



ACTUALITES

**SCIENTIFIQUES
ET INDUSTRIELLES**

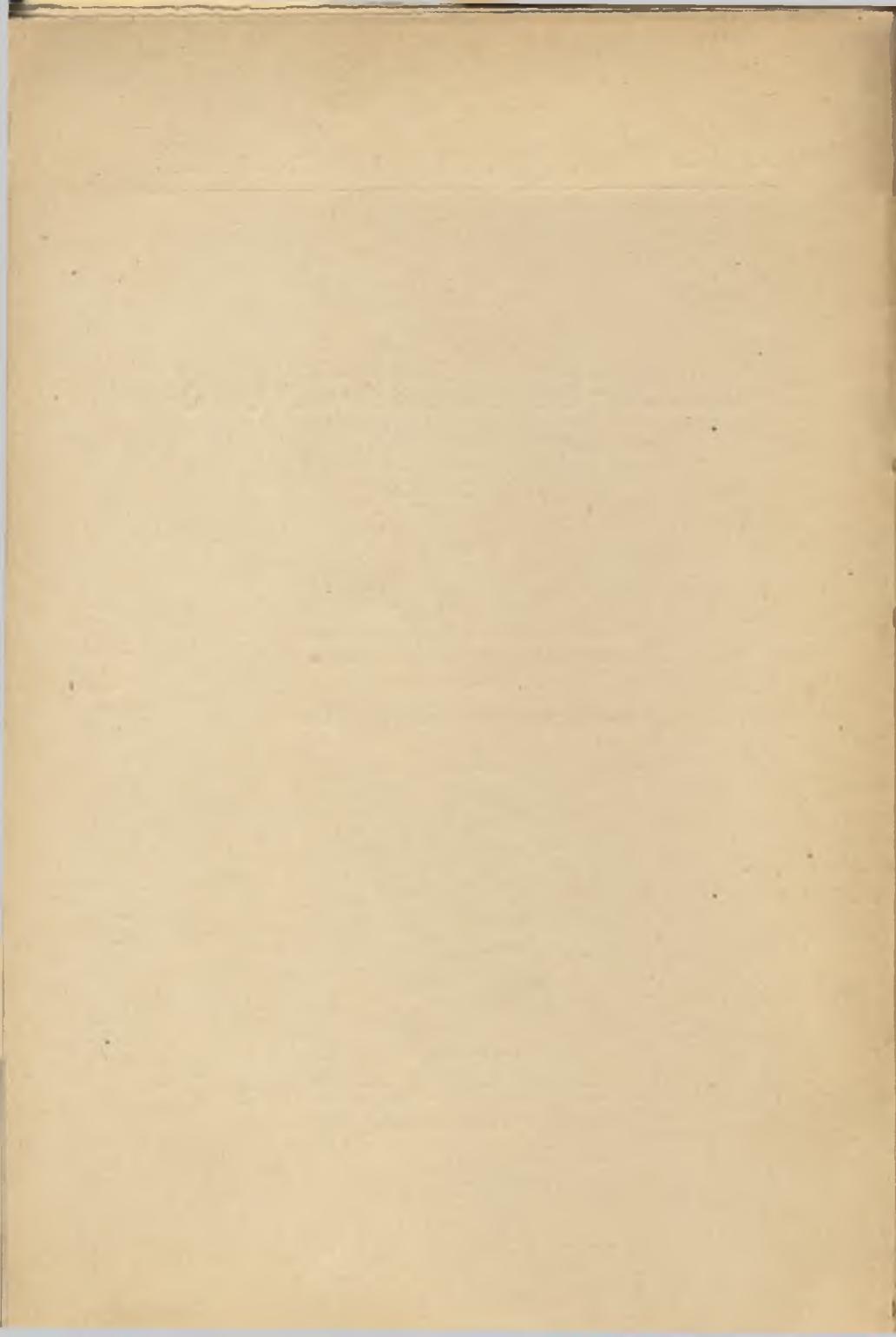
Pierre DAVID

LES

RADIO-COMMUNICATIONS

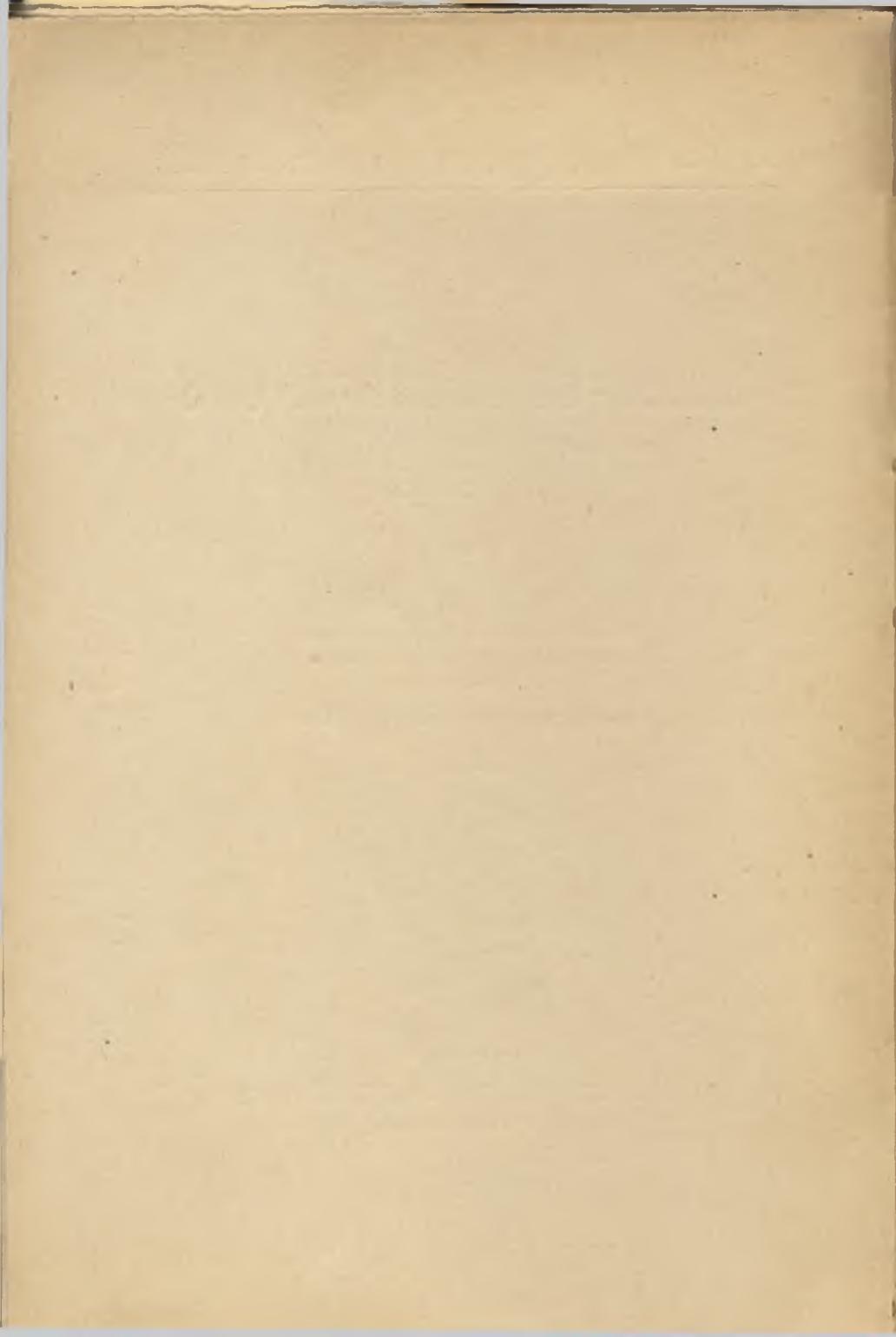
MODERNES

J.B. BAILLIÈRE & FILS



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

**LES RADIO-COMMUNICATIONS
MODERNES**



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

Nouvelle collection de volumes in-8 écu de 150 à 200 pages, avec figures.

Prix de chaque volume : 16 à 20 fr.

Volumes en vente :

- Les Effets électriques de la lumière et leurs applications modernes**, par P. HEMARDINOUE. 1 vol. in-8 de 104 pages, avec 44 figures. 16 fr.
- Les nouvelles méthodes de prospection**, par Henri MAGER, 1 vol. in-8 de 176 pages avec 33 figures 20 fr.
- L'Anaphylaxie**, par Auguste LUMIÈRE. 1 vol. in-8 de 158 pages avec 19 figures. 18 fr.
- La Recherche des Eaux souterraines**, par Alex PALL. 1 vol. in-8 de 189 pages, avec 60 figures 20 fr.
- Sénilité et Rajeunissement**, par Auguste LUMIÈRE, 1 vol. in-8 de 160 pages, avec 24 figures 18 fr.
- L'Industrie moderne des Parfums**, par H. TATU. 1 vol. in-8 de 168 pages, avec 26 figures 18 fr.

A LA MÊME LIBRAIRIE

- Radiotechnique générale**, par C. GUTTON, professeur à la Faculté des Sciences de Nancy. 1929. 1 vol. gr. in-8 de 593 pages avec 304 figures. Broché. 125 fr. — Relié 140 fr.
- Manuel de Télégraphie et de Téléphonie**, par M. LECLERC, ingénieur des Arts et Métiers. 1924, 1 vol. in-8 de 317 pages avec 248 figures, cartonné (*Bibliothèque professionnelle*) 19 fr.
- Manuel de T. S. F.**, par M. LECLERC. 1924, 1 vol. in-8 de 260 pages, avec 214 figures, cartonné (*Bibliothèque professionnelle*). 19 fr.
- Appareils et Installations télégraphiques**, par E. MONTORIOL, professeur à l'École supérieure des Postes et Télégraphes. Préface de M. BLONDEL, membre de l'Institut. 1921, 1 vol. gr. in-8 de 625 pages, avec 449 fig. (*Encycl. d'Electricité industrielle*). Broché. 80 fr. relié. 95 fr.
- Les Systèmes de Télégraphie et de Téléphonie, Origine, évolution, état actuel**, par E. MONTORIOL. 1922, 1 vol. gr. in-8 de 723 pages, avec 737 fig. 60 fr.
- Appareils et installations téléphoniques**, par M. REYNAUD-BONIN, professeur à l'École supérieure des Postes, Télégraphes et Téléphones. 1923, 1 vol. gr. in-8 de 487 pages avec 292 figures. (*Encycl. d'Electricité industrielle*). Broché. 75 fr. ; relié. 90 fr.

Ajouter pour frais d'envoi : France, 10 % ; Etranger, 15 %.

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

LES
RADIO-COMMUNICATIONS
MODERNES

PAR

Pierre DAVID

DOCTEUR ÈS-SCIENCES, INGÉNIEUR EN CHEF
AU LABORATOIRE NATIONAL DE RADIO-ÉLECTRICITÉ

avec 72 figures intercalées dans le texte



PARIS
LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS
19, RUE HAUTEFEUILLE, 19

1932

LES RADIO-COMMUNICATIONS MODERNES

INTRODUCTION

C'est en 1899 que fut transmis, à travers la Manche, le premier « message par T.S.F. »

Trente ans après, les radio-communications, prodigieusement multipliées, sont devenues chose banale.

Nous trouvons tout naturel d'envoyer des télégrammes aux navires en mer, de téléphoner sans fil à l'autre bout du monde, et d'entendre sortir de notre haut-parleur les concerts de Londres, de Vienne ou de Milan.

Cette possibilité de communiquer, sans aucune liaison matérielle, à d'énormes distances ; de faire entendre sa voix simultanément à des peuples entiers — ce qui, pendant longtemps, avait passé pour un rêve, dépassant les imaginations de Jules Verne et de H.G. Wells — est-elle donc à ce point entrée dans nos habitudes, que nous n'ayons plus pour elle aucune curiosité ?

Pour tous ceux qui n'ont pas entièrement perdu la faculté de s'étonner, n'est-il pas intéressant de jeter un coup d'œil sur cette merveilleuse évolution, pour en saisir du moins les grandes lignes ?

Je me suis proposé de guider le lecteur à travers quelques-unes de ces choses surprenantes. En quelques heures — et, je l'espère, sans fatigue — nous visiterons les postes de T.S.F. modernes ; nous apprécierons les récents progrès ; nous apercevrons l'organisation complexe de tous ces services ; et nous suivrons les ondes électriques dans leur propagation capricieuse entre la terre et le ciel.

Donner les éléments d'une vue générale sur les radio-communications modernes : tel est le but de ce petit livre (1).

(1) Ajoutons, pour prévenir une méprise possible, que l'on ne trouvera pas ici les renseignements pratiques pour monter ou dépanner un poste, entretenir les accumulateurs, percer l'ébonite sans la casser, ou souder les connexions sans se brûler les doigts. L'art délicat d'accommoder la radiotechnique en recettes de cuisine a fait l'objet de trop d'ouvrages pour que nous désirions en augmenter le nombre.

CHAPITRE PREMIER

LA PROPAGATION DES ONDES

Premières études. — La propagation des ondes électromagnétiques autour de la terre est sans doute l'un des sujets qui ont ménagé le plus de surprises aux physiciens et aux ingénieurs.

Tout au début, il n'était pas le moins du monde évident que les ondes puissent contourner la sphéricité de la Terre. Leur « diffraction » serait-elle suffisante pour que la réception demeure possible lorsque l'un des postes s'éloignait au-dessous de l'horizon, et progressivement à des distances croissantes jusqu'aux antipodes ? On en doutait. L'étude théorique du problème tenta d'éminents mathématiciens, Henri Poincaré, Watson, Sommerfeld... etc. ; la loi d'affaiblissement trouvée par eux amenait à des conclusions nettement pessimistes.

Néanmoins, l'expérience fut tentée entre l'Angleterre et l'Amérique par Marconi, le 12 décembre 1901, avec des dispositifs très remarquables pour l'époque : et elle réussit. Sous réserve d'une puissance suffisante, la possibilité des radio-communications à grandes distances était démontrée. Le temps de constituer des compagnies et d'établir le matériel nécessaire, et les premières liaisons transatlantiques commerciales par T.S.F. entraient en service.

Les portées atteintes augmentaient lentement ensuite, en même temps que l'on cherchait, par diverses mesures, à préciser quantitativement l'énergie reçue. En 1906, Tissot montrait que le champ électromagnétique variait comme l'inverse de la distance, tant que celle-ci n'était pas trop grande. Au-delà, il décroissait de plus en plus rapidement. Cependant une mission française, à bord de l'Aldebaran, observait en 1919-20 le curieux phénomène du renforcement à l'antipode exact du poste émetteur.

Ces diverses recherches permettaient d'établir, avec une approximation suffisante pour la prévision des résultats pratiques, la loi d'affaiblissement des ondes alors employées, c'est-à-dire des ondes longues.

Propagation des ondes longues. — Pour les ondes de longueur comprise entre quelques centaines de mètres, et vingt mille mètres, la loi de propagation jusqu'à plusieurs milliers de km peut être résumée par diverses formules, par exemple celle d'« Austin-Cohen » (1). Le champ reçu dépend :

1° Naturellement, de la *puissance à l'émission*, c'est-à-dire de la hauteur « effective » ou « de rayonnement » de l'antenne d'émission, et de l'intensité que l'on y envoie ;

2° Naturellement aussi, de la *distance* ; un premier affaiblissement est proportionnel à l'inverse de la distance ; mais en outre, une absorption supplémentaire est produite par le sol, qui dépend :

3° de la *nature du sol* : l'onde se propage d'autant mieux que le sol est meilleur conducteur ; par suite la portée est la plus grande sur mer ; puis, sur sol plat relativement humide (plaines cultivées, etc.) ; enfin, sur sol sec (sable déserts...) ou très accidenté (montagnes...) ;

4° Enfin, de la *longueur d'onde* ; l'affaiblissement est plus marqué au fur et à mesure que l'onde est plus courte.

Hâtons-nous de dire que ceci ne concerne qu'une valeur moyenne pour le champ de jour, et seulement pour les ondes longues ; nous allons voir combien la rigidité de ces formules est adoucie en fait.

Variations du champ reçu. — Il y a, tout d'abord, des écarts momentanés, des fluctuations autour de la valeur moyenne ainsi définie.

(1) Voici cette formule : appelant E le champ reçu, en microvolts par mètre ; h_e la « hauteur de rayonnement » de l'antenne d'émission, en mètres ; I_e l'intensité à l'émission, en ampères ; d la distance en kilomètres ; λ la longueur d'onde en kilomètres ; α un coefficient qui vaut 0,0015 sur mer, 0,01 à 0,02 sur bon sol, 0,05 et plus sur mauvais sol, on a :

$$E = \frac{120 \pi h_e I_e}{\lambda d} \times e^{\frac{\alpha d}{\lambda 0,6}}$$

Bien entendu, cette formule ne rend pas compte du renforcement aux antipodes.

De jour, ces variations sont relativement peu importantes ; a fig. 1 en donne une idée ; elles ne sont pas sans relation avec les circonstances météorologiques ou atmosphériques, avec l'heure, la saison...

Mais surtout, ces variations deviennent importantes la nuit. Il y a perturbation, et fréquemment affaiblissement, aux environs du coucher du soleil ; puis, renforcement irrégulier, d'autant plus marqué que l'onde est plus courte. En-dessous de 500 m., le maximum du champ « de nuit » dépasse tellement la valeur diurne, qu'il ne semble plus y avoir aucune relation entre les deux ; et ce maximum nocturne ne semble plus fonction de la distance, mais seulement de la puissance à l'émission ; on l'évalue actuellement, d'une façon grossière,

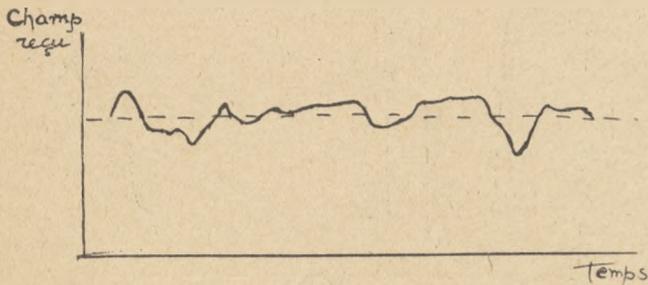


Fig. 1. — Type de variation de l'intensité de champ des ondes longues

à environ 0,1 à 1 millivolt par Kilowatt de puissance rayonnée, jusqu'à des distances considérables.

Ceci serait fort utile si ce renforcement était régulier ; malheureusement, il est loin de l'être, et se manifeste au contraire capricieusement à intervalles plus ou moins éloignés (quelques secondes à quelques minutes, par exemple), entre lesquels le champ retombe à sa valeur normale de jour, beaucoup plus faible. (Fig. 2). C'est l'évanouissement ou « fading ». De telle sorte que ce phénomène, très amusant pour les amateurs de radio-diffusion qui cherchent des records ou qui ne sont pas difficiles sur la qualité de leurs auditions, est tout à fait inutilisable et même nuisible pour les liaisons permanentes dont on exige la sûreté et la stabilité. Aussi cherche-t-on à le supprimer ou à le corriger, et nous y reviendrons.

Perturbations parasites. — Une autre question touchant de près à la propagation, est celle des perturbations parasites, d'origine plus ou moins connue, qui impressionnent les récepteurs.

Tant que l'on n'utilisa pas d'appareils très sensibles, ces perturbations n'étaient que rarement gênantes ; mais lorsque la lampe à trois électrodes vint permettre une amplification presque indéfinie des signaux reçus, on s'aperçut vite que la portée n'était plus limitée par la valeur *absolue* de ceux-ci,

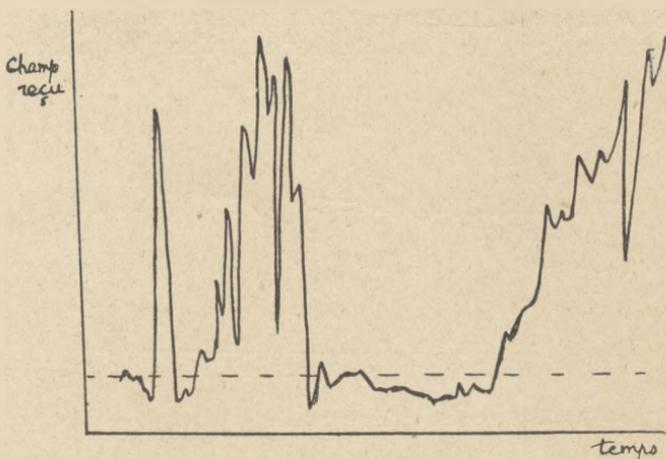


Fig. 2. — Type de variation nocturne du champ des ondes de 500 m. et au-dessous.

mais par leur valeur *relative* vis-à-vis de ces perturbations qu'on ne pouvait éliminer. Un grand nombre de dispositifs prirent naissance dans l'imagination des inventeurs pour « supprimer » ces parasites ; mais il fallut reconnaître que les meilleurs d'entre eux étaient tout au plus capables de fournir une protection bornée, une amélioration médiocre. Lorsque le signal tombe au-dessous d'un certain seuil, il est « couvert » par les parasites, dont les claquements ou grondements assourdisent l'opérateur, déclenchent à tort les relais..., bref empêchent le trafic.

Certaines de ces perturbations sont « artificielles », c'est-à-

dire résultent de l'activité humaine, tout spécialement des innombrables phénomènes électriques utilisés dans la cité moderne : dynamos et moteurs avec bagues et collecteurs ; appareils à décharge gazeuse toujours plus ou moins irrégulière (tubes à néon, tubes à rayons X...) ; contacts interrompus ou irréguliers (interrupteurs automatiques, sonnettes, vibrateurs, trolets et frotteurs des tramways, et trains électriques...) ; enfin certains appareils médicaux, et les équipements d'allumage des moteurs à explosion, ne sont rien d'autre que des producteurs d'étincelles, c'est-à-dire des émetteurs à ondes amorties. Dans une grande ville, il y a toujours de nombreuses sources de ce genre en action, et les ébranlements qui en résultent se transmettent le long des lignes d'éclairage, de force et de téléphone, des conduites métalliques... etc., faisant ainsi pénétrer partout une véritable cacophonie électrique rendue audible pour nous par le moindre appareil récepteur un peu sensible.

Contre ces perturbations, il est bien difficile de se protéger ; l'action la plus efficace est de les tarir à leur source même, c'est-à-dire de doter *tous* les appareils qui les produisent, de combinaisons convenables (self-inductions, résistances, capacités) empêchant leur production ou leur propagation. Ces combinaisons protectrices sont assez simples pour que l'on puisse en espérer la généralisation ; mais le nombre immense des applications de l'électricité, fait de cette généralisation un travail considérable, soulevant des problèmes non seulement techniques, mais encore juridiques et psychologiques. Son principe semble pourtant admis, et des efforts sérieux sont faits dans divers pays pour y parvenir.

Bien entendu, ces parasites ne sont pas à craindre et la réception est beaucoup meilleure, quand on se trouve à la campagne loin de toute exploitation électrique, — « *o fortunatos agricolas* », disait déjà Virgile, — et c'est pourquoi les grandes compagnies de T.S.F. édifient toujours leurs centres de réception à quelque distance des villes desservies.

Mais il existe une seconde catégorie de parasites, sur la production desquels on est absolument sans action : ce sont les « atmosphériques », sans nul doute attribuables à des décharges entre couches d'air ou nuages électrisés. Ils ne sont pas sans rapports avec les orages visibles, qui en amènent toujours plus ou moins ; mais enfin, leur violence n'est pas

proportionnelle à celle des éclairs, et souvent ils se produisent sans autre manifestation orageuse. Ils dépendent de l'heure, du lieu et de la saison ; plus intenses l'après-midi (du moins en France), que la nuit ou le matin ; plus, l'été que l'hiver ; plus, vers l'équateur que dans les pays septentrionaux. Sans que l'on sache pourquoi, certaines régions en sont moins affectées que d'autres, et conviennent par là spécialement à l'installation des centres de réception : on finira peut-être par dresser des cartes de l'intensité des parasites sur le globe.

Quant à leur nature, elle est d'autant plus difficile à préciser que ce sont des phénomènes essentiellement irréguliers ; tout ce qu'on en peut dire, c'est qu'ils comprennent des chocs élémentaires, « aperiodiques » très brefs (millionième ou millième de seconde), et très amortis ; mais qui, souvent, se succèdent par groupes dont les effets se recouvrent plus ou moins.

Application pratique de ces résultats. — De tout ceci l'on pouvait déduire un certain nombre de conséquences pour l'établissement rationnel des radio-communications.

Tout d'abord, comme les ondes se propagent d'autant mieux qu'elles sont plus longues ; mais comme, d'autre part, elles sont également plus coûteuses à émettre (antennes plus importantes et cependant de moindre rendement) ; il y a, pour chaque liaison, un équilibre à tenir et une *longueur d'onde optimum* la plus économique de toutes. Cette valeur est d'aurant plus grande que la distance à couvrir est elle-même plus élevée ; et c'est pourquoi, de 1910 à 1920, les puissantes stations successivement édifiées pour des portées progressivement croissantes, furent équipées avec des ondes de plus en plus longues : de 5.000 à 10.000 mètres, puis 15.000, 18.000, et même pour la station de Bordeaux-Lafayette, 23.000 mètres.

L'avènement des ondes très courtes, dont nous allons parler dans un instant, a fait cesser cette « course aux plus longues ondes », mais le principe garde sa valeur, à une échelle plus réduite, en ce qui concerne par exemple l'établissement des *réseaux de radio-diffusion*.

Si, conformément à la tendance actuelle, on se borne à considérer la propagation de jour, parfaitement régulière, assurant seule un service impeccable — sans vouloir se fier aux renforcements instables de la nuit — alors la formule

de propagation, graphiquement interprétée par la fig. 3, montre l'avantage des ondes longues. Les courbes montrent l'affaiblissement du champ reçu jusqu'à des distances de quelques milliers de Km., pour une puissance rayonnée de 1 kilowatt. (prendre garde au fait que les échelles sont toutes deux logarithmiques). Pour $\lambda = 20.000$ m. on a très sensible-

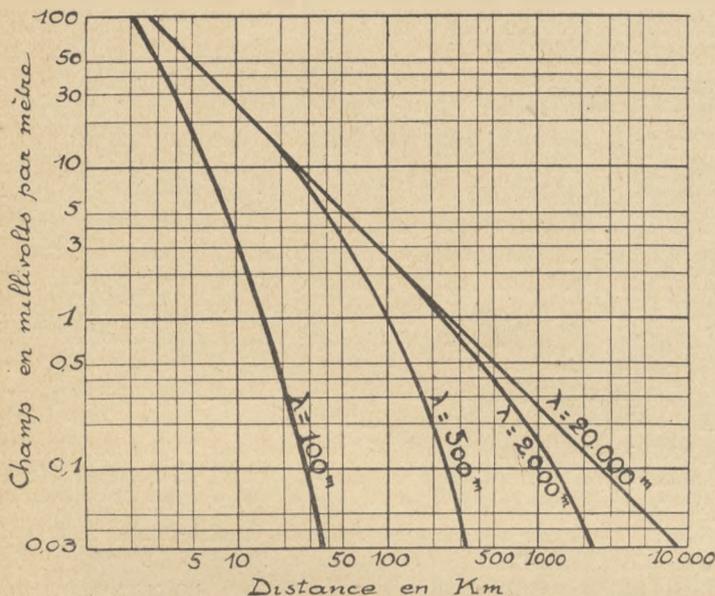


Fig. 3. — Affaiblissement des ondes de différentes longueurs, avec la distance. (Propagation le long du sol ; puissance rayonnée 1 kw).

ment l'affaiblissement en raison inverse de la distance, c'est-à-dire avec nos échelles logarithmiques, une droite. Pour $\lambda = 2.000$ m., il en est de même jusque vers 100 km. ; mais, au-delà, la chute est plus rapide ; à 2.000 km. le champ n'est plus guère que le tiers du précédent ; pour rattraper cette différence par une augmentation de puissance à l'émission, il faudrait que celle-ci soit de $3^2 = 9$ fois, ce qui serait un véritable handicap.

Avec $\lambda = 500$ m., la chute est encore bien plus marquée ; vers 250 km le champ est réduit au dixième de sa valeur,

avec 2.000 m. ce qui est pratiquement impossible à compenser par une augmentation de puissance (il faudrait 100 fois...). Autrement dit, les ondes « courtes » de la radio-diffusion, bien qu'elles puissent donner lieu, par moments, à des réceptions de nuit extrêmement lointaines, sont incapables d'assurer un service *permanent de haute qualité* à plus de 200 ou 300 km. ; c'est pourquoi les attributions d'ondes plus longues sont très recherchées par les différents pays (1), et c'est aussi pourquoi les Etats-Unis, après s'être cantonnés longtemps dans la gamme de radio-diffusion de 200 à 600 m., envisagent d'imiter la vieille Europe en adoptant, eux aussi, quelques ondes de l'ordre de 1.500 m. pour compléter leur réseau dans les campagnes.

Enfin, avec les ondes de 100 m., le graphique montre combien la propagation au ras du sol est médiocre, et que ces ondes seraient utilisables seulement aux très faibles distances. Fort heureusement, intervient ici une propagation toute différente, découverte plus récemment, et beaucoup plus favorable : c'est elle que nous allons maintenant étudier.

Propagation et grandes portées des ondes courtes. — Les ondes que l'on appelle maintenant « courtes », c'est-à-dire de longueurs inférieures à 100 mètres, ne sont pourtant point les dernières venues dans la radio-technique ; c'est, en effet, par leur moyen, que le physicien allemand Hertz vérifia, vers 1890, l'existence même des « ondes électro-magnétiques », base de toute T.S.F.

Si, dans les débuts, elles ne furent pas commercialement utilisées, c'est que leur production par l'étincelle oscillante du condensateur ne se prêtait pas à l'obtention de puissances élevées ; et que, d'autre part, les récepteurs très peu sensibles de cette époque ne permettaient absolument pas de mettre en évidence des portées appréciables.

Lorsque parut vers 1917, la lampe à trois électrodes, permettant l'émission entretenue et la réception « hétérodyne » jusqu'aux longueurs d'onde les plus faibles — 1,5 mètre, ainsi que le montrait immédiatement Gutton — certains avantages manifestes poussèrent les laboratoires à mettre au point l'utilisation pratique de ces ondes ; d'abord c'était là

(1) Voir chap. IV, fig. 60.

une gamme nouvelle inoccupée ; ensuite les organes des appareils, les antennes nécessaires, étaient particulièrement réduits et par là convenaient à merveille aux postes portatifs ; enfin, l'on pouvait fabriquer des réflecteurs et communiquer par faisceaux dirigés, ce qui était très intéressant pour l'économie de la puissance et le secret de la transmission. Ainsi, dès 1920-21, la Radiotélégraphie militaire, en France, des expérimentateurs comme Franklin en Angleterre, Dunmore et Engel aux Etats-Unis, travaillaient avec succès la question, obtenant des résultats pratiques susceptibles d'exploitation.

Seulement, à cette époque, l'on n'espérait obtenir que des portées très limitées ; car on ne pouvait, jusqu'à preuve du contraire, faire autrement que d'extrapoler les observations rappelées ci-dessus, en vertu desquelles l'affaiblissement des ondes le long du sol croissait très vite avec leur fréquence. Cette circonstance même, pour fâcheuse qu'elle fût, ne laissait pas d'avoir un intérêt, en conférant aux radio-communications sur ondes courtes une discrétion intéressante pour les usages militaires et navals.

C'est là qu'une seconde surprise, vraiment capitale, attendait les techniciens : les ondes courtes étaient, contrairement à toutes prévisions, *capables de grandes portées*, et même dans des conditions à ce point favorables qu'elles dépassaient de beaucoup les ondes précédemment employées...

Les premières observations de ce curieux phénomène furent faites par les « amateurs », pour la plupart jeunes gens ayant le goût de la manipulation de physique, et que l'on avait autorisés à expérimenter vers $\lambda = 200$ m. Avec leurs appareils très simples « bricolés » de leurs mains, ils avaient réussi des portées déjà très intéressantes, lorsqu'en février 1922, ne doutant de rien, ils entreprirent des « essais transatlantiques » ; la réussite de ces expériences (plusieurs postes américains entendus en Europe) suffisait à montrer que nos idées sur la propagation des ondes courtes avaient besoin de révision.

