

Vingt-cinq années de T.S.F de 1918 à 1935 (texte datant du vingt-cinq mars 1935)

Dès la fin de la guerre, l'information directe, rapide et sûre, apparut à toutes les nations comme l'un des facteurs essentiels de leur vie économique, de leur rayonnement intellectuel et de leur sécurité.

La nécessité de multiplier et de perfectionner les moyens de communiquer à distance s'imposa dès la reprise des échanges de toutes sortes, qui prit rapidement d'autant plus d'ampleur que le déséquilibre matériel et moral créé par la guerre avait été plus profond.

La télégraphie par les câbles sous-marins assurait avant la guerre la presque totalité des relations rapides à travers les océans. L'Angleterre et les États-Unis possédaient chacune environ 40 p. 100 de ces câbles, alors que la longueur des câbles français atteignait à peine 8 p. 100. La France se trouvait donc en état d'infériorité, on devrait dire de servitude, vis-à-vis de l'étranger, non seulement pour ses communications avec les autres pays, mais aussi pour ses liaisons avec plusieurs de ses propres colonies et notamment l'Indochine.

Par ailleurs, on devait reconnaître très vite que le réseau mondial des câbles était loin de suffire aux besoins. Dès 1920, les câbles, surchargés de trafic, ne parvenaient plus à l'écouler. La situation des réseaux de lignes terrestres n'était pas meilleure. Aussi les délais de transmission des messages étaient-ils excessifs. Chaque jour des milliers de télégrammes restaient en souffrance. La reprise des relations internationales et, notamment de l'activité économique, risquait d'être entravée du fait de l'insuffisance des communications télégraphiques.

Les nations qui possédaient les réseaux de câbles les plus étendus s'organisaient aussitôt pour faire face à cette situation et pour conserver leur quasi-monopole de fait. L'Angleterre et les États-Unis demandaient à la télégraphie sans fil, dont la guerre avait fait ressortir les prodigieuses possibilités, d'apporter un remède efficace" à une situation dont la gravité s'accroissait de jour en jour. Les industriels radio-électriques de ces deux pays entreprenaient un effort technique considérable, et bientôt l'Angleterre et les États-Unis pouvaient disposer de stations puissantes et ouvrir de nouveaux services radiotélégraphiques internationaux.

Après avoir été assujettie aux câbles étrangers, la France allait-elle être forcée de s'en remettre, encore une fois, à l'industrie étrangère du soin d'assurer ses communications ? Ou bien son industrie nationale allait-elle lui donner le pouvoir de posséder, chez elle, des stations puissantes lui permettant de communiquer directement avec les autres pays et avec ses propres colonies ?

Les techniciens français n'avaient pas manqué d'étudier les problèmes soulevés par la création de radiocommunications rapides et sûres à grande distance.

Ceux qui avaient si bien donné la mesure de leurs capacités d'invention et de réalisations pendant la guerre pouvaient proposer dès 1919 des procédés et du matériel complètement au point et dont les qualités éminentes devaient se confirmer par la suite.

Les Arcs Les Alternateurs de Haute Fréquence

En l'état de la technique en 1919, on ne pouvait envisager, pour les radiocommunications à grande distance, que les ondes longues de l'ordre de plusieurs milliers de mètres.

Les ondes inférieures, et notamment les ondes courtes, avaient, à vrai dire, été employées dès les premières expériences de T.S.F. Les petits appareils dont on disposait alors les produisaient naturellement. Mais, dès que l'on voulut, afin d'augmenter les portées, accroître la puissance des émetteurs, il fallut employer des ondes de plus en plus longues auxquelles s'adaptaient beaucoup mieux les dispositifs qu'on possédait. Au surplus, on avait constaté que les ondes courtes se comportaient de façon très irrégulière et qu'elles étaient le siège de phénomènes très particuliers dont on n'avait pas encore pu dégager les lois et qui compromettaient la sécurité des liaisons à grande distance.

La propagation des ondes longues était beaucoup mieux connue et l'on savait qu'elle pouvait s'effectuer à peu près régulièrement jour et nuit. Pour établir une bonne communication

permanente entre deux points, la difficulté consistait surtout à mettre en jeu, avec un rendement acceptable, une puissance élevée.

Ainsi, les ingénieurs recherchaient la solution du problème des radiocommunications à grande distance dans la réalisation de postes émetteurs très puissants et à ondes très longues.

On eut recours d'abord au principe de l'arc de Poulsen. La Société Française Radio-Électrique en avait, pour sa part, établi une bonne réalisation. Mais l'arc offrait un grave inconvénient inhérent à sa nature même, celui de produire des harmoniques très nombreux et très intenses. Le rendement de ce procédé était donc médiocre; la puissance mise en jeu n'était effectivement utilisée que pour une faible part sur l'onde de travail, le reste étant gaspillé dans des radiations secondaires qui, d'ailleurs, causaient des perturbations à d'autres liaisons.

Dès 1912, la Société allemande Telefunken avait construit un ensemble comportant un alternateur et des transformateurs de fréquence (selon le principe de l'ingénieur français Maurice Joly) qui émettait des oscillations de haute fréquence dans une antenne, il est vrai avec un médiocre rendement. Pour dissiper l'énergie calorifique, les transformateurs devaient être refroidis par des circulations d'eau.

En 1913, l'ingénieur allemand Rudolf Goldschmidt avait réalisé, selon un principe dû à notre éminent compatriote le professeur Boucherot, des alternateurs engendrant des courants de haute fréquence. Mais ces machines, fort délicates, avaient donné de graves mécomptes et, dès le commencement de l'année 1913, à la Société Française Radio-Électrique, un projet d'alternateur plus simple avait été conçu.

La réalisation de ce projet soulevait alors des difficultés mécaniques considérables : pour obtenir directement des fréquences élevées, qui devaient atteindre au moins 500 fois celles des alternateurs industriels, on était entraîné à l'adoption de vitesses périphériques inusitées, de pas polaires très faibles et d'entrefers extrêmement réduits.

Or une vitesse trop grande accroît les pertes par frottement et provoque des efforts anormaux dans les parties tournantes, donc des déformations élastiques importantes et des trépidations dangereuses qui risquent de produire le décollement des enroulements. Si l'entrefer est très petit, la précision de la construction doit être extraordinaire pour que le rotor ne vienne pas au contact du stator.

Les efforts persévérants et conjugués de la Société Française Radio-Électrique et de la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques de Belfort ont résolu ce difficile problème avec un succès inégalé. Malheureusement, la guerre étant venue interrompre ce genre de travaux, ce n'est qu'en 1915 que la première machine (d'une puissance de 5 kilowatts) fut réalisée et mise en service au poste de Lyon (La Doua).

Fin 1918, un alternateur de 125 kilowatts était installé à la station de Lyon (Il y tourne encore après dix-sept ans de service. Ce n'est donc pas sans "humour" qu'on se reporte aux rapports d'expertise qui prédisaient une vie courte et pénible, cinq ans tout au plus, à notre alternateur, aujourd'hui vieux serviteur lyonnais qui a contenté tous ses maîtres).

L'alternateur français à haute fréquence et à grande puissance était créé, et ses qualités dépassaient les espérances les plus optimistes (Les ingénieurs qui ont spécialement contribué à ce grand succès sont MM J. Bethenod et Marius Latour, à la Société Française Radio-Électriques, MM. Roth, Belfils et Bilioux, à la Société Alsacienne et Constructions Mécaniques. Le régulateur spécial a été l'œuvre de M. Thury).

Son fonctionnement se révélait impeccable, l'onde émise était très pure, tout à fait dépourvue d'harmoniques et très stable.

Ce type d'alternateur a été construit pour des puissances diverses, depuis 25 kilowatts jusqu'à 500 kilowatts, et pour des longueurs d'ondes de 8 000 à 20 000 mètres. La vitesse de rotation de ces machines, variant de 2 500 tours par minute pour l'alternateur de 500 kilowatts à 6 000 tours par minute pour l'alternateur de 25 kilowatts, était maintenue rigoureusement constante par un régulateur à action très rapide, quelles que fussent les variations de charge auxquelles elles pouvaient être soumises.

Tournant dans une atmosphère raréfiée pour éviter les pertes par ventilation, énergiquement refroidi par une circulation d'huile sous pression d'une réalisation très ingénieuse, l'alternateur à haute fréquence offrait un rendement très élevé : plus de 84 p. 100 pour la machine de 500 kilowatts.

Quand à la manœuvre de ces alternateurs, elle était d'une simplicité extrême.

Dès que fut achevée la réalisation définitive de l'alternateur à haute fréquence, la Société Française Radio-Électrique se préoccupa d'ajouter aux remarquables qualités de la machine elle-même, des procédés susceptibles d'en augmenter la facilité et la souplesse d'exploitation.

