de l'ordre de 1/10 de millimètre pour éviter l'effet nuisible des temps de transit des électrons entre les électrodes. A la sortie du changeur de fréquence, le signal moyenne fréquence obtenu est envoyé à un amplificateur à large bande, puis démodulé dans l'organe « discriminateur » propre à la modulation de fréquence. Pour corriger la distorsion que pourrait introduire cette démodulation, on fait de nouveau appel à la compression de fréquence, en renvoyant le signal de sortie à l'anode du tube à grille positive dont l'oscillation se trouve ainsi modulée en fréquence, mais avec une phase telle que la variation de la moyenne fréquence se trouve réduite dans la proportion du taux de « compression de fréquence ». Ce dispositif permet en outre à l'oscillateur local du récepteur de « s'accrocher » sur l'onde à recevoir, et d'en suivre les variations éventuelles de fréquence moyenne. Après démodulation, le signal est restitué à un niveau normal au câble à courants porteurs qui l'achemine vers la station terminale.

La figure 8 montre une vue d'ensemble de l'extrémité Montmorency.

On reconnaît aisément sur la photographie l'équipement d'émission sur 10 cm de longueur d'onde, au fond et à gauche, et l'équipement de réception sur 9 cm de longueur d'onde, à droite, dont les figures 9 et 11 donnent le détail.

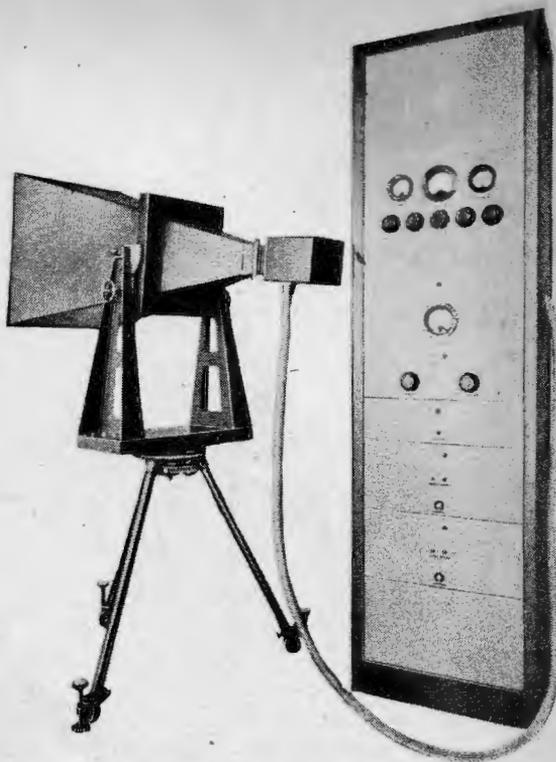


FIG. 11. — L'ÉQUIPEMENT DE RÉCEPTION SUR 9 CM DE LONGUEUR D'ONDE, DU CÂBLE HERTZIEN PARIS-MONTMORENCY

L'avenir des câbles hertziens

Il est bien certain que l'installation inaugurée à Montmorency ne constitue qu'un premier prototype des équipements de câbles hertziens que l'on installera dans un proche avenir. D'autres solutions sont possibles : on peut, par exemple, faire appel à un type de modulation différent ; on sait que, dans cet ordre d'idées, la modulation par impulsions, qui fait appel à une technique encore plus proche du radar, présente des caractéristiques attrayantes. Dans un tel système, on utilise une série d'impulsions brèves qui se répètent périodiquement, et chaque impulsion de la série est déplacée dans le temps proportionnellement à la valeur du signal présent dans l'une des voies téléphoniques à transmettre. Il n'en reste pas moins que l'installation Paris-Montmorency est la première qui ait résolu le problème de l'insertion d'un tronçon hertzien dans un câble téléphonique interurbain sans que les équipements terminaux téléphoniques eux-mêmes aient à être changés, et sans que de tels équipements aient à être insérés supplémentaires au point de jonction entre le câble matériel et le départ ou l'arrivée du faisceau hertzien.

Quelle que soit l'évolution de la technique ultérieure, l'installation Paris-Montmorency constitue un point de départ et inaugure une technique dont l'avenir est à coup sûr des plus prometteur. De nombreux problèmes restent bien entendu à résoudre : il faudra constituer des relais qui permettent, sans altérer la qualité totale du circuit, d'employer plusieurs tronçons hertziens successifs. Il faudra, aussi augmenter notablement le nombre des communica-

tions simultanées possibles. Tous ces problèmes sont dès maintenant étudiés dans les laboratoires, et il ne fait aucun doute que des solutions sont en vue ; on peut même dire qu'elles s'accompagneront d'une simplification notable de l'équipement actuel.