Sans doute cette première réussite avait un caractère exceptionnel ; mais déjà l'hiver suivant, la performance devenait plus courante ; et le 3 avril 1923, la Radiotélégraphie Militaire française mettait en service un poste d'expériences sur l'onde révolutionnairement courte de 45 m. ; ce poste était entendu

dans toute la France avec une régularité, sinon parfaite, du moins déjà très édifiante ; la même année, les postes de Poldhu, en Angleterre ; de Pittsburgh, aux Etats-Unis, donnaient lieu à des observations analogues. Enfin, les amateurs, renouvelant leurs essais transatlantiques au cours de l'hiver 1923-24 en se guidant sur ces résultats, abaissaient leur longueur d'onde à 100 m. environ, ce qui leur valait un succès triomphal : communication *bilatérale* parfaitement sûre pendant plusieurs heures.

La possibilité de liaisons à très grandes distances sur ondes courtes se trouvait donc confirmée. Et aussitôt, dans tous les pays, les chercheurs se précipitaient à l'étude de ce nouveau champ d'action, en vue de déterminer les lois nouvelles de cette quasi-miraculeuse propagation.

Lois de propagation des ondes courtes. — Lois ? Peut-être, mais si complexes, qu'il n'a pas été jusqu'à présent en notre pouvoir de les formuler avec précision ; et nous devons nous contenter de prévoir très vaguement les conditions de fonctionnement des liaisons à ondes courtes, en nous tenant toujours prêts à les rectifier, d'après l'expérience acquise.

C'est que la propagation des ondes courtes est extrêmement variable et capricieuse. Voici les principaux éléments de ces variations :

1° Les « évanouissements » ou « fading » dont nous avons déjà parlé pour les ondes de quelques centaines de mètres, sont ici bien plus prononcés et bien plus rapides encore. En une fraction de seconde, le champ peut varier dans le rapport de 1 à 1.000 ; de telle sorte que, non seulement il devient impossible de lui attribuer une valeur moyenne ou un simple ordre de grandeur, mais encore sa réception soulève des difficultés spéciales, puisque l'appareil d'utilisation (relais inscripteur, téléphone ou haut-parleur) ne saurait s'accommoder de variations aussi étendues, qui dénaturent complètement le signal.

2° En plus de ces variations d'un instant à l'autre, il existe des modifications plus durables, suivant l'heure, le lieu, la saison et même l'année. Telle onde assurant un service parfait de jour, sera incapable de l'effectuer de nuit, même avec une puissance cent fois plus forte ; et inversement. Telle autre utilisable l'hiver ne le sera plus l'été ; enfin, des modifications

s'étendant sur une période de plusieurs années, semblent se manifester depuis le peu de temps où l'étude est possible : il semble bien que les années 1922-23 où la propagation des ondes courtes fut découverte, étaient exceptionnellement favorables, et que bien des performances réussies alors, échoueraient en 1930-31.

Les orages magnétiques, les éclipses, et toutes sortes d'autres phénomènes intéressant l'astronomie ou la physique du globe, exercent également une action.

Enfin certaines régions, certaines latitudes, peuvent être défavorisées sans raisons apparentes.

Il n'existe donc pas, comme pour les ondes longues, une

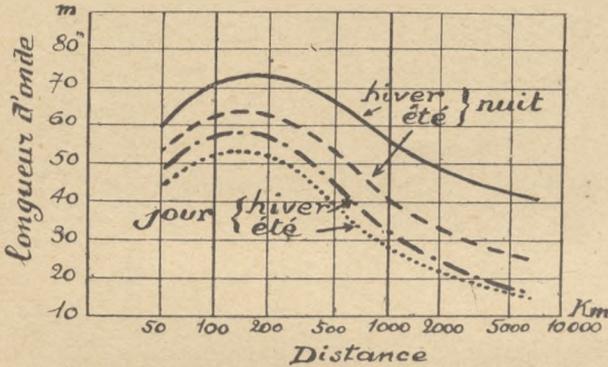


Fig. 4. — Longueur d'onde, approximativement la meilleure pour une portée donnée.

« onde optimum » pour une portée donnée ; cela dépend d'une foule de circonstances. A titre de première indication, toujours sujette à révision, la fig. 4 montre, d'après divers travaux récents, la valeur approchée de la longueur d'onde à employer suivant la distance, l'heure et la saison. On voit que la variation est complexe, mais que dans tous les cas il faut une onde plus courte l'été que l'hiver, et le jour que la nuit.

Ces changements d'onde, ainsi requis au cours de l'exploitation d'un poste, compliquent évidemment sa construction et l'attribution des fréquences, dans les règlements internationaux.

3° Enfin, quand on s'éloigne progressivement de l'émetteur,

on n'observe nullement la décroissance régulière caractéristique des ondes longues. Le champ peut être aussi fort très loin, que très près ; il peut même être plus fort, c'est-à-dire

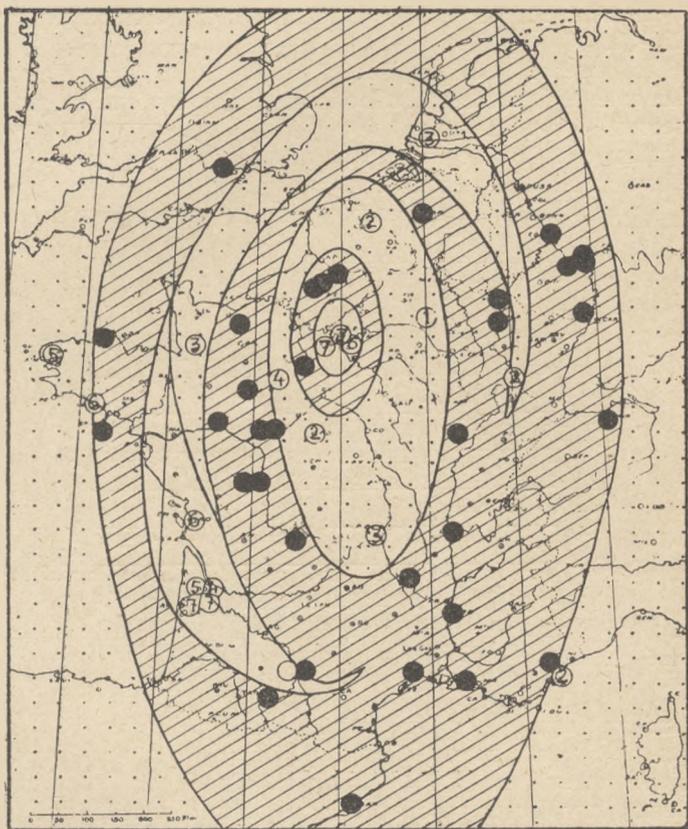


Fig. 5. — Carte donnant un exemple de réception irrégulière des ondes courtes. Un cercle noir signifié « pas entendu » ; les chiffres dans les cercles blancs indiquent des intensités de réception (de 1 à 9). Les « zones de silence » sont hachurées.

que l'on observe fréquemment autour de l'émetteur une ou plusieurs « zones de silence » ou « anneaux de silence », dans lesquels la réception est difficile ou impossible, tandis qu'elle

redevient *très bonne au-delà* de ces zones. (C'est précisément cet effet bizarre que les essais de la Radiotélégraphie Militaire, en 1923, avaient pour but de rechercher pour la première fois ; à cet effet certaines émissions étaient systématiquement dirigées vers le haut).

La fig. 5 reproduit une carte des réceptions signalées à l'Office National Météorologique, de son émission faite à Paris, le 27 juillet 1929 à 20 h. 10 sur onde de 24 m. ; l'absence totale de réceptions dans les zones hachurées, où se trouvaient pourtant des correspondants, constitue un exemple très net des « anneaux de silence ».

On a essayé de trouver une relation entre la longueur d'onde et les limites interne et externe des zones de silence ; on a ainsi observé que ces zones s'étendent d'autant plus loin que l'onde est plus courte ; c'est la raison pour laquelle la fig. 4 montrait que les ondes les plus courtes conviennent seulement aux très grandes portées. Mais ici encore, nous avons affaire à un phénomène très capricieux, changeant rapidement avec l'heure, le jour, la saison ; il est donc inutile d'espérer le soumettre à la rigueur d'une formule précise. En particulier, les observations systématiques de Bureau à l'Office National Météorologique, ont fréquemment permis de suivre la déformation de zones de silence s'étendant progressivement sur l'Europe, ou, au contraire, se résorbant et disparaissant en quelques heures. La suite des études nous permettra peut-être un jour de connaître la raison de ces changements.

Échos. — Il nous faut accorder une mention particulière au phénomène des « échos », l'une des plus curieuses observations auxquelles ait donné lieu la propagation des ondes courtes.

On s'est aperçu en effet, assez récemment, qu'un même signal, suffisamment bref, émis sur ondes courtes, pouvait être reçu *plusieurs fois de suite*, à des intervalles plus ou moins grands ; comme si le signal normal était suivi d'« échos » successifs. On a distingué deux types principaux de ces « échos » (1) :

1° Les échos « *tour du monde* », séparés par de courtes frac-

(1) Sans parler d'échos espacés de quelques centièmes ou millièmes de secondes, et provenant de réflexions successives sur la couche de la haute atmosphère.

tions de seconde (au maximum 0,14 seconde, environ) ; ces échos sont certainement dûs au fait que la Terre est ronde et que par suite, pour aller d'un point A à un point B de sa surface, il existe *deux* arcs de grand cercle (fig. 6) ; le signal peut donc arriver par le chemin le plus court **1**, puis l'écho par le chemin le plus long, **2**.

En raison du faible amortissement des ondes dans leur parcours, par rapport aux variations accidentelles ou « fading » l'écho peut avoir le même ordre de grandeur que le signal normal et par suite, dans les manipulations rapides, perturber la réception (par un phénomène analogue à ce qui se produit pour les sons dans les salles ayant une mauvaise acoustique).

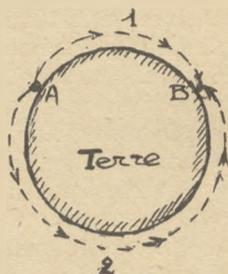


Fig. 6. — Production des échos « tour du monde ».

On a donc cherché à supprimer cet effet en employant des émissions et des réceptions *dirigées*, c'est-à-dire ayant un maximum d'efficacité dans un sens et un minimum dans le sens opposé. Même avec ce dispositif, l'ingénieur allemand Quaeck a observé, non sans surprise, que dans certains cas, les échos subsistaient avec un retard systématique de 0,137 seconde ; cette durée correspondant au parcours de 40.000 km sensiblement à la vitesse des ondes (300.000 km. par seconde),

il fallait en conclure que l'onde avait atteint une première fois le récepteur, puis, faisant le tour complet de la Terre, l'avait impressionné une seconde fois. On en a même observé qui avaient fait *deux* « loopings » complets... ; notre planète est décidément trop petite pour la portée de nos appareils émetteurs !

2° Les échos « retardés » sont caractérisés par des intervalles beaucoup plus grands, de l'ordre de *plusieurs secondes* : 8, 10, 30 et plus.

Très rares en Europe, ils ont été observés en 1929 dans les mers du Tonkin par une mission française (Galle, Talon) avec une force et une régularité positivement incroyables, pendant des heures et des jours.

Ce phénomène a beaucoup intrigué les physiciens. En effet, la vitesse des ondes est très bien connue, et les échos « tour

du monde » en sont une vérification. Or, à 300.000 km par seconde, un retard de 10 secondes par exemple représente un parcours de 3 millions de Km.; mettons 1 million et demi à l'aller, autant au retour ; l'onde serait donc sortie de l'atmosphère terrestre et serait allée, dans l'espace, environ trois fois plus loin que la lune. Pour en revenir, il faudrait qu'elle ait rencontré là une couche réfléchissante ; mais constituée par quoi ? Si l'on admet qu'il se trouve, à ces distances, des particules électrisées, on obtient ainsi une très intéressante confirmation de certaine hypothèse émise par Carl Störmer, depuis plusieurs années, pour expliquer le mécanisme des aurores boréales. Et cette rencontre est tout à fait séduisante pour la légitimité de son hypothèse. Cependant, là n'est pas la seule explication possible. On peut également admettre que l'onde n'est pas sortie de l'atmosphère terrestre, mais qu'elle y a trouvé un milieu dans lequel sa propagation s'est effectuée à une *vitesse beaucoup plus faible*. Ce milieu serait évidemment la haute atmosphère ionisée (nous y reviendrons tout à l'heure), et la vibration électromagnétique s'y convertirait en une vibration mécanique. Il faut avouer que le mécanisme de cette double transformation nous est encore bien mystérieux.

Ondes « très courtes ». — Lorsque la merveilleuse propagation des ondes « courtes » se fut manifestée, bouleversant les idées admises, il était naturel de passer d'un extrême à l'autre et d'extrapoler en sens inverse. Quelques naïfs n'y manquèrent pas, et prophétisèrent, en 1924, que « dans un an, l'Atlantique serait franchie avec un watt sur moins d'un mètre de longueur d'onde ».

Il fallut déchanter ; on ne pouvait descendre indéfiniment dans l'échelle des longueurs d'onde (du moins jusqu'aux infrarouges), en allant de surprise en surprise. L'expérience montra vite que, vers 8 ou 10 mètres, cesse l'aptitude aux grandes portées. Les ondes encore plus courtes ne se propagent qu'en ligne droite, très rapidement absorbées par les moindres obstacles ou même simplement par le voisinage du sol ; les exemples de propagation lointaine, sans être absolument inexistantes, sont, à tout le moins, exceptionnels. En somme, on se rapproche progressivement des propriétés de l'optique, avec

cependant une immunité beaucoup plus grande vis-à-vis des circonstances atmosphériques et des écrans minces.

Ce n'est pas à dire que ces ondes soient inutilisables ; au contraire à petite distance, elles sont commodes, économiques ; elles se trouvent posséder les propriétés de discrétion qu'on avait d'abord espéré rencontrer entre 10 et 100 mètres ; d'où une foule d'applications pour les communications militaires et navales à portée volontairement limitée. On envisage même leur emploi pour des liaisons côtières, par-dessus un bras de mer (France-Corse, Calais-Douvres, etc.) ; pour la radio-diffusion dans les grandes villes, etc.

Certains montages spéciaux permettant actuellement de produire les ondes « très courtes » jusque vers une dizaine de centimètres de longueur, elles constituent une gamme de fréquences extrêmement étendue, et qui sera certainement, exploitée dans un très proche avenir.

Influence des phénomènes météorologiques et atmosphériques. — Nous avons déjà signalé à plusieurs reprises, qu'il existait une relation entre la propagation des ondes électro-magnétiques, et un grand nombre de phénomènes météorologiques, astronomiques, intéressant la physique du globe.

Ces phénomènes ne pouvant être isolés, non plus que répétés à dessein, il n'a pas encore été possible de dégager de lois bien nettes de leur action ; mais on peut dire que tous en ont une. Nous avons vu l'influence du soleil : la propagation nocturne est très différente de la propagation diurne. Il faut ajouter que les variations lentes dans l'activité solaire correspondent à des variations dans les communications radio-électriques.

De même les orages magnétiques, les aurores boréales, les éclipses, amènent des perturbations plus ou moins sérieuses ; particulièrement nettes furent, par exemple, les observations faites en mai 1929, lors d'une éclipse totale de soleil, par la mission française à Poulo-Condore : affaiblissement subit de toutes les réceptions en ondes courtes, disparition totale de tous les « échos retardés » dont nous avons parlé ci-dessus.

L'influence de la lune a été discutée.

Enfin les circonstances météorologiques locales, la température, la pression barométrique, l'humidité, les nuages, sont

certainement des facteurs actifs sur les parasites et sur les « évanouissements ».

Obstacles. — Tout ce qui précède s'applique à la propagation des ondes sur espaces libres, ou du moins sans obstacles importants. On s'est efforcé, en outre, de déterminer, au moins approximativement, l'influence nuisible des obstacles, soit naturels (montagnes, collines, falaises... arbres et forêts...), soit artificiels (maisons, groupes d'immeubles ; charpentes métalliques conductrices ; lignes électriques, poteaux, pylônes.). Cette influence est généralement d'autant plus marquée, que l'onde est plus courte, et nous avons vu ci-dessus que pour les ondes de quelques mètres, elle limitait très rapidement la portée. Dans tous les autres cas, l'affaiblissement dépend, et de la longueur d'onde, et de la dimension de l'obstacle. Les masses conductrices très importantes : montagnes, groupes d'immeubles très élevés comme les gratte-ciels américains — portent « ombre » à plusieurs kilomètres derrière elles, et produisent une déformation notable dans les lignes de répartition du champ. — Les obstacles plus petits ne produisent qu'un effet local, mais qui peut être prononcé ; par exemple, dans un immeuble (ou immédiatement derrière lui), le champ se trouve réduit de 10 ou 20% sous le toit ou sous un étage ; il tombe, au rez-de-chaussée d'un immeuble élevé, à 50 % ou 30 % de sa valeur normale ; encore plus bas (10 %) si les murs sont bons conducteurs (ciment armé) et forment « cage de Faraday ». Bien entendu ces chiffres sont des ordres de grandeur ; d'ailleurs, dans une même pièce, le champ peut varier suivant l'emplacement : à côté d'une fenêtre, d'une cage d'escalier, d'une canalisation, etc.

Ceci constitue la deuxième raison pour laquelle la réception est toujours beaucoup moins bonne en ville qu'à la campagne ; non seulement, comme nous l'avons vu, les parasites artificiels y sont beaucoup plus intenses, mais encore le champ utile s'y trouve notablement diminué.

Signalons enfin que les ondes pénètrent dans le sol, d'autant plus avant que ce sol est moins conducteur et que la fréquence est moins élevée. Sous une épaisseur de roc de 100 mètres, on a pu recevoir des ondes longues ; et les sous-marins les reçoivent aussi en immersion à quelques mètres de profondeur. Mais cette performance est impossible avec des ondes courtes.

Les Théories de la Propagation. — Nous venons de récapituler les faits expérimentaux relatifs à la propagation des ondes, sans insister sur leur explication ; et l'on devine aisément que cette explication ne doit pas être facile, en raison de la complexité et du nombre des inconnues du problème.

Les physiciens, cependant, seraient impardonnables de ne pas l'avoir tentée ; et nous voudrions, pour conclure, montrer comment ils ont dû interpréter les résultats d'expérience, en modifiant leurs hypothèses initiales pour serrer de plus en plus près la réalité.

Ainsi que nous l'avons rappelé en commençant, l'hypothèse la plus simple : « propagation par simple diffraction le long du sol », s'est trouvée manifestement incapable d'expliquer les grandes portées obtenues.

Il a donc bien fallu admettre qu'un rôle capital était tenu par autre chose ; et cette « autre chose » ne pouvait être que la « haute atmosphère » du globe, vers 100 km et plus de hauteur. Diverses observations physiques avaient en effet depuis longtemps montré que ces hautes couches atmosphériques étaient fortement « ionisées », c'est-à-dire peuplées de charges électriques libres : ions positifs, électrons négatifs. Or, cela leur conférerait naturellement vis-à-vis des ondes électriques, des propriétés toutes spéciales ; ces charges se mettent en mouvement sous l'effet du champ, un peu comme dans un conducteur ; et, si paradoxal que cela puisse paraître, cette atmosphère raréfiée se comporte comme une couche solide, conductrice, *réfléchissante*. On l'appelle « couche K. H. » en souvenir des deux premiers auteurs qui lui attribuèrent ce rôle : Kennely et Heaviside (vers 1902).

Cette théorie s'est montrée si commode pour expliquer les faits observés, qu'elle est aujourd'hui, dans son principe, universellement admise.

Elle fait tout d'abord aisément comprendre la possibilité de très grandes portées : au lieu d'aller se perdre dans l'espace, les ondes montent seulement jusqu'à la couche K. H., s'y réfléchissent ou glissent sur elles, puis redescendent sur le sol (fig. 7) ; et malgré qu'elles aient pris le « chemin des écoliers », elles se trouvent moins affaiblies par ce long parcours, que par le voisinage du sol. Au lieu d'avoir une propagation par diffraction autour d'une sphère, on doit la consi-

dérer comme se produisant entre deux sphères conductrices concentriques ; le problème est entièrement modifié, et les considérations théoriques permettent alors de retrouver la formule expérimentale d'Austin-Cohen.

Et d'autre part, toutes les irrégularités de propagation en fonction du lieu, du temps et de la longueur d'onde, deviennent naturelles : c'est le contraire qui serait étonnant. Car cette « couche K. H. » n'est évidemment ni parfaitement fixe, ni formée d'une surface bien définie comme une discontinuité véritable ; la réflexion s'y fait progressivement, après une certaine pénétration, peut-être par une sorte de réfraction. Elle dépend de la fréquence, de l'angle d'incidence de l'onde ; elle dépend des ondulations de la surface, de sa hauteur, du nombre des ions libres — éléments qui se modifient certainement avec l'heure, la présence des rayons solaires, etc. Enfin les phénomènes d'« évanouissements » s'expliquent par l'interférence, au poste récepteur, de deux ou plusieurs ondes venues par des chemins différents avec des nombres différents de réflexions sur la couche K. H.

On voit combien féconde et vraisemblable s'est révélée cette hypothèse ; d'ailleurs diverses expérimentations ont encore renforcé sa solidité ; on est parvenu, non seulement à manifester sans doute possible la réflexion dans la haute atmosphère, mais aussi à mesurer la hauteur de cette couche ; plusieurs méthodes concordantes ont fourni des chiffres de l'ordre de 80 km, 100, 200 km. ; on est en train d'étudier leur variation quotidienne (fig. 8) et les Etats-Unis incorporent les résultats obtenus aux bulletins météorologiques régulièrement transmis par les services T.S.F.

Nous devons ajouter, cependant, que l'hypothèse de la couche K.H. laisse subsister bien des difficultés et ne fait qu'en éloigner d'autres.

Quelle est la cause de cette ionisation ? sans doute les rayons ultra-violets, ou des particules émises par le soleil ;

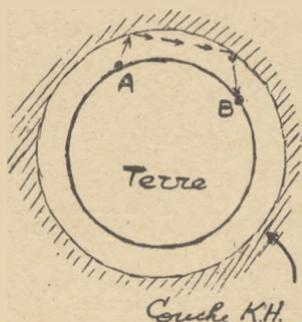


Fig. 7. — Réflexion des ondes sur la couche « K. H. ».

mais par quel mécanisme ? Quelle est la valeur de cette ionisation, valeur qu'il faudrait connaître pour en calculer exactement les effets ? Quels sont les gaz ionisés à cette hauteur ? Les charges électriques libres peuvent-elles entrer

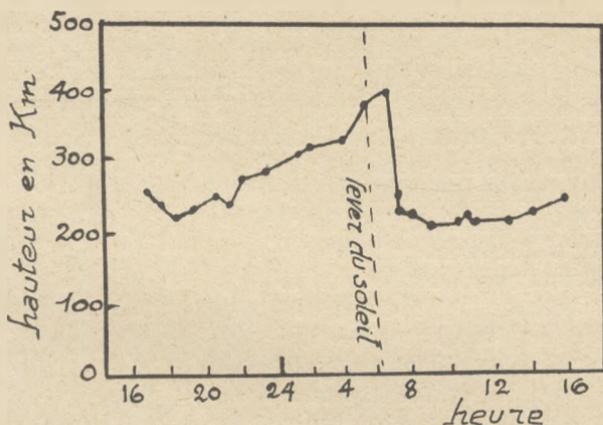


Fig. 8. — Exemple des variations de hauteur de la couche K. H. au cours d'une journée.

en résonance sur certaines fréquences ? (1) Y a-t-il une couche réfléchissante unique, ou plusieurs couches successives ? Quel est le rôle du champ magnétique terrestre ?

Pour répondre à tous ces points d'interrogation — et à ceux qui se poseront encore — les radiotechniciens ont encore du travail en perspective...

(1) Ainsi que certaines expériences de laboratoire semblent actuellement le suggérer (Gutton, Pierret).

CHAPITRE II

LES LAMPES A VIDE

Importance des lampes à vide.

On sait que toute la radiotechnique moderne est basée sur l'emploi des « lampes à vide » — c'est-à-dire sur cette propriété fondamentale qu'une électrode chauffée dans le vide, émet des « électrons », qui peuvent être captés par une autre électrode « plaque » à potentiel plus élevé ; enfin, que ce courant d'électrons peut être commandé, sans dépense appréciable d'énergie, par l'interposition d'une troisième électrode appelée « grille » (fig. 9).

L'intérêt de ce phénomène est la fantastique rapidité du mouvement des électrons : milliers ou dizaines de milliers de kilomètres par seconde ; la durée de leur parcours étant donc extrêmement faible, un tel système peut

fonctionner en relais ou amplificateur jusqu'aux fréquences de l'ordre du million et même de la centaine de millions : c'est la clef de la radiotechnique et plus spécialement de l'emploi des ondes courtes.

Sans la lampe, il n'y aurait pas d'amplification possible à la réception, c'est-à-dire que la portée des signaux serait énormément diminuée ; la production même des ondes courtes,

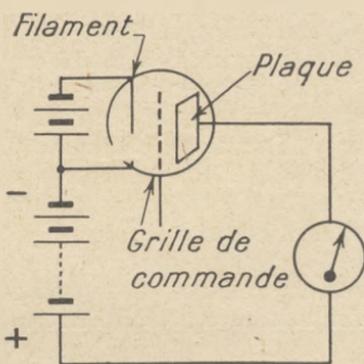


Fig. 9. — Principe de la lampe à 3 électrodes.

la modulation radiotéléphonique, seraient infiniment plus compliquées, sinon quasiment impossibles.

Vu leur rôle capital, on comprend que le perfectionnement des lampes ait été l'objet de toutes sortes d'efforts, tant pour l'émission que pour la réception. Et les progrès faits dominant tellement toute la technique actuelle, qu'il est indispensable de leur réserver, avant d'aller plus loin, un examen d'ensemble. Tel est l'objet du présent chapitre.

Les Filaments. — L'électrode « chaude », chargée d'émettre les électrons, a toujours été formée par un « filament » métallique, porté à l'incandescence par le passage d'un courant suffisant.

Les premiers filaments, à peu près semblables à ceux des lampes d'éclairage, étaient en tungstène pur ; et pour se procurer une émission électronique d'une dizaine de milliampères, il fallait, sous une tension continue de chauffage de 4 volts, une consommation de 0,75 ampère, environ. Le « rendement » était donc assez faible.

On a imaginé de l'améliorer — c'est-à-dire d'augmenter l'émission électronique — en incorporant au tungstène un autre métal rare, le *thorium*, ou bien en le couvrant d'une couche d'*oxydes* métalliques (des métaux alcalino-terreux, en général). Des filaments ainsi préparés travaillent à une température bien inférieure (ce qui en augmente la durée), en fournissant des émissions électroniques bien plus intenses : 20, 30, 40 milli-ampères avec une consommation réduite au quart ou au dixième : de 0,06 à 0,15 ampère.

Autrement dit, pour un watt de courant de chauffage, l'émission électronique passe de 5 milliampères avec le tungstène pur, à 30 ou 40 avec le filament thorié, puis à 100-150 avec le filament à oxydes.

Mais on peut aussi envisager la question sous un autre jour : dans bon nombre de cas, la consommation importe moins que la *nature* du courant de chauffage utilisé ; c'est-à-dire que là où on dispose de courant *alternatif* (c'est le cas de presque tous les secteurs de distribution), la principale difficulté est de le redresser lorsque les lampes exigent du courant continu : c'était le cas pour les premiers modèles construits, d'où nécessité pratique des batteries d'accumulateurs d'alimentation.

Or, pour alimenter les filaments en courant alternatif,

on rencontrait plusieurs difficultés : outre les variations instantanées dans la température, on avait des changements périodiques dans les potentiels relatifs des électrodes, dans la répartition des charges, et finalement dans le courant émis : d'où apparition de ronflements troublant la réception.

Divers artifices ont permis d'y remédier : construction spéciale du filament, gros et court, donc à grosse inertie calorifique ; prise médiane assurant un potentiel fixe ; tension réduite à 2 volts ou 1,6 volts ou même moins.

On a même imaginé une solution plus radicale, et qui consiste à diviser les fonctions « chauffage » et « émission électronique » entre deux électrodes distinctes, non électriquement solidaires. On a donc (fig. 10) un filament ab , parcouru par le courant (alternatif) de chauffage, et entouré par la « cathode » creuse cd , qui ne le touche pas, mais qui s'échauffe par rayonnement (1). C'est la surface extérieure de cette cathode qui est recouverte d'oxydes, et qui produit l'émission électronique ; son potentiel, totalement indépendant de celui du filament, est pris comme origine pour les tensions de grille et de plaque.

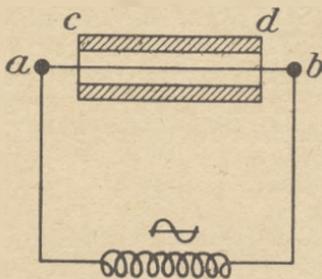


Fig. 10. — Principe de la cathode à chauffage indirect.

De telles lampes « à chauffage indirect » n'ont plus, évidemment, l'avantage d'une consommation réduite, et nécessitent un courant de l'ordre de l'ampère ; mais, du moment que ce courant est alternatif et prélevé sur un secteur, sa valeur n'a plus d'importance pratique.

Caractéristiques des lampes triodes. — Produire l'émission électronique n'est pas tout ; mais, une fois qu'elle est obtenue en abondance, la tâche du constructeur de lampes devient plus aisée. En modifiant la disposition des autres électrodes, il peut faire varier notablement les caractéristiques

(1) Cet échauffement ne se produit pas instantanément quand on allume la lampe, il requiert 20 ou 30 secondes, parfois plus, ce qui fait reconnaître immédiatement ce type de lampe.

obtenues, et par suite satisfaire aux desiderata variés des utilisateurs.

Tandis que les premières lampes fabriquées en 1918, étaient d'un type « omnibus », servant indistinctement à l'amplification haute et basse fréquence, à la détection, voire à l'émission — au contraire, la tendance actuelle est de spécialiser les modèles, dont le nombre devient considérable (d'aucuns disent excessif). Un poste comporte toujours plusieurs types différents ; et dans l'établissement d'un récepteur, cela devient un art que de les choisir appropriés à la fonction de chaque étage.

Sans doute il en résulte une certaine complication, une difficulté réelle d'approvisionnement ; mais au prix de cet inconvénient que de progrès sont devenus possibles... !

Examinons les rôles divers que peut tenir une lampe à la réception seulement :

1° Amplification en tension.

C'est-à-dire aux premiers étages, où l'on cherche simplement à élever le plus vite possible le niveau d'un signal trop faible, sans utiliser encore son énergie.

Suivant le montage réalisé (1), on mesure l'efficacité de la lampe, soit par son *coefficient d'amplification* k , soit par sa *pente* (rapport k/ρ de ce coefficient, à la résistance interne ρ du circuit plaque).

Or, voici la comparaison du progrès fait à ce point de vue entre 1918 et 1931 :

		Coeff. d'amplification k	Pente k/ρ (milliampères par volt)
Lampe « tous usages », 1918		8	0,4
Lampes modernes 1931	{ Radiotechnique R. 76	15	1,9
	{ Philips E. 424.....	24	3,0
	{ Visseaux RS 4230	30	2,0

On voit que l'efficacité a été triplée ou quintuplée : Il en est de même lors de la détection, où (les caractéristiques de grille n'intervenant guère), c'est surtout la pente k/ρ qui compte.

(1) Voir plus loin, chapitre III.

2° Amplification en puissance.

La dernière lampe d'un récepteur est nécessairement destinée à actionner un appareil d'utilisation (haut-parleur, relais) exigeant une certaine puissance. La lampe sera d'autant meilleure qu'elle lui fournira plus d'énergie sans déformation ; les grandeurs qui déterminent l'excellence de son rôle sont : le courant de saturation i_s (maximum que peut donner la lampe) la résistance interne ρ (doit être adaptée à celle du haut-parleur) enfin, ici encore, la pente k/ρ (amplification). Voici quelques exemples :

Tous usages, 1918		Courant i_s saturation	résist. interne ρ	pente k/ρ
		10 mA	20.000 oh.	0,4 mA/v
Lampes modernes (1931)	Métal DZ 1508	30	8.000	1,9
	Philips A.415			
	Radiotechnique R.80	60	2.300	3,2
	Métal CL 1257	100	3.500	2,0
	Fotos P.60	220 (env.)	1.200	2,6
	Philips E.406	300 (env.)	1.000	6,0

Il est parfois intéressant de considérer aussi la puissance maximum que peut dissiper la plaque sans échauffement excessif, car cette puissance (bien que perdue) est à peu près proportionnelle à la puissance *utile* fournie ; or elle est passée de 1 ou 2 watts à 10,20 et même 75 watts ; on rejoint ici les lampes d'émission.