A cette fin, fut étudié le système du couplage électrique en parallèle grâce auquel les alternateurs d'une station pouvaient débiter en parallèle sur l'antenne pour augmenter ainsi, selon les nécessités du trafic, la puissance de l'émission.

De même, le problème de la transmission "en multiplex", pour permettre à plusieurs alternateurs à haute fréquence d'une même station de transmettre simultanément, sur le même réseau d'antennes, plusieurs télégrammes différents sur des longueurs d'ondes différentes, en évitant les réactions mutuelles de toutes ces émissions les unes sur les autres, fut l'objet de recherches très poussées qui aboutirent à la réalisation d'un dispositif supprimant, par un procédé de compensation, les influences mutuelles électromagnétiques et électrostatiques et permettant à chaque alternateur de transmettre indépendamment.

Grâce à ces deux dispositions, la même station pouvait donc se comporter, suivant les nécessités de son exploitation, ou bien comme une station unique de puissance égale à la somme des puissances des alternateurs qu'elle possédait, ou bien comme autant de stations différentes qu'elle comprenait d'alternateurs.

Il convient de rappeler encore une belle réalisation des laboratoires de la Société Française Radio-Électrique : le multiplicateur statique de fréquence. Nous avons vu plus haut que les alternateurs à haute fréquence avaient été conçus pour permettre l'utilisation de longueurs d'ondes comprises entre 8 000 et 20 000 mètres, favorables aux communications à grande distance. Cependant, pour des portées réduites, il pouvait être, dans certains cas, plus avantageux d'utiliser des ondes moins longues. Les multiplicateurs de fréquence furent conçus pour cet objet. Ces appareils, fondés sur la génération artificielle des harmoniques par des circuits magnétiques constitués par des tôles d'un alliage spécial au nickel, étaient intercalés entre l'alternateur et l'antenne. L'alternateur débitait son courant de haute fréquence et le multiplicateur doublait ou triplait automatiquement cette fréquence. L'émission s'effectuait ainsi sur une longueur d'onde qui n'était que la moitié ou le tiers de la longueur d'onde de l'alternateur.

La mise au point de ces multiplicateurs de fréquence avait exigé des recherches longues et variées. Il était indispensable en effet que l'action de cet organe intermédiaire n'apportât pas une réduction de la puissance utile. Cette condition obligea les ingénieurs à de nombreux travaux sur les alliages métalliques pour la composition des tôles des circuits du multiplicateur. On parvint ainsi à réaliser des doubleurs et des tripleurs de fréquence dont le rendement atteignait 90 p. 100. Toutefois pour les postes puissants, nous avons accordé la préférence à la solution de l'alternateur débitant directement à la fréquence finale.

Les stations à ondes longues suivantes ont été équipées avec les machines à haute fréquence de la Société Française Radio-Électrique :

En France :

la station de Croix-d'Hins (près de Bordeaux) :

1 alternateur de 500 kilowatts.

la station de La Doua (près de Lyon) :

1 alternateur de 125 kilowatts.

le grand centre radio-électrique de Sainte-Assise :

4 alternateurs de 25 kilowatts pour le trafic européen

2 alternateurs de 500 kilowatts

2 alternateurs de 250 kilowatts pour le trafic transocéanique.

Dans les colonies françaises :

la station de Bamako :

2 alternateurs de 125 kilowatts.

la station d'Hanoï :

1 alternateurs de 25 kilowatts.

la grande station de Saïgon :

2 alternateurs de 500 kilowatts.

1 alternateurs de 200 kilowatts.

1 alternateurs de 25 kilowatts.

la station de Tananarive :

2 alternateurs de 150 kilowatts.

En Europe :
Belgique :
la station de Ruysselede :
3 alternateurs de 250 kilowatts.
Italie :
la station de Coltanoe :
1 alternateurs de 500 kilowatts.
1 alternateur de 250 kilowatts.
1 alternateur de 25 kilowatts.
la station de Milan :
2 alternateurs de 25 kilowatts.
Roumanie :
la station de Bucarest :
2 alternateurs de 50 kilowatts.
Tchécoslovaquie :
la station de Podebrady, près de Prague :
2 alternateurs de 50 kilowatts.
Turquie :
la station d'Istamboul :
2 alternateurs de 25 kilowatts.
Yougoslavie :
la station de Belgrade :
2 alternateurs de 25 kilowatts.

Hors d'Europe :
Brésil :
la station de Rio de Janeiro :
1 alternateur de 500 kilowatts.
Chine :
la station de Yunnan Fou :
1 alternateur de 25 kilowatts.
Japon :
la station de Funoboshi :
3 alternateurs de 250 kilowatts.
2 alternateurs de 50 kilowatts.
2 alternateurs de 25 kilowatts.
Syrie :
la station de Beyrouth :
2 alternateurs de 25 kilowatts.
Turquie :
la station d'Ankara :
1 alternateurs de 250 kilowatts.

Les émetteurs à lampes

Parallèlement à l'étude des alternateurs, les ingénieurs de la Société Française Radio-Électrique poursuivaient leurs recherches dans la voie qu'avaient ouverte le professeur Fleming et Lee de Forest par leurs travaux sur les valves.

A la suite des perfectionnements apportés pendant la guerre aux lampes à trois électrodes, qui avaient révolutionné la technique des récepteurs, on avait pu constater que ces lampes constituaient d'excellents générateurs d'oscillations entretenues.

Ce fut le point de départ d'une technique nouvelle dont les immenses perspectives se découvrirent peu à peu.

En fait, c'est l'utilisation des lampes à trois électrodes comme générateurs d'ondes entretenues qui allait conduire en quelques années à la radiodiffusion, à l'emploi des ondes courtes, à la télévision, etc.

En 1919, la lampe n'apparaissait encore que comme un organe permettant d'engendrer simplement et facilement des ondes aussi parfaitement entretenues que celles produites par

les alternateurs de haute fréquence, mais avec une puissance relativement faible.

Pour des liaisons régulières, de l'ordre d'un millier de kilomètres, on hésitait entre deux solutions : ou bien construire de tout petits alternateurs, ou bien créer des lampes beaucoup plus puissantes que celles dont on disposait.

On sait que la solution préférée fut la seconde.

On savait fabriquer des triodes d'une puissance utile de 500 watts, mais la réalisation d'une puissance supérieure se heurtait à de graves difficultés.

En couplant plusieurs lampes en parallèle, la Société Française Radio-Électrique réussissait, à la fin de l'année 1920, à établir un émetteur d'une puissance utile de 2 kilowatts et demi.

Installé dans les laboratoires de Levallois, ce poste fonctionnant sur l'onde de 2 300 mètres communiquait avec la station anglaise de Chelmsford, près de Londres, au début de janvier 1921, et procurait des résultats tout à fait remarquables : on parvenait à réaliser une vitesse de manipulation de 160 mots à la minute. Aussi, le 8 janvier 1921, l'Administration Française des P.T.T. qui ne pouvait suffire au moyen des lignes et câbles à écouler tout le trafic Paris-Londres avait recours à cet émetteur pour assurer un service public radiotélégraphique avec la Grande-Bretagne.

Un modèle identique était installé au centre de Sainte-Assise, au mois de mars de la même année. Les résultats obtenus avec ce nouvel appareil confirmaient absolument les qualités du prototype.

Perfectionnés chaque année, au fur et à mesure que la technique des lampes réalisait des progrès, les émetteurs à ondes entretenues de la Société Française Radio-Électriques devaient affirmer leur succès, non seulement pour les radiocommunications entre points fixes, mais aussi, comme nous le verrons plus loin, pour les liaisons radio-électriques de la Marine et de l'Aéronautique.

Parmi les stations de grand trafic équipées avec les émetteurs à lampes, à ondes moyennes, de la Société Française Radio-Électrique, on peut citer :

le centre de Sainte-Assise, de la Compagnie Radio-France, qui utilise ces appareils pour les liaisons avec Londres et Madrid,

la station italienne de Milan,

la station lithuanienne de Kaunas,

les stations turques d'Ankara et d'Istamboul,

la station chilienne de la Quinta Normal (Santiago de Chili)

etc...

Les Antennes

L'utilisation de très grandes longueurs d'onde et la mise en œuvre de grosses puissances devaient conduire à développer considérablement les antennes. En particulier, il était nécessaire d'augmenter leur capacité pour éviter que les tensions ne puissent dépasser la limite de 150 000 volts efficaces, au-dessus de laquelle l'isolement devenait difficile et les pertes par effluves trop importantes.

En second lieu, il y avait intérêt à dégager ces antennes de tous les obstacles naturels (mouvements de terrain, végétation, etc.) susceptibles de former écran et d'absorber une partie de l'énergie rayonnée.