On peut donc, dès maintenant, prévoir que les câbles hertziens trouveront une utilisation importante dans les réseaux téléphoniques, en particulier dans tous les cas où des sections de câbles doivent être installées au-dessus de bras de mer, de fleuve large, de région montagneuse ou d'accès difficile. On verra donc sans doute bientôt s'ériger un grand nombre de pylônes pour supporter les pavillons émetteurs et récepteurs des stations-relais. On pourrait concevoir soit des tours de grande hauteur où seraient concentrés, en dehors des équipements téléphoniques proprement dits, des services faisant également appel aux ondes centimétriques et servant, par exemple, d'aide à la navigation aérienne, soit des câbles hertziens faisant usage des ondes les plus courtes permises par les lois de la propagation, ce qui aboutirait à des pylônes de faible hauteur et à des infrastructures qui rappelleraient celle des lignes de transmission d'énergie à haute tension. C'est vraisemblablement, de toute manière, à l'aide des câbles hertziens que se fera la transmission, entre les grands centres, des signaux de télévision qui permettront bientôt de suivre à domicile sur les écrans des récepteurs le déroulement de tous les événements importants au moment même où ils se produisent.

L'équipement du câble Paris-Montmorency

est le résultat d'une longue suite de recherches et d'une efficace coopération entre les services techniques de l'Administration et les départements de recherches de l'industrie privée. Ces travaux sont d'autant plus remarquables qu'ils ont été effectués dans une période difficile, alors que la France était occupée par l'ennemi. Commencés dès 1941, ils reçurent l'appui le plus actif du Comité de Coopération des Télécommunications impériales, présidé par l'amiral Bourragué, et l'enthousiaste coopération du colonel Labat, dont la brillante carrière devait malheureusement se terminer dans un camp de déportation.

L'Administration des P. T. T. continua sans hésiter l'œuvre entreprise, dont M. Lange, directeur de l'exploitation téléphonique, assumait la responsabilité, et dont M. Marzin, inspecteur général adjoint des P. T. T., assura, à la Direction des Recherches et du Contrôle techniques, puis au Centre national d'Études des Télécommunications, la haute direction.

Tout un groupe d'ingénieurs et de techniciens participa, au Laboratoire central de Télécommunications, à la conception et à l'élaboration des équipements du câble hertzien Paris-Montmorency. Les auteurs de cet article tiennent, à cet égard, à remercier tous leurs collègues et à mentionner en particulier l'importante contribution de M. Altovsky. Ils espèrent que cette réalisation de la technique française contribuera à maintenir le rang de notre pays dans un domaine technique où la France a constamment fait figure de précurseur.

A.-G. CLAVIER et G. PHELIZON.

Réveillés par le bruit de l'explosion d'Hiroshima et émus par l'ampleur des répercussions que peut avoir une recherche de laboratoire, les différents pays se sont enfin rendu compte de l'importance que peut prendre dans leur vie politique et économique la recherche scientifique, dont le physicien Bernal disait qu'elle devrait, dans le monde atomique de demain, occuper directement ou indirectement 10 à 20 % de la population, alors que, dans le monde d'hier, moins de trois personnes sur mille s'occupaient de recherche. En Angleterre, la question est à l'ordre du jour et de grands quotidiens consacrent depuis six mois, dans chacun de leurs numéros, un article au problème de l'organisation de la recherche et de l'éducation appropriée qu'il faut donner à la jeunesse pour éveiller les vocations. Dans une récente enquête faite à Newcastle-on-Tyne, M. Rollison, reprenant la question par le début, a cherché à préciser si les questions scientifiques intéressaient réellement les enfants. Son enquête, qui n'a porté que sur des enfants dont l'âge est compris entre onze et treize ans, a révélé, indépendamment du fait que, dans cette période, les curiosités de la jeunesse restaient sensiblement constantes, deux faits essentiels. Les garçons s'intéressent beaucoup plus que les filles aux questions scientifiques : 78 p. 100 des questions posées par les garçons ressortissent aux connaissances scientifiques, contre 41 p. 100 seulement pour les filles. Ce sont les enfants des grandes villes qui s'intéressent aux sciences ; les enfants des petites villes ou des campagnes manifestent pour celles-ci une curiosité beaucoup moins vive. Il semble évident que le fait d'avoir sous les yeux des applications sur une grande échelle des découvertes scientifiques, depuis le cinéma jusqu'aux stations centrales, oriente la curiosité naturelle de l'enfant pour le monde dans lequel il vit, vers l'univers construit de la main des hommes. Il ne reste donc qu'à entretenir cette curiosité pour la transformer en vocation à l'adolescence et préparer ainsi la société qui doit édifier le monde de demain.