Mentionnons enfin que le très grand choix de lampes existantes permet d'adapter commodément aux tensions de chauffage et de plaque (celles-ci de 150 à 1.000 volts) dont on se trouve disposer.

Lampes à quatre électrodes (« Tétrodes »). Bigrilles.

— Une autre idée qui s'est trouvée extrêmement féconde pour le progrès des tubes à vide, est celle d'employer une *quatrième électrode* ; de telles lampes s'appellent, en principe, des *tétrodes*, mais comme la quatrième électrode est presque invariablement une seconde grille le terme de « *bigrille* » se rencontre plus fréquemment.

Cette nouvelle grille, interposée sur le trajet des électrons, peut jouer des rôles très variés, suivant sa forme exacte, sa position, la polarisation qu'on lui applique, enfin sa connexion

sans le circuit. Le « degré de liberté » ainsi introduit permet un grand nombre de combinaisons nouvelles dont voici les principales :

1° Grille « de champ » ou de « charge d'espace » (fig. 11).

La nouvelle grille est placée entre le filament et la grille de commande. Elle est donc « interne ». On la porte à un potentiel fixe positif ; dès lors elle attire les électrons, favorise leur sortie du filament et disperse leur « charge d'espace » ;

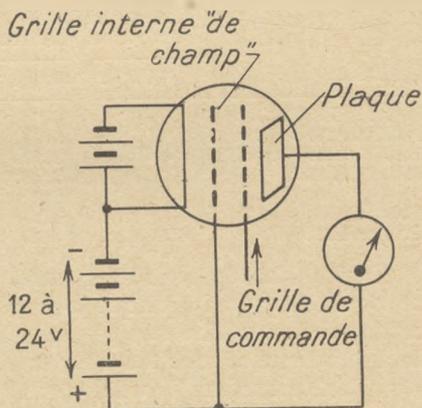


Fig. 11. — Lampe bigrille à « grille de champ ».

de sorte que l'on obtient le même courant électronique sous une tension plaque notablement moindre, qui peut tomber de 80 à 24, 12 volts et même moins.

D'où économie intéressante pour les postes portatifs et légers, pour usages militaires, aviation, etc.

2° Double commande. (fig. 12.)

Dans la même position, la grille interne reçoit un potentiel, non plus fixe, mais alternatif. Elle aussi commande alors le mouvement des électrons, les attirant quand elle est positive (effet ci-dessus), les arrêtant quand elle est négative. Cet effet se superpose à celui de la grille extérieure, et peut être

utilisé, soit pour la modulation d'une émission, soit pour un changement de fréquence, soit pour des montages « reflex neutrodyne, ou des oscillateurs spéciaux.

3° Résistance négative (fig. 13).

Toujours dans la même position, on utilise cette particularité que dans une certaine région des « caractéristiques », le courant absorbé par la grille interne *croît* quand sa tension *diminue*. (la raison de ce phénomène n'est pas, d'ailleurs, parfaitement claire). Le circuit « filament — grille interne » semble donc présenter une *résistance négative*; placé

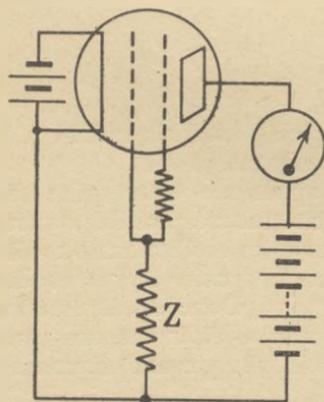


Fig. 13. — Utilisation de la lampe bigrille comme résistance négative.

à-dire entre celle-ci et la

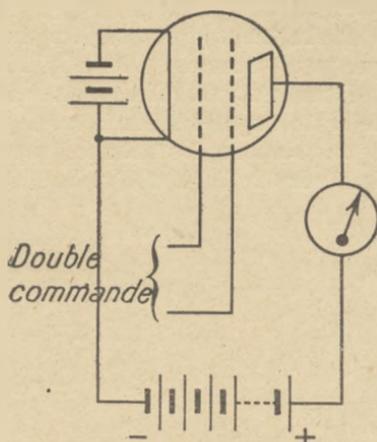


Fig. 12. — Lampe bigrille avec deux grilles de commande.

aux bornes d'un circuit oscillant est naturellement positive, il diminuera donc son amortissement et pourra aller jusqu'à y produire l'amorçage d'oscillations spontanées.

Pour utiliser pratiquement cette « réaction », on réunit généralement les deux grilles (et quelquefois aussi la plaque) par l'intermédiaire d'une batterie ou d'un condensateur...

4° Grille-écran. (fig. 14).

Plaçons maintenant la seconde grille, non plus à l'intérieur, mais à l'extérieur de la grille de commande — c'est-à-dire entre celle-ci et la plaque; et portons-la à un

potentiel positif suffisamment élevé ($1/2$ ou $2/3$ de la tension-plaque). Elle forme « écran » et l'on constate deux effets :

a) Augmentation possible du *coefficient d'amplification* k , qui peut atteindre 100, 200 1000 et plus.

Il ne faut pas s'illusionner sur le gain pratique résultant de cette augmentation ; car la résistance interne ρ croissant à peu près dans les mêmes proportions, la pente k/ρ demeure de l'ordre de 1 à 2 mA/v. De sorte que l'amplification effective

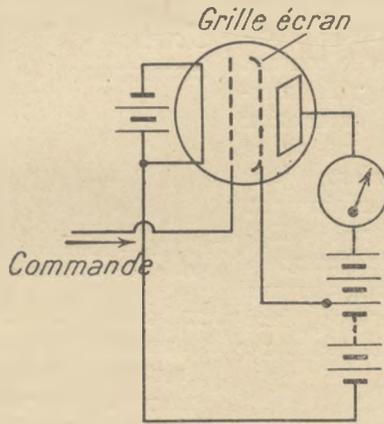


Fig. 14. — Lampe à grille-écran.

par étage reste bien inférieure à ces chiffres. Mais enfin, si elle atteint 20 ou 30 la chose est intéressante.

b) Diminution de la capacité apparente entre grille (de commande) et plaque ; cette capacité est très nuisible, parce qu'elle ramène à l'entrée de la lampe les oscillations du côté plaque, ce qui produit des réactions entre étages et des accrochages intempestifs d'oscillations. Donc sa diminution permet de mettre en série, beaucoup plus aisément, un grand nombre d'étages successifs, et de les régler par une commande unique.

Il est évident que ce second effet serait encore beaucoup plus marqué si le premier n'existait pas ; mais justement, il faut les réaliser ensemble pour en tirer tout le bénéfice possible. Les lampes à grille-écran sont actuellement très en fa-

veur et permettront certainement une notable amélioration des récepteurs.

Lampes à cinq électrodes. « Pentodes », « Trigrilles », — Puisque l'adjonction d'une seconde grille permet tant de progrès, il était naturel de se demander si l'on ne pourrait pas faire mieux encore : pourquoi ne pas en ajouter une troisième ? (Soit un total de cinq électrodes, d'où le nom général de *pentode*).

Sans doute y a-t-il beaucoup à faire dans cette voie ; mais

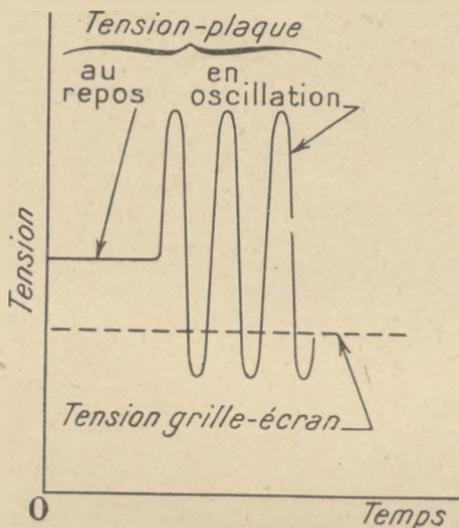


Fig. 15. — Principe de l'émission secondaire dans la lampe à grille-écran,

l'on rencontre d'autres inconvénients, tant lors de la fabrication que pour l'emploi rationnel de semblables lampes.

Aussi trouve-t-on pour le moment un seul type de « pentode ». C'est la lampe de puissance, avec grille-écran et grille d'arrêt. Voici l'objet de ce montage :

Les avantages, ci-dessus mentionnés, de la grille-écran, sont encore vrais dans le cas de la lampe de puissance ; mais il intervient alors un phénomène accessoire très gênant, dû à l'« émission secondaire » des électrons par la plaque.

Sous l'effet du choc des électrons qui l'atteignent, une plaque

portée à un potentiel positif relativement grand, émet en effet de nouveaux électrons ; en général cela n'a pas d'importance, car, la plaque étant la seule électrode portée à ce potentiel, finit par les capter de nouveau. Mais, prenons le cas de la lampe de puissance à grille-écran ; cette nouvelle électrode, est portée, nous l'avons dit, à un potentiel de l'ordre de la moitié, au moins, de la tension de plaque, et ceci en permanence ; au contraire, la plaque, est bien *en moyenne* à une

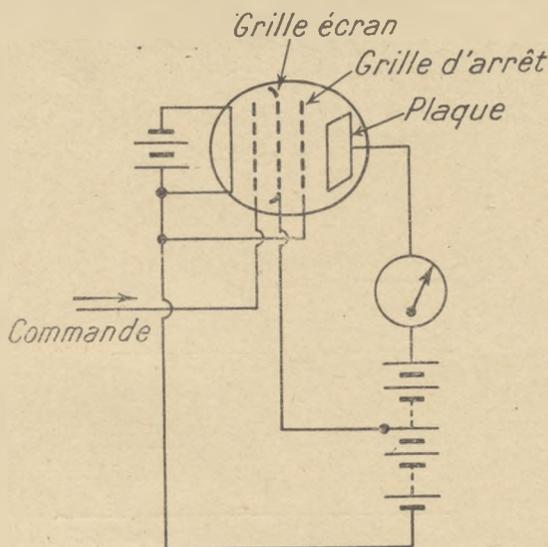


Fig. 16. — Lampe trigrille.

tension supérieure ; mais comme elle exécute des oscillations de tension importantes, du fait même qu'elle alimente le haut-parleur, sa tension *instantanée* tombe, par instants, notablement en-dessous de cette valeur moyenne (fig. 15), et même en-dessous de la tension de grille-écran.

Mais alors, à ces instants, les électrons secondaire, émis par la plaque, trouvant à côté d'eux une électrode à tension plus élevée, s'y précipitent ; le courant capté par la grille-écran augmente beaucoup, et le courant de plaque — courant utile — diminue par contre-coup. On a donc une caractéristique avec

un crochet, et en dernière analyse, une *déformation du signal*.

C'est ce défaut auquel la troisième-grille permet de porter remède. Placée entre la grille-écran et la plaque, elle est reliée en permanence, *au filament*. Elle n'exerce que peu d'effet sur les électrons « primaires » en route vers la plaque ; mais, en raison de son potentiel, toujours négatif par rapport à celle-ci, elle repousse les électrons secondaires et les empêche de retourner à la grille-écran. (fig. 16).

On peut ainsi obtenir des lampes de puissance à grande amplification (50 à 100) et à grande résistance interne (50.000

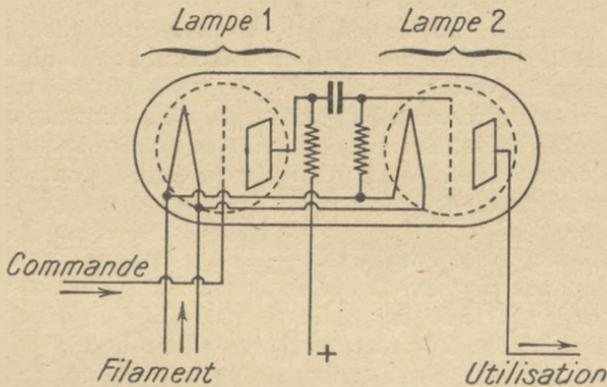


Fig. 17. — Principe de la lampe multiple.

à 80.000 ohms) ce qui est avantageux pour la fidélité de *certains* haut-parleurs.

Il est bien évident, par contre, que la construction des trois grilles concentriques entre le filament et la plaque, ne laisse pas d'être assez délicate (1).

Lampes multiples. — L'augmentation du nombre des électrodes n'est nullement limitée au chiffre 5. On a, en parti-

(1) En particulier, le très proche voisinage de la grille-écran (directement portée à un potentiel positif élevé) et de la grille d'arrêt (directement reliée au filament), peut donner lieu, en cas de déformation, de choc ou de contact accidentel, à des court-circuits particulièrement pittoresques.

culier, proposé de construire des *hexodes* à quatre grilles (une de champ, une de commande, une écran et une d'arrêt).

Mais c'est surtout dans une autre voie que s'est poursuivie cette augmentation, avec les lampes *multiplés*. On entend par là, les lampes réunissant dans une même ampoule, plusieurs lampes distinctes avec leurs organes de couplage ; chacune de ces lampes élémentaires pouvant être triode, ou bigrille, etc. On s'est d'ailleurs borné, dans ce cas (fig. 17), au couplage par résistances-capacités entre les étages, et l'on a construit — surtout en Allemagne — des lampes qui sont à elle seules de véritables amplificateurs, soit en haute, soit en basse fréquence.

Evidemment, les éléments de couplage sont alors bien à l'abri, et le câblage du poste est très simple. La diminution des capacités parasites — du fait que les fils sont très courts — améliore le rendement. Par contre, de telles lampes sont coûteuses et relativement fragiles ; elles se prêtent mal aux amplifications sélectives et rendent impossible tout contrôle du fonctionnement interne.

Les lampes d'émission. — Ce qui précède concernait les lampes *de réception* ; mais bien entendu, les lampes d'émission ont bénéficié de progrès du même ordre, à tel point qu'elles remplacent tous les autres systèmes (étincelles, arcs, alternateurs) dans la construction des postes actuels. Pour faire les premières lampes d'émission, on avait pris les lampes de réception comme modèles, en grossissant tous leurs éléments. On avait ainsi une base de départ, et l'on s'est efforcé ensuite de mieux faire, en gagnant progressivement sur les trois points essentiels suivants :

a) *puissance fournie* ; avec cette puissance utile croissent nécessairement les tensions, les intensités, la puissance inutilement perdue sur la plaque ; les dimensions du tube augmentent, les difficultés pour le refroidir en font autant ; sans parler de nombreux phénomènes accessoires, plus ou moins obscurs, qui troublent le fonctionnement : dégagements gazeux ; fusion subite du verre ; défauts d'isolements à la traversée des électrodes... etc. En passant d'un type de lampe au type supérieur, il est bien rare que les constructeurs n'aient pas eu de pénibles surprises, et ne se soient pas débattus quelque temps parmi des difficultés incompréhensibles.

Les chiffres suivants permettront d'apprécier le résultat de tels efforts ; partis de lampes qui supportaient quelques watts avec un rendement de 50 % on arrive maintenant, à 1 kilowatt, 10, 20, et même 100 kilowatts dissipés avec des rendements de 70 à 80% ce qui représente notablement plus de puissance utile.

b) tension d'alimentation ; il faut nécessairement l'accroître mais, comme les difficultés d'isolement et de montage, les dangers de l'installation, augmentent aussi très vite, on a intérêt à faire fonctionner les lampes puissantes sous tensions relativement faibles. Aussi, après être monté jusqu'à 12.000, 18.000 volts, réussit-on, actuellement à établir des lampes puissantes pour 3.000 à 5.000 volts.

c) Durée d'utilisation. Une lampe d'émission est chère et s'use assez vite ; le filament, progressivement, s'amincit et finit par se couper (comme pour une lampe à incandescence) ; le devis du fonctionnement d'un poste doit donc prévoir leur amortissement. Dans les premières lampes d'émission, cette usure était très rapide ; bien des lampes ne duraient même pas cent heures, et quelques-unes beaucoup moins ; d'où prix de revient excessif, par rapport aux arcs et alternateurs quasiment inusables. Là encore, les nécessités économiques ont amené de grandes améliorations ; certaines lampes sont *garanties* par leur constructeur pour un certain nombre de centaines d'heures ; parfois même elles sont, non pas vendues par lui, mais louées « à l'heure » comme de simples taxis.

On a aussi imaginé de rendre les lampes « réparables » en cas d'avarie. La solution complète du problème est d'avoir une lampe totalement démontable, où l'on peut visiter les organes et changer à volonté un filament usé. Mais, comme nous ne connaissons actuellement aucun « joint » capable de « tenir le vide » des lampes pendant un certain temps, il faut alors refaire le vide non seulement après chaque réparation, mais encore pendant le fonctionnement même ; il est alors commode de monter une « pompe » (1) sur le même bâti que la lampe, en l'incorporant au poste même.

Une solution moins parfaite, mais plus simple, est d'avoir des lampes semi-démontables, c'est-à-dire dont l'enveloppe

(1) Pour atteindre le degré de vide nécessaire, on met en général deux pompes en cascade, l'une donnant le « vide préparatoire », l'autre, pompe moléculaire, achevant d'éliminer les gaz.

de verre est soudée, mais présente une forme telle que l'on peut lui faire subir plusieurs fois l'opération « chirurgicale » consistant à couper le verre, à réparer l'intérieur, puis à ressouder la paroi. Pour cela, bien entendu, la lampe retourne à l'usine, qui en assure ensuite le pompage ; l'étanchéité étant parfaite, l'usager n'a pas besoin d'entretenir le vide.

Description de lampes d'émission. — Dans les limites ci-dessus, la construction des lampes est maintenant d'une technique courante ; on les calcule à l'avance, suivant le résultat à obtenir, comme toutes les autres machines électriques industrielles.

La disposition est généralement différente de celle des lampes de réception, en raison des conditions différentes à remplir ; pour les puissances jusqu'à 2 kw, l'ampoule est généralement en verre scellé (verre spécial, bien entendu), avec filament thorié ou oxydé ; la sortie de la plaque se fait, dès que la tension s'élève un peu, du côté opposé au filament (fig. 18) ; parfois pour les ondes courtes, on fait aussi sortir la grille à quelque distance.

Pour les puissances supérieures, il est nécessaire de refroidir artificiellement la plaque au moyen d'une circulation d'eau. C'est alors (fig. 19) cette plaque, cylindrique, qui forme la paroi du tube ; un ballon en verre est soudé à l'une des extrémités (ou aux deux) pour supporter les autres électrodes. La circulation d'eau se fait à travers un long serpentin de caoutchouc qui isole la plaque du sol.

On s'imagine aisément que la fabrication de ces lampes puissantes présente de nombreux points délicats, notamment en ce qui concerne la soudure du verre aux métaux, le pompage (qui se fait en chauffant les électrodes pour en extraire les gaz occlus), etc. — C'est la gloire... et le secret des constructeurs de triompher de ces difficultés, pour obtenir non pas seulement des prototypes satisfaisants, mais des séries de lampes identiques.

Jusqu'ici nous avons parlé seulement des *triodes* d'émission ; bien que la multiplication du nombre des électrodes soit de plus en plus difficile quand la puissance augmente, on ne s'en tiendra pas là ; et les avantages de la grille-écran, notamment, sont assez importants pour que déjà, elle ait été adaptée à des modèles sur le marché. La suppression du couplage entre grille

et plaque est particulièrement avantageuse quand la lampe travaille en amplificatrice à partir d'un oscillateur « chef

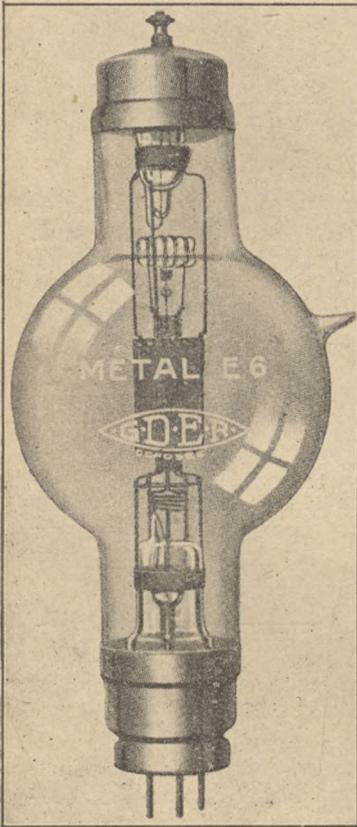


Fig. 18. — Lampe d'émission en verre.

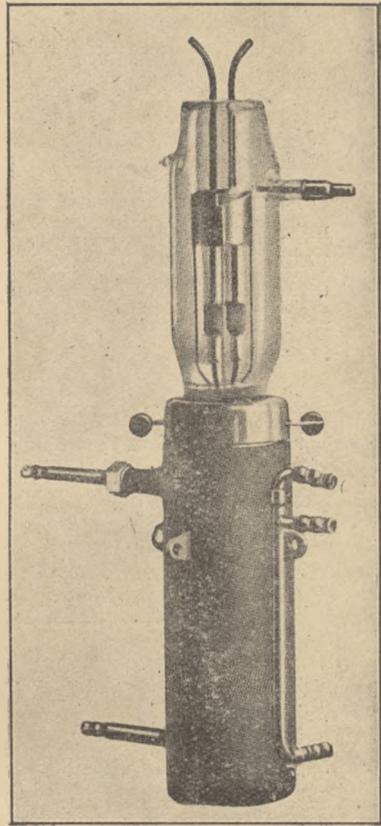


Fig. 19. — Lampe d'émission avec enveloppe métallique et circulation d'eau.

d'orchestre » qui doit imposer sa fréquence à des ensembles beaucoup plus puissants : nous y reviendrons.

CHAPITRE III

TECHNIQUE DES APPAREILS

Nous nous proposons maintenant d'examiner la technique moderne de construction des appareils : ce qui sera, en grande partie, l'application du chapitre précédent sur les progrès des lampes. Nous examinerons d'abord l'émission ; puis la réception ; enfin certains types particuliers ou spéciaux.

I. ÉMISSION

Postes à « Etincelle ». — On se souvient que la première source connue d'oscillations électriques à haute fréquence, fut la décharge du condensateur, à travers une étincelle, dans un circuit comprenant une « self-induction ». Les charges



Fig. 20. — Trains d'ondes d'une émission amortie.

accumulées sous haute tension dans les armatures du condensateur, produisaient en se combinant dans l'étincelle, un courant, que l'inertie de la self-induction prolongeait par une charge en sens inverse ; puis le phénomène changeait de sens et se reproduisait plusieurs fois, en s'affaiblissant rapidement. La décharge était *amortie*. Après un certain intervalle — centième ou millième de seconde — une source d'énergie rechargeait le condensateur et l'on obtenait une nouvelle décharge : l'émission était donc constituée d'une suite de « trains d'ondes amorties ». (Fig. 20).

Pour mettre en jeu une puissance notable, il fallait une tension énorme et une capacité considérable ; alors l'étincelle produisait un crépitement fort bruyant, une véritable détonation, et elle amenait l'échauffement et la détérioration prompte des électrodes ; on refroidissait alors celles-ci par une ventilation énergique, ce qui produisait un appréciable supplément de bruit. Le spectacle était impressionnant ; le fonctionnement de l'émetteur de la Tour Eiffel, bien qu'il fût souterrain, s'entendait dans presque tout le Champ-de-Mars.

Ce type de postes est en voie de disparition ; d'abord, à cause de son mauvais rendement ; mais surtout, parce que les

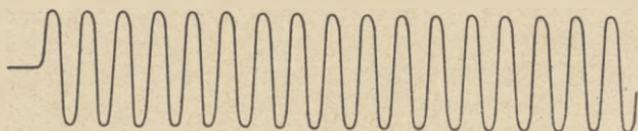


Fig. 21. — Onde entretenue.

ondes amorties donnent lieu à un brouillage particulièrement intense dans tous les récepteurs des environs. On a donc refusé de le tolérer davantage, au fur et à mesure que les réceptions se sont multipliées — surtout en radio-diffusion — et les stations fixes se sont progressivement transformées, pour employer des ondes entretenues moins gênantes.

Au contraire cette aptitude à être entendu, bon gré mal gré, par tous dans un certain rayon, constitue un avantage et une précieuse sécurité lorsqu'il s'agit d'émettre des appels de détresse ; c'est pourquoi beaucoup de navires conservent encore leurs postes à étincelles à titre de secours, ou pour un faible trafic.

Postes à arc ; Alternateurs. — Presque du domaine du passé, sont aussi deux systèmes d'émission qui connurent pourtant leurs jours de gloire et suscitèrent de fort beaux travaux : l'*arc* et l'*alternateur à haute fréquence*, qui, tous deux, fournissaient des ondes « entretenues », c'est-à-dire d'amplitude régulière et constante (fig. 21).

L'arc électrique, en effet, présente dans certaines portions

de sa « caractéristique », une « résistance négative » ; c'est-à-dire qu'associé à un circuit accordé, il était susceptible d'y entretenir des oscillations. La méthode était applicable seulement aux ondes longues, mais elle y était d'une souplesse remarquable. Bien entendu, ici encore, il fallait quelques précautions pour obtenir régulièrement des puissances importantes : souffler l'arc par un champ magnétique, le placer dans une atmosphère carburée (gaz d'éclairage) où il ne laissait pas de provoquer parfois quelque petite explosion ; mais enfin, avec du doigté, on pouvait obtenir des résultats réguliers. On a construit des arcs allant jusqu'à 1.200 Kilowatts — la puissance d'une locomotive — et dont le circuit magnétique ne pesait pas moins de 260 tonnes.

Mais les arcs ne se prêtaient pas à la modulation ; leur onde, bien qu'entretenu, était impure et produisait au voisinage un « souffle » gênant ; enfin ils ne permettent pas la production des ondes courtes. D'où leur décadence.

Les alternateurs dérivait des machines industrielles, par une série d'artifices permettant d'augmenter la fréquence depuis 50 p/s (secteurs urbains) jusqu'à 15.000 et 20.000 p/s. Le nombre de pôles était accru, la vitesse de rotation devenait formidable (2.500 et 3.000 tours/minute pour des retors de 3 à 7 tonnes, avec des entrefers de 1 mm.). Grâce à l'emploi de tôles spéciales feuilletées, le rendement était excellent : 60 à 80 % — la puissance allait jusque vers 250 Kilowatts.

Mais leur gamme de fréquence était exceptionnellement réduite ; et même en leur adjoignant des « multiplicateurs de fréquences », il était impossible d'aller jusqu'aux ondes courtes ; enfin leur prix était très élevé.

En face de ces systèmes, les lampes, de plus en plus puissantes et sûres ainsi que nous l'avons vu ; d'ailleurs seules capables de fournir les fréquences de l'ordre du million ou de la dizaine de millions — les lampes n'ont cessé de gagner du terrain. Tous les postes émetteurs récents sont à lampes, et l'on n'entrevoit pas que ceux du proche avenir soient différents.

Le Poste à lampes moderne. — De ces postes, nous avons décrit ci-dessus l'élément principal : la *lampe*, dont la puissance unitaire atteint 20, 50, 100 Kilowatts. En associant

plusieurs lampes en parallèle, ce qui ne présente pas de difficulté particulière, on fabrique couramment des émetteurs à ondes courtes de 25 à 50 kw ; des postes de radiophonie sur ondes moyennes, jusqu'à 100 et 150 kw — les projets actuels vont jusqu'à 500 Kw — ; enfin il existe des stations radiotélégraphiques (Rugby, Angleterre) produisant jusqu'à

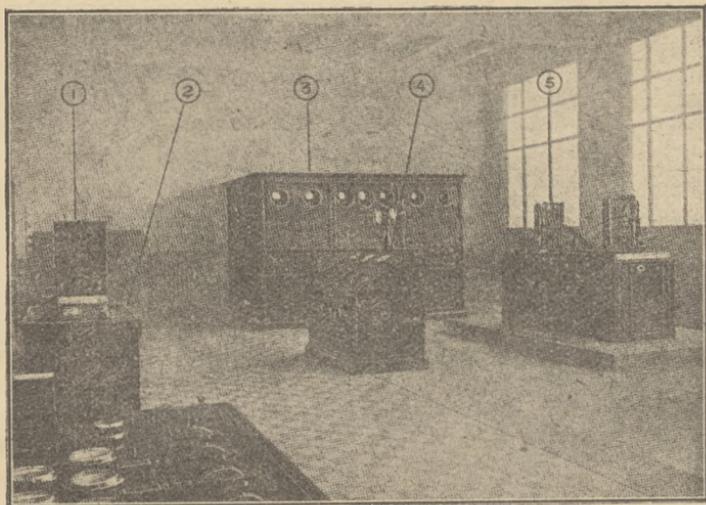


Fig. 22. — Vue générale de la station d'émission à ondes courtes projetées de Sainte-Assise.

1. Meuble d'arrivée des câbles d'alimentation.
2. Table de manipulation.
3. Meuble de redressement.
4. Pupitre de commande.
5. Emetteur double.

350 Kw avec des lampes. Rien n'empêche de dépasser ces chiffres si l'avenir en montre la nécessité.

La mise en jeu de semblables puissances exige naturellement une véritable usine d'alimentation. Le chauffage des filaments se fait, parfois, en courant alternatif, sous quelques dizaines de volts ; sur les plaques, il faut au contraire une tension continue élevée, quelques milliers de volts, allant jusqu'à 20.000 v. ; dans la plupart des cas, on l'obtient d'abord

en alternatif par un transformateur industriel courant ; puis on la redresse avec des « lampes à vapeur de mercure », qui sont actuellement très rustiques et très sûres et ne cessent de se perfectionner (les derniers modèles comportent une cathode chauffée et leur rendement dépasse 99%) ; enfin, on filtre, par une batterie de self-induction et de condensateurs.

Mais cette méthode n'est pas la seule, et la production directe par machines génératrices continues à collecteur, conserve des partisans ; c'est ainsi que les stations jumelles anglaises de Brookmans Park sont équipées avec de très remarquables groupes de 160 Kilowatts, 7.000 à 12.000 volts.

Un autre détail non négligeable des stations d'émissions, est le dispositif de refroidissement des lampes : nous avons dit qu'il se faisait par courant d'eau. A première vue, aucune difficulté à faire couler de l'eau dans un serpentín ; et pourtant c'est un art ; car la moindre irrégularité de température risque de briser le verre et d'amener la mort de la lampe. Aussi multiplie-t-on sur les circulations d'eau, les dispositifs d'avertissement et de sécurité. Enfin, la quantité de calories dégagées, étant énorme, la masse d'eau dont on dispose étant souvent limitée, il faut la refroidir à son tour dans des bassins à l'air libre, et parfois c'est cela qui limite la durée de fonctionnement possible sans arrêt. On voit que, dans les émetteurs modernes (fig. 22 et 23) il n'y a souvent aucune partie tournante : transformateur statíque, redresseurs, tubes... tout est immobile, silencieux, en apparence mort — sauf le mouvement des aiguilles sur les cadrans, et l'allumage des lampes. C'est un frappant contraste avec les anciens postes à étincelles, et l'on ne peut s'empêcher d'y voir une manifestation du progrès accompli ; le bruit est, ici comme ailleurs — sauf peut-être en politique — une énergie perdue.

La stabilisation. — Nous avons dit que la souplesse des lampes leur permettait, suivant le circuit auquel on les associait, d'entretenir des oscillations de fréquences très variables.

Cet avantage n'est pas sans présenter une contre-partie : c'est que la fréquence d'un poste à lampes change avec la plus grande facilité.