Pour ces principales raisons, on était conduit à réaliser de véritables nappes de fils couvrant une grande superficie de terrain et aussi élevées que possible.

Le problème qui se posait ainsi aux techniciens présentait deux aspects.

L'un, d'ordre mécanique, comportait l'étude des procédés et des dispositifs susceptibles de donner à un tel ensemble un équilibre et une résistance à l'épreuve des efforts dûs aux vents;

L'autre, d'ordre électrique, consistait dans la recherche des moyens propres à assurer un excellent rendement à l'antenne en réduisant au minimum les pertes de toute nature auxquelles un pareil réseau aérien parcouru par des courants intenses était exposé.

Les Pylônes

La nécessité de soutenir à des hauteurs de plus de deux cents mètres des antennes formées de nappes horizontales de fils et mesurant jusqu'à 3 kilomètres de long sur plusieurs centaines de mètres de large, allait déterminer la création d'une technique spéciale à cette sorte de construction métalliques.

Dans ce domaine, on connaissait déjà le cas très simples des lignes de transport d'énergie électrique. Celles-ci sont soutenues par des pylônes de faible hauteur (généralement 30 mètres, quelquefois 50 mètres, rarement davantage).

Pour les grandes stations radio-électriques on avait besoin de supports de 250 mètres de hauteur, capables de résister normalement à des efforts de traction de l'ordre de 10 000 kilogrammes (traction horizontale appliquée au sommet).

Les Américains avaient adopté un système de tour métallique établi sur le même principe que la Tour Eiffel. On construisait une poutre à treillis de forme pyramidale, supportée généralement par trois ou quatre jambes, également à treillis. L'ouvrage reposait sur des massifs en béton dans lesquels étaient scellées les membrures inférieures. La résistance mécanique d'un tel ensemble ne pouvait être obtenue qu'au prix d'un tonnage de fer très élevé. Au reste, le montage était long et difficile. Pour des tours de grande hauteur, par exemple celles qui furent construites à la station de Croix-d'Hins par la Marine américaine, il fallait commencer par édifier un pylône de montage. En outre, les travaux d'érection étaient fort dangereux. Le montage des tours de Croix-d'Hins fut marqué par plusieurs accidents mortels.

Aussi, la Société Française Radio-Électrique avait-elle éliminé la solution du genre Tour Eiffel en donnant, dès avant la guerre, sa préférence aux pylônes haubanés.

Un tel pylône se compose d'une poutre à treillis, généralement de section constante du sommet à la base. Cette section est très faible eu égard à la hauteur. Par exemple, les pylônes qui supportent l'antenne de Sainte-Assise ont une section carrée de 2 mètres de côté pour une hauteur de 250 mètres.

Des haubans en câble d'acier sont fixés d'une part aux membrures, à différentes hauteurs, et d'autre part, par l'intermédiaire de tendeurs réglables, à des massifs de béton qui les ancrent au sol.

Ces haubans, constitués par des aciers à haute résistance mécanique, dont la charge de rupture atteint 200 kilogrammes par millimètre carré, ont un diamètre très faible, ce qui contribue à réduire leur poids et leur prise au vent.

La base du pylône repose sur un massif en béton auquel elle est fixée pour éviter le glissement.

On conçoit facilement que ce type de pylône, grâce à sa section très réduite, à la finesse de ses membrures et à ses haubans, ait déjà, sur les tours encastrées dont nous avons parlé plus haut, le gros avantage d'économiser un poids de fer considérable. Pour en donner une idée, une tour de 250 mètres de Croix-d'Hins pèse 560 tonnes, tandis qu'un pylône haubané de 250 mètres n'atteint pas 120 tonnes, charpente métallique et haubans compris.

Par ailleurs, les pièces du pylône haubané peuvent être usinées en série, tandis que celles de la tour encastrée sont plus diverses, avec des assemblages plus compliqués, donc d'une fabrication plus coûteuse.

On ne s'étonnera donc pas que le prix d'établissement d'un pylône haubané, de 250 mètres, soit cinq fois moins fort que celui d'une tour de Croix-d'Hins.

Quant au montage du pylône haubané, il présente la même simplicité que celui des pièces d'un "meccano".

Sans entrer dans des considérations qui sortiraient du cadre de cet ouvrage, on peut remarquer qu'un support d'antenne de T.S.F, est soumis à deux sortes d'efforts : un effort au sommet exercé par la nappe de fils d'antenne et un effort sur les éléments du support exercé par le vent. Pour les supports de grande hauteur, les efforts du vent sont considérablement plus grands que l'effort dû à l'antenne qui, dans bien des cas, peut être considéré comme négligeable devant le premier. Cette remarque permet d'apprécier la supériorité mécanique du pylône haubané sur une tour sans haubans. D'abord la prise au vent du premier est très inférieure à celle de la seconde. En outre, la tour, n'ayant comme appui que son scellement de base, sera l'objet d'efforts dont le bras de levier ira en augmentant jusqu'à atteindre la hauteur totale, tandis que la charge d'un pylône haubané maintenu par ses cours de haubans en plusieurs points, de la base au sommet, restera toujours très limité.

A ce jour, la Société Française Radio-Électrique a installé plus de 250 pylônes représentant une hauteur totale de 35 000 mètres. Certains d'entre eux, en service depuis près de vingt ans,

ont eu à supporter en France, aux colonies et à l'étranger, tous les efforts statiques et dynamiques auxquels de tels ouvrages peuvent être soumis (orages, tornades, surcharges de neige ou de glace, etc.). Cette épreuve du temps vaut encore mieux que les démonstrations techniques. Nous n'avions d'ailleurs pas manqué d'administrer celles-ci en proposant ces travaux assez hardis, dont les projets ne furent pas toujours approuvés d'emblée par les organismes de contrôle. En général, ceux-ci estiment, d'ailleurs à juste titre, que leur responsabilité est moins exposée quand on a recours à des dispositifs consacrés par l'usage. Avant de quitter la question des pylônes, il convient d'ajouter que, l'avènement des ondes courtes dans le domaine des radiocommunications, dont nous parlerons plus loin, ayant entraîné la constitution d'antennes différentes de celles qui nous occupent ici, il a fallu, dans la suite, créer des pylônes de types adéquats aux nouveaux réseaux aériens. La Société Française Radio-Électrique a construit pour cet objet un pylône spécial dont la hauteur peut atteindre jusqu'à 100 mètres et qui s'apparente au pylône haubané, dont il a gardé tous les avantages.

Les Isolants.

Le fait de disposer, dans l'antenne, d'une grande puissance à haute fréquence ne suffit pas à assurer à l'émission toute l'efficacité désirable. Il faut encore que cette énergie soit effectivement rayonnée.

Les causes de déperditions d'énergie dans une antenne sont diverses. En premier lieu, il y a l'effet Joule : dissipation d'énergie sous forme de chaleur dans les fils d'antenne. On réduit ces pertes en donnant aux conducteurs une section suffisante et en multipliant le nombre de fils.

Les isolateurs peuvent être aussi, si l'on n'y prend garde, le siège de pertes importantes par hystérésis diélectrique et par effluves. Ces pertes ont pu être limitées, d'une part, à la suite d'études sur les isolateurs et, d'autre part, en utilisant des répartiteurs de potentiel. En outre l'on s'est astreint à ne pas dépasser, dans l'antenne, des tensions de l'ordre de 150 000 volts.

Enfin, les pylônes et leurs haubans contribuent aussi à absorber de l'énergie par suite notamment des effets électrostatiques. Ici, le problème était plus difficile, les isolateurs ayant à supporter des efforts mécaniques considérables.

Les ingénieurs sont parvenus, néanmoins, à réaliser des dispositifs isolants pouvant être intercalés dans les haubans et dont la charge de rupture dépasse 250 tonnes.

La Société Française Radio-Électrique a réussi également à isoler ses pylônes haubanés en appuyant l'élément de base, par l'intermédiaire d'une rotule, sur une pile de galettes isolantes reposant elles-mêmes sur le massif de fondation. On peut voir les derniers modèles de pylônes ainsi isolés à la station de radiodiffusion du Poste Parisien (pylônes de 120 mètres) et à la station radiotélégraphique de la Crau (pylônes de 250 mètres).

Les prises de terre

Enfin, il y a une autre cause de pertes qui réside dans la prise de terre si l'on ne prend pas de précautions. Le sol qui s'étend sous l'antenne et les végétations qui le recouvrent sont de mauvais conducteurs ou, si l'on veut, de mauvais isolants. Il peut donc y avoir dans ce milieu une forte dissipation d'énergie à la fois par effet Joule, courants de Foucault et hystérésis diélectrique.