D'une part, les changements de température (ceux de l'air ambiant, ou ceux qui résultent de l'échauffement progressif des circuits au cours du fonctionnement) ; les variations

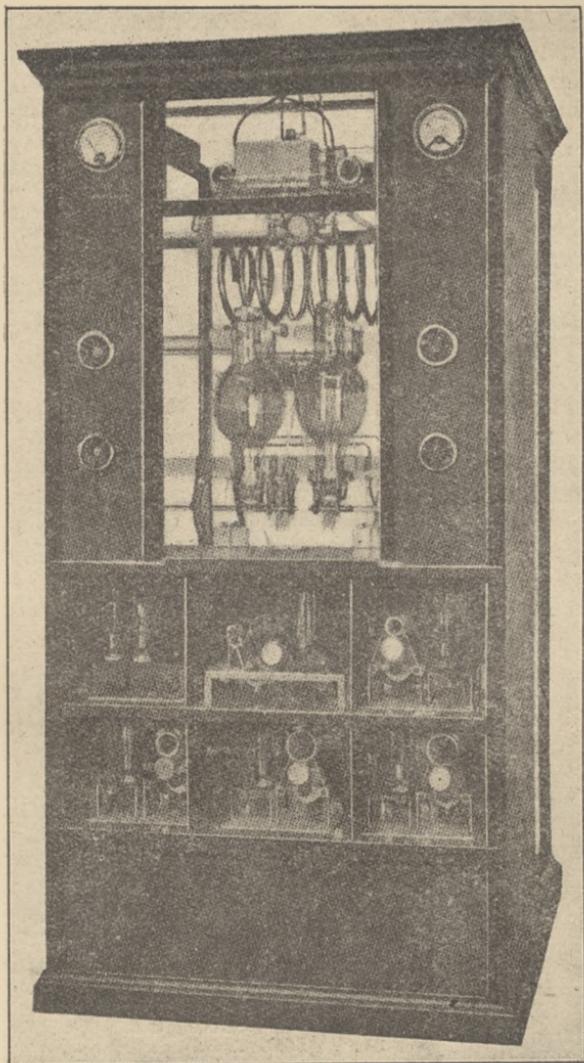


Fig. 23. — Détail de l'un des meubles d'émetteur à ondes courtes ; il contient le quartz et les étages amplificateurs et doubleurs de fréquence jusqu'à 600 watts.

des tensions d'alimentation (soit accidentelles, soit résultant de la modulation ou de la manipulation) se traduisent par des variations appréciables de la fréquence émise : quelques pour cent, par exemple, ce qui est inadmissible à une époque où les émetteurs s'échelonnent sur des ondes très voisines et où l'on désire bénéficier du maximum de sélectivité à la réception.

Le grand problème qui s'est posé depuis quelques années a donc été la *stabilisation* de la fréquence.

On l'a résolu à partir de l'idée générale suivante : ne plus demander aux tubes puissants de fonctionner en générateurs, (c'est-à-dire en « auto-excitation »), mais seulement en amplificateurs, leur « excitation séparée » étant fournie par un générateur plus faible. On a donc, d'une part ce « maître-oscillateur », commandant la fréquence et jouant le rôle de chef d'orchestre ; d'autre part, les étages de puissance, qui amènent le courant au niveau voulu.

Evidemment, on n'a fait que reculer la difficulté : en quoi le petit oscillateur auxiliaire est-il plus stable que le gros ? C'est justement parce qu'on a séparé les fonctions, et qu'on ne lui demande pas autant de choses :

Il est peu puissant ; donc il ne s'échauffera guère, et il sera possible de le protéger contre les variations de température extérieure ; il consommera peu, donc on pourra l'alimenter avec de batteries d'accumulateurs parfaitement stables.

Son rendement importe peu : alors certains détails de montage permettent de diminuer beaucoup l'influence de la lampe et de ses tensions.

On réalisera donc déjà une notable progrès et l'on conservera la fréquence à quelques dix-millièmes près, avec le type d'émetteur représenté sur la fig. 24. On y voit, à gauche, le Maître-oscillateur MO, fournissant par exemple une puissance de l'ordre du watt ; il est alimenté par batteries, et placé dans une enceinte à température constante, appelée « thermostat » ; certains de ces thermostats limitent les écarts de température à une fraction de degré, parfois au centième de degré.

Le maître-oscillateur débite à l'entrée d'un premier amplificateur-qui porte l'énergie à une vingtaine de watts ; à son tour, celui-ci débite dans un second, susceptible de fournir par exemple un Kilowatt ; enfin, le dernier amplificateur enverra dans l'antenne vingt ou cinquante kilowatts. Ces

trois amplificateurs, n'agissant pas sur la fréquence, ne nécessitent aucune précaution spéciale et peuvent être, bien entendu, alimentés par le secteur.

Cette cascade à puissances croissantes présente encore l'avantage, que si l'on veut manipuler, on ne le fera pas sur le dernier étage où l'on aurait à couper des courants notables, mais tout à l'entrée de la chaîne, sur une énergie très faible ; — et cependant sans agir sur le maître-oscillateur, dont le fonctionnement restera donc absolument stable.

Un tel schéma n'a, bien entendu, rien de rigoureux, et peut

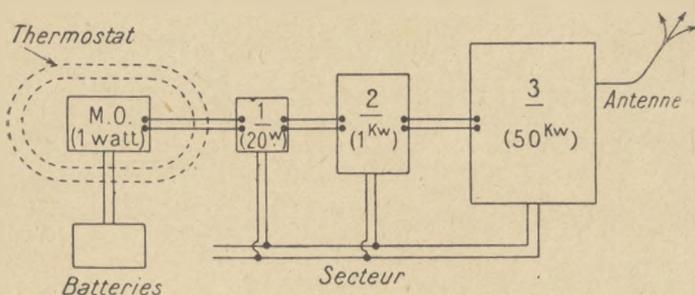


Fig. 24. — Principe de l'émetteur stabilisé MO = maître-oscillateur.

être simplifié ; par exemple au poste téléphonique de la Tour Eiffel, le Maître-Oscillateur est une « lampe pilote » de quelques kilowatts, attaquant directement l'étage final. Moyennant une surveillance pendant les premières minutes de chaque émission, la stabilité est pratiquement très suffisante.

Les diapasons et les quartz. — Les circuits électriques, même très soignés, sont néanmoins par nature incapables de fournir des résonances aussi aiguës, des fréquences aussi stables, que certains oscillateurs mécaniques.

On a dès lors pensé à utiliser de tels oscillateurs comme étalons, permettant de maintenir la fréquence au cent-millième, peut-être (disent leurs partisans) au millionième près. Deux types sont en service : le *diapason* et le *quartz*.

Chacun connaît le diapason, instrument familier aux musiciens comme aux physiciens. Pour l'employer en T.S.F., il faut naturellement lui adjoindre un entretien automatique,

et toute la difficulté est que cet entretien ne perturbe en rien sa fréquence propre. A cet effet (fig. 25) on place dans son voisinage deux petites bobines, reliées l'une à l'entrée, l'autre à la sortie, d'un amplificateur. On met le diapason en vibration par un choc ; il induit aussitôt des courants dans la bobine 1 ; ces courants, amplifiés, reviennent dans la bobine 2, et, moyennant une relation convenable de phase, renforcent et entretiennent le mouvement. Ajoutons tout de suite qu'un diapason ne saurait vibrer aux fréquences radiotélégraphiques ; il fonctionne en général aux environs de 1000 p/s : mais ce

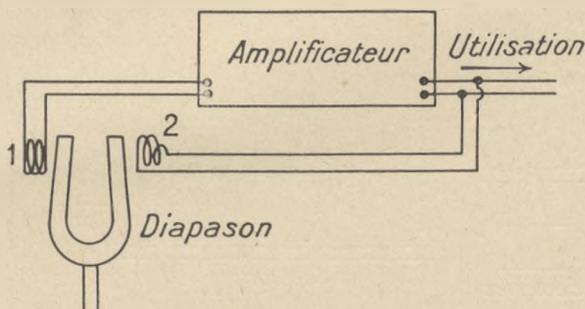


Fig. 25. — Entretien électrique du diapason.

n'est pas une difficulté, car on sait « multiplier » la fréquence par des étages amplificateurs spécialement disposés pour exagérer les harmoniques. A partir d'une fraction de courant prélevée sur le diapason, on disposera donc une série de doubleurs, tripleurs... de fréquence, jusqu'à obtenir le chiffre voulu, et en même temps on élèvera le niveau pour attaquer l'étage de puissance final.

C'est, par exemple, le système employé par les stations britanniques de radio-diffusion sur onde commune.

Un autre type de résonateur est particulièrement remarquable, à la fois par sa fréquence élevée, sa stabilité extraordinaire, et la facilité de son entretien. C'est le *quartz*.

Une mince lame de quartz peut vibrer jusqu'à plusieurs millions de fois par seconde ; cette vibration mécanique est incomparablement moins amortie que les vibrations électriques des circuits. En outre, taillé d'une certaine manière,

elle présente la curieuse propriété (découverte par Curie) d'être « *piézo-électrique* », c'est-à-dire que la dilatation et la contraction alternatives font apparaître sur les faces des charges électriques, et inversement. La transformation de cette vibration mécanique en un courant, se fait donc pour ainsi dire toute seule et directement. Sans doute l'énergie fournie est faible ; mais elle est facilement amplifiée, et l'oscillation se trouve en même temps entretenue, par combinaison avec une lampe (fig. 26). La lame de quartz, placée entre deux armatures métalliques, joue le rôle de circuit accordé sur la grille ; dans la plaque un autre circuit, approximativement réglé sur la même fréquence, provoque la réaction. Le quartz est peu sensible à la température ; néanmoins, il est bon, pour supprimer la plus petite variation, de l'enfermer dans un thermostat. C'est ainsi que sont équipés la plupart des postes récents. Parfois on

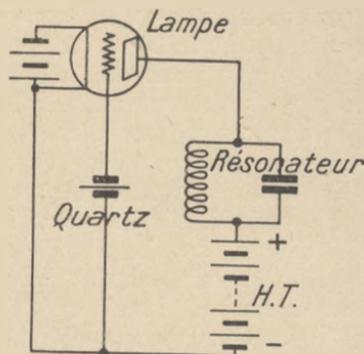


Fig. 26. — Oscillateur à quartz.

a deux cristaux, interchangeable par une simple manœuvre, soit à titre de rechange, soit pour travailler alternativement sur deux fréquences différentes.

L'émission téléphonique. La modulation. — Tandis qu'une émission télégraphique est manipulée par « tout ou rien », c'est-à-dire par coupure brutale, au contraire l'émission téléphonique doit changer d'amplitude d'une façon continue, avec une gradation parfaite, reproduisant avec fidélité les inflexions de la parole ou de la musique. La modulation d'un poste puissant consiste donc à faire commander ces variations sur 20 ou 100 kw., par une source sonore mettant en jeu une énergie infime (fraction de watt) ; ce fut pendant longtemps une difficulté presque insoluble.

Aujourd'hui, la lampe amplificatrice est, une fois de plus, la clef du problème. L'énergie sonore est faible ? Le microphone pour être fidèle, doit encore en perdre une partie ? Qu'importe...

Appliquons les faibles tensions sur la grille d'une lampe, nous les recueillerons, augmentées, aux bornes d'un transformateur placé dans le circuit de plaque. Et nous recommencerons, sur un autre étage, puis sur un troisième, et ainsi de suite, jusqu'à ce que nous ayons obtenu des tensions suffisamment importantes pour agir efficacement, soit sur la grille, soit sur la plaque des tubes émetteurs.

Sur la grille : la lampe modulatrice est alors intercalée comme une résistance variable dans son circuit, et modifie sa polarisation ; c'est le montage le plus économique, employé par exemple à la Tour Eiffel.

Sur la plaque : la dernière lampe modulatrice est alimentée par la même source que la lampe d'émission, et l'on s'arrange pour que cette source fournisse un « courant constant » ; ainsi, ce que l'une prend, est retranché dans l'autre, et l'énergie dans l'antenne varie en sens inverse de celle dissipée dans la lampe modulatrice. Ce système exige plus de tubes, donc il est plus coûteux que le précédent ; mais il permet de mieux concilier la profondeur et la fidélité de la modulation, il est plus efficace. C'est lui qu'on emploie dans la plupart des postes de diffusion.

Ajoutons enfin que, si l'émetteur comporte une « excitation séparée avec maître-oscillateur et plusieurs étages d'amplification, on se gardera bien d'attendre le dernier étage pour effectuer la modulation ; au contraire, de même que pour la manipulation télégraphique, il sera beaucoup plus simple et moins coûteux de l'appliquer au début de la chaîne, alors que la puissance mise en jeu est encore très faible. Le schéma de principe d'un tel ensemble est alors donné par la fig. 27 ; l'onde entretenue, parfaitement stable, est préparée par un maître-oscillateur et un premier amplificateur (à gauche) ; la modulation vient du microphone et de son amplificateur (à droite) ; elles sont combinées dans un modulateur, et l'onde modulée résultante subit les amplifications finales jusqu'à l'antenne.

Ceci, bien entendu, est un schéma-type susceptible de variations ; nous verrons plus loin quelques modèles d'émetteurs spéciaux.

Les microphones. — Dans un tel ensemble émetteur, le rôle essentiel, au point de vue qualité de la transmission,

est joué par le *microphone* lui-même, chargé de transformer la vibration électrique.

Cette conversion paraît facile, tant que l'on veut bien se contenter d'une fidélité très approximative : tous les microphones de nos appareils téléphoniques d'abonnés, utilisent fort simplement les variations de résistance entre des grains de charbon, au contact d'une membrane qui reçoit les sons à transmettre.

Un instant de réflexion montre qu'un tel système introduit forcément beaucoup de déformation ; la membrane vibrante

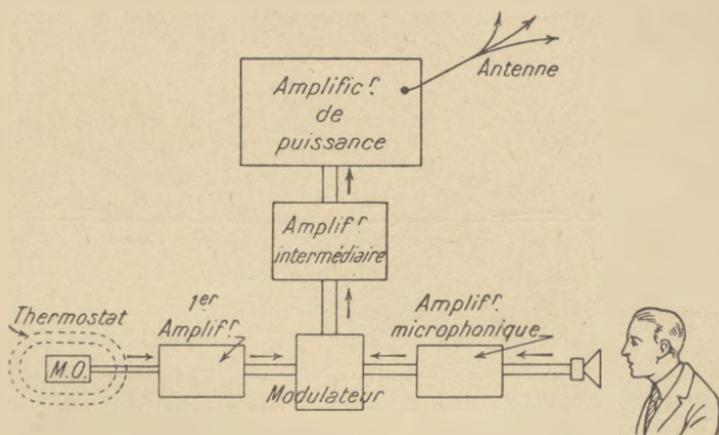


Fig. 27. — Schéma de principe d'un émetteur radiotéléphonique moderne.

a très vraisemblablement une résonance propre, et favorise les sons de fréquence correspondante ; quant au contact entre les grains de charbon, il est instable, fantaisiste, et la variation de résistance (l'effet) n'est nullement proportionnelle aux variations de pression (c'est-à-dire à la cause). C'est ce que les mesures expérimentales confirment : l'appareil présente, en fonction de la fréquence, une « courbe de réponse » très irrégulière (fig. 28) ; de plus il est insensible aux sons trop faibles, et rapidement saturé pour les sons forts ; bref, s'il suffit pour la téléphonie commerciale, c'est parce que l'oreille humaine est d'une tolérance invraisemblable et se

charge de reconnaître des sons complètement déformés (1).

Or, la radio-diffusion a posé un problème tout différent : celui de la transmission fidèle et artistique, dans laquelle on se propose de transmettre, aussi intégralement que possible, tout l'intervalle de fréquences — soit de 30 à 12.000 ou 15.000 p/s — et tout l'intervalle de puissances — soit du microwatt au watt — d'une exécution symphonique ; et ceci, sans introduire aucune composante parasite étrangère à l'original.

Le microphone à charbon a eu fort à faire pour donner satisfaction à toutes ces exigences. Ses partisans l'ont nota-

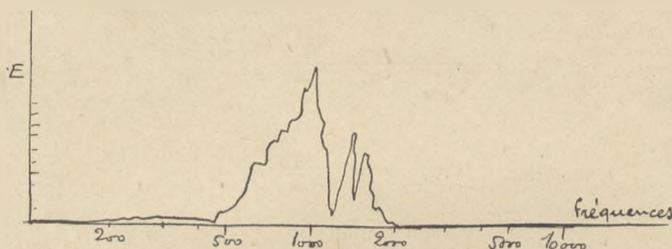


Fig. 28. — Rendement, en fonction de la fréquence, d'un microphone ordinaire à charbon.

blement amélioré, en employant un charbon traité particulièrement homogène, disposé symétriquement, de part et d'autre, d'une membrane très fortement tendue et amortie. D'autres ont résolument fait appel à des principes différents, dans lesquels la variation électrique est, par définition, en rapport simple et constant avec la vibration mécanique : tels sont le microphone *électrostatique*, dans lequel le déplacement de la membrane produit un changement de sa capacité par rapport à une paroi fixe : et la microphone *électrodynamique* à ruban, dans lequel le déplacement d'une membrane

(1) Dans une conversation suivie, d'ailleurs, l'intelligence de l'auditeur vient en aide à son oreille dans une proportion incroyable : l'auditeur devine inconsciemment, bon nombre de sons mal entendus ou douteux. On s'en rend compte dans la transmission des noms propres ou des chiffres : comme il est impossible de deviner, il faut faire répéter et employer des artifices pour épeler « A comme Anatole, B comme Berthe etc... ; Six, deux fois Trois... ». Dans l'essai méthodique des appareils téléphoniques, on emploie des syllabes isolées dépourvues de sens, ou « logatomes »

souple et flexible dans un champ magnétique puissant, y induit des forces électro-motrices proportionnelles. On a proposé, également, d'utiliser d'autres phénomènes, parmi lesquels la piézo-électricité du quartz, la conductibilité des flammes, etc.

Les appareils actuellement en service dans les stations de radio-diffusion, appartiennent à l'un ou l'autre de ces types, suivant les pays et les usages. Leurs courbes en fonction de la fréquence, sont très nettement améliorées (fig. 29) ; en outre ils sont beaucoup plus sensibles aux sons faibles, ce qui permet de les éloigner et d'obtenir ainsi plus d'homogénéité entre les exécutants ; et néanmoins, ils supportent plus d'amplitude et restituent les « forte » d'orchestre sans confusion.

Il reste assurément encore bien des progrès à faire ; en

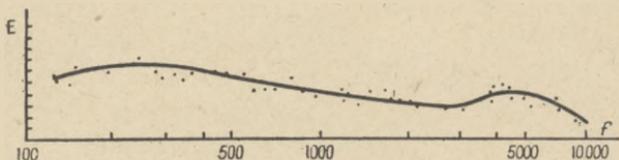


Fig. 29. — Rendement en fonction de la fréquence, d'un microphone-condensateur spécial pour radio-diffusion.

particulier, l'emplacement du microphone en fonction de l'acoustique de la salle, et la possibilité d'obtenir un effet de relief par l'emploi de plusieurs microphones, font l'objet d'études suivies.

Les antennes d'émission. — Le poste émetteur se termine toujours par une antenne, à laquelle incombe le rôle essentiel de rayonner l'énergie à travers l'espace.

L'une des premières découvertes de la T.S.F. fut l'importance de la hauteur de l'antenne ; le calcul précisa, plus tard, que c'est surtout le rapport de cette hauteur à la longueur d'onde, qui détermine l'efficacité du rayonnement. Aussi, du temps des ondes longues, fallait-il hisser des pylônes gigantesques, de 200 et 250 mètres de hauteur ; faute de pouvoir monter davantage, avait-on soin, en outre, de prolonger l'antenne par une nappe horizontale étendue à cette

hauteur, et qui couvrirait parfois des surfaces de l'ordre du kilomètre carré. En-dessous, on enterrait une « prise de terre » métallique de surface équivalente ; et malgré tous ces efforts, une bonne partie de la puissance envoyée dans l'antenne se dissipait inutilement sous forme de chaleur dans les fils.

La question changea totalement d'aspect avec l'apparition des ondes courtes ; atteindre la hauteur de 20 ou 50 mètres, n'était plus qu'un jeu ; on pouvait même sans trop de peine

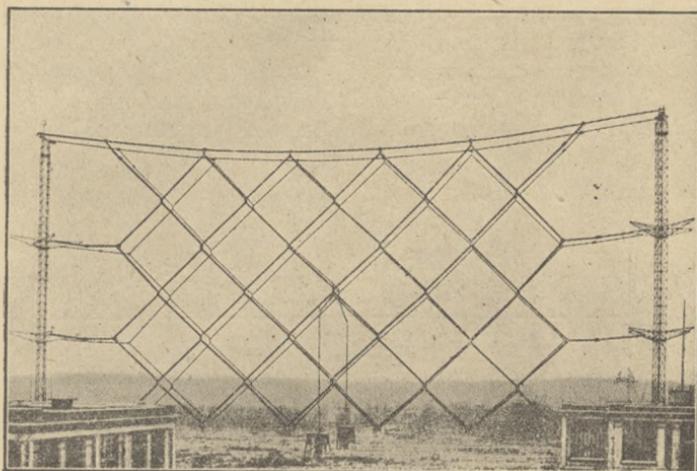


Fig. 30. — Antenne dirigée pour ondes courtes : rideau Chireix-Mesny.

disposer des réseaux d'antennes occupant des dimensions de plusieurs longueurs d'onde, ce qui leur conférait une propriété extrêmement intéressante : un *pouvoir directif* marqué ; la « différence de marche » entre les rayonnements des différents brins, n'était pas la même dans les différentes directions, de sorte qu'avec un déphasage initial convenable, il y avait addition des effets d'un côté et soustraction d'un autre. De tels systèmes, « projetant » un faisceau dans la direction du correspondant, augmentent beaucoup l'efficacité de la transmission et permettent d'économiser la puissance. Aussi sont-ils maintenant d'emploi très général dans les liaisons importantes. Leur principe est toujours le même ; si la disposition

matérielle diffère, c'est que les différents brins peuvent être groupés de bien des manières, et que la distribution du courant avec la phase convenable, peut être obtenue par des artifices variés.

La fig. 30 représente un « rideau projecteur » du système français « Chireix-Mesny » ; la fig. 31 montre l'aspect du diagramme de rayonnement obtenu.

II. RÉCEPTION

L'évolution des récepteurs. — Les premiers récepteurs utilisés en 1900 comportaient les trois opérations successives suivantes : capter l'énergie des ondes par un collecteur

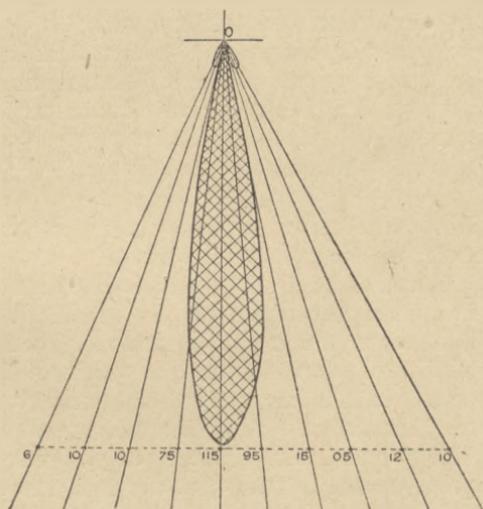


Fig. 31. — Rayonnement de l'antenne dirigée.

aérien (antenne ou cadre) ; opérer une sélection en faveur du poste désiré, en éliminant les autres, par un système d'accord ; enfin, *détecter*, c'est-à-dire faire apparaître la modulation ou la modulation, débarrassée de l'onde porteuse à haute fréquence qui lui avait servi de véhicule.

Ces trois opérations demeurent dans le récepteur de 1931 ; on y a seulement ajouté une quatrième : *l'amplification*, soit

avant, soit après détection, qui permet de partir d'un signal énormément plus faible pour obtenir un courant utilisable notablement plus fort.

Faut-il conclure que le principe a bien peu changé ? que la réception n'a pas sensiblement progressé ?

Ce serait une grosse erreur ; autant vaudrait dire, par exemple, que l'automobile de 1930 n'a pas de supériorité sur celle de 1900, sous prétexte qu'elle possède également un moteur et quatre roues.

Tout au contraire, un examen plus attentif montre d'énormes différences ; de même que la vitesse, l'économie, la facilité d'entretien sont, pour l'automobile, d'un tout autre ordre de grandeur — de même les qualités fondamentales du récepteur radio-électrique : sensibilité, sélectivité, fidélité, se sont élevées dans des proportions étonnantes.

Une grande part de ces progrès revient à la lampe amplificatrice, dont nous avons précédemment montré les avantages techniques ; il nous reste à voir comment les appareils récepteurs eux-mêmes ont su l'utiliser.

Examinons les opérations successives :

Les collecteurs d'onde. — On peut noter, sur les collecteurs d'ondes, une instructive évolution.

Dans les débuts, on utilisait les ondes « moyennes » et « longues », et l'amplification n'existait pas : il fallait avant tout capter suffisamment d'énergie, et pour cela employer des antennes très hautes et très longues. Le voisinage d'un clocher ou d'une cheminée d'usine, constituait pour l'amateur une bonne fortune inestimable ; on cite des opérateurs sportifs qui ont utilisé des antennes portées par cerf-volants.

Puis, apparut l'amplification ; et dès lors, la question d'énergie captée devenait secondaire. Il était si commode d'ajouter un étage en plus, que l'on renonça presque aux antennes extérieures, difficiles et coûteuses à établir et à maintenir. Un simple cadre, transportable avec le récepteur, étalonné d'avance, possédant un pouvoir directif, sembla l'idéal pendant plusieurs années.

Nous assistons actuellement à un revirement. D'abord, parce que le cadre est beaucoup moins efficace que l'antenne, et recueille une énergie beaucoup moindre ; or, sur les ondes courtes, lors des évanouissements, le signal devient parfois

si faible, que toutes les amplifications ne suffisent pas à le faire sortir. Il est donc avantageux de commencer par ne pas en perdre systématiquement une partie ; on utilise pour cela, non seulement *une* antenne extérieure, mais même dans les grands centres, un ensemble complexe d'antennes, un *réseau dirigé* comme à l'émission.

D'autre part, à supposer possible l'amplification supplémentaire exigée par le cadre, elle n'est pas toujours aussi simple, aussi avantageuse qu'on l'avait cru d'abord. Un étage de plus, c'est de l'encombrement et du prix, une augmentation du bruit de fond et de la sensibilité aux parasites locaux, une chance de plus de distorsion et de déréglage ; et le pouvoir directif du cadre n'est pas toujours bien efficace contre les brouilleurs rapprochés. Bref, l'antenne intérieure lui est préférée par de nombreux constructeurs, et tout une série de postes l'utilisent à nouveau.

Le choix du collecteur d'ondes est donc une petite question de tactique impossible à trancher d'une manière absolue.

La sélection. — La sélection a pour but de séparer le signal que l'on désire, d'avec les autres signaux brouilleurs et les parasites de toute nature, agissant en même temps sur l'antenne.

Elle a pour base le phénomène de la résonance dans un circuit accordé, comprenant self-induction et capacité. Ce circuit est réglé de manière à ce que ses oscillations propres aient la même fréquence que celle du signal. Si donc les premières alternances du signal commencent à le mettre en mouvement, il continue précisément sur le même rythme, et l'effet des impulsions successives s'y accumule, toujours renforçant l'oscillation, qui finit par acquérir une grande amplitude. Tandis que les impulsions d'un brouilleur à fréquence différente, se trouvent au bout de peu de temps en discordance de phase avec le mouvement propre du circuit, et cessent de l'augmenter.

On a fait beaucoup de progrès dans l'utilisation de ce phénomène fondamental.

Le circuit résonant lui-même a fait l'objet de nombreuses améliorations : son amortissement a été diminué par une construction convenable des bobines, condensateurs... ; il couvre une gamme plus étendue, et avec plus de régularité.

On a perfectionné les combinaisons de résonateurs entre eux, de manière à dépasser notablement ce qu'il est possible de faire avec un seul. On opère soit par des résonances successives sur le même signal — résonances qui peuvent être ou exactes, ou désaccordées suivant un dosage soigneux — soit en introduisant des « contre-résonances » réglées pour éliminer au mieux les fréquences gênantes. Les ensembles complexes ainsi établis sous le nom général de filtres, peuvent être bien supérieurs aux résonateurs isolés.

Enfin, quelques études théoriques, autant que l'échec de nombreuses tentatives pratiques, ont permis d'acquérir des idées précises sur les limites possibles de la sélection. Pour séparer le signal d'avec les brouilleurs et les parasites, il faut, nécessairement, en recueillir un certain nombre d'alternances ; il faut accumuler pendant un certain temps, les impulsions qu'il fournit. Plus le circuit doit être sélectif, c'est-à-dire sensible aux différences de fréquences, plus il doit accumuler longtemps les effets — donc plus il est lourd et lent. Comme on est toujours limité, puisque l'on veut pouvoir suivre des manipulations ou modulations rapides, dans cette « constante de temps », il s'ensuit que la sélection possible est également limitée, tant vis-à-vis des brouilleurs que des parasites brefs agissant par choc.

Naturellement encore, si l'on accroît la vitesse de transmission télégraphique ou la fidélité de reproduction téléphonique dans les fréquences élevées, on est obligé de diminuer d'autant la sélection limite — donc, s'il y a des troubles à un niveau donné sur le récepteur, il faut augmenter la puissance transmise. En T.S.F. comme ailleurs, la vitesse et la qualité se paient.

La connaissance précise de ces limites est fort importante ; elle permet de calculer rationnellement les récepteurs ; de voir ce qui est possible, et ce qui ne l'est pas, dans la répartition des fréquences entre les stations transmettrices ; elle évite aux chercheurs sincères de s'égarer à la poursuite de problèmes analogues à la « quadrature du cercle » ou au « mouvement perpétuel » ; enfin, elle permet de flairer à coup sûr le bluff et l'exagération dans les prouesses annoncées de certains appareils.

La détection. — Voici l'opération principale, celle qui

consiste à déceler le passage des courants à haute fréquence imperceptible à nos sens.

Hertz fit ses premières expériences en observant les microscopiques étincelles produites par ces courants à la coupure d'un circuit : méthode exigeant évidemment des tensions notables, donc de sensibilité très faible ; le savant allemand ne se doutait point que l'on pourrait gagner suffisamment pour déceler les ondes à des milliers de kilomètres.

En attirant l'attention sur la conductibilité des limailles métalliques sous l'action des étincelles à distance, Branly fournissait un nouveau détecteur, déjà beaucoup plus sensible, et qui permettait les premiers essais de radiocommunication réelle par Marconi.

Tout de suite, on chercha et l'on trouva mieux : le détecteur électrolytique, le détecteur magnétique... furent les premiers utilisés dans les stations de réception. Mais surtout, la *galène*, dont certains contacts avec des pointes métalliques fournissent une « conductibilité unilatérale » encore mal expliquée ; ceci, avec un très bon rendement, et une simplicité admirable — aucune source extérieure d'énergie n'étant requise. La galène s'emploie encore aujourd'hui dans les postes sans amplification ; elle a deux inconvénients, le premier était de nécessiter de fréquents réglages, le second d'avoir une résistance faible et par suite d'amortir les circuits aux bornes desquels on l'intercale.

Enfin, la détection fut le premier emploi radiotechnique de la lampe à plusieurs électrodes. Les montages actuels, dans lesquels l'oscillation haute fréquence est appliquée sur la grille, permettent de n'absorber aucune énergie, et même d'apporter une amplification et une « résistance négative » supplémentaires ; toujours prête, n'exigeant aucun réglage, fournissant des puissances élevées si on le désire, la lampe détectrice est pratiquement *toujours* employée dès que l'on dispose des sources d'alimentation nécessaires.

Amplification. — Nous avons vu que la propriété essentielle de la lampe est d'être « amplificatrice » ; nous avons vu aussi combien cette propriété avait été développée dans sa construction même.

Il nous reste à voir comment on a pu améliorer son emploi. S'il n'y avait qu'une seule lampe, on appliquerait sur sa

grille ce qui provient du collecteur d'ondes, et on recueillerait les variations du courant-plaque.

Mais, en fait, il y a généralement plusieurs lampes ; c'est leur couplage et leur répartition qui peuvent être plus ou moins efficaces. Le problème est d'utiliser la variation de courant-plaque de chaque lampe pour appliquer sur la grille de la lampe suivante une variation de *tension* aussi grande que possible. Or, les lampes étant, par raison de commodité, alimentées par la même source, les grilles doivent être sensiblement au potentiel négatif du filament, et les plaques à 80, 120... volts au-dessus ; on ne peut donc relier directement la plaque de l'une à la grille de l'autre (1).

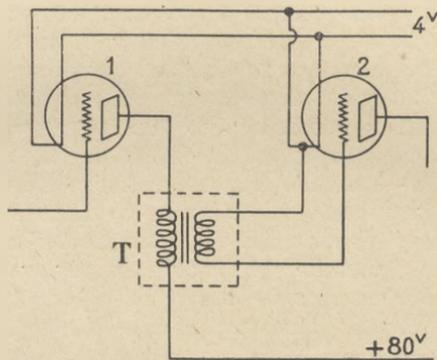


Fig. 32. — Couplage par transformateur T.

On tourne la difficulté de plusieurs manières : la plus normale et la plus générale est d'utiliser un transformateur de couplage (fig. 32) dont le primaire est alimenté par la plaque de la première lampe et dont le secondaire alimente la grille de la seconde. Ce transformateur peut et doit être, tantôt « apériodique » pour fonctionner sur une gamme étendue de fréquences ; tantôt « sélectif » pour favoriser une bande restreinte. D'où deux types, différents tout à fait, et dont la réalisation soulève des difficultés contradictoires et également

(1) Sauf dans quelques cas, tout à fait exceptionnels. L'alimentation sur le secteur permettra peut-être d'alimenter les lampes à des potentiels arbitrairement choisis, mais cela n'est pas encore courant.

subtiles. L'art des constructeurs a permis, ces dernières années, d'en voir augmenter beaucoup le rendement.

Une autre solution, généralement moins coûteuse, est d'intercaler dans le circuit de plaque une « impédance » Z — souvent réduite à une simple résistance — (fig. 33) et à coupler par une capacité C avec la grille. Les variations de courant plaque provoquent dans Z des variations de tension que C transmet. Avec ce montage, aucun courant ne pouvant passer dans la grille, elle prendrait un potentiel négatif ; comme on ne le désire généralement pas, on ajoute une résistance p pour laisser passer un faible courant vers le filament.

Tous les montages actuels dérivent plus ou moins de ces deux-là.

Répartition de l'amplification. — Les méthodes d'amplification précédentes peuvent être appliquées à volonté,

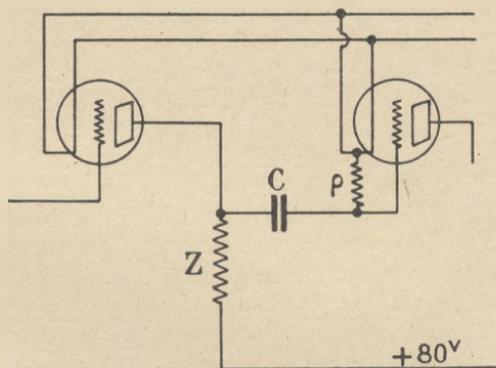


Fig. 33. — Couplage par impédance (Z) et capacité (C).

soit en haute fréquence, c'est-à-dire sur l'onde reçue, avant détection ; soit en basse fréquence, après détection, par conséquent sur la modulation seule. C'est une question d'adaptation des transformateurs ou impédances de couplage.

Mais il n'est pas indifférent de choisir entre ces deux variantes, parce que le niveau de la bonne détection est à peu près défini et non susceptible de grands écarts ; c'est l'ordre de grandeur d'une réception forte au casque. A partir de là, ajouter des étages basse fréquence, c'est élever la puissance

de sortie pour actionner des relais ou des haut-parleurs d'appartement, puis de grandes salles ou d'extérieur ; un étage suffit souvent, le chiffre deux est très rarement dépassé.

Au contraire, ajouter des étages « haute fréquence » avant la détection, ce n'est pas modifier la puissance utile ; c'est augmenter la sensibilité, c'est-à-dire permettre d'obtenir cette puissance à partir de signaux plus faibles, — ou de collecteurs d'ondes plus réduits. Pour l'écoute des postes rapprochés et puissants, c'est parfaitement inutile ; *un* tel étage, parfois *deux*, sont fréquemment employés dans les récepteurs de radio-diffusion pour permettre l'écoute des stations lointaines. On n'en groupe davantage que si l'on tient à établir des records, ou dans les postes de grand trafic commercial.

On a imaginé, depuis longtemps, une solution intermédiaire : celle du « changement de fréquence ». L'onde reçue (après 1^{re} amplification s'il y a lieu), est détectée en même temps qu'une onde de fréquence voisine produite par un générateur local ; le « battement » entre elles deux constitue une onde nouvelle, de fréquence plus basse, sur laquelle on peut réaliser une deuxième amplification, puis une seconde détection. Les avantages sont les suivants : cette amplification intermédiaire accroît la sensibilité ; en outre on peut la combiner avec une sélection particulièrement efficace, puisque réglée d'avance et une fois pour toutes sur la fréquence de battement arbitraire que l'on maintiendra fixe.

Par contre, elle exige une certaine complication, et son utilisation est plus délicate qu'on ne le croit généralement ; en outre on est exposé à des brouillages et à des sifflements intempestifs.

Réglage de l'amplification. — En vertu de l'axiome « Qui peut le plus, peut le moins », il peut sembler évident qu'un récepteur très sensible, capable de recevoir les signaux faibles, soit, à plus forte raison, excellent pour les signaux forts. Et pourtant, ceci n'est pas tout à fait exact. Une très grande amplification, peut se trouver excessive, parce que les lampes ne sont pas capables d'une amplitude indéfinie. Si donc les premières fonctionnent normalement, les étages ultérieurs arrivent vite à être « saturés », et bloqués. Non seulement

l'amplitude n'augmente plus, mais elle peut diminuer ; en tous cas, il y a distorsion, déformation.

Lors donc qu'un récepteur — et c'est le cas de la radio-diffusion — doit recevoir alternativement les champs des postes lointains (de l'ordre de 100 microvolts par mètre) et ceux des postes locaux (de l'ordre de 100 millivolts), il faut faire varier, en sens inverse, sa sensibilité, dans le rapport de 1000 à 1. Les constructeurs se sont longtemps illusionnés sur la facilité de cette opération, s'en remettant à l'usager pour amortir ou désaccorder les différents circuits : pratique absurde et déplorable, conduisant à des réceptions de fort mauvaise qualité. La véritable solution, qui commence à se répandre, consiste à disposer une manœuvre spéciale permettant le réglage de l'amplification dans toutes les limites requises, sans modifier ni la détection, ni la sélectivité, et en évitant toute saturation.

Avec les ondes courtes et très courtes, il a fallu faire mieux encore. Nous avons dit que la propagation de ces ondes, très irrégulière, était sujette à des renforcements considérables alternés avec des « évanouissements » subits et rapides, même à des distances faibles ; de telle sorte que la f. em. reçue peut varier dans le rapport de 1 à 1.000, non plus en changeant de poste, mais au cours de la même réception, d'un instant à l'autre. Il est donc impossible d'ajuster proprement l'amplification ; si l'on en met peu, le signal s'« évanouit » fréquemment ; si l'on en met beaucoup il est fréquemment déformé par excès de puissance.

Pour remédier à ce défaut, on a imaginé de procéder à une régulation *automatique*, tendant à maintenir constant ce qui sort de la lampe détectrice. Son principe est le suivant : le courant détecté passe dans des résistances ou des relais qui commandent la polarisation des lampes amplificatrices précédentes, dans un sens tel, que la sensibilité varie en sens inverse de la force du signal. Les variations d'intensité sont ainsi corrigées en une faible fraction de seconde, et dans de larges limites ; — bien entendu, tant que le signal ne tombe pas au-dessous d'un certain seuil, auquel cas il est forcément perdu. Ces régulateurs automatiques sont absolument nécessaires pour les liaisons radiotéléphoniques bilatérales entre postes d'abonnés ; il commencent en outre à s'employer dans les récepteurs de radio-diffusion.

La réaction. — La « réaction » est une sorte d'amplification supplémentaire qui accompagne généralement la précédente, mais qui en est, théoriquement, très distincte. Elle résulte du fait que la transmission de l'énergie à travers l'amplificateur n'est pas absolument unilatérale, ne va pas uniquement de l'entrée vers la sortie ; en particulier, en plus de l'action fondamentale du circuit de grille de la lampe, sur son courant-plaque, il existe en sens inverse une « réaction » du circuit de plaque sur la grille. Une fraction d'énergie, amplifiée, fait retour aux bornes d'entrée, et s'ajoute à celle du signal pour la renforcer. Il y a augmentation du courant, diminution apparente de l'amortissement ; bref, gain en sélection et en sensibilité ; à un certain degré, on obtient même la production d'oscillations spontanées, et c'est au fond le principe même des émetteurs à lampes.

Très réellement efficace, surtout sur les ondes courtes ; permettant, au prix d'une manœuvre supplémentaire, d'économiser les lampes ; la réaction a été d'autant plus employée qu'elle se produit généralement toute seule par la capacité interne des lampes et le couplage à distance des bobines, de sorte qu'on avait plus de peine à l'empêcher qu'à la provoquer.

On a même exagéré ; l'usage montre qu'elle n'est pas sans inconvénients. D'abord elle varie très vite avec les tensions d'alimentation ; en outre elle dépend aussi de l'amplitude du signal, ce qui provoque une déformation ; enfin, elle exagère la sélection. A ces méfaits sont donc, en bonne part, imputables, les déformations et altérations de timbre qui ont longtemps caractérisé la reproduction des sons par T.S.F.

Les tendances actuelles : stabilité pour les récepteurs de trafic ; simplicité et qualité, pour ceux de radio-diffusion — conduisent par suite à supprimer la réaction, ou du moins à restreindre son rôle en ne lui demandant qu'une amplification faible et en se tenant toujours loin de la limite d'accrochage des oscillations.

Types de Récepteurs actuels. — Nous voudrions montrer, sur deux exemples différents, l'application de ces principes : d'abord aux récepteurs de trafic commercial ; puis à ceux de radio-diffusion privée. Les deux problèmes sont très différents ; aussi ne doit-on pas s'étonner que les solutions divergent.

Récepteurs de trafic commercial. — Dans ce cas, on demande avant tout le maximum d'efficacité. La complication, l'encombrement, sont secondaires ; le prix n'est en général qu'une faible fraction de l'ensemble mis en jeu. Le nombre des réglages à faire initialement importe également assez peu, car on travaille longtemps avec le même correspondant sur la même onde, et l'on dispose d'ondemètres pour effectuer les changements. Ce qui coûterait très cher, et que

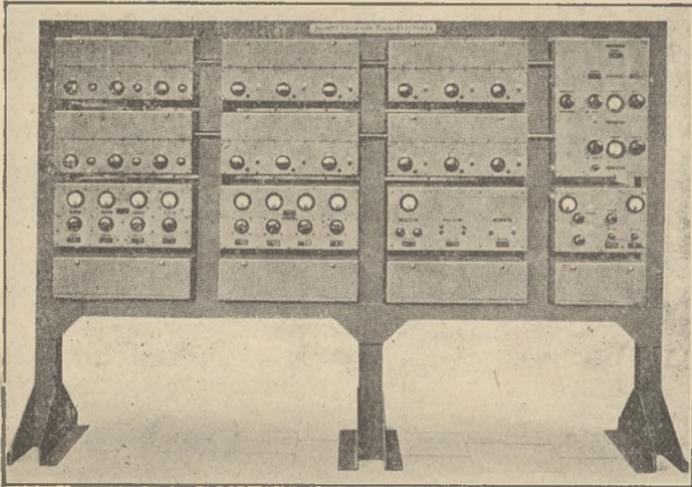


Fig. 34. — Vue d'un récepteur moderne de grand trafic.

l'on veut éviter, c'est la présence constante d'un opérateur spécialiste ; il faut donc que l'appareil une fois mis en route, fonctionne sûrement pendant de longs intervalles, et si possible enregistre automatiquement les signaux.

On sera donc amené à faire l'installation dans un endroit dégagé et tranquille, loin de tous brouilleurs et parasites industriels. On prendra le collecteur d'ondes le plus efficace : cadre dirigé, ou système d'antennes à pouvoir directif accentué (cas des ondes courtes). On fera une sélection soigneusement dosée, à l'aide de circuits successifs, filtres etc... en nombre suffisant, intercalés dans une amplification haute fréquence

très poussée : quatre, six, parfois huit étages. Le plus souvent, on effectuera un changement de fréquence pour pouvoir augmenter encore l'amplification et parachever la sélection ; et, sur ondes courtes, on adaptera un « régulateur automatique » d'amplification. Enfin, après détection, on disposera des étages amplificateurs de basse fréquence, et s'il y a lieu un redresseur, en quantité suffisante pour actionner confortablement le haut-parleur ou le relais imprimant.

Un tel ensemble se construit généralement sous forme de meuble, à panneaux verticaux jointifs (fig. 34). L'alimentation se fait par batteries. Le prix atteint évidemment plusieurs dizaines, parfois plusieurs centaines de mille francs.

Récepteurs privés de radio-diffusion. — Dans la mesure où elles peuvent être précisées—car elles sont assez variables — les conditions à remplir sont différentes des précédentes.

Le prix joue un rôle essentiel, et doit être tenu bien en-dessous des chiffres ci-dessus. De même l'encombrement, l'élégance de la présentation, la facilité d'entretien et la simplicité de manœuvre ; cette dernière d'autant plus difficile à obtenir que les changements d'onde doivent être fréquents et rapides.

En revanche la stabilité importe assez peu, dans la limite où l'auditeur n'est pas forcé de se déranger à tout instant.

La qualité de la reproduction possède une importance variable. Bon nombre de personnes, surtout au début, y attachent peu d'importance ; puis elles s'éduquent et deviennent plus exigeantes. Au contraire, les musiciens difficiles demandent dès l'abord une grande perfection.

Enfin, la sensibilité est évidemment désirable, mais en général sous les réserves ci-dessus ; sauf quelques cas spéciaux, elle ne doit pas être acquise au prix de réglages délicats et instables, ni d'une sélectivité qui compromette la qualité (1).

Le poste privé idéal sera donc réalisé de la manière suivante : Dans tous les cas où l'on dispose d'un secteur électrique dont les pannes et les variations de tension sont acceptables, on cherchera l'alimentation directe du poste par ce secteur, totalement et sans aucune pile ni accumulateur à surveiller.

(1) Cette opinion semble gagner du terrain à l'heure actuelle, et sera peut-être bientôt une lapalissade ; mais il n'en a pas toujours été ainsi, et l'auteur se souvient d'avoir été parfois combattu quand il l'a soutenue dès 1928.

On cherchera ensuite une présentation compacte et pratique, un aspect plaisant et agréable : car la technique n'est pas tout ; aux yeux de l'acheteur elle n'est même souvent pas grand'chose.

Pour cette raison, on se contentera le plus souvent d'un collecteur d'ondes réduit : petit cadre, ou petite antenne intérieure d'appartement.

Sauf si l'on se borne à l'écoute des stations locales, on emploiera l'amplification haute fréquence, toutefois à dose moindre que dans les récepteurs de trafic : un étage, parfois deux ; rarement trois ou davantage. Et, comme l'utilisateur ignore ce qu'est un étalonnage, il faudra lui rendre la sélection du poste choisi aussi facile que possible : deux manœuvres au plus, et mieux « commande unique » de tous les circuits accordés simultanément. Les cadrans seront gradués en longueurs d'onde (exactitude non garantie, mais l'effet moral est produit...) ; s'ils sont, en outre, transparents et éclairés par en-dessous, la lecture en sera grandement facilitée.

Ici encore, si l'on désire le maximum de sensibilité, on pourra utilement procéder à un changement de fréquence ; avec deux ou trois étages de plus, on aura suffisamment d'amplification pour entendre jusqu'aux antipodes, les émetteurs... et les parasites.

On terminera par un étage de basse fréquence, exceptionnellement deux pour les auditions très puissantes.

Enfin, pour les raisons que nous avons expliquées, le constructeur devra prévoir le réglage de l'amplificateur par une manœuvre simple dans des limites suffisantes pour pouvoir alternativement écouter sans distorsion les postes locaux puissants, ou profiter de toute la sensibilité pour les postes éloignés. Les « régulateurs automatiques », bien que forcément un peu coûteux, commencent à s'employer également et donnent une protection intéressante contre les évènements des ondes de 200-600 m.

Les appareils d'utilisation en télégraphie. Relais et inscripteurs. — La réception continue d'être pratiquée, dans les stations mobiles ou dans les postes fixes à faible trafic, suivant l'ancienne méthode de « lecture au son ». L'opérateur spécialement entraîné arrive à traduire l'alphabet Morse jusqu'à des vitesses de l'ordre de 20 mots par minute,

soit 1.200 mots à l'heure. (C'est d'une manière analogue que se fait aussi parfois la réception des messages *sur fil* dans les bureaux télégraphiques peu importants).

On a perfectionné le méthode en employant des opérateurs dactylographes, qui « tapent » directement le message à la machine à écrire au lieu de l'écrire au crayon. Il est ainsi plus lisible, directement à la portée du public ; on peut en garder un double pour le contrôle ; enfin, la vitesse peut être légèrement augmentée ; toutefois on est toujours limité par la durée des réflexes humains.

Cette réception à l'oreille présente de nombreux avantages, et s'accommode de toutes sortes de variations : que la vitesse soit modifiée, que la force change, que la « note » varie : l'opérateur, intelligent, continue à suivre. Il arrive même à distinguer le poste désiré, parmi des parasites et des brouillages relativement intenses. Aussi, dans les cas difficiles, ne manque-t-on pas de revenir à ce procédé ancien, mais sûr.

Néanmoins, au siècle de l'automatisme et de la vitesse, alors que l'exploitation télégraphique sur lignes emploie couramment des appareils imprimants beaucoup plus rapides, il était absolument nécessaire d'augmenter le rendement des liaisons radio en leur appliquant ces méthodes perfectionnées. La difficulté provient de ce que la réception sans fil est généralement bien moins puissante et bien moins stable que sur fil ; aussi est-il moins commode de lui faire actionner un relais. On a mis longtemps pour obtenir des amplifications assez importantes, assez fidèles, et d'autre part sélectives ; on a dû établir des modèles spéciaux de relais sensibles, d'une réalisation mécanique délicate.

La solution la plus courante est alors la suivante :

Au départ, la manipulation est automatique. Le message est préparé à l'avance par un ou plusieurs opérateurs, sous forme de perforations dans une bande en papier ; puis, cette bande passe dans un appareil où de petites aiguilles glissant à travers les perforations, établissent les contacts correspondants et commandent le poste émetteur. Avantages : la bande étant préalablement contrôlée, la manipulation est toujours correcte et sans erreur ; d'autre part, la vitesse peut être accrue presque indéfiniment.

A l'arrivée, le signal est amplifié suffisamment pour être capable, après dernière détection, d'actionner un relais qui

ferme le courant sur un « ondulateur » : celui-ci comporte un stylet se déplaçant sur une bande de papier qui se déroule à la vitesse convenable : les mouvements du stylet, correspondant aux signaux, font reparaître sur la bande les « points » et les « traits » de l'alphabet. C'est alors à la vue sur cette bande, que l'opérateur déchiffre le message et le dactylographie à mesure (fig. 35).

Comme on peut mettre à l'émission plusieurs employés travaillant simultanément à perforer la bande, et de même, à la réception, plusieurs autres pour la déchiffrer, le rendement de la liaison n'est plus limité par aucun facteur humain, mais seulement par les constantes de temps électriques

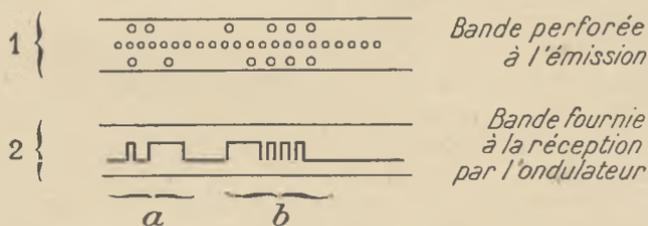


Fig. 35. — Transmission automatique des télégrammes. 1. Bande perforée à l'émission ; 2, bande fournie à la réception par l'ondulateur.

et mécaniques des appareils. On peut ainsi tripler, décupler la vitesse, et même davantage ; sur ondes longues on a pu transmettre 100, 120 mots par minute, et sur ondes courtes on est récemment monté à 200 et 300.

Dans ce système « mixte », c'est-à-dire où intervient nécessairement un opérateur à la réception, on conserve l'avantage d'un contrôle possible : en cas de brouillage, ou de parasites, l'œil exercé examinant la bande reconnaît aussitôt que les signaux sont altérés ; la station réceptrice demande une répétition, deux si nécessaire ; en confrontant les bandes reçues successivement, on est bien armé pour débrouiller quel est, réellement, le signal correct. — De plus, la souplesse est très grande ; la vitesse peut varier de façon continue et par suite être adaptée à chaque instant aux conditions de propagation et à l'intensité des parasites, comme aux exigences du trafic.

On a proposé maintes fois de supprimer totalement l'intermédiaire humain à la réception, comme cela se fait en télégraphie sur lignes, où le relais commande directement un appareil imprimant, qui traduit le code en clair et fournit le texte du télégramme : un certain nombre d'appareils de ce genre sont en service dans les divers pays : Baudot, Siemens, Creed,... etc. Effectivement, ils peuvent être adaptés aux liaisons sans fil ; mais leur rigidité s'accommode mal des irrégularités de la propagation radio-électrique ; les affaiblissements, évanouissements, parasites, amènent des erreurs ; la prise de contact après chaque interruption nécessite la mise en synchronisme, le réglage de la vitesse..., de sorte que l'opérateur que l'on a voulu supprimer doit intervenir assez fréquemment. Malgré leurs séduisants avantages, ces appareils entièrement automatiques n'ont pas supplanté partout le trafic à l'ondulateur, qui conserve ses partisans ; la vitesse pratique réalisée n'est pas supérieure.

Les appareils d'utilisation en Téléphonie. Le haut-parleur. — Dans le cas de la téléphonie, le récepteur se termine quelquefois par un casque, et surtout maintenant par un « haut-parleur ».

Le haut-parleur est l'un des appareils dont l'évolution est la plus intéressante à suivre depuis une dizaine d'années, et qui a fait le plus de progrès.

Sans doute, avant la radio-diffusion, on avait réalisé quelques *transmetteurs d'ordres* avec haut-parleurs ; mais la puissance mise en jeu restait faible, et la « qualité » n'était pas prise en considération : il suffisait de rendre la voix compréhensible dans un local bruyant.

Lorsque vers 1920 l'apparition de la radiotéléphonie et des amplificateurs à la réception, rendit désirable et possible la reproduction de la parole et de la musique à leur niveau original, on se trouvait donc en face d'un problème entièrement nouveau, et très complexe. Il fallait, premièrement, convertir la vibration électrique en vibration mécanique, ce qui est le rôle d'une sorte de « moteur » ; deuxièmement, transmettre cette vibration mécanique à un volume d'air important, ce qui est une question acoustique.

De même que pour le microphone, la difficulté provient dans ces deux opérations, de l'énorme domaine où l'on exige

la fidélité, aussi bien pour les amplitudes que pour les fréquences.

Les « Moteurs » de Haut-Parleurs. — Les premiers moteurs utilisés furent nécessairement ceux des écouteurs téléphoniques, plus ou moins renforcés : un aimant permanent agit sur une plaque de tôle ; le courant est envoyé dans un enroulement qui modifie son aimantation ; la plaque est donc soumise à une force alternative et entre en vibration (Fig. 36).

Ce système est sensible ; mais dès que l'amplitude est appréciable, il n'est nullement fidèle. D'une part l'aimantation du fer ne suit pas exactement les variations du courant (hystérésis, etc.) ; d'autre part la plaque se trouve dans un champ non uniforme et même complètement dissymétrique, donc son mouvement n'est pas du tout proportionnel à la force motrice.

La distorsion introduite par apparition d'harmoniques

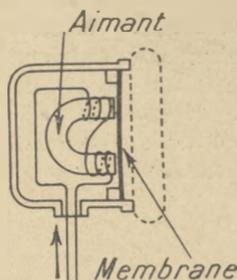


Fig. 36. — Premier « moteur » de haut-parleur.

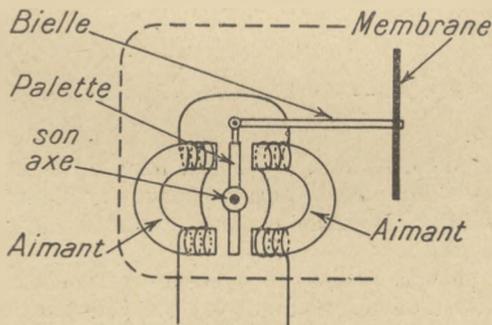


Fig. 37. — Moteur symétrique à palette équilibrée.

est donc considérable, dès que la puissance augmente — surtout aux basses fréquences qui exigent des déplacements importants.

Un choix convenable du fer, de son aimantation préalable, l'emploi de plusieurs aimants entre lesquels la palette occupe une position symétrique (elle est alors reliée par bielle à la membrane placée un peu plus loin), (fig. 37) permettent déjà une notable amélioration de ce défaut.

Pour faire mieux encore, on supprime l'intermédiaire « fer » entre le courant moteur et l'organe mobile ; le moteur n'est plus « électromagnétique », on l'appelle « électrodynamique ». Il existe encore un aimant — et même plus puissant — mais son champ ne varie pas ; dans son entrefer annulaire se déplace une « bobine mobile » où le courant alternatif produit directement la force d'induction. (Fig. 38).

Les avantages sont évidents ; la force est vraiment pro-

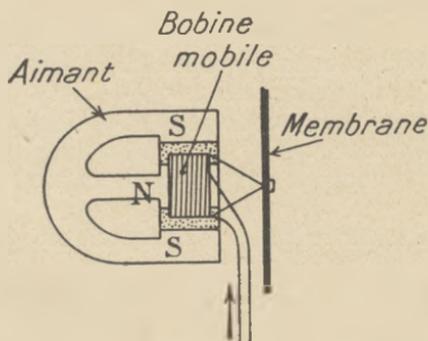


Fig. 38. — Moteur « électro-dynamique ».

portionnelle au courant ; le déplacement de la bobine dans l'entrefer peut être important, sans que la valeur du champ en soit modifiée. Rien ne s'oppose donc à l'augmentation de la puissance.

D'autre part la bobine ne présente pas l'élasticité d'une plaque, donc n'en a pas non plus les fâcheuses résonances propres.

Toutefois l'appareil est plus délicat à construire, plus coûteux et moins sensible (en général) que le type électromagnétique.

Les pavillons et les diffuseurs. — Tout n'est pas dit

quand on a fait vibrer une membrane : car l'air est très léger, très compressible, et les vibrations qu'on applique en un point ne se transmettent pas à toute la masse ; de même, que

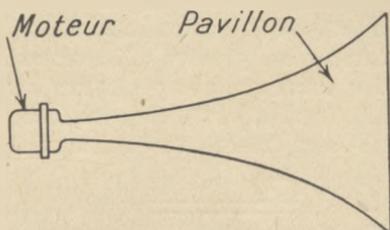


Fig. 39. — Haut-parleur à pavillon.

pour chauffer une pièce, il ne suffit pas de produire une très grande quantité de chaleur en un point, il faut encore la répartir au moyen de radiateurs ou de surfaces assez étendues ;

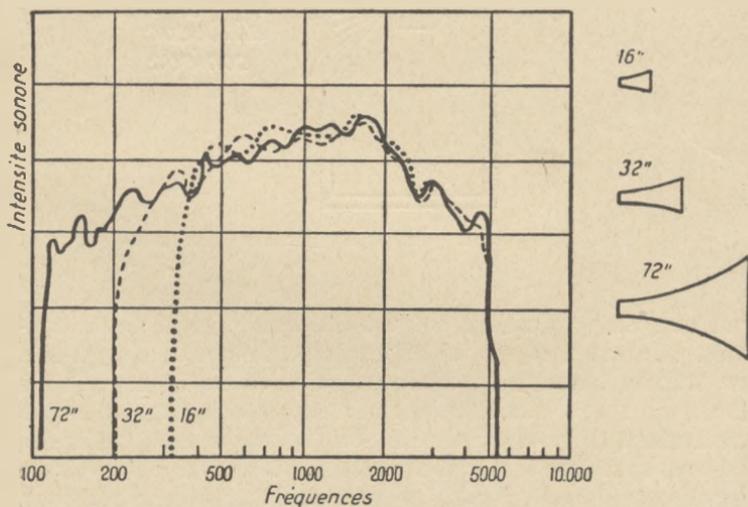


Fig. 40. — Influence de la longueur du pavillon (16, 32 et 72 pouces) sur la fidélité de reproduction des notes graves (d'après Williams).

de même, pour ébranler tout ce volume d'air, il faut un « radiateur » de son à large surface. C'est le rôle du pavillon ou du diffuseur.

Le pavillon, employé le premier, fut longtemps caractéristique du haut-parleur comme il l'avait été du phonographe. La membrane vibrante l'attaque sur sa plus faible section ; les tranches d'air sont ébranlées régulièrement de proche en proche, et finissent, à l'embouchure, par avoir une grande surface ; le son est alors projeté efficacement (fig. 39).

Diverses études théoriques et pratiques ont montré comment on pouvait perfectionner le pavillon, éviter toutes résonances nuisibles et transmettre fidèlement les fréquences

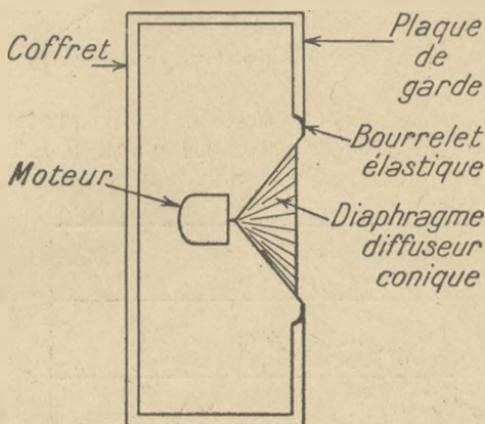


Fig. 41. — Haut parleur à diffuseur (schéma).

voulues. En particulier, un résultat fondamental est le suivant : le pavillon est un organe « passe-haut », c'est-à-dire ne transmet que les fréquences supérieures à une certaine limite ; et pour abaisser cette limite, il faut augmenter ses dimensions (Fig. 40). En vain l'on a cherché à le replier sur lui-même en diverses courbes harmonieuses (?) ; pour avoir un pavillon très fidèle, il faut accepter qu'il soit très encombrant. Et les modèles, d'ailleurs excellents, employés dans certaines salles pour auditions publiques, ont nécessairement plusieurs mètres de longueur (on est allé jusqu'à 8 mètres..!).

Cette solution devenant manifestement impossible pour les installations privées, dans les appartements, on s'est avisé d'une variante : au lieu de transmettre progressivement le

mouvement à une large surface, le lui appliquer tout d'un coup en liant à la palette mobile un diaphragme — un diffuseur — de grandes dimensions, fonctionnant « à la manière d'un piston ». C'est bien simple en principe ; ce l'est moins en application, car il faut à ce piston deux qualités contradictoires : la légèreté (pour être sensible) et la rigidité (pour être fidèle aux fréquences élevées). Une surface plane ne

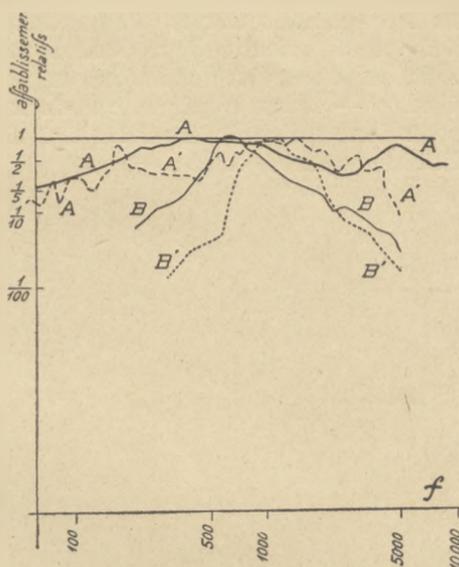


Fig. 42. — Fidélité en fonction de la fréquence, de quelques haut-parleurs.
AA' : types modernes à diffuseur. BB' anciens types à pavillon court.

pourrait être rigide qu'en ayant de l'épaisseur ; au contraire, une surface conique, ou plissée, ou renforcée par des nervures, peut joindre plus ou moins efficacement les deux qualités requises : l'imagination des inventeurs a permis d'établir une foule de variantes.