Pour y remédier, on s'était contenté tout d'abord d'enfouir dans le sol des plaques de cuivre ou de zinc. Mais la surface de ces plaques, qui ne pouvait dépasser quelques centaines de mètres carrés en raison du prix de revient, était généralement très inférieure à la superficie couverte par l'antenne. Un grand nombre de lignes de force issues de l'antenne ne rencontraient pas cette armature métallique. Les pertes restaient considérables.

On avait préconisé ensuite l'emploi d'un réseau métallique placé entre l'antenne et le sol et appelé contrepoids. Les premiers résultats avaient été médiocres, la technique n'ayant pas eu, tout d'abord, sur le rôle exact de ces organes une opinion bien assise. Après des études systématiques on est parvenu à de bons résultats en donnant à ces écrans une grande surface et une forte densité de fils. Mais ces contrepoids ont l'inconvénient de coûter très cher, notamment en raison de la nécessité de les isoler d'une façon parfaite. Leur emploi doit donc se limiter aux cas où leur surface n'est pas très grande. Mais, pour des antennes très

développées, couvrant une superficie de 50 à 100 hectares, un tel procédé n'est pas recommandable.

On eut aussi l'idée d'améliorer la prise de terre en enterrant sous l'antenne un réseau de fils de cuivre. Dans les premières installations de ce genre, les fils étaient peu nombreux et leur action n'était pas très efficace. On fut donc amené à en augmenter la densité pour réaliser une véritable armature métallique sous l'antenne. Mais cela coûte cher tout en ne supprimant pas les pertes par courants de Foucault.

En raison des inconvénients de tous ces procédés, la Société Française Radio-Électriques entreprit de longs travaux sur la question et adopta un système de "terres multiples" consistant dans un réseau de fils métalliques tel que celui dont nous venons de parler, mais dont on amène directement au poste les courants de terre qui y circulent par des conducteurs aériens, qui relient ainsi différents points de la prise de terre à la station. Ces canalisations aériennes offrent aux courants de haute fréquence des chemins de moindre résistance que la terre, et les pertes en sont considérablement réduites. Cette disposition, dont le principe peut paraître simple, avait cependant nécessité des essais de mise au point assez délicats pour déterminer la meilleure disposition des terres multiples, la constitution des lignes, les conditions de leur équilibrage par self-inductance et capacités. Ce procédé, mis en service, pour la première fois à la station de Sainte-Assise, permettait d'abaisser la résistance de l'antenne à 0,5 ohm, alors qu'en déconnectant les lignes de terre cette résistance atteignait près de 2 ohms, soit quatre fois plus.

La Réception

En dépit de la puissance qu'on pouvait mettre en jeu dans les grandes stations radio-électriques, l'intensité de leurs signaux devenait très faible à une distance de plusieurs milliers de kilomètres. Si l'on veut bien remarquer que l'antenne d'émission d'un poste à ondes longues rayonne dans toutes les directions, on comprend aisément que le correspondant ne recueille qu'une très faible part de l'énergie dispersée.

On dispose, il est vrai, de la possibilité de correspondre avec des stations réceptrices dans tous les azimuts.

A ce premier inconvénient, venait s'en ajouter un second, celui des parasites atmosphériques. L'antenne d'un poste de réception est exposée non seulement à recueillir les ondes de la station d'émission, mais aussi à collecter toutes les oscillations électriques qui lui parviennent de toutes les directions. En outre, les oscillations engendrées par des phénomènes locaux d'électricité atmosphérique peuvent se manifester, suivant la latitude et suivant la saison, avec une intensité excessivement variable. On sait que, dans les pays tropicaux, les parasites sont extrêmement violents. On conçoit que, dans ces conditions, le signal déjà faible d'une station d'émission éloignée puisse être couvert par un parasite dont l'intensité est supérieure à la sienne et que l'appareil récepteur amplifie dans les mêmes proportions.

Augmenter encore la puissance de l'émission, afin d'avoir, aux très grandes distances, des signaux nettement plus forts que les parasites locaux, il n'y fallait guère songer. Les énergies mises en jeu étaient devenues relativement considérables. Les accroître encore eût obligé à augmenter exagérément les dimensions des antennes et eût conduit à dépasser la tension de 150 000 volts, dont nous avons dit plus haut qu'elle était la limite pratique pour un bon isolement. D'autre part, tout cela eût entraîné à des frais inadmissibles.

Il fallait donc résoudre la difficulté du côté de la réception en recherchant comment éteindre le parasite, ou, au moins, en diminuer fortement l'intensité par rapport à celle du signal.

Un premier procédé consistait à établir l'antenne de réception de façon qu'elle pût être influencée seulement par les oscillations électriques provenant de la direction du correspondant. La question des antennes directives avait fait l'objet en France et à l'étranger de nombreuses recherches, et l'on avait trouvé des systèmes d'aériens répondant dans une certaine mesure à cette condition (antennes Beverage, cadres rectangulaires, etc.). Ce procédé, étant sans effet sur les parasites provenant soit de la direction de l'émetteur, soit du zénith, ne pouvait constituer qu'un palliatif. Il était donc nécessaire de s'attaquer à l'élimination des oscillations atmosphériques dans le récepteur lui-même.

Avec la collaboration de M. Regnault de Bellescize, la Société Française Radio-Électrique a réalisé un ensemble de "réception sélective et antiparasite" comportant un aérien unique formé par la combinaison de cadres et d'une antenne et pouvant actionner simultanément

plusieurs récepteurs. Cet ensemble, permettant la réception automatique à grande vitesse jusqu'à 150 mots à la minute, mis en service pour la première fois à la station de Villecresnes (de la Compagnie Radio-France), a équipé, par la suite, un grand nombre de stations étrangères.

Les Ondes Courtes.

Le problème de l'émission.

Nous avons vu que l'utilisation des ondes longues nécessite, pour les radiocommunications à grande distance, la mise en jeu de grosses puissances, dont une fraction seulement se propage vers le correspondant.

Par ailleurs, le développement des radiocommunications dans le monde entraînant la multiplication des stations d'émission, il apparut bien vite que la gamme des ondes longues était beaucoup trop étroite.

Sous l'empire de cette nécessité, les techniciens étaient amenés à envisager l'emploi des ondes courtes et à reprendre les études sur ces ondes, qui avaient été à peu près abandonnées, avant la guerre, à cause des difficultés que soulevait leur utilisation et que la technique était alors impuissante à résoudre.

Mais, depuis cette époque, la radio-électricité avait enrichi ses moyens d'un organe merveilleux qui devait permettre aux ingénieurs de reprendre leurs travaux sur les ondes courtes avec plus de chances de succès.

Cet organe, la lampe à trois électrodes, dont l'emploi venait d'être rendu possible peu avant la guerre, devait connaître pendant et après la guerre des perfectionnements incessants.

Parmi les qualités étonnantes qu'elle révélait, tant pour la génération des oscillations électriques que pour leur réception, elle manifestait celle de pouvoir produite, avec assez de facilité, les ondes très courtes.

C'est la raison pour laquelle de nombreux amateurs purent s'exercer à réaliser des communications sur ondes courtes.

Grâce aux nouveaux dispositifs à lampes, des résultats remarquables furent obtenus. Des portées considérables furent atteintes avec des appareils rudimentaires et des puissances excessivement faibles (quelques watts seulement).

Certains furent alors tentés de croire que les radiocommunications sur ondes courtes étaient réalisées et qu'on allait pouvoir tout de suite utiliser ces ondes commercialement, avec des appareils très simples et peu coûteux.

En fait, les premières expériences n'apportaient que des espoirs nouveaux, mais elles ne permettaient encore de formuler aucune technique précise. Elle faisaient ressortir, au contraire, les anomalies, les irrégularités de propagation de ces ondes telles qu'on les avait déjà observées au début de la T.S.F. et dont il fallait absolument s'affranchir dans des services publics.

Il était apparu que la propagation des ondes courtes suivait des lois extrêmement complexes et qu'elle dépendait de nombreuses variables, telles que la fréquence de l'onde, la forme de l'antenne, la distance du récepteur à l'émetteur, la situation géographique de l'émetteur, celle du récepteur, les conditions d'éclairage solaire du trajet présumé de la transmission, les circonstances atmosphériques, la saison, etc...

Ainsi, telle émission sur une onde déterminée qui était reçue très fortement à des milliers de kilomètres devenait inaudible brusquement, sans que rien n'eût varié à l'émetteur ni au récepteur. La disparition des signaux pouvait aussi se produire d'un jour à l'autre, à des heures différentes ou identiques.

Telle émission reçue à très grande distance ne pouvait être entendue par des correspondants rapprochés.