Le montage est le suivant : le « moteur » attaque le sommet du cône, dont la base est élastiquement appuyée sur un panneau fixe, solidaire du boîtier. En vue de prolonger, en

quelque sorte, l'effet du diffuseur, et d'empêcher que la dépression produite sur une face ne contrarie à distance, la pression provoquée par l'autre, il y a intérêt à ce que ce panneau fixe joue le rôle de « mur indéfini » séparant les deux faces ; c'est-à-dire pratiquement, à ce qu'il soit relativement grand et épais (fig. 41). C'est alors l'analogie de l'« anneau de garde » dans certains appareils de physique.

Bien que la théorie du « diffuseur » soit assez délicate et que les phénomènes réels soient extrêmement compliqués, ces haut-parleurs donnent des résultats satisfaisants, même avec des dimensions réduites, pour la reproduction des fréquences graves. Ils sont, toutefois, d'un rendement un peu moins bon que les pavillons — ce qui explique le maintien de ceux-ci dans les installations très puissantes. La fig. 42 donne une idée de la fidélité de divers haut-parleurs.

CHAPITRE IV

ORGANISATION DES RADIO-COMMUNICATIONS

Le problème d'*organiser* les radio-communications, ne s'est présenté qu'au bout d'un certain temps ; pour les premières liaisons, en effet, les correspondants pouvaient se contenter d'un accord sommaire entre eux ; ils s'installaient à l'endroit le plus commode, choisissaient au mieux la puissance et la longueur d'onde ; et puis, en avant... ! on commençait le trafic dès qu'on avait des clients. Cet heureux état de liberté anarchique ne pouvait durer ; l'augmentation du nombre des transmissions empruntant un véhicule commun — « l'éther » — a rendu nécessaire une réglementation de plus en plus étroite. Par la force des choses, les divers états ont dû se mettre d'accord dans des réunions internationales ; et le développement des services intéressés, les progrès de la technique, exigent la revision périodique, assez fréquente, de ces règlements.

Les points principaux qu'il a fallu fixer, et desquels découle ensuite l'organisation des réseaux, sont :

- la répartition des longueurs d'onde ;
- Les conditions d'émission : type de l'onde choisie, largeur de bande occupée, stabilité de la fréquence, puissance mise en jeu ;
- enfin des règles de service : indicatifs des postes suivant leur nationalité ; codes de correspondance, etc.

L'idée générale est bien simple : autoriser chacun à ce qui lui est réellement nécessaire en gênant le moins possible les autres ; mais c'est l'application qui est difficile...!

Règles fondamentales d'organisation. — Il n'entre point dans le cadre du présent volume, d'insister sur les nombreuses réglementations établies ; cependant nous devons en extraire les directives fondamentales qui dominent actuellement toute l'organisation.

Au point de vue *répartition des longueurs d'onde*, l'attribution faite à Washington en 1927 entre les différents services, est en vigueur pour quelques années encore. Le tableau ci-dessous en donne un extrait, et montre la complexité de cette répartition.

Le choix fait n'est pas arbitraire, et dépend naturellement des conditions techniques d'emploi de chaque onde ; il ne servirait à rien d'allouer aux avions, par exemple, les ondes de 15.000 à 30.000 mètres, qu'ils seraient dans l'impossibilité d'émettre dans de bonnes conditions ; au contraire la dimension de leurs antennes convient parfaitement aux ondes de 900 à 1000 mètres. Comme bon nombre de services peuvent utiliser des ondes différentes, courtes et longues, jouissant de propriétés différentes, on a découpé ces gammes en fractions assez petites pour pouvoir en donner à tous les intéressés.

Une nouvelle répartition doit être faite à Lisbonne en 1933 ; comme chaque service manifeste l'intention de s'étendre aux dépens de ses voisins, et que les nouveaux venus (par exemple la télévision), réclament une place, on y prévoit logiquement une discussion chaude, avec pleurs et grincements de dents...

En ce qui concerne la radio-diffusion Européenne, des accords ultérieurs — notamment celui de Prague — ont réparti les ondes possibles entre les intéressés ; mais les augmentations incessantes de puissances et l'apparition de nouveaux postes émetteurs, remettent perpétuellement la question sur le tapis.

Au point de vue *type d'émission*, les ondes amorties sont proscrites, comme nous l'avons dit, et ne seront plus tolérées à partir de 1940 que dans les postes de secours d'une puissance inférieure à 300 watts. Enfin l'on s'ingénie à réduire au minimum le trouble apporté par les postes émetteurs sur les ondes voisines, en exigeant une très grande stabilité de fréquence (Voir Tableau II) et la disparition pratique des harmoniques indésirables.

TABLEAU I

Extrait du Règlement général de la Conférence
de Washington 1927 (p. 934 du t. II).Art. 5. — Distribution et emploi des fréquences et des
types d'émission.

Fréquences (kc/s)	Long. d'ondes (m.)	Services
150-160 160-194	2000-1875 1875-1550	Services mobiles a) Radiodiffusion b) Services fixes c) Services mobiles
194-285	1550-1050	a) Services mobiles (en Europe : services aériens exclusivement). b) Services fixes (en Europe : services aériens exclusivement). c) Radiodiffusion.
285-315	105-950	Radiophares
315-350 (1)	950-850 (1)	Services mobiles aériens exclusivem.
350-360	850-830	Services mobiles non ouverts à la correspondance publique.
360-390	830-770	a) Radiogoniométrie. b) Services mobiles, à condition de ne pas brouiller la radiogoniométrie.
390-460	770-650	Services mobiles.
460-485	650-620	Services mobiles (à l'exclusion des ondes amorties et de la radiotéléphon.).
485-515 (2)	620-580 (2)	Services mobiles (Détresse, appel, etc.)
515-550	580-545	Services mobiles non ouverts à la correspondance publique (à l'exclusion des ondes amorties et de la radiotéléphonie).
550-1300 (3) 1300-1500	545-230 (3) 230-200	Radiodiffusion. a) Radiodiffusion. b) Services mobiles maritimes, ondes de 1365 kc/s (220 m.) exclusivement.
1500-1715	200-175	Services mobiles.
1715-2000	175-150	Services mobiles, Services fixes, Amateurs.

(1) L'onde de 333 kc/s (900 m.) est l'onde internationale d'appel des services aériens.

(2) L'onde de 500 kc/s (600 m.) est l'onde internationale d'appel et de détresse. Elle peut être employée pour d'autres usages à condition de ne pas brouiller.

(3) Les services mobiles peuvent utiliser la bande 550-1.300 kc/s (545-230 m.) à condition de ne pas brouiller les services d'un pays qui utilise cette même bande exclusivement pour la radiodiffusion.

TABEAU II
Tolérances de Fréquences
 Recommandées par le C. C. I. R.
 Copenhague 1931

NOTE. — Lorsque les tolérances indiquées comportent deux chiffres, le premier représente la tolérance applicable immédiatement; le second, entre parenthèses, représente celle qu'on pourra commencer à appliquer en 1933 et exiger en 1938.

Gamme considérée	en fréquences (Kc/s)		en longueurs d'ondes (m.)	
	10-150	550-1500	1500-6000	6000-23600
	30.000-545	545-200	200-50	50-13 m.
Nature du Service.				
a) Stations fixes.....	0,1 %		%0,05(0,03)	%0,05(0,02)
b) Stations terrestres....			0,1 (0,04) %	
c) Stations mobiles à fréquence assignée.....	0,5 %		0,1 ‰	0,1 ‰ (1)
d) Stations mobiles dans une bande (pendant chaque émission)			0,5 %	5 (3) Kc
e) Stations de Radio-Diffusion.....	0,3 (0,05) Kc			0,03(0,01)%
f) Stations jusqu'à 250 watts dans l'antenne, dans les bandes communes			5 (3) Kc	0,1(0,05)‰

(1) Sauf dans les bandes communes où la tolérance serait réduite à 0,04 ‰.

ORGANISATION GÉNÉRALE

En somme, les radiocommunications peuvent être partagées entre trois catégories de services, ayant des besoins et des moyens assez distincts :

1° *Services mobiles*, c'est-à-dire principalement les *navires*, et depuis quelques années les *aéronefs*, avions et dirigeables; éventuellement aussi, les automobiles et les trains, les postes militaires et de police, etc.

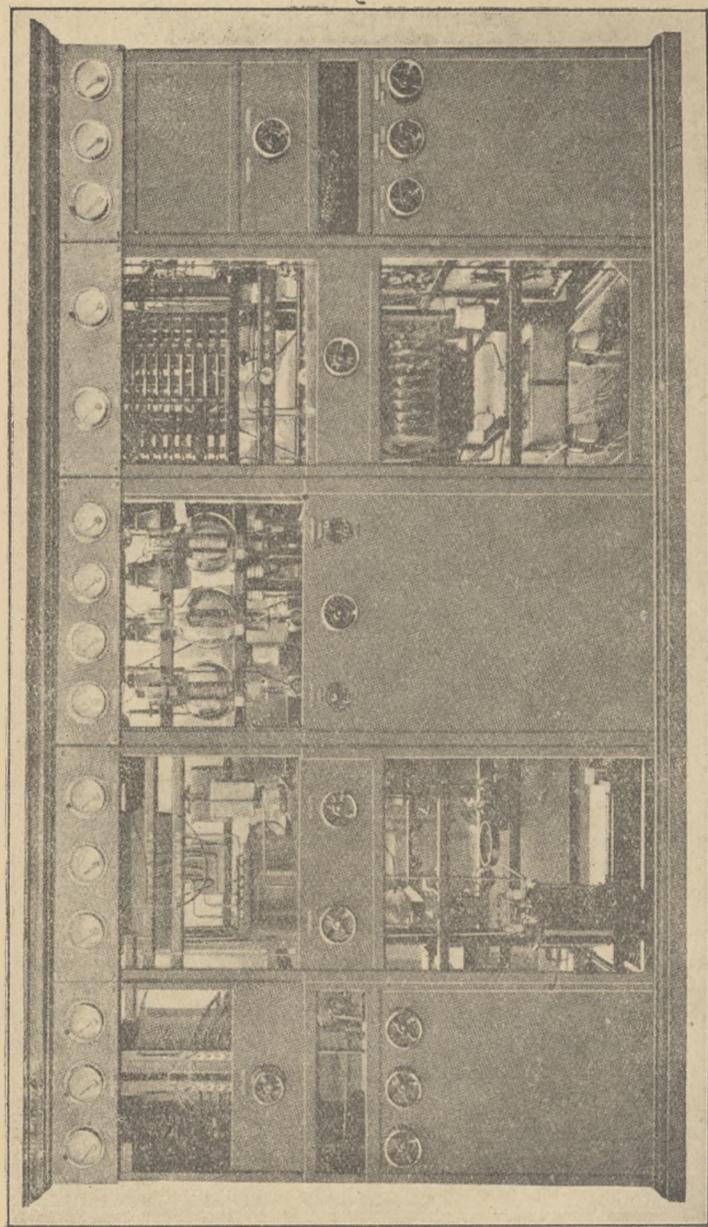


Fig. 43. — Ensemble émetteur du paquebot « La Fayette ».

2° *Services fixes*, établissant un trafic régulier, presque toujours bilatéral, entre des stations terrestres plus ou moins éloignées : par exemple, les grandes liaisons transatlantiques, soit en télégraphie, soit en Téléphonie.

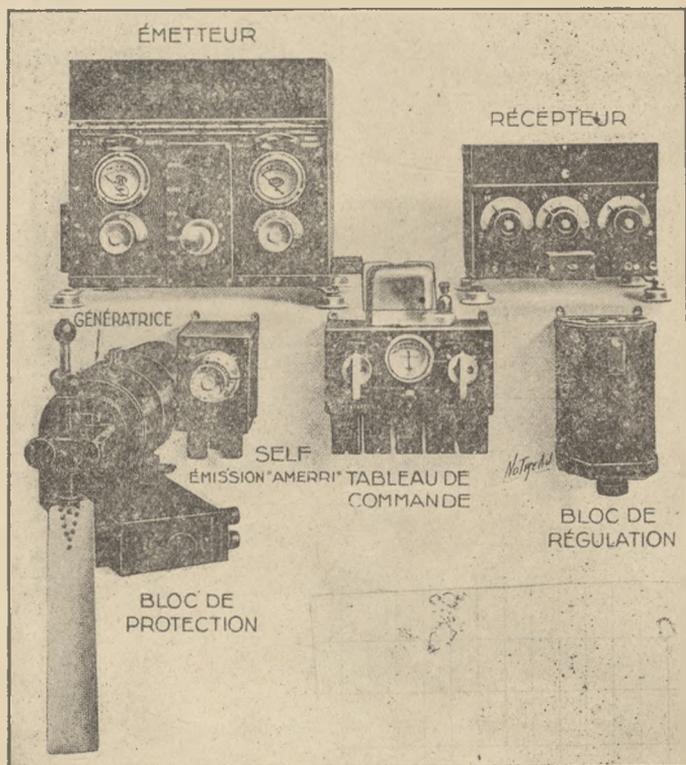


Fig. 44. — Organe d'un poste émetteur récepteur pour hydravions.

3° *Radio-diffusion*, également servie par des émetteurs fixes, mais constituant une communication publique d'information générale dans un seul sens, avec un nombre considérable de destinataires anonymes.

Quelques services tiennent à la fois de l'un et de l'autre :

par exemple, les communiqués météorologiques destinés à la navigation aérienne, et qui s'adressent aux mobiles tout en ayant la forme d'une radio-diffusion. Mais la classification précédente se justifie néanmoins par des caractères tranchés. Nous l'emploierons donc pour examiner les divers traits de cette organisation.

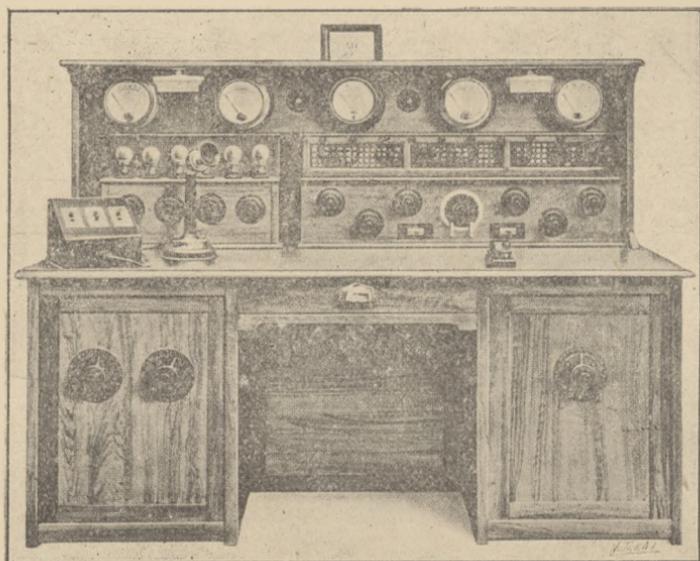


Fig. 45. — Poste émetteur d'aérodrome, forme bureau.

I. — Services mobiles.

La T.S.F. étant l'unique moyen de communication avec les « mobiles » — bateaux, avions... — c'est évidemment la première et la plus importante de ses applications.

On estime à environ 14.000 le nombre des navires munis de la T.S.F. — soit à peu près la moitié de ceux qui existent ; notamment tous les navires à passagers de quelque importance y sont obligés (fig. 43).

De même, les dirigeables, et tous les avions gros porteurs, doivent être équipés de T.S.F. (Fig. 44 et 45).

Les avantages de cette liaison sont manifestes : en quelque lieu qu'ils se trouvent, le bateau, l'avion... l'expédition la plus lointaine... cessent d'être isolés, reçoivent les nouvelles, l'heure, les prévisions météorologiques, les avis intéressant leur sécurité ; inversement, ils peuvent faire connaître leur position, leurs besoins, et demander du secours en cas d'urgence.

Le nombre de vies humaines sauvées par la radio lors des catastrophes maritimes, est incalculable ; et la place ménagée à la radio lors du récent « *Congrès de la Sécurité Aérienne* » (Paris, 1931) montre bien dans quelle mesure cette sécurité est effectivement liée aux progrès des communications sans fil.

Les transmissions intéressant les mobiles sont de plusieurs catégories :

Communiqués météorologiques. — Il n'est pas difficile de recueillir en un lieu donné, les renseignements météorologiques fondamentaux : température, pression, vent, nuages, pluie, visibilité. Un grand nombre de stations se chargent de ces observations dans tous les pays.

Le difficile, c'est d'utiliser ces observations. Les unes, en effet n'ont d'intérêt que dans la mesure où elles sont transmises instantanément au navigateur : par exemple celles relatives à la brume, aux glaces flottantes, aux obstructions de chenaux... ; les autres servent à établir les prévisions météorologiques ; or, ces prévisions ne peuvent être faites avec sûreté que pour des durées de quelques heures, et à condition de se rapporter à des surfaces étendues ; la doctrine actuelle rejette en effet la prévision locale et se base sur les mouvements des « noyaux de pression » ou de « dépression » sur tout un continent ; on parle de les établir pour la Terre entière dans un Bureau international.

Bref, dans tous les cas, la transmission, des renseignements météorologiques doit-elle être extrêmement rapide ; la T. S. F. est donc à la base de toute l'organisation. Stations fixes, navires en mer, transmettent aux heures convenues — et en code abrégé, bien entendu — leurs observations aux Offices centraux et aux Services de navigation. Le mouvement des dépressions peut donc être suivi, les tempêtes et grains annoncés... Des radiogrammes météorologiques sont aussitôt rédigés et transmis aux intéressés.

En 1931, on compte, de par le monde, environ 240 stations (dont 26 en France et Algérie) effectuant ce service et transmettant des messages de ce genre plusieurs fois par jour.

On sait que l'exactitude des prévisions atmosphériques a été pour beaucoup dans la réussite de certains raids aériens ; si le Graf-Zeppelin a pu effectuer sans avarie plusieurs tours du monde, c'est en grande partie, parce que la T.S.F. l'a cons-

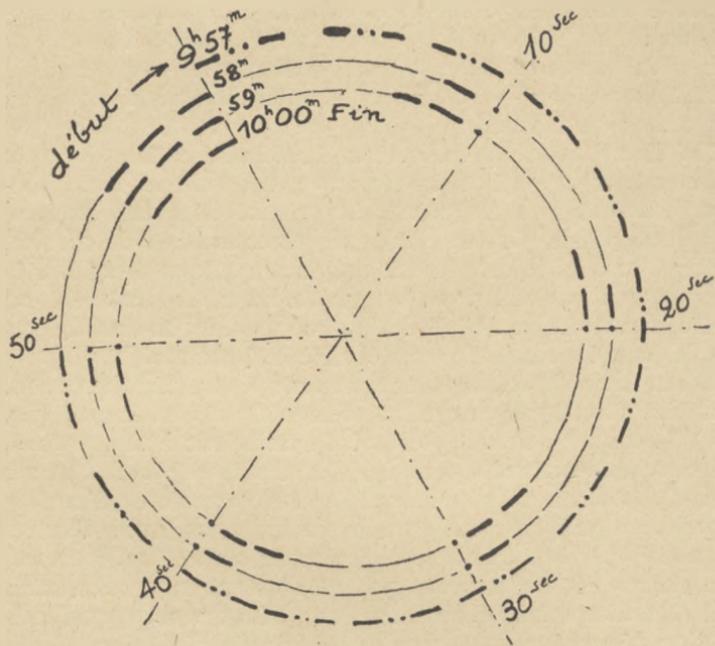


Fig. 46. — Signaux horaires internationaux.

tamment averti du temps qu'il allait rencontrer, lui permettant à plusieurs reprises d'éviter les orages qui l'auraient mis en danger.

Signalons enfin l'organisation justement célèbre, mise sur pied pour la prévision des typhons dans les mers de Chine, par les missionnaires de l'observatoire de Zi-Ka-Wei. Une observation attentive pendant de longues années, a permis

pe connaître la loi de marche des typhons, et par suite de prévoir la trajectoire probable de tous ceux qui se forment ; on avertit aussitôt les régions menacées, et les navires, auxquels la soudaineté du cataclysme n'aurait pas permis de fuir à temps.

Signaux horaires. — Ce n'est pas pour un vain plaisir d'exactitude ou de chronométrage, que les navigateurs tiennent à connaître l'heure avec le maximum possible de précision : mais elle leur sert à déterminer leur position ; c'est en effet, par la comparaison de l'heure locale — passage du soleil au méridien — avec l'heure du méridien origine, que l'on connaît sa longitude.

Meilleure est la précision sur la détermination de cette heure, meilleure est aussi celle du « point » obtenu ; au voisinage des côtes ou des points dangereux, cela peut être une question vitale. Or, les meilleurs chronomètres de marine, malgré tous les soins, peuvent présenter quelques irrégularités de « marche », et l'envoi de signaux horaires, contrôlés par les observatoires au 1/100 de seconde près, à plusieurs heures de la journée, constitue une sécurité intéressante.

Bien entendu, ces signaux sont envoyés automatiquement, suivant un code et un rythme connus. Dans certains cas (fig. 46) ils comportent des points émis isolément à heures fixes, et commandés par des pendules d'observatoire ; dans d'autres cas, des séries de points espacés d'un peu moins d'une seconde, en vue de permettre la comparaison avec d'autres pendules par la méthode des « coïncidences » ; l'heure exacte de chaque série n'est alors pas absolument invariable, mais elle est déterminée chaque fois par l'Observatoire et l'indication nécessaire est transmise à la fin de l'émission.

Le nombre des stations transmettant actuellement des signaux horaires est de 53, dont 3 pour la France ; il semble suffisant et l'on ne voit guère de raisons de l'augmenter.

Le point sur lequel on peut toujours gagner, c'est la précision du signal. Les astronomes et techniciens chargés de ces services, ne sont pas sans se quereller parfois sur des divergences de quelques millièmes de seconde ; et, pour laisser pratiquement indifférent « l'homme de la rue », cette discussion n'en est pas moins scientifiquement importante et toute à leur honneur.

Transmissions diverses. — Bien entendu, les mobiles pourvus de T.S.F. correspondent entre eux, ou avec les stations fixes, pour toutes sortes de raisons. Il y a d'abord les signaux de service, relatifs au mouvement : route suivie, heure d'arrivée, dispositions à prendre... ; les bateaux retiendront leur place au quai d'amarrage ; les avions auront soin de faire connaître leur position au moment des passages difficiles, pour faciliter l'envoi de secours si nécessaire (ainsi ceux du service Paris-Londres avertissent les aérodromes du moment où ils passent la Manche).

Bon nombre de navires et de stations côtières sont ouvertes à la correspondance publique pour les passagers qui désirent envoyer ou doivent recevoir des télégrammes. Quelques paquebots-transatlantiques sont même maintenant pourvus de liaisons radiotéléphoniques, bilatérales permettant d'appeler les abonnés des réseaux terrestres (1).

Enfin, l'on a même organisé parfois des « avis médicaux » transmis aux bâtiments qui n'ont pas de médecin à bord ; en cas d'accident ou de maladie du personnel, ils peuvent obtenir des « consultations par T.S.F. » ; sans doute ne va-t-on pas jusqu'à entreprendre ainsi de la chirurgie à distance, mais les premiers soins peuvent toujours être donnés dans le sens voulu.

Guidage. — Les radiocommunications ne permettent pas seulement aux mobiles de mieux déterminer leur position par l'envoi de l'heure ; elles leur fournissent aussi de nouveaux moyens pour l'obtenir directement, et ceci malgré les plus mauvaises conditions atmosphériques, la brume et l'absence totale de visibilité.

Nous avons vu en effet, que les ondes se propagent sensiblement en ligne droite — sous réserve de déviations accidentelles par les obstacles et de certaines erreurs la nuit — ; et nous avons vu que des systèmes d'aériens convenables permettent, soit de les diriger à l'émission, soit de déterminer à la réception leur direction d'arrivée.

Or, il n'en faut pas plus pour établir un certain nombre de procédés de guidage ; et, vu l'importance du problème, de grands efforts ont été faits dans plusieurs pays pour leur mise

(1) Voir plus loin la description de ces liaisons.

au point définitive ; nous allons passer en revue les principales solutions adoptées.

Goniomètres à bord. — Supposons que le mobile soit muni d'un récepteur sur cadre : en tournant ce cadre, il observe sur une émission quelconque, une orientation donnant le maximum d'intensité, et une autre à angle droit, donnant un minimum et même une extinction. Il en déduit que l'émetteur se trouve dans le plan de la première position. Faisant cette opération sur un premier poste, A, connu, et

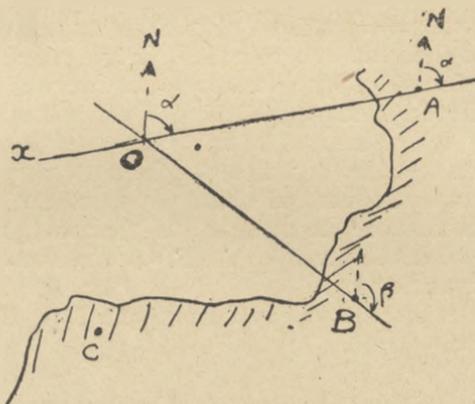


Fig. 47. — Principe des relèvements radiogoniométriques.

lisant l'angle α de cette direction avec le Nord, le navigateur n'a qu'à porter ensuite sur la carte à partir de A une droite faisant ce même angle (fig. 47) α , pour obtenir en Ax un premier « lieu » de sa position (1).

Recommençant à partir d'un second poste B, le navigateur obtiendra de même une seconde droite et saura par suite que sa position est à l'intersection O de ces droites.

A titre de vérification, il sera toujours bon de recommencer

(1) En fait la manœuvre est un peu plus compliquée. Il faut d'abord « lever le doute de 180° » que laisse subsister le cadre, par une manœuvre auxiliaire ; ensuite, corriger le gisement lu, d'une erreur due aux masses métalliques du bord et déterminée à l'avance sur une courbe ; enfin, aux distances où peut intervenir la rotondité de la terre, remplacer sur la carte la droite Ax par le véritable arc de grand cercle.

avec une troisième poste C et de vérifier que les trois droites obtenues, si elles ne sont pas exactement concourantes, don-

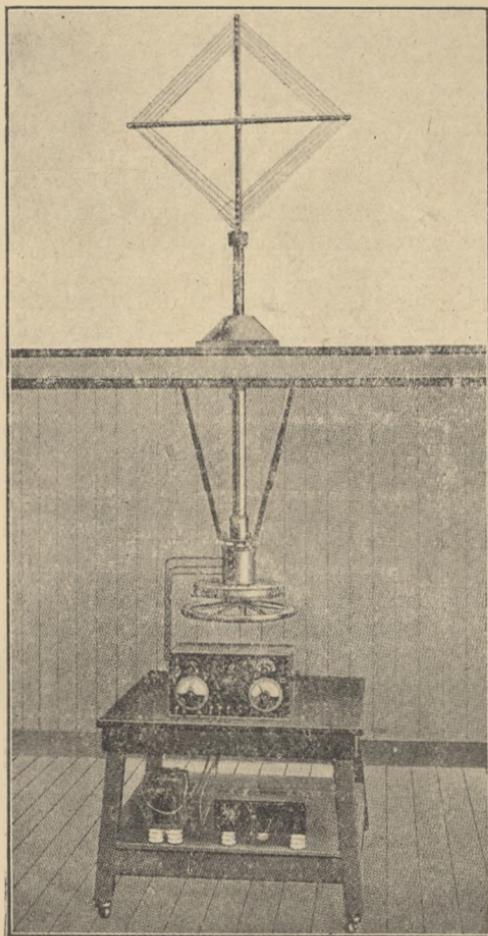


Fig. 48. — Radiogoniomètre de bord.

ment du moins un « chapeau d'erreur » de dimensions acceptables.

Chaque relèvement peut être pris avec une précision de

l'ordre du degré ou du demi-degré, si les conditions sont bonnes

Les avantages du système sont les suivants :

Un petit nombre d'émetteurs A, B, C... peut être utilisé par un nombre quelconque de récepteurs dans toute la région. Il n'est pas nécessaire que ces émetteurs soient spéciaux, on peut utiliser les postes de trafic, de radio-diffusion, etc. ; néanmoins, comme ces postes ne transmettent pas toujours et ne peuvent parfois être identifiés qu'au bout d'un moment, il est commode, sur les côtes, de disposer un réseau d'émetteurs consacrés à ce service et fonctionnant uniquement comme « radio-phares » ; adjoints aux phares optiques, ils se mettent en marche automatiquement à heures fixes en émettant des signaux caractéristiques.

Grâce au Service des Phares et Balises et notamment à Blondel, la France fut pourvue dès 1911 de semblables émetteurs, installés à l'entrée du port de Brest, sur les îles de Sein et d'Ouessant. Ils furent l'objet de divers perfectionnements, et leur nombre a été progressivement augmenté. A l'heure actuelle, le programme, presque entièrement réalisé, comporte 25 radio-phares « de brume », à portée 50 milles, fonctionnant en temps de brume seulement, tous les quarts d'heure ou toutes les cinq minutes ; et quatre radio-phares « de grand atterrissage », à portée 250 milles, émettant toutes les heures même par temps clair.

L'Angleterre possède une quinzaine de postes semblables ; d'autres fonctionnent sur les côtes d'Allemagne, des Etats-Unis, etc. ; leur nombre total dans le monde est évalué à plus de 200.

Ce service est extrêmement précieux pour les navires, qui en font le plus grand usage ; environ 3.000 d'entre eux sont équipés de radio-goniomètres. Généralement le cadre (fig. 48), le récepteur et l'opérateur spécialiste sont placés sur la passerelle à proximité immédiate du Commandant, qui peut ainsi contrôler directement la valeur du renseignement fourni.

Un autre avantage du système est sa souplesse : les navires peuvent se « relever » entre eux, éviter les collisions, ou se porter secours en cas de détresse, comme il est arrivé maintes fois.

Il n'est pas cependant sans présenter quelques inconvénients, peu sensibles en navigation maritime, mais qui deviennent sérieux en navigation aérienne.

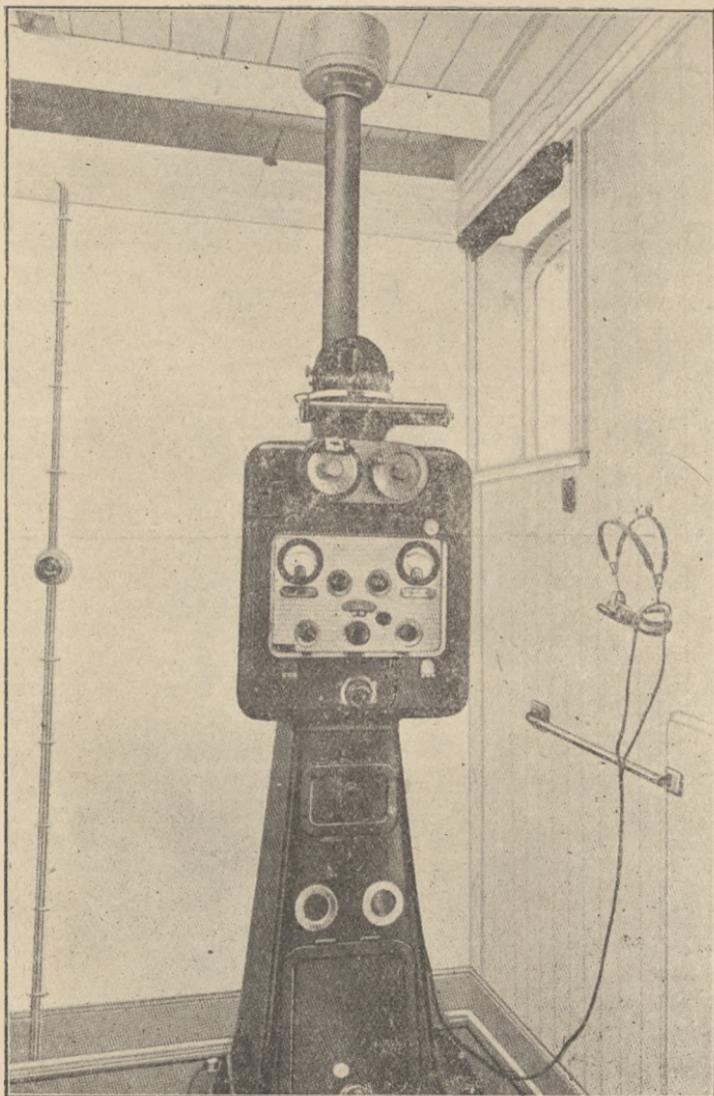


Fig. 49. — Radiogoniomètre automatique à bord d'un navire. Le cadre tournant, non visible, est au-dessus du pont.

C'est tout d'abord que la prise des relèvements doit être confiée à un opérateur spécialiste ; or les petits avions ne possèdent pas cet opérateur.

On a essayé de supprimer cet inconvénient à l'aide d'un mécanisme automatique, faisant tourner le cadre et enregistrant automatiquement la position du maximum de réception ; le gisement de l'émetteur apparaît alors donné par le déplacement d'une aiguille sur un cadran, c'est-à-dire par « lecture directe ». La fig. 49 représente un appareil de ce genre, appelé « boussole hertzienne ».

Il n'en est pas moins vrai que le poids et l'encombrement demeurent souvent excessifs, et, si la goniométrie à bord se recommande pour les grands dirigeables (Graf-Zeppelin, allemand, R-100 britannique, etc...) et les avions très gros porteurs, dont l'équipage comprend toujours un radiotélégraphiste, elle reste inapplicable aux petits avions de tourisme, de poste, etc... Il a donc fallu trouver autre chose.

Réseau radiogoniométrique terrestre. — Reprenons la figure 47 et supposons que nous avons affaire à une autre variante : A. B. C., ne sont plus des postes émetteurs, mais des postes récepteurs munis de radiogoniomètres ; et c'est le mobile, placé en O, qui fera l'émission.

Les stations fixes A, B, C... détermineront alors directement les directions AO, BO... ; et l'une d'elles se chargera de centraliser ces renseignements pour transmettre au mobile, par radiotélégraphie ou radiotéléphonie, sa position.

En principe, la précision sera meilleure : car les stations fixes sont mieux installées, les opérateurs plus tranquilles ; on peut même y remplacer le simple cadre par des radiogoniomètres plus compliqués et plus perfectionnés, moins sensibles aux effets de nuit (tel le système « Adcock », britannique, employé récemment aussi en Belgique et en France).

D'autre part, voilà le mobile débarrassé du cadre et du soin de l'opération ; on le suppose, en revanche, pourvu d'un émetteur. Tout le travail est alors fait par les stations fixes ; pour qu'elles puissent s'alerter l'une l'autre, se communiquer les résultats, et les retransmettre rapidement, il faut qu'elles soient reliées directement entre elles, que leur personnel soit expérimenté et diligent. C'est tout un réseau coûteux et délicat à entretenir.

Enfin il est clair que la méthode s'applique pour un seul poste mobile à la fois ; si le trafic est intense, chacun doit attendre son tour pour se faire goniométrer, ce qui deviendrait vite inacceptable.

Ayant ainsi quelques avantages et inconvénients complémentaires du premier, ce procédé est également d'emploi courant ; les navires non pourvus de goniomètres pour eux-mêmes, y ont souvent recours. Il existe sur les côtes de France et d'Algérie, seize stations spéciales affectées à ce service ;

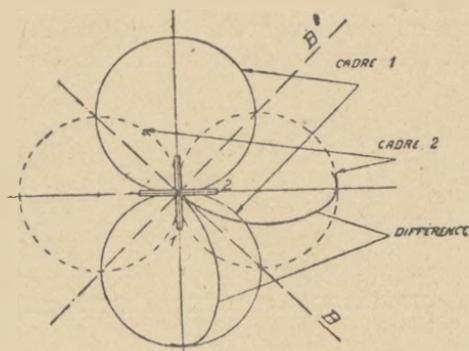


Fig. 50.

l'Angleterre en a neuf ; l'Allemagne, trois ; les Etats-Unis, environ cinquante, etc.

Bien davantage encore le procédé est utile pour la navigation aérienne, puisque peu d'aéronefs peuvent s'équiper de gonios à bord. En particulier c'est ainsi que les avions des lignes continentales européennes se guident en cas de brouillard ; les stations de Le Bourget, Valenciennes, Croydon, Lympne, fonctionnent très fréquemment pour les avions Paris-Londres ; l'organisation du réseau est suffisamment étudiée pour que le délai nécessaire entre la demande de l'avion et la retransmission de la position cherchée, ne dépasse pas 2 ou 3 minutes. La position est déterminée à 1 ou 2 km près. d'autres stations fonctionnent sur plusieurs aérodromes du territoire français. Il y en a une douzaine en Allemagne. En revanche, le procédé s'emploie peu aux Etats-Unis, qui

préfèrent d'autres guidages, comme nous le verrons tout à l'heure.

« **Balissage** » d'un alignement fixe par émission égales.

— Les méthodes précédentes utilisent les propriétés directives du cadre à la réception ; mais on peut aussi les employer à l'émission. Voici, par exemple, un dispositif qui permet de guider suivant une route rectiligne fixe, en n'exigeant à bord que le minimum de matériel.

Soit (fig. 50) un ensemble de deux cadres émetteurs, verticaux, 1 et 2, faisant entre eux un certain angle (1), dont la bissectrice est dirigée suivant l'axe à baliser, B.

Sur cet axe, par raison de symétrie, les émissions d'égale

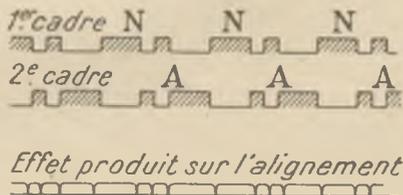


Fig. 51.

force des deux cadres sont reçues pareillement avec la même intensité.

Au contraire, si l'on s'écarte de l'axe, on va vers le maximum de rayonnement de l'un des cadres et vers le minimum de l'autre ; l'une des réceptions augmente, l'autre diminue, il y a variation rapide ; et, comme d'un côté, c'est le cadre 1 qui prédomine, tandis que de l'autre c'est le cadre 2, il suffit, pour que le navigateur puisse connaître le sens de son écart, que ces deux émissions soient nettement caractérisées. Par exemple elles auront des manipulations ou des fréquences de modulation différentes.

L'opération du guidage se ramène donc à comparer la force de deux émissions, ce qui est possible avec un récepteur absolument quelconque.

(1) En principe il n'est pas nécessaire que cet angle soit droit ; mais c'est commode en pratique, et nous le supposons sur la figure.

La comparaison peut se faire à l'oreille, et pour la rendre commode et précise, on a recours à l'« enchevêtrement » des signaux ; c'est-à-dire que les deux cadres transmettent la même onde modulée à la même fréquence, mais *alternativement* les signaux de (2) étant la contre-manipulation de ceux de (1), et inversement. (Fig. 51). Sur la bonne route, les signaux étant d'égale force, se suivent sans discontinuité et l'on entend *un trait continu* ; si l'on s'écarte du côté (1), les signaux (1) prédominent et se détachent sur le fond (ce seront par

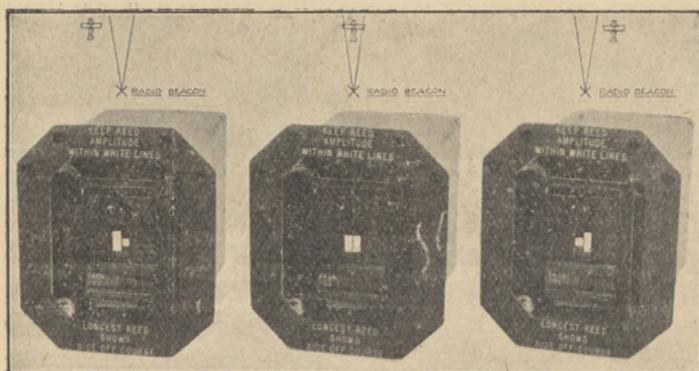


Fig. 52.

exemple des NNN) ; de l'autre côté ce seront ceux de (2), (donc des AAA)

La comparaison peut aussi se faire au moyen d'un appareil à indications visuelles. On transmettra alors en permanence avec les deux cadres, mais avec des modulations différentes : mettons par exemple 65 et 86,7 p.s. Après le récepteur on placera deux petites lames vibrantes accordées sur ces fréquences : chacune étant sensible à la modulation de l'un des cadres, si leurs amplitudes sont égales, on sera sur la bonne route (fig. 52) ; si l'une des deux prédomine elle indique de quel côté on s'est écarté (1). Le pilote, dégagé de toute servitude, n'a qu'à donner un coup d'œil sur son indicateur pour

(1) On a aussi réalisé un indicateur à aiguille.

être instantanément renseigné quand il en a besoin. En outre, les signaux de guidage à fréquence subaudible peuvent être superposés à la modulation téléphonique sans gêner celle-ci.

Ce système, essayé aux Etats-Unis depuis 1921, y a fait de notables progrès, et s'y trouve maintenant presque exclusivement employé pour jalonner les routes aériennes. Le *Bureau of Standards* semble avoir fait de grands efforts pour sa mise au point définitive. L'équipement réalisé comprend des stations d'émission de 2 kw, avec maître-oscillateur unique et un amplificateur distinct pour chaque cadre ; un récepteur spécial à commande unique a été établi, avec indicateur visuel distinct à placer sur le tableau de bord sous les yeux du pilote. La portée utile dépasse 150 km.

En France, deux radio-phares basés sur les mêmes principes ont été mis en fonctionnement pour jalonner la route Paris-Londres ; et d'autres vont être construits sur les routes Paris-Strasbourg, Paris-Marseille, etc.

La grande simplicité de l'appareillage de bord, avec ce système est encore ici compensée par quelques inconvénients. En particulier en voici deux très gênants :

D'abord le guidage n'est exact que si les deux émissions sont rigoureusement identiques, en fréquence, intensité, et profondeur de modulation ; toute inégalité dans les cadres (dérèglement, déformation ou avarie accidentelle) fausse la symétrie, et par suite, déplace l'axe balisé.

En second lieu, le phare donne lieu non pas à une seule direction de guidage, mais à deux directions à angle droit (les deux plans bissecteurs jouissent des mêmes propriétés), dont l'une est généralement inutile et même nuisible ; en outre, cette émission modulée permanente produit un brouillage relativement intense aux environs.

On a fait bénéficier le système de divers perfectionnements sur lesquels nous ne pouvons nous étendre ici : par exemple, faire varier à volonté l'angle des faisceaux de manière à jalonner deux routes arbitraires ; supprimer le faisceau sur un côté (pour les aérodromes « terminus ») ; augmenter le nombre des faisceaux jusqu'à douze ; superposer à la transmission de guidage une transmission téléphonique simultanée sur la même onde, etc.

Variantes du guidage. — Bien entendu, l'imagination

des inventeurs ne s'en est pas tenue aux méthodes précédentes.

On peut utiliser le cadre d'autres manières, en particulier en le faisant tourner à l'émission d'un mouvement uniforme avec signaux repères dans des directions fixes.



Fig. 53.

On peut également, par des combinaisons d'antennes, réaliser le long de l'axe balisé, une « ligne de silence », avec balancement du faisceau de chaque côté sous l'effet d'un déphasage à l'émission.

Aux environs immédiats des ports ou des terrains d'atterrissage, un moyen bien simple consiste à disposer un câble ou une ligne dans lesquels on envoie un courant intense à fréquence musicale ; le mobile, recevant sur cadre et amplificateur, peut aisément venir se placer au-dessus de cette ligne-repère.

Enfin, la solution complète de la navigation aérienne en temps de brume exige que l'avion puisse atterrir sans aucune visibilité. C'est le maximum de difficulté, car il y faut à la fois le guidage horizontal très précis et presque instantané, et le guidage *en hauteur* ; le seul système ayant réussi cette performance remarquable est celui du Bureau of Standards américain, par l'emploi d'un faisceau dirigé d'ondes courtes envoyé obliquement au-dessus du terrain. et dont le navigateur doit suivre une « surface de niveau » se raccordant avec le sol.

Bref malgré la complexité du problème et le peu de temps accordé pour mûrir les solutions, on voit que de grands efforts ont été faits, et que les progrès sont rapides. La fig. 53 récapitule l'état actuel du radio-guidage en France. Il est vraisemblable que, dans quelques années, nous prendrons couramment l'avion de Londres, de Marseille... et peut-être de New-York en trouvant tout naturel qu'une petite aiguille, sous les yeux du pilote, indique à chaque instant la route à suivre malgré la brume et la nuit.

Applications militaires de la T.S.F. — Tant que les peuples devront veiller eux-mêmes à leur sécurité, ils entretiendront des armées et des flottes de combat ; et, dans ces armées et dans ces flottes, les liaisons par T.S.F. joueront sans doute un rôle de plus en plus important.

Il n'est pas d'échelon, du plus modeste au plus élevé, pour lequel les communications sans fil ne puissent être un jour les seules à fonctionner. Aussi des réseaux complets sont-ils prévus pour assurer le commandement et la transmission des renseignements nécessaires.

Dans l'armée de terre, on trouvera pour relier entre eux les Etats-Majors fondamentaux, des postes relativement puissant, transportés par groupes de voitures, avec groupes générateurs thermiques de l'ordre du Kilowatt, grandes antennes, etc. Parfois les messages sont manipulés automatiquement.

Aux échelons corps d'armée, division... on aura des postes

moins puissants ; enfin, à l'avant, des petits appareils très légers fonctionnant sur ondes courtes avec puissance et antenne réduites, assureront les liaisons entre bataillons régiments, batteries... etc.

Pour des raisons évidentes de secret, les messages importants doivent être obligatoirement chiffrés et la téléphonie est sou-

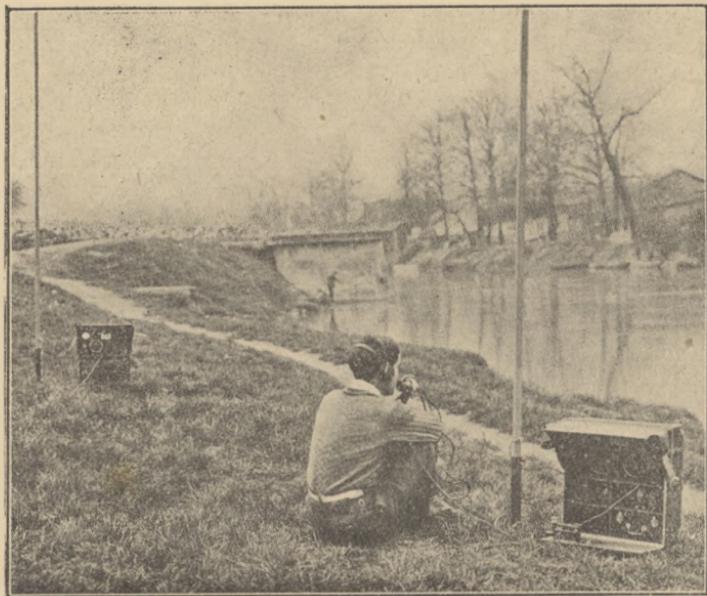


Fig. 54.

vent évitée, néanmoins on a étudié des postes permettant de la faire en duplex (fig. 54).

Enfin les avions de réglage, de reconnaissance, d'accompagnement d'infanterie ; les automitrailleuses, les chars d'assaut... sont généralement munis de postes adaptés à leurs fonctions ; certaines voitures portent des antennes rigides et peuvent émettre ou recevoir en pleine marche (Fig. 55).

De même, dans la Marine de Guerre, chaque bâtiment porte un ou plusieurs postes, destinés à permettre la transmis-

sion des ordres de l'amiral, du commandant d'escadrille... l'échange des signaux pour le réglage des tirs... etc. L'utilisation complète de ces liaisons est évidemment capitale dans une force navale au combat.

II. — Services fixes.

Intérêt des liaisons par radio entre points fixes.

Entre deux points fixes, les liaisons « par fil » ont précédé les liaisons sur fil, et demeurent beaucoup plus avantageuses dans un bon nombre de cas, par leur discrétion, leur simplicité, leur économie, et la possibilité de les multiplier indéfiniment dans un espace donné.

Par exemple, les liaisons téléphoniques entre abonnés d'une grande ville, ne risquent point (malgré ce qu'en ont prophétisé quelques rêveurs) d'être changées en liaisons radio-téléphoniques ; leur nombre énorme (200.000 abonnés à Paris) occuperait une gamme prohibitive de longueurs d'onde ; l'entretien et le réglage des postes émetteurs et récepteurs à domicile, serait infiniment plus onéreux et plus délicat que le système actuel ; l'appel, tout simple sur fil, exigerait des dispositions spéciales (lampes allumées en permanence, etc.).

Sans doute, les appareils radio iront en se simplifiant et en se perfectionnant ; mais on leur trouvera au fur et à mesure des emplois nouveaux pour la liaison avec les mobiles ; et très probablement il ne sera jamais possible des'amuser à augmenter l'« embouteillage » de l'éther par une multitude de messages qu'il est si simple d'envoyer par fil. Comme l'a dit un humoriste : « si la T.S.F. avait été inventée *avant* la télégraphie ordinaire sur fil, l'apparition de cette dernière aurait été saluée comme un immense progrès ».

C'est seulement dans quelques cas bien déterminés, que la radio-communication est intéressante entre stations fixes.

Il peut y avoir nécessité absolue, évidemment : si l'on ne peut placer ou maintenir le fil ; par exemple aux colonies, entre deux postes séparés par la brousse ou le désert ; ou encore, entre un Observatoire perdu dans les neiges, et le reste du monde.

Dans ces cas, le trafic est en général restreint, et l'on veut surtout un matériel simple et peu puissant ; les ondes courtes sont tout indiquées, et, aux heures favorables, assurent des

portées énormes. Des réseaux de ce genre existent dans toutes les colonies.

Il peut arriver aussi que la suppression du fil, sans être absolument nécessaire, soit intéressante comme souplesse ou par économie.

Prenons par exemple le cas des liaisons transatlantiques.

Evidemment, elles se font par *câbles sous-marins* ; mais ces câbles se prêtent mal à la télégraphie rapide, et pas du tout à la téléphonie ; leur pose est extraordinairement coûteuse, et s'ils sont rompus par accident, de longues « campagnes »,

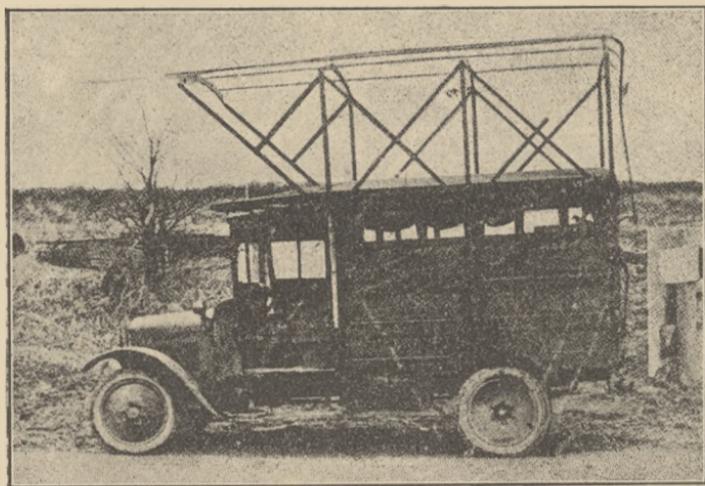


Fig. 55. — Camionnette équipée en T. S. F. pour émettre et recevoir en marche.

encore très onéreuses, sont nécessaires pour les réparer. Aussi leur nombre est-il forcément restreint aux lignes de trafic important. Enfin — vérité de la Palisse — ils aboutissent toujours aux mêmes points...! la liaison est rigide.

Un pays qui possède des petites colonies, éparpillées un peu partout sur le globe, ne peut donc se payer le luxe de constituer un réseau de câbles pour s'y relier directement. Il est alors tributaire des pays et colonies voisins, mieux dotés.

Voici que la radio peut lui rendre d'inappréciables services :

un poste émetteur puissant dans la métropole, coûtant assurément quelques millions, mais à tout prendre moins cher qu'un câble, pourra desservir simultanément ou à tour de rôle, les colonies, directement et sans intermédiaire. En acceptant d'attendre l'heure favorable ou de se relayer, les colonies pourront répondre sur ondes courtes avec des postes bien moins puissants, donc à peu de frais.

Toutes les nations ayant des colonies se sont donc précipitées sur la possibilité qui leur était offerte et ils ont constitué des réseaux complets. La France, avec ses possessions d'Afrique jusqu'à Madagascar ; avec l'Indo-Chine, etc...

De même l'Angleterre, avec un « Réseau Impérial » très important ; la Hollande, fort bien reliée avec sa colonie de Java ; etc.

Cet exemple est loin d'être unique ; dans plusieurs autres cas, la liaison sans fil peut utilement doubler ou concurrencer la liaison par fil ; son prix de revient en effet, croît moins vite que la distance (surtout avec les ondes courtes), et, avec un matériel moderne et une bonne organisation, elle réalise des vitesses supérieures. Enfin, elle est indépendante des administrations, et dans les communications entre pays éloignés, elle l'est aussi des intermédiaires.

Aussi depuis longtemps est-elle employée, par exemple entre Paris et Londres pour transmettre les Cours et ordres de Bourse ; entre la France et des pays comme la Russie, la Lithuanie le Portugal ; entre l'Europe et les autres continents, etc. Quelques applications sont assez imprévues, comme, par exemple, la transmission longtemps faite par la Tour Eiffel des résultats des courses à Paris pour le pari mutuel de Berlin.

Centraux Radiotélégraphiques. — Les centraux radiotélégraphiques sont constitués de manière à se rapprocher des conditions de trafic des bureaux ordinaires.

Les émetteurs sont groupés en un centre, pourvu d'un outillage technique convenable et disposant de la puissance voulue ; ce sera, par exemple, à proximité de Paris, Ste-Assise ou Pontoise. De même, les récepteurs, en un autre centre, éloigné de toutes les perturbations industrielles, donc isolé à la campagne : Villecresnes, Noisseau en France.

Ces deux centres ne contiennent que les appareils radio proprement dits, avec le minimum de personnel pour leur

entretien ; il sont reliés par câbles multiples souterrains, avec un « bureau central » placé au cœur de la ville — par exemple, rue Montmartre pour la Cie Radio-France — et contenant tous les manipulateurs et tous les enregistreurs automatiques, avec le personnel chargé de recevoir et d'expédier les télégrammes. C'est de ce bureau que seront commandés, par une cascade de relais, les postes émetteurs du premier centre ; et c'est à ce bureau qu'aboutiront pour être traduits, les signaux collectés par les récepteurs du second centre. On aura soin de faire aboutir à la même table les commandes relatives à la même radiocommunication, de manière à éviter toute perte de temps dans les prises de contact, demandes de répétitions ou de changements d'allure, etc.

En somme le Bureau Central est le cerveau de tout cet organisme complexe.

Radiotéléphonie bilatérale. — Sur terre, l'emploi des amplificateurs permet d'accroître presque indéfiniment la portée des lignes téléphoniques, et l'on peut communiquer actuellement entre deux quelconques pays d'Europe, ou bien entre les rives Est et Ouest des Etats-Unis d'Amérique. (4.000 à 5.000 km).

Toutefois, de semblables distances ne sont pas accessibles par câbles sous-marins. Les constantes de ces câbles, en effet, sont peu favorables à la propagation des fréquences élevées de la voix ; et comme il est impossible de placer, sur les océans, des amplificateurs intermédiaires à intervalles réguliers, ce défaut finit par acquérir un tel degré qu'on ne peut plus y remédier. On se trouve donc encore, dans un cas où la radiocommunication est *le seul* procédé possible.

D'autre part, la jonction des réseaux téléphoniques entre deux continents, présente un intérêt commercial de premier ordre ; il ne faut donc pas s'étonner que l'on ait cherché depuis longtemps à la réaliser. Mais il ne faut pas s'étonner davantage que l'on ait mis longtemps à la réussir, car le problème technique est hérissé de formidables difficultés.

Du temps des ondes longues, on pouvait l'énoncer ainsi :

Pour une liaison *télégraphique* à quelques milliers de Km., il fallait une puissance émise de l'ordre de 100 kilowatts ; or, la réception *téléphonique* exige une méthode de réception différente, moins sensible, plus vulnérable aux parasites ;

il lui faut donc un champ notablement plus intense, mettons par exemple *dix fois*. Du coup la puissance nécessaire était multipliée par cent, donc atteignait 10.000 kw : c'était affolant, chimérique.

Avec un acharnement remarquable, les laboratoires du « Bell System » ont entrepris, cependant, de résoudre le problème ; et ils y ont réussi, puisque en 1927 on inaugura le service commercial entre les abonnés de Londres et ceux de New-York.

Il est instructif d'examiner les principes de la solution

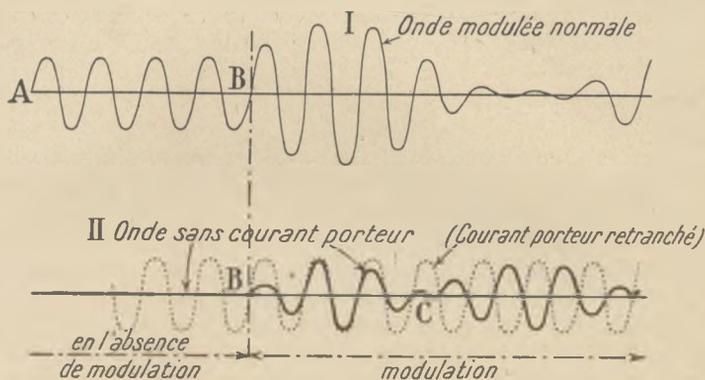


Fig. 56.

adoptée, et de voir comment, par une série de gains partiels et la superposition de plusieurs ingénieux progrès, on a pu augmenter l'efficacité de la liaison environ 30.000 fois, par rapport aux méthodes courantes : bel exemple de ce que donne la coordination intelligente des études théoriques, du travail de laboratoire, et de la mise au point industrielle.

Radiotéléphonie sur ondes longues. Suppression de l'« onde porteuse ». — La première caractéristique du système employé, était la suppression de l'« onde porteuse ».

Sans calculs, voici comment on peut l'expliquer (fig. 56) : dans la transmission téléphonique normale, passe, en permanence, une onde « porteuse », qui sert de « support » à la modulation : elle est entretenue avec une amplitude invariable

quand on ne parle pas (courbe supérieure, moitié gauche AB), et elle change d'amplitude périodiquement sous l'effet de la modulation. (Courbe supérieure, moitié droite). En elle-même, cette « porteuse » n'est donc pas efficace ; c'est seulement sa *variation d'amplitude*, qui joue un rôle.

L'idée est de la supprimer, et de transmettre seulement cette variation. De la courbe, nous retrancherons donc à chaque instant l'onde porteuse régulière ; il restera donc zéro en l'absence de modulation — à gauche du point B sur la courbe inférieure — et, effectivement, on n'émettra rien quand les abonnés ne parleront pas ; s'il y a modulation, on aura une différence, positive ou négative, c'est-à-dire une onde supplémentaire, en phase ou en opposition de phase avec l'onde porteuse supprimée (courbe inférieure, moitié droite). C'est cette différence seule que l'on enverra dans l'antenne : d'où économie énorme de puissance à l'émission.

Bien entendu, à la réception, le signal reçu n'est pas utilisable tel quel ; on devra rétablir l'onde porteuse, en y superposant la tension fournie par un générateur local réglé parfaitement en synchronisme ; moyennant quoi, on retrouvera la modulation initiale.

Ajoutons que ce sont là des suites d'opérations passablement délicates, exigeant des précautions spéciales, des filtres extraordinairement efficaces, des générateurs de stabilité parfaite, etc. Mais enfin, au prix de ces complications admissibles, on multiplie par six, environ, l'efficacité de la transmission, c'est-à-dire que la station d'émission travaillant avec 100 kw sur ce principe donne les mêmes résultats qu'une station ordinaire de 600 kw.

Cela n'est pas suffisant, pourtant.

On s'est alors ingénié à améliorer l'efficacité de la réception, et un nouveau type d'antenne, formé d'une ligne horizontale sur poteaux, de plusieurs kilomètres de long, dans la direction de l'émetteur, a montré un pouvoir directif très intéressant, augmentant le rapport « signal/parasite » dans le rapport de 10 ; c'est-à-dire équivalent à la multiplication de la puissance du poste par 100. Et comme cela ne suffisait toujours pas, il a fallu chercher mieux en agissant sur un autre facteur : l'emplacement des postes récepteurs. En les déplaçant de quelques centaines de km au Nord, à Houlton (Maine) et à Cupar (Ecosse), on a considérablement réduit l'intensité

des parasites (nous avons dit au Chap. I qu'elle dépendait de la latitude et de la région) : d'où nouveau gain, considéré comme équivalent à une augmentation d'efficacité de 50.

Et la combinaison de tous ces procédés a permis, cette fois, d'établir un service téléphonique, public, commercial, au tarif de 45 livres par unité de conversation (3 minutes) — ultérieurement ramené à 15 livres sterling, puis à 6.

Mais le déploiement d'artifices nécessaires rendait forcément l'installation délicate, et bonne seulement pour une liaison d'importance exceptionnelle. D'autre part l'encombrement de la gamme d'ondes longues était d'un fâcheux augure pour la multiplication de ce genre de liaisons.

Mais, ici encore, les ondes courtes sont venues améliorer la situation d'une manière inespérée.

Radiotéléphonie sur ondes courtes. — Nous avons dit que la propagation des ondes courtes était caractérisée : par une absorption extrêmement faible en fonction de la distance, de telle sorte qu'il n'est guère plus difficile de communiquer à 10.000 km qu'à 1.000 ; et par une perpétuelle instabilité, le champ reçu variant sans arrêt dans de larges limites.

Il ne sera donc plus nécessaire d'employer des puissances énormes pour couvrir de grandes portées ; avec une dizaine de kilowatts — on se fait entendre facilement aux antipodes, même en téléphonie.

En revanche, il faudra se prémunir contre les variations d'intensité : à ce point de vue, l'excès de puissance est toujours bon, et c'est pourquoi l'on augmente l'efficacité des émetteurs et récepteurs en leur adjoignant un système d'antennes *dirigé* (rideau projecteur) ; mais, en outre, il faudra nécessairement doter l'amplificateur de réception, d'un mécanisme régulateur automatique, faisant varier à chaque instant sa sensibilité, dans une proportion inverse de la force du signal, de manière à maintenir un « niveau de sortie » à peu près constant.

Dans la radiotéléphonie duplex, c'est-à-dire bilatérale entre postes d'abonnés, on rencontre encore cette difficulté, que les correspondants ne se trouvent pas aux postes de T.S.F., mais au contraire chez eux, et que l'on ne peut les atteindre que par une ligne téléphonique ordinaire à deux fils. A chaque

bout, cette ligne L_1 (fig. 57) devra transmettre alternativement, dans un sens les paroles de son abonné A_1 vers l'émetteur,

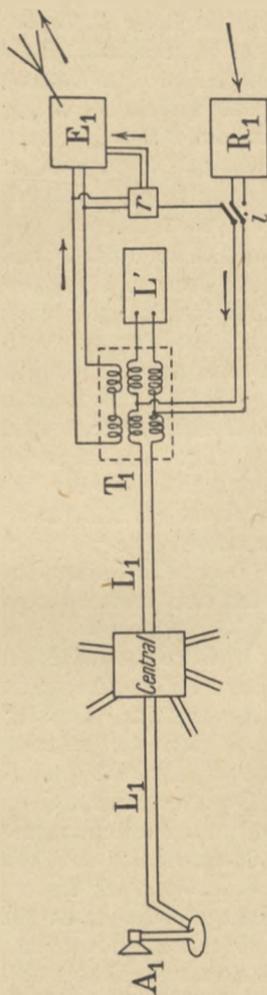


Fig. 57.

et dans l'autre, les paroles de l'abonné lointain A_2 venues du récepteur. L'émetteur E et le récepteur R ont alors un circuit commun, ce qui amène des catastrophes : une vibra-

tion de microphone en A_1 étant envoyée par l'émetteur E_1 et reçue au poste éloigné par le récepteur R_2 , va se trouver retransmise par l'émetteur E_2 , puisque ce récepteur et cet émetteur ont en commun la ligne d'abonné L_2 ; elle va donc revenir et impressionner le récepteur R_1 , puis la ligne L_1 : il y aura écho. Mais cela ne fait que commencer : en vertu du même principe, la ligne L_1 formant couplage entre R_1 et E_1 , l'émetteur E_1 va fonctionner une seconde fois, et renvoyer la perturbation : ainsi de suite. Il y a plusieurs échos successifs, et, si leur intensité est suffisante, accrochage d'oscillations périodiques à travers le système.