Et, circonstance aggravante, à ce phénomène de "disparition" des ondes suivant l'heure de la journée ou de la nuit, on devait ajouter le phénomène de l'évanouissement dit "fading", consistant dans de très grandes et rapides variations de l'intensité des signaux, qui se produisait d'une façon continue, mais avec une périodicité très variable.

En outre, de grosses difficultés se rencontraient pour la réalisation des émetteurs à ondes courtes notamment dans la construction des lampes et dans celle des circuits.

La capacité interne des triodes devenait supérieure à celle des organes d'oscillation, de telle sorte que des courants de haute fréquence très intenses traversaient les organes des lampes en produisant des échauffements considérables.

Il y avait aussi les pertes diélectriques dans les isolants, qui étaient énormes.

Enfin, de faibles écarts dans les caractéristiques de l'antenne, par exemple sous l'effet du vent, des variations de température dans les circuits, ou de tension dans les sources d'alimentation, des phénomènes internes dans les lampes, entraînaient une grande instabilité de la fréquence des ondes émises.

En face d'un problème d'une telle complexité, il était apparu à la Société Française Radio-Électrique que seule une expérimentation méthodique, entreprise sur une très vaste échelle, avec des moyens techniques puissants, permettrait d'effectuer des observations nombreuses et coordonnées, indispensables pour déterminer et les possibilités d'utilisation pratique des ondes courtes et les meilleures solutions pour leur emploi.

Aussi, après avoir effectué les premières études au laboratoire, les services techniques de la Société Française Radio-Électrique installaient en 1924 deux stations expérimentales, l'une à Clichy, l'autre à Sainte-Assise, spécialement conçues pour l'étude comparative de divers types d'antennes, de diverses formes de rayonnement et de leur efficacité à toutes distances et aux différentes heures du jour et de la nuit.

L'organisation de ces deux stations avait nécessité la mise en œuvre d'un matériel fort important et la construction de bâtiments spéciaux. Les aériens soumis à l'expérimentation couvraient une surface de 20 hectares et comprenaient des antennes de tous modèles : fils verticaux de 15 mètres à 130 mètres de long, alignements d'antennes, nappes verticales en éventails, etc., qu'on modifiait sans cesse selon les résultats obtenus.

Les émissions expérimentales étaient effectuées nuit et jour. Elles comportaient des séries d'essais exécutés selon des programmes méthodiques et des horaires précis, arrêtés à l'avance, avec des postes de réception installés en France et en Europe pour l'étude des phénomènes à petite et moyenne distance, aux États-Unis, en Argentine, en Indochine, en Syrie etc., pour l'étude des phénomènes à très grande distance. Tous ces correspondants faisaient connaître télégraphiquement les résultats de leurs observations.

Commencées avec des ondes de l'ordre de 200 mètres, les expériences se poursuivaient sur des ondes de plus en plus courtes jusqu'à 10 mètres.

On reconnaissait bientôt que, tandis que l'emploi d'ondes de 10 à 25 mètres favorisait la propagation diurne, les communications nocturnes étaient plus satisfaisantes avec des ondes de 30 à 60 mètres.

On constatait aussi qu'avec deux ou trois ondes convenablement choisies, on pouvait franchir des distances considérables, dépassant 10 000 kilomètres, à peu près à toutes heures de jour et de nuit.

Contrairement à l'opinion trop sommaire qui s'était répandue à la suite des résultats sensationnels obtenus avec des énergies infimes et dans des circonstances très favorables, par les premiers expérimentateurs, l'influence de la puissance fut nettement mise en évidence par ces essais et l'on dut reconnaître qu'il était indispensable, pour les radiocommunications à ondes courtes, de mettre en jeu une puissance suffisante afin de remédier aux variations d'amplitude provoquées par les phénomènes de propagation.

Il apparut également qu'une condition essentielle d'une bonne communication à ondes courtes était la rigoureuse stabilité de l'onde émise, faute de quoi toute réception rapide devenait impossible.

Enfin les expériences devaient permettre de dégager le rôle important des divers types d'antennes à rayonnement, dirigé ou non, et de mettre en évidence la grande efficacité des antennes multiples, à effet directif, fonctionnant comme réflecteur.

De tous ces résultats d'expérience, la Société Française Radio-Électriques allait tirer la juste formule de l'exploitation commerciale des ondes courtes : émetteurs suffisamment puissants, d'une très grande stabilité, alimentant des antennes dirigées

Il fallut passer à la réalisation. Celle-ci devait soulever des difficultés multiples. En premier lieu, l'établissement de puissants générateurs à ondes courtes posait le problème de la construction de lampes et de circuits. Lorsqu'on met en jeu une énergie de plusieurs kilowatts, la capacité des triodes atteint le même ordre que celle des organes d'exploitation proprement dits et elle est souvent même supérieure. Les triodes constituent des circuits oscillants secondaires qui peuvent être traversés par des courants très intenses, produisant des échauffements considérables dans leurs différents éléments. En outre, les pertes diélectriques,

qui augmentent avec la fréquence, contribuent encore à l'échauffement de certains organes, ce qui rend très difficile de souder l'ampoule de verre aux armatures métalliques.

Il faut ajouter à cela l'influence, sur le degré du vide de la lampe, du phénomène oscillatoire extrêmement rapide des ondes courtes. On conçoit donc que la réalisation de fortes lampes pour la génération des ondes courtes n'ait pu être obtenue qu'après de longues et délicates recherches.

La question de la stabilité offrait aussi de grosses difficultés. Les laboratoires de la Société Française Radio-Électriques, en vue d'aboutir à une réalisation technique aussi simple que possible, s'étaient d'abord proposé de constituer les émetteurs à ondes courtes par une lampe puissante, montée en auto-excitation. Cette solution permettait de changer la longueur d'onde aisément et de choisir facilement, dans chaque cas, l'onde la mieux appropriée à la liaison à desservir.

Afin d'assurer la stabilité de fréquence d'un tel générateur, on avait réalisé un régulateur de fréquence d'une conception tout à fait originale. Cet appareil, fondé sur les phénomènes de saturation d'un circuit magnétique, constitué avec des tôles spéciales, permettait de commander l'émetteur à ondes courtes par un émetteur auxiliaire de faible puissance et d'une stabilité rigoureuse, en maintenant fixe la différence entre la fréquence de l'émetteur principal et celle de l'émetteur auxiliaire. Cette régulation de fréquence, qui ne mettait en jeu que des phénomènes électromagnétiques s'opérait sans aucune inertie autre que celle des circuits. Ce régulateur permettait en outre d'effectuer très simplement la manipulation à grande vitesse.

Dès 1925, un type d'émetteur propre à l'exploitation commerciale avait été réalisé par la Société Française Radio-Électrique. Installé à la station de Sainte-Assise, de la Compagnie Radio-France, il permettait d'obtenir immédiatement, avec une puissance antenne de 6 à 8 kilowatts, sur des ondes de 25 à 40 mètres, des résultats extraordinaires pour l'époque.

Un trafic commercial régulier pouvait être établi le 1er octobre 1925 avec Buenos-Aires (11 000 kilomètres) à une vitesse dépassant 60 mots à la minute.

De même, une communication pouvait être réalisée avec New-York à la vitesse de 120 et même 150 mots à la minute.

Les signaux de ce poste étaient reçus au Japon (11 000 kilomètres), à Nouméa (16 700 kilomètres).

On ne saurait mieux préciser l'importance du résultat technique auquel avaient atteint les laboratoires de la Société Française Radio-Électrique qu'en citant la lettre adressée le 20 octobre 1925 par le chef du trafic d'une des plus grandes compagnies étrangères :

La force des signaux de Sainte-Assise ondes courtes est beaucoup plus grande que celle de n'importe quel autre transmetteur européen à ondes courtes écouté par nous jusqu'ici. En fait, c'est à présent la seule émission que montre des promesses d'utilisation commerciale.

De même, le chef du centre d'écoute de Buenos-Aires écrivait le 1er novembre 1925 :

J'ai fait avec Sainte-Assise ondes courtes de l'enregistrement automatique à 60 mots à la minute. C'est la première fois que je peux arriver à cette vitesse en ondes courtes et j'en suis bien content. Jusqu'ici des variations combinées de fréquence et d'intensité empêchaient l'inscription. Avec Sainte-Assise ondes courtes, la réception est parfaite pendant des heures sans qu'aucune retouche ou presque soit nécessaire.

Grâce à sa simplicité de construction, à sa grande souplesse d'utilisation et à son efficacité en trafic, ce type d'émetteur fut adopté pour l'équipement de nombreuses stations à ondes courtes notamment à Sainte-Assise, Beyrouth, Santiago-du-Chili, Téhéran, Saïgon, Tomioka, Shanghai, etc.

Toutefois, en dépit de toutes ses qualités, cet émetteur qui avait été étudié seulement en vue de la radiotélégraphie allait se révéler insuffisant quand on voulut étendre le champ d'exploitation des ondes courtes à la radiotéléphonie.

La modulation téléphonique sur un émetteur à autogénération produit, en effet, des réactions qui se traduisent à grande distance par une distorsion susceptible de rendre la parole inintelligible.

Cet incon vénients ont conduit à l'étude d'un nouveau type d'émetteur à ondes courtes tout à fait différent et dont la fréquence est engendrée et commandée par un oscillateur de très faible puissance stabilisé par un cristal de quartz piézo-électrique.

L'utilisation de ce procédé a, bien entendu, entraîné des difficultés nouvelles et compliqué un peu la réalisation technique de l'émetteur.

D'abord il est nécessaire que le cristal de quartz soit maintenu à une température rigoureusement constante à quelques dixièmes de degrés près, ce qui a été réalisé en

enfermant le quartz à l'intérieur d'une boîte métallique en acier, maintenue à température constante par un thermostat. Ensuite, il a fallu prévoir des étages spéciaux pour multiplier la fréquence propre du quartz. On sait, en effet, que la longueur d'onde d'un quartz est d'environ 120 mètres par millimètre d'épaisseur. Il faut donc, pour obtenir des ondes de l'ordre de 10 à 50 mètres, avec des quartz d'épaisseur pratiquement admissible, multiplier leur fréquence propre.

Enfin, en raison de la puissance très faible de ce générateur d'oscillations, il est indispensable d'amplifier les courants de haute fréquence en prenant toutes les précautions nécessaires pour ne pas introduire de causes d'instabilité.

Le nouvel émetteur réalisé par la Société Française Radio-Électrique, qui a pris place dans les stations radio-électriques modernes à grand trafic commercial, a été établi pour des puissances antenne de 10 kilowatts à 25 kilowatts. Il permet, à la fois, de réaliser des liaisons radio-télégraphiques à des vitesses de manipulation qui dépassent 200 mots à la minute et des communications radio-téléphoniques à plus de 10 000 kilomètres.

La Société Française Radio-Électriques a fourni de tels émetteurs pour l'équipement des stations de Sainte-Assise, Buenos-Aires, Pontoise (centre radio-électrique de l'Administration française des P.T.T.), Saïgon, Tananarive, Prangins (centre radio-électrique de la Société des Nations); etc.

Les Aériens Projecteurs.

Parallèlement au générateur d'ondes courtes, les ingénieurs de la Société Française Radio-Électrique mettaient au point un système aérien directif dont les remarquables qualités techniques devaient s'affirmer dès sa mise en service.

Nous avons vu plus haut qu'on était arrivé à concentrer les ondes courtes en des faisceaux étroits susceptibles d'être dirigés vers le poste correspondant. On augmente encore cet effet de concentration en disposant au poste de réception un système projecteur analogue.

Le principe suivant lequel sont construits les aériens projecteurs consiste à disposer leurs différents éléments de telle manière que les courants qui les traversent ajoutent leurs effets dans une direction déterminée et les annulent dans les autres directions. On obtient ainsi une concentration d'énergie dans une direction perpendiculaire au plan de l'aérien.

Il y avait une grosse difficulté dans la réalisation d'un pareil dispositif, celle de l'alimentation des différents éléments. Dans certains systèmes, mis au point dans d'autres pays, l'antenne est constituée par un grand nombre de fils verticaux alimentés deux à deux par les dérivations successives d'un feeder relié au poste émetteur. Cette antenne est accompagnée d'un déflecteur, qui est disposé parallèlement, derrière elle et qui comprend un nombre double de fils verticaux. L'alimentation des fils d'antenne nécessite une symétrie absolue, de façon que la longueur du feeder entre chaque brin d'antenne et l'émetteur soit constante. De plus, des dispositions mécaniques très rigoureuses doivent être prises pour assurer la tension des fils verticaux et maintenir leur parallélisme. Ces complications mécaniques et électriques conduisent à des réglages délicats assez longs.

Il faut ajouter aussi qu'un tel aérien ne peut projeter d'énergie que dans un seul sens, en avant de l'antenne; si l'on veut transmettre dans l'autre sens, il est nécessaire d'adjoindre un second rideau d'antenne symétrique du premier par rapport au rideau réflecteur.

Le système d'aérien mis au point par la Société Française Radio-Électrique est d'une extrême simplicité (M Chireix, ingénieur en chef des études et recherches, en est l'inventeur. M le professeur Mesny avait lui-même émis les idées qui ont facilité les études de M Chireix. Aussi avons-nous appelé ce système d'aérien le "Chireix/Mesny" ou "C.M", afin d'honorer ces deux savants.). Constitué par des éléments en "dents de scie", l'alimentation est faite en un seul point, au centre du rideau.

L'élément réflecteur est identique à l'élément émetteur, ce qui fait qu'un tel aérien peut projeter l'énergie à volonté dans un sens ou dans l'autre, chaque rideau pouvant jouer successivement le rôle d'antenne et de réflecteur.

En outre, la simplicité mécanique de cet aérien est très grande. Sa mise en place peut être effectuée en quelques heures. Enfin, l'effet directif est considérable : par exemple, en comparant l'effet d'un tel aérien composé de deux baies de 75 mètres de longueur à celui d'une antenne simple alimentée à la même puissance, on a trouvé que le projecteur

Chireix/Mesny multiplie l'énergie à la réception par 70 environ par une seule baie et par plus de 100 avec les deux baies.

La Réception des Ondes Courtes.

Pour la réception des ondes courtes, on a d'abord utilisé, comme on le faisait à l'émission, des montages très simples : une lampe détectrice à réaction suivie d'étages d'amplification à basse fréquence. Mais ce dispositif, dont un défaut essentiel était le manque de stabilité, s'est vite révélé insuffisant. On a eu recours ensuite au procédé du changement de fréquence qui apportait une amélioration sensible pour la réception des émissions radiotélégraphiques, mais qui se prêtait mal à la radiotéléphonie.

Le défaut de tous ces récepteurs résidait surtout dans l'insuffisance de l'amplification à haute fréquence dont la réalisation soulevait en effet de grosses difficultés techniques pour les ondes courtes.

Les ingénieurs de la Société Française Radio-Électrique, profitant des enseignements que leur avaient apportés leurs travaux sur les amplificateurs à très haute fréquence destinés aux émissions radiotéléphoniques, ont repris l'étude de la réception à ondes courtes et ont réussi à réaliser des récepteurs d'une remarquable efficacité tant pour le trafic télégraphique que pour le trafic téléphonique.

Ces récepteurs comportent, à l'entrée, une amplification considérable des ondes reçues, suivie d'un seul changement de fréquence qui fonctionne ainsi sur un signal de grande amplitude, ce qui réduit le bruit de fond à une valeur pratiquement négligeable. Un système antifading commande automatiquement l'amplification à haute fréquence suivant l'amplitude du signal reçu et permet ainsi d'obtenir une réception d'intensité constante en dépit de variations, même très importantes, dans l'amplitude des signaux. Autrement dit, si l'amplitude de ces signaux, du fait des phénomènes de propagation, tend à diminuer, l'amplification du récepteur s'accroît dans la même proportion et inversement. Grâce à ce dispositif, les communications radiotéléphoniques s'échangent sans qu'il soit pratiquement possible de distinguer de variations dans l'intensité de la voix des usagers.

Le Multiplex.

Les nécessités de l'exploitation ont entraîné les ingénieurs de la Société Française Radio-Électrique à apporter à leur matériel de nouveaux perfectionnements pour en augmenter le rendement et les facilités d'utilisation.

Au nombre de ces perfectionnements, il convient de citer le système de transmission multiplex qui a pour objet de réaliser avec un seul émetteur et un seul récepteur deux communications radiotéléphoniques et une communication radiotélégraphique sur la même longueur d'onde.

Il semble a priori que les trois émissions doivent interférer les unes avec les autres et se brouiller mutuellement. Mais il n'en est rien grâce à un procédé ingénieux, dont voici le principe.

On module l'onde porteuse de l'émetteur par la combinaison de trois bandes de fréquence correspondant chacune à l'une des communications. Les appareils de réception opèrent la sélection de ces bandes de fréquence en restituant à chacune d'elle la forme qu'elle avait au départ. Pour les communications radiotéléphoniques, les fréquences acoustiques de chacun des deux courants microphoniques sont, au moyen de modulateurs de fréquence spécialement conçus, l'une transposée, l'autre transposée et inversée dans deux bandes de fréquences distinctes et plus élevées. Quant à la communication radiotélégraphique, elle est effectuée sur deux fréquences plus élevées que celles des bandes radiotéléphoniques. A la réception, on fait subir aux communications les opérations inverses et on retrouve à la sortie des appareils les courants microphoniques convenablement séparés et reconstitués et la transmission télégraphique.

Ce procédé, dont on aperçoit l'importance pour augmenter le rendement d'une liaison à ondes courtes, présente en même temps un gros intérêt pour la radiotéléphonie.

Il permet en effet de réaliser le secret de la communication par téléphonie sans fil, puisque les fréquences acoustiques des conversations téléphoniques ayant été transposées à l'émission,

un récepteur qui n'est pas établi pour opérer la reconstitution des fréquences d'origine, ne laissera entendre que des sons inintelligibles dont le déchiffrement sera impossible.

La Téléphonie Sans Fil.

La radiotéléphonie à grande distance, rendue pratique grâce aux ondes courtes, constitue un progrès d'une telle importance, au point de vue technique comme au point de vue économique, qu'il convient de souligner spécialement ici la grande part qu'a prise l'industrie française dans sa réalisation.

Il est utile, tout d'abord, de dissiper une équivoque.

Certains s'étonnent parfois qu'il ait été nécessaire d'attendre l'avènement des ondes courtes pour donner au problème de la radiotéléphonie une solution satisfaisante. La radiodiffusion, dit-on, avait été réalisée depuis longtemps sur les ondes longues et les ondes moyennes, donc la radiotéléphonie l'était du même coup, celle-ci n'étant qu'un cas particulier de celle-là. C'est inexact. La technique de la téléphonie sans fil est distincte de celle de la radiodiffusion.

L'objet de la radiodiffusion consiste, en effet, à faire entendre au même instant à un nombre illimité d'auditeurs, distribués au hasard dans le rayon d'action de la station, les mêmes informations, les mêmes concerts. La communication entre l'auditorium de radiodiffusion et les auditeurs est "unilatérale". D'autre part, cette communication s'établit à des heures fixées à l'avance. Enfin, si, pour une raison quelconque, un auditeur éprouvait des difficultés de réception, le préjudice ne serait pas bien grave.

Au contraire, la radiotéléphonie, tout comme la téléphonie sans fil, doit permettre, à tout instant, d'établir rapidement entre deux personnes, dont l'une habite, par exemple, Paris et l'autre Buenos-Aires et qui désirent entrer en communication, une liaison bilatérale qui leur permette de tenir conversation.

Et il est désirable que cette conversation radiotéléphonique ne puisse pas être surprise par tout auditeur de T.S.F.

Pour ne pas limiter l'usage de la radiotéléphonie à quelques privilégiés, il est indispensable aussi que les usagers puissent employer, pour l'émission et la réception, leurs appareils ordinaires d'abonnés au réseau téléphonique avec fil. Ainsi une conversation entre deux correspondants doit pouvoir s'échanger aux distances les plus grandes avec autant de commodité que s'il s'agissait d'une communication entre deux abonnés d'un même réseau.

Enfin, quels que soient les deux correspondants et l'instant de leur communication, il est indispensable que l'audition ne soit troublée ni par des parasites atmosphériques ni par des variations dans l'intensité de la voix.

On aperçoit maintenant quelques-uns des problèmes délicats que la radiodiffusion n'avait pas connus et que la radiotéléphonie allait poser.

Certes, on avait bien cherché, avant que la technique des ondes courtes ne fût au point, à résoudre le problème de la radiotéléphonie en utilisant les ondes longues.

Mais celles-ci, comme nous l'avons déjà dit dans le chapitre qui leur est réservé, offrent de gros inconvénients dont peut s'accommoder dans une certaine mesure le trafic télégraphique, mais qui sont absolument intolérables pour un trafic téléphonique commercial. En premier lieu, elles sont sujettes aux parasites atmosphériques qui sont particulièrement intenses dans certains pays. Ensuite, étant donné qu'une antenne d'un poste à ondes longues rayonne son énergie dans toutes les directions et que seulement une faible partie de cette énergie se propage vers le correspondant, il faut, pour assurer un service satisfaisant avec les ondes longues, mettre en jeu des puissances considérables. Le rendement économique est donc excessivement faible et les correspondants sont obligés d'acquitter des taxes extrêmement élevées.

C'est pourquoi les services techniques de la Société Française Radio-Électrique ont travaillé pendant plusieurs années au problème de la radiotéléphonie commerciale par ondes courtes.

La mise au point de l'aérien projecteur S.F.R Chireix/Mesny, que nous avons décrit plus haut, et qui permet de concentrer en un faisceau étroit, dirigé vers le poste correspondant, la totalité de l'énergie émise par le poste émetteur et, par conséquent, d'obtenir aux grandes distances une énergie considérable avec une puissance d'émission relativement faible, allait rendre possible la mise au point définitive de la radiotéléphonie.

Dès le mois de mars 1928, la Société Française Radio-Électrique effectuait une démonstration officielle de son système, au cours de laquelle, le ministre du Commerce et des P.T.T (M.

Bokanowski) et plusieurs hauts fonctionnaires pouvaient communiquer de leur bureau ou de leur appartement, avec le gouverneur de l'Algérie et plusieurs personnalités d'Alger qui les écoutaient au moyen de leur téléphone d'abonnés.

Les résultats remarquables de cette expérience avaient été obtenus en utilisant un poste expérimental établi par les services techniques de la Société Française Radio-Électrique à Sainte-Assise, et qui pouvait être commandé par l'un quelconque des appareils téléphoniques du réseau français, avec une puissance de l'émission d'environ 10 kilowatts. La longueur d'onde de la transmission avait été choisie de 30 mètres.

La station de réception était installée dans les environs immédiats d'Alger et reliée au réseau téléphonique Nord-Africain.

Les ingénieurs de la Société Française Radio-Électrique, poursuivant leurs essais, entreprenaient au mois de juin 1928 de démontrer la possibilité d'une liaison radiotéléphonique commerciale avec Saïgon et le Japon d'une part, la République Argentine d'autre part.

Le 21 juin, la communication téléphonique était établie entre Paris et le gouverneur du Cambodge à Pnom-Penh, qui était relié à la station de réception de Saïgon par un circuit téléphonique de 250 kilomètres.

Au cours de ces démonstrations expérimentales, il n'avait pas été possible de réaliser des liaisons bilatérales faute d'installations d'émission dans les pays correspondants. La communication se faisait donc dans un seul sens.

Pour démontrer complètement la valeur de son procédé et de ses appareils la Société Française Radio-Électrique organisait, à partir du mois de juillet 1928, une nouvelle série d'essais de communications radiotéléphoniques, bilatérales cette fois, avec Buenos-Aires où l'on disposait des installations nécessaires. A cette fin, deux antennes projecteurs S.F.R Chireix/Mesny étaient installées à Sainte-Assise et orientées vers Buenos-Aires; en outre, une antenne directive pour la réception était établie à Villecresnes. La liaison était réalisée, en Argentine, par l'intermédiaire du centre de Monte Grande pour l'émission, et de Villa Elisa pour la réception. Les longueurs d'onde utilisées étaient respectivement de 15m,55 du côté français et de 15m,03 du côté argentin. Cette différence de longueur d'onde, cependant faible, permit de réaliser une liaison bilatérale dans des conditions excellentes.

Au cours de cette expérience, les ingénieurs de la Société Française Radio-Électrique pouvaient achever la mise au point d'un dispositif spécial dit "antiécho", dont le rôle est de supprimer un phénomène d'écho téléphonique fort gênant, suivant lequel les correspondants s'entendaient parler avec un certain retard.

Les résultats des essais étaient à ce point remarquables que, dès le 13 août, le directeur de la Transradio Internacional, compagnie qui exploite les liaisons radio-électriques en Argentine, écrivait à la Société Française Radio-Électrique "qu'à son avis l'inauguration commerciale du service radiotéléphonique entre la France et l'Argentine devait être envisagée dans des délais aussi courts que possible".

Toutefois, la Société Française Radio-Électrique, soucieuse de ne rien laisser au hasard et de n'ouvrir cette liaison que dans des conditions de sécurité complète, entreprenait de nouveaux perfectionnements à ses appareils.

Les essais furent repris en décembre 1928 et janvier 1929 et donnèrent des résultats définitifs. La communication radiotéléphonique bilatérale Paris-Buenos-Aires était assurée avec une très grande sécurité, les conversations s'échangeaient avec facilité et sans répétition.

Au cours de ces conversations, aucun affaiblissement ni aucun éclat n'étaient constatés dans la voix des correspondants.

Cette expérience avait un tel retentissement que de nombreuses personnalités françaises et étrangères utilisaient la communication à titre de démonstration pendant le mois de décembre et le mois de janvier.

Le 17 décembre, notamment M. Philippe Berthelot, secrétaire général du Ministère des Affaires Étrangères à Paris, s'entretenait avec M. Clinchant, ambassadeur de France à Buenos-Aires.

Au mois de janvier, un abonné du réseau de Berne était mis en communication avec la Légation Suisse à Buenos-Aires.

Ces diverses expériences permettaient de conclure à la mise au point définitive du procédé technique de la Société Française Radio-Électrique pour la radiotéléphonie transocéanique et à la possibilité d'ouvrir immédiatement la communication radiotéléphonique bilatérale non seulement entre la France et Buenos-Aires, mais encore entre l'Europe et l'Argentine.

Le 31 janvier 1929, ce service radiotéléphonique était officiellement inauguré par M Briand, ministre des Affaires Étrangères, et par M. Germain-Martin, ministre des P.T.T. qui entraient en conversation avec leurs collègues argentins.

Au cours de l'entretien, M. Briand fit à son correspondant la réflexion suivante :

"Je vous entends parfaitement, aussi bien que si vous étiez dans mon cabinet; il n'est pas possible que 11 000 kilomètres nous séparent, la carte doit mentir."

Dès le 1er février, le service radiotéléphonique France-Argentine était ouvert au public et l'on inaugurait en même temps le service radiotéléphonique entre Berne et Buenos-Aires par l'intermédiaire de Paris.

En 1930, la Société Française Radio-Électrique équipait la station de Saïgon et, le 11 avril de la même année, la liaison radiotéléphonique entre la France et sa grande colonie d'Extrême-Orient était ouverte au public.

En même temps, on se préoccupait de relier par la téléphonie sans fil la France avec ses possessions nord-africaines. L'Office des P.T.T. de l'Empire Chérifien faisait installer, par la Société Française Radio-Électrique, à Rabat, une station émettrice-réceptrice à ondes courtes pour la télégraphie et la téléphonie sans fil, et les services avec la France pouvaient être ouverts en 1931. Ils étaient effectués d'abord avec la station de Sainte-Assise de la Compagnie Radio-France, en attendant que l'Administration française des P.T.T. possédât elle-même un centre radiotéléphonique à ondes courtes.

Cette Administration chargeait, de son côté, la Société Française Radio-Électrique, d'étudier et de réaliser l'installation d'un grand centre radiotélégraphique et radiotéléphonie à ondes courtes à Pontoise destiné, en particulier, à assurer le service téléphonique sans fil avec l'Afrique du Nord, ainsi que d'un poste analogue destiné à Alger.

Toutes ces installations ont été mises en service en 1934.

Les grandes stations équipées par la Société Française Radio-Électrique.

La description des stations radio-électriques équipées par la Société Française Radio-Électrique serait d'une lecture fastidieuse. Nous nous limiterons à fournir quelques renseignements essentiels sur quelques centres radio-électriques importants.

Stations Françaises.

Centre radio-électrique de Sainte-Assise (Compagnie Radio-France)

Le 9 janvier 1921, était posée la première pierre du grand centre radio-électrique de la Compagnie Radio-France, situé à Sainte-Assise (près de Melun).

Il comprenait, dès l'origine, deux grandes stations d'émission, indépendantes l'une de l'autre.

La station transcontinentale, destinée au service radiotélégraphique à très grande distance avec :

L'Amérique du Nord;

L'Amérique Centrale;

L'Amérique du Sud;

L'Asie, etc...

La station continentale pour les liaisons radiotélégraphique dans un rayon d'environ 3 000 kilomètres.

La station transcontinentale comporte deux machines à haute fréquence de 500 kilowatts-antenne et deux machines de 250 kilowatts-antenne, pouvant fonctionner séparément ou couplées électriquement deux à deux.

La manipulation, commandée à partir du Bureau Central de Radio-France (BCR) à Paris, 166, rue Montmartre, peut être effectuée à une vitesse de plus de 100 mots par minute.

L'antenne, soutenue par 16 pylônes de 250 mètres de hauteur, forme une nappe double de 3 kilomètres de longueur qui couvre une superficie de 1 200 000 mètres carrés.

Cette antenne a exigé la mise en œuvre de 70 000 mètres de fil d'antenne proprement dit et de 16 000 mètres de câble d'acier.

La prise de terre, du système dit "à terres multiples", comprend 80 000 mètres de lignes enterrées. Elle couvre une surface de 1 800 000 mètres carrés.

L'alimentation en énergie électrique de la station est assurée soit par le Sud-Lumière, soit par deux groupes Diesel de 1 400 - 1 800 HP.

La station continentale comprend 2 machines à haute fréquence de 25 kilowatts antennes, 2 émetteurs à lampes et une usine thermique d'alimentation de 320 HP.

L'antenne du type en parapluie est supportée par un pylône de 250 mètres de hauteur.

La prise de terre, qui est complétée par un contrepoids, a exigé 50 000 mètres de fil de cuivre.

Ces installations qui constituent le centre d'émission à ondes longues de Sainte-Assise furent inaugurées officiellement le 7 août 1922, par un message adressé par M. Millerand, président de la République, à M. Harding, président des États-Unis.

Cette inauguration eut un retentissement considérable et le centre de Sainte-Assise apparut comme la plus audacieuse entreprise du domaine de la radio-électricité. La construction du matériel et des bâtiments et tous les montages et mises au point avaient duré un an et demi, délai remarquable, surtout à une époque où les moyens de production étaient assez limités pour certaines fournitures. Tous les travaux avaient été dirigés selon la méthode graphique : le délai prévu fut observé exactement et le dépassement sur le devis initial annexé au projet n'atteignit pas 2 p. 100.

Les premières émissions de la nouvelle station se révélaient d'une qualité technique exceptionnelle.

Au premier appel lancé par la station de Sainte-Assise, le 4 juillet 1922, le poste de Marion aux États-Unis répondait aussitôt dans les termes suivants :

"Vos signaux sont très forts, votre manipulation est très bonne, régularité aussi. Prière transmettre à 80 mots par minute".

De son côté, M. Marconi qui se trouvait à bord de son yacht "Elettra", en rade de New-York, adressait gaillardement à la station de Sainte-Assise le résultat de ses observations.

"Vos premiers signaux observés sur yacht "Elettra" sont nettement beaucoup plus forts que Carnarvon, régulation et manipulation excellentes, bande à 80 mots par minute très satisfaisante".

Le lendemain, M. Marconi complétait ses observations de la veille par ses plus chaleureuses félicitations, "Nous avons reçu les signaux de votre nouvelle station française sur les appareils de mon yacht "Elettra" maintenant à New-York, je vous envoie de plus grand cœur congratulations pour la puissance, la qualité et la netteté des signaux indiquant un succès marqué dans l'étude de l'établissement de la station".

Au cours de ces essais, la station de réception de l'Agence Havas établie à Buenos-Aires adressait ses observations par le télégramme suivant :

"Avons entendu hier soir et ce matin Sainte-Assise, à tout moment, avec force supérieure à toutes autres stations du monde et incomparablement plus fort que Bordeaux, fonctionner à grande vitesse avec l'Amérique-Nord".

Ces quelques attestations permettent d'apprécier quel degré de perfection avait atteint, déjà en 1922, la technique de la Société Française Radio-Électrique.

Les stations à ondes courtes - Les progrès dans l'emploi des ondes courtes pour la radiotélégraphie et la radiotéléphonie ont déterminé, en 1926-1927, la Compagnie Radio-France à doter son centre d'émission de Sainte-Assise de postes à ondes courtes :

Deux émetteur doubles radiotélégraphiques permettant d'effectuer 4 émissions simultanées, Un émetteur à maître oscillateur à quartz prévu pour deux longueurs d'onde utilisables successivement et pouvant fonctionner indifféremment en télégraphie ou en téléphonie.

La puissance totale absorbée par ce centre à ondes courtes est de 200 kilowatts environ.

Les émetteurs ci-dessus actionnent 16 aériens réflecteurs qui sont orientés respectivement vers l'Amérique du Sud, l'Extrême-Orient, les États-Unis, la Syrie, l'Indochine, la Chine, le Japon et l'Europe Orientale.

Le développement de l'exploitation a conduit à installer, en outre, dans le bâtiment de la station transcontinentale un émetteur à ondes courtes à maître oscillateur à quartz, pouvant fonctionner soit en radiotélégraphie, soit en radiotéléphonie.

Cet émetteur alimente deux antennes réflecteurs orientées respectivement vers l'Amérique et vers l'Indochine.

Enfin, l'ouverture du service radiotéléphonique avec l'Amérique du Sud a nécessité la création d'une station spéciale équipée avec un émetteur à quartz alimentant un réflecteur orienté vers Buenos-Aires.

Les stations d'émission du centre de Sainte-Assise, avec leurs antennes, couvrent une superficie de 450 hectares.