Pour vaincre cette difficulté, qui se rencontre aussi dans les câbles téléphoniques avec répéteurs, on emploie depuis longtemps le dispositif d'équilibrage représenté par la figure 57. Il s'agit d'obtenir que les courants venant du récepteur R passent dans la ligne L sans agir sur le transmetteur E , tandis que les courants venus de la ligne L actionneront ce transmetteur. On monte le transformateur symétrique en équilibrant la ligne par une « ligne artificielle » L' présentant les mêmes constantes électriques. Des lors il est facile de voir que les courants venus de R s'écouleront par moitié vers L et L' , donc leur effet s'annulera sur E ; au contraire les courants venus de L agiront sur E en s'écoulant dans L' . (Il y a perte d'énergie dans les deux cas, mais l'inconvénient n'est pas grave).

Ce système est employé en radiotéléphonie, mais il n'est généralement pas suffisant. En effet, il suppose un équilibrage parfait du transformateur, une ligne artificielle L' parfaitement identique à L ; ces deux conditions n'étant jamais remplies en pratique, la réaction de R sur E n'est pas totalement supprimée. Or, avec les amplifications formidables réalisées aux postes tant pour l'émission que pour la réception, il subsiste un risque d'accrochage et d'échos. On complète alors cette première protection par un ingénieux dispositif de verrouillage automatique : les deux postes émetteurs ne sont pas en marche permanente ; chacun d'eux y est mis, par l'action d'un relais très sensible et très rapide, r , à la première syllabe prononcée par le correspondant de son côté. Dès que le correspondant se tait, le relais retombe et court-circuite une partie essentielle du système. Il ne peut donc plus y avoir d'échos, puisque la transmission ne marche qu'alter-

nativement dans les deux sens (sauf le cas où les deux correspondants parleraient à la fois : mais ce mode de conversation est à proscrire indépendamment de toute considération radiotechnique).

Reste un dernier inconvénient de la radiotéléphonie : la communication manque du secret désirable, puisque tout récepteur accordé sur l'onde porteuse peut la surprendre dans un rayon très étendu. Il semble que cette considération soit un obstacle assez sérieux à son utilisation commerciale.

Mais cet obstacle n'est pas insurmontable. On s'est depuis longtemps préoccupé de rendre secrètes les conversations téléphoniques ; par exemple, pendant la guerre, divers systèmes avaient été employés, qui déformaient la transmission suivant un rythme convenu par coupure, décharges supplémentaires, inversions, etc., de manière à la rendre inintelligible à l'écoute directe ; pour la rétablir il fallait connaître la perturbation produite et la supprimer par un dispositif synchrone du premier. Ces dispositifs exigeant le synchronisme ne conviennent pas bien à la T.S.F. ; mais les progrès réalisés dans les systèmes sélectifs (filtres) ont permis d'autres solutions, consistant à découper la bande de fréquences occupée par la voix (de 300 à 2.500 par sec.) et à lui faire subir diverses transformations : par exemple, faire passer les fréquences graves à l'aigu et réciproquement ; ou bien, déplaçant la bande d'une communication d'une quantité égale, la superposer à une autre communication ; des artifices de ce genre seront employés pour la liaison Paris-Alger, qui doit être inaugurée pratiquement en 1932, et dans laquelle une seule onde véhiculera deux conversations indépendantes superposées ; bien entendu la modulation est alors parfaitement incompréhensible sur un récepteur normal ; pour la distinguer, il faut remettre chaque bande de fréquences à sa place par un filtrage et des changements de fréquence appropriés. C'est une sorte de cryptographie dans un nouveau domaine.

Le nombre de ces liaisons à ondes courtes est déjà important et ne cesse d'augmenter : aussi serait-il illusoire d'en prétendre donner une liste exacte. Citons seulement quelques exemples intéressants, et, le tarif appliqué (par unité de conversation de trois minutes) :

Londres (et par extension sur réseaux, la France et la plus grande partie de l'Europe)

avec : Etats-Unis (et par extension. Canada, Cuba, Mexique) 850 à 1.200 fr.

France (et Espagne) à l'Argentine, Brésil, Chili, Uruguay : 750 à 825 fr.

France avec Maroc (service permanent), 111 à 143 fr.

France avec Saïgon (extensions projetées en Indo-Chine), pendant la matinée, — 450 fr.

On estime à l'heure actuelle que 80% des téléphones du monde entier peuvent communiquer entre eux.

Une des limites à l'utilisation commerciale de semblables liaisons, semble être la différence d'heure entre les correspondants. Quand on communique avec les antipodes, il est forcément nuit pour l'un tandis qu'il fait jour chez l'autre : cela ne facilite pas les conversations.

Enfin, signalons que l'on a réussi dernièrement à installer des postes duplex sur les grands paquebots transatlantiques, malgré l'exiguïté des emplacements et la proximité obligatoire de l'émission et de la réception. Un passager quelconque peut donc pendant la traversée, communiquer téléphoniquement avec un abonné de l'Ancien ou du Nouveau Continent. Le prix est de 656 fr. On ne peut pas encore se rendre compte de l'avenir réservé à ce genre d'applications, qui peut s'étendre aux trains, aux avions, etc.

III. — La Radio-diffusion.

Parmi les radiocommunications, il semble nécessaire de faire une place à part à *la radio-diffusion* : c'est bien un service entre postes fixes — en général du moins — mais présentant des caractères spéciaux: communication unilatérale entre un émetteur et tout un public de récepteurs anonymes répartis dans une région, un pays... un continent,... ou davantage.

La radio-diffusion...! l'application assurément la plus populaire, et peut-être la plus importante de toutes ; celle que pas un habitant des pays « civilisés » ne peut sans doute plus ignorer ; celle dont le développement foudroyant a créé, en dix ans, non seulement une technique et une industrie, mais un art, une politique, un fait social nouveau... !

Prévue, dès 1909, par De Forest, la radio-diffusion des premiers concerts commençait en 1921 — en France, avec les stations de la Tour Eiffel, puis de Radiola. Quelques

centaines d'amateurs originaux, constituaient sans doute les premiers auditeurs ; mais leur nombre s'accrut vite, par curiosité d'abord, puis par un intérêt véritable pour les informations et la musique transmise. De leur côté, un bon nombre de personnalités et de collectivités, comprenant quelle puissance nouvelle pouvait leur donner la possession d'un poste émetteur, entreprenaient de construire des stations. Et la concurrence aidant, on voit apparaître, en huit ou dix ans, de par le monde, douze cents postes émetteurs et quelques vingt ou trente millions d'appareils récepteurs. Et ce n'est qu'un début...

L'ampleur des programmes suivait une marche ascendante parallèle. Qu'ils sont loin, les premiers conférenciers, les premiers musiciens bénévoles devant le « micro »... ; on les a remplacés par les professionnels d'un art nouveau : journalistes, conférenciers, reporters et artistes spécialistes, virtuoses et vedettes en tous genres ; il n'est plus de manifestation de quelque importance, qui ne soit radio-diffusée : expositions, matches, courses, raids, tournées, discours, banquets... partout se glisse le microphone, captant et les paroles qu'on lui destine, et parfois aussi — pour la joie des auditeurs — les chuchotements ou les interruptions qu'il eût été plus discret d'étouffer.

Mais la radio-diffusion n'est pas seulement une distraction : elle s'est ennoblie en transportant, par dessus les toits, d'excellents enseignements. Cours et leçons éducatives ; messages réconfortants lancés à leurs peuples par les chefs d'états dans les moments de crise... etc. ; et (12 mars 1931) le Pape Pie XI affirmait la valeur spirituelle des ondes radioélectriques en leur confiant le soin de porter sa bénédiction aux fidèles de l'univers entier, — soin dont elles se sont effectivement acquittées.

Organisation de la radio-diffusion. — On a dit que l'organisation de la radio-diffusion consistait à mettre en permanence à la disposition de chaque auditeur, un ou plusieurs programmes qui l'intéressent.

Il est clair que cet idéal se heurte à mainte difficulté, dont la moindre n'est pas la difficulté psychologique du choix des programmes et de la direction des émissions — les auditeurs étant divers et de goûts très variés. On trouve en outre toutes sortes de difficultés juridiques dans la répartition des lon-

guez d'onde, l'attribution des postes d'émission, le respect des droits d'auteurs et d'interprète. Tout ceci n'est pas dans notre sujet ; nous ne pouvons que le mentionner. Ce dont nous nous occuperons ici c'est seulement de l'aspect technique du problème : construction des postes d'émission et organisation du réseau.

Les Stations d'émission. — La station d'émission téléphonique de diffusion est naturellement construite suivant les principes que nous avons indiqués au chap. III ; en raison du nombre énorme des auditeurs, de leur esprit critique et de la concurrence entre les divers postes, on s'efforce de réaliser toujours la perfection technique à tous points de vue.

La *puissance* qui ne dépassait pas au début quelques centaines de watts dans l'antenne, a été portée ensuite à quelques kilowatts, et atteint maintenant couramment 50 à 100 : par exemple la station de St-Remy-l'Honoré, de Radio-Paris, donne une centaine de kw au maximum (fig. 58 et 59). On projette plus encore, par exemple à Moscou, où un poste de 360 kw serait en construction. (1)

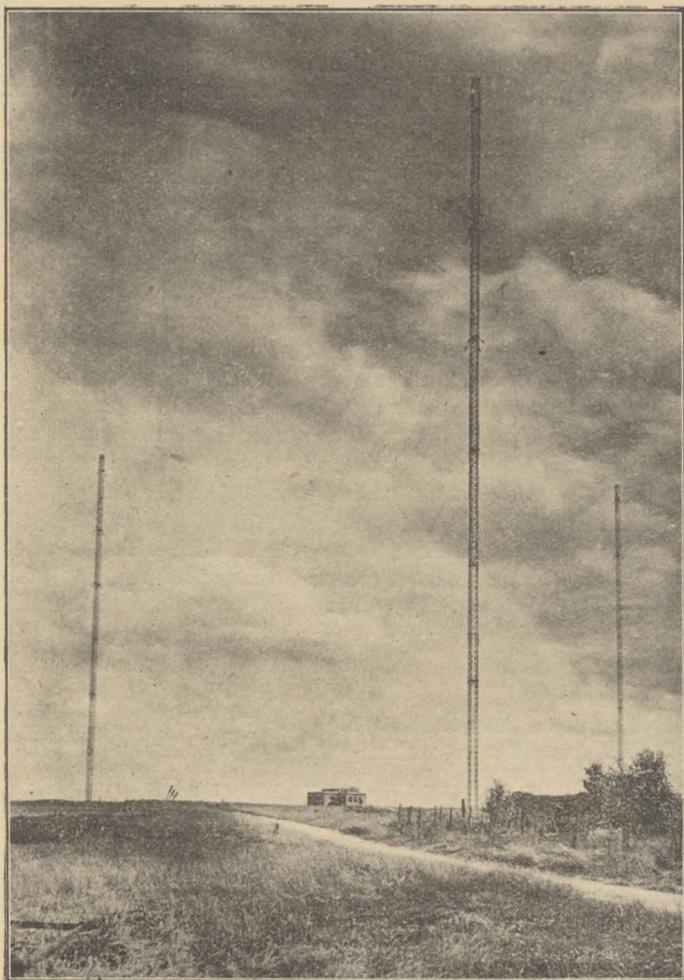
De tels postes sont de véritables usines, construites en terrains bien dégagés, loin des agglomérations. Le bâtiment comporte généralement, au rez-de-chaussée les machines, accumulateurs, etc... ; au premier étage, dans une grande salle, les lampes et circuits, commandés d'un pupitre central où sont rassemblés les manettes, boutons et instruments de mesure. L'antenne, portée par des pylônes de 100, 200 mètres et plus, surmonte le tout. A côté, sont prévus les logements du personnel.

Pour diminuer les brouillages, la *stabilité de fréquence* est très importante ; par emploi de maîtres-oscillateurs à quartz ou diapasons, enfermés dans des thermostats, on arrive à ne pas s'écarter de plus de 50 p/s de la fréquence nominale assignée.

Mais surtout, on s'attache à obtenir le maximum de *qualité*

(1) On est surtout limité par le prix de revient qui croît très vite. Mais au fur et à mesure que la radio-diffusion rend plus de services, on trouve naturel de dépenser davantage. Après tout (comme l'a fait remarquer un auteur américain) on attelle bien une locomotive de 1.500 ou 2.000 kilowatts à un « train de plaisir », chargé de quelques centaines d'excursionnistes ; pourquoi ne consacrerait-on pas la même puissance à la station d'émission qui distrair plusieurs centaines de milliers d'auditeurs ?

dans la modulation. Rien n'est trop coûteux pour assurer la fidélité dans tout l'intervalle de fréquences utilisé en musique (harmoniques compris). c'est-à-dire de 30 à 10.000 p/s, et



(Station Radio-Paris)

Fig. 58. — L'Aérien, au fond le bâtiment d'émission.

peut-être plus ; également, pour la reproduction des amplitudes, depuis le plus subtil *pianissimo* jusqu'aux *forte* de l'orchestre, sans que nulle part la saturation de quelque organe ne fasse apparaître d'harmonique indésirable (pas plus de 5%, par exemple). Ces deux conditions assurent le naturel de la voix, le brillant et la netteté de la musique symphonique. Leur réalisation présente beaucoup de difficultés : en outre d'un soin particulier dans la construction du microphone, de tous les transformateurs utilisés, il faut en cours de service un contrôle permanent des tensions et des courants à chaque niveau de puissance : délicate fonction confiée à un opérateur spécialiste.

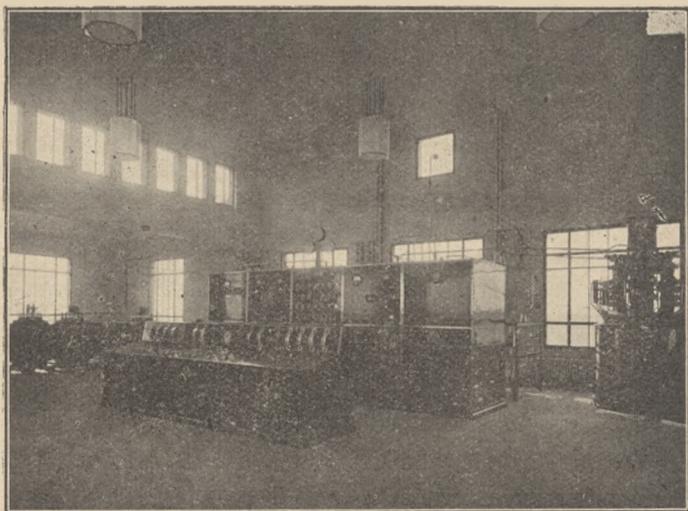
D'ailleurs, le poste d'émission proprement dit n'est pas tout ; il doit être complété par un local convenable, où, devant le microphone, défileront les conférenciers et les artistes. C'est le « studio » ou « auditorium ». Tandis que le poste est édifié loin des agglomérations, il est commode que cet auditorium soit, au contraire, en un point bien desservi au centre de la ville ; on les réunira l'un à l'autre par un câble téléphonique transportant la modulation. Pour éviter toute distorsion, ce câble est spécialement construit ; et les petites irrégularités qu'on est obligé de laisser subsister, sont corrigées à l'arrivée.

L'acoustique du studio est une grande affaire. Tout d'abord, il doit être parfaitement isolé de tout bruit parasite (allées et venues, circulation de la rue, vibrations... etc.), malgré la nécessité d'y ménager des ouvertures de passage et d'aération. On emploiera donc des murs spécialement isolés, des doubles portes, des tentures, etc. Ensuite, sa sonorité doit être dosée très exactement : insuffisante, elle rendra les sons étouffés ; trop grande, elle les rendra confus. Aussi les dimensions, sa forme, le choix des tapis, des tentures et du plafond, sont-ils l'objet de longues études. L'emplacement de l'artiste ou des musiciens est minutieusement déterminé ; certains chefs d'orchestre se font une spécialité de ce genre de réglages, — au besoin en écoutant, non pas directement, mais par l'intermédiaire de la T.S.F.

Enfin, l'auditorium n'est pas unique : l'abondance et la variété des programmes (1) exigent que l'on fasse succéder

(1) Une station américaine se vante d'avoir établi un record de durée

sans interruption le conférencier à l'orchestre, le prédicateur au jazz, et l'opérette au cours des beurres. Il faut donc plusieurs studios séparés, de tailles différentes — Radio-Paris en a trois, mesurant respectivement $5,70 \times 3,20 \times 3,10$ m. ; $7,80 \times 5,50 \times 4,50$ m. ; $18 \times 8 \times 6$ m. ; chacun avec son microphone que l'on connecte en temps voulu au circuit de modulation. Un dispositif signalisateur avertit les divers



Station Radio-Paris

Fig. 59. — Ensemble d'émission. A gauche, redresseur à vapeur de mercure ; au centre, pupitre de commande et meuble des petits et moyens étages ; à droite, une tourelle formant meuble de puissance.

exécutants de l'approche de leur tour, puis de l'instant où ils doivent commencer.

On prévoit même parfois des « faux studios » réservés pour les répétitions.

Enfin, on groupe autour du studio les dépendances nécessaires, bureaux du directeur et du chef d'orchestre, salles d'attente, etc. Un petit coin contient le dispositif phonogra-

par une émission continue durant plusieurs jours. On ne sait pas s'il s'est trouvé des auditeurs qui l'aient suivie jusqu'au bout.

phique permettant de transmettre des disques et d'alterner — parfois à l'insu des auditeurs — la musique vivante avec la musique enregistrée.

Comme toutes les transmissions ne sont pas faites à partir du studio, un équipement portatif, nécessairement plus réduit, permet d'aller « diffuser » les spectacles, manifestations sportives, etc... par l'intermédiaire de lignes téléphoniques spéciales. Dans ces divers cas, les différents problèmes d'acoustique locale doivent être résolus hâtivement au mieux des circonstances, les microphones étant placés à quelque distance des orateurs, sur le bord de la scène, ou suspendus dans la salle, etc.

Distribution de la radio-diffusion. — La construction d'une station est assurément délicate, mais elle offre peu matière à incertitude ou à discussion. Sa puissance, son rendement ses qualités sont prévues avec une précision satisfaisante et vérifiées quand on le désire.

Au contraire, la tactique — la stratégie même — de l'emploi et du groupement des stations, sont beaucoup plus arbitraires et discutables. Comment répartir les stations pour contenter le plus grand nombre d'auditeurs ? C'est d'autant plus difficile à dire que cela dépend d'un très grand nombre de facteurs étrangers à la technique.

1° Un premier point domine toute la discussion. C'est que le nombre des ondes disponibles pour la radio-diffusion, est rigoureusement limité — il est déjà très inférieur à la demande.

Cela résulte des accords internationaux : Washington 1927, et, pour l'Europe, plan de Prague en 1929. Un grand pays comme la France, l'Angleterre, l'Allemagne... a reçu en partage une dizaine d'ondes « exclusives » qui lui sont réservées ; en outre, certaines fréquences « communes » appartiennent simultanément à plusieurs pays éloignés. On avait pensé que les émissions faites sur la même onde à quelques centaines de kilomètres, ne se brouilleraient pas trop au voisinage immédiat des stations ; mais en raison des renforcements irréguliers dus à la propagation, il semble au contraire que ce système donne de mauvais résultats. On ne le maintiendra peut-être pas.

La surveillance de cette répartition est effectuée par un Centre de Contrôle à Bruxelles, pour le compte d'une Union

internationale de radiophonie qui enregistre les plaintes et propose les améliorations possibles.

2° Un second aspect de la question est celui-ci : que faut-il d'énergie pour assurer une bonne réception ? Quelle doit être la force du champ électromagnétique à réaliser pour desservir une région ?

Cela dépend naturellement de la qualité de réception exigée, et du niveau des brouillages locaux.

On est d'accord pour estimer qu'un minimum de *un* millivolt par mètre est nécessaire pour assurer à *la campagne*, loin de toute source de parasites, des auditions régulières de bonne qualité de jour et de nuit.

Dans les grandes villes, en raison de la multiplication des appareils et moteurs électriques, il faut certainement beaucoup plus. Dix millivolts, par exemple, sont encore vulnérables aux bruits de tramways, d'ascenseurs... on est bien forcé de s'en contenter dans la plupart des cas ; mais cinquante ou cent millivolts vaudraient encore mieux.

3° De cette valeur minimum, on peut, dans la mesure où l'on connaît les lois de propagation des ondes, déduire le rayon d'action efficace d'une station de puissance donnée, transmettant sur une onde donnée.

Nous avons vu (chapitre I) que ce rayon d'action dépend :

— de la nature du sol : plus il est sec et montagneux, plus rapidement les ondes sont absorbées ;

— de la puissance émise : la portée croît toutefois bien moins vite que cette puissance ;

— de la longueur d'onde : plus elle est grande, plus la portée est considérable.

A titre d'exemple, la fig. 60 montre, à la même échelle, les zones respectivement desservies par des stations de 10 et de 100 kilowatts rayonnés sur terrain « moyen », avec les trois longueurs d'onde 1.500 m., 500 m., 250 m. Dans chaque cas, le cercle extérieur en trait pointillé donne la limite du champ permettant une bonne réception à la campagne ; le cercle intérieur, en trait plein, la limite relative à une réception en ville.

On voit que pour desservir des zones étendues, l'augmentation de la longueur d'onde est beaucoup plus efficace que l'augmentation de puissance. On comprend donc que les

ondes longues soient privilégiées, et que leur possession soit très recherchée.

Bien entendu, tous ces chiffres sont des moyennes et fixent seulement l'ordre de grandeur des résultats ; les circonstances locales peuvent les modifier dans un sens ou dans l'autre. De plus, les ondes courtes donnent fréquemment des portées considérablement plus grandes, mais *de nuit* seulement, et sans la régularité désirable. C'est fort intéressant comme réception-record, mais non comme réception de qualité.

4° Il résulte de ceci que dans l'état actuel des choses, le réseau de distribution de la radio-diffusion doit être constitué dans chaque pays d'après le schéma suivant :

— une (ou plusieurs) stations « centrales » à ondes longues, de grande puissance, pour desservir l'ensemble des campagnes ; bien entendu, elles fonctionneront sur des fréquences « exclusives » ;

— un réseau de stations moins puissantes sur ondes courtes, localisées dans les villes éloignées, pour y produire un champ suffisant à dominer les brouillages industriels. Pour cet usage on peut se contenter des ondes « communes » ; on peut aussi — et ce serait leur utilisation la plus intéressante — employer les ondes « très courtes », de l'ordre de quelques mètres de longueur, à portée extrêmement limitée.

Ce schéma de base, presque partout adopté, n'a rien de rigide cependant ; on envisage quelquefois, par exemple, des postes « régionaux » de puissance moyenne ; mais cela conduit à utiliser un grand nombre d'ondes exclusives.

5° Il ne suffit pas de construire les postes émetteurs ; il faut encore les exploiter, et l'organisation des programmes, surtout en province, est parfois difficile, toujours coûteuse. On a donc imaginé de faire transmettre le même programme à la fois par plusieurs stations ; la « modulation » venue d'un même auditorium leur est distribuée sur le réseau téléphonique-interurbain.

Cette solution se justifie à titre exceptionnel, pour des programmes d'un intérêt particulier ; c'est ainsi qu'on est arrivé aux Etats-Unis, à faire émettre ensemble 69 stations par l'intermédiaire de 50.000 km de lignes.

En dehors de ce cas, ce principe « du moindre effort » conduit manifestement à des abus. Vu le petit nombre des ondes disponibles, c'est un gaspillage que d'en employer plusieurs

pour la même transmission. En outre, le transport de la modulation sur les lignes ou câbles interurbains, nuit généralement beaucoup à sa qualité.

6° Il est pourtant un cas, dans lequel la transmission multi-

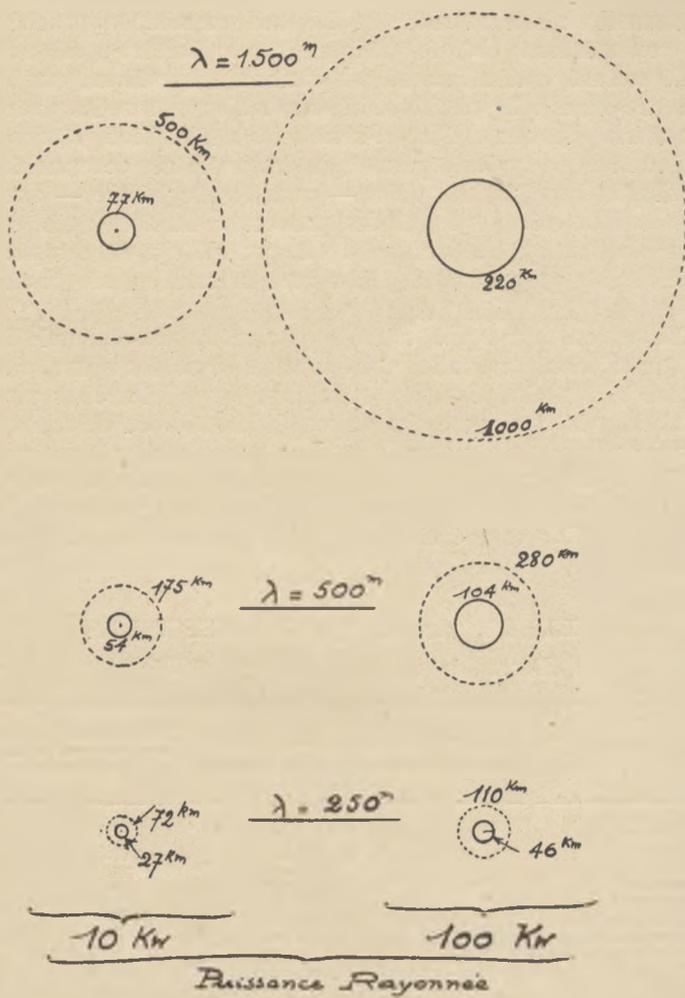


Fig. 60.

ple devient parfaitement légitime : c'est celui où toutes les émissions simultanées sont faites *sur la même onde*. Evidemment, il faut alors un synchronisme parfait, pour éviter les battements ; on l'obtient soit en transmettant sur ligne une « fréquence pilote » sous-multiple de celle rayonnée (solution allemande) ; soit, d'une manière suffisamment approchée, en commandant chaque station par un maître-oscillateur indépendant tout à fait stable (solution britannique, emploi des diapasons). Il subsiste d'ailleurs toujours entre les postes émetteurs, des zones d'interférences où la réception est mauvaise. Mais ce système permet de desservir très convenablement plusieurs grandes villes — onze en Angleterre — avec *une seule et même onde*, et des puissances limitées ; elle est donc économique à tous points de vue. C'est un des plus intéressants progrès de la technique en matière de radio-diffusion.

Enfin, on a proposé d'autres variantes, par exemple la retransmission sur ondes très courtes, dans les villes, des émissions les plus distantes reçues quelques kilomètres plus loin, dans la campagne. On arriverait ainsi à peu de frais, à dominer les brouillages intenses des agglomérations urbaines.

Vu l'intérêt qu'elle suscite et les efforts dont elle est l'objet, il est hors de doute que la radio-diffusion est encore appelée à des progrès considérables. Le tableau suivant résume son état actuel.

TABLEAU de la RADIO-DIFFUSION

Dans les principaux Pays, 1931

PAYS	Nombres des stations d'ÉMISSION	Nombre des RÉCEPTEURS	Proportion de récepteurs pour mille habitants
Allemagne	28	3.500.000	51
Autriche	9	414.000	63
Belgique	12	81.100	11
Canada	77	472.000	50
Danemark		447.000	127 (Record)
E. U. d'Amérique	800 environ	14.000.000	112
France et (Algérie)	28	500.000 (estimé)	12
Grande-Bretagne	22	3.500.000	75
Italie	10	145.000	3
Suède	31	492.000	80
U.R.S.S.	66	550.000	2

CHAPITRE V

APPLICATIONS DIVERSES

Nous avons, dans les précédents chapitres, examiné les points fondamentaux, les applications les plus remarquables, de la radio-technique ; mais nous ne l'avons pas entièrement parcourue. Bon nombre de ses emplois, soit dans les radio-communications, soit dans d'autres domaines, restent encore à mentionner, qui méritent un coup d'œil plus ou moins rapide ; les uns déjà intéressants par eux-mêmes, les autres riches en promesses d'avenir.

Tels sont, par exemple, différents autres types de communications à distance : transmission des images (téléphotographie, télévision) — des mouvements (télé mécanique) ; — transmissions en haute fréquence sur lignes.

Puis, les innombrables applications de cette technique nouvelle à d'autres branches de la science ou de l'industrie : mesures, recherches, etc.

Transmission des images. — A n'examiner les choses que superficiellement, le profane se demande parfois en quoi la transmission des images est une chose si difficile. La sensation lumineuse ne nous paraît pas tellement plus complexe que la sensation auditive ; pourquoi donc, la dernière étant transmise depuis des années, par un banal téléphone, pourquoi la première est-elle encore dans l'enfance ?

C'est que malgré les apparences, les deux problèmes sont d'un ordre différent. Malgré toute sa complexité, la vibration sonore qui frappe notre oreille est à chaque instant définie par une grandeur *unique* : pression ou vitesse des tranches d'air. Sans doute cette grandeur varie très vite, elle est la résultante de plusieurs autres... mais il n'y a qu'une seule variable à transmettre.

Au contraire, l'image qu'enregistre notre rétine est absolument irréductible à une grandeur unique. C'est presque une infinité d'informations que nous recevons à la fois : les éclaircissements (et même les couleurs) de tous les points d'une surface. En fait notre œil n'a pas un pouvoir séparateur illimité, donc il ne distingue pas une infinité de points ; mais enfin, si l'on cherche à décomposer l'image par un quadrillage très fin, discontinu, on s'aperçoit que cent traits dans chaque sens, c'est-à-dire 10.000 points en tout, sont le minimum nécessaire : par exemple sur un carré de 10 cm. de côté, cela

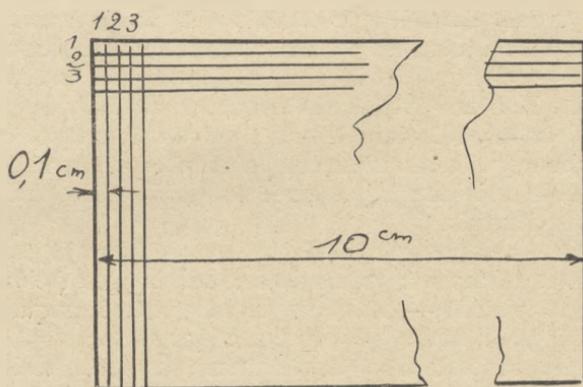


Fig. 61. — Décomposition d'une image à transmettre.

donne des éléments de *un* millimètre carré chacun : le « grain » paraîtra donc encore assez grossier.

Ainsi, transmettre une image, c'est transmettre les éclaircissements de quelque chose comme dix mille points.

On opérera, bien entendu, dans un ordre convenu, pour explorer méthodiquement l'image : par exemple, on enverra successivement les intensités lumineuses des 100 points de la première rangée, en allant de gauche à droite ; puis, celles des 100 points de la seconde rangée en-dessous, etc. (fig. 61).

Cela pourrait se faire — et cela s'est fait — par télégramme, en chiffrant la teinte de chaque point par rapport à une « échelle de teintes » graduée de 0 à 10, en envoyant le chiffre correspondant, puis en appliquant à la réception la teinte sur le petit carré.

Il est évidemment beaucoup plus rapide de réaliser automatiquement cette opération : c'est le but des appareils de téléphotographie. Le principe est le suivant :

Transmission des photographies. — Pour « explorer » à l'émission les teintes de l'image, on a d'abord pensé à la faire « en relief » (soit avec une encre spéciale, soit par le procédé de la gélatine bichromatée) ; puis à promener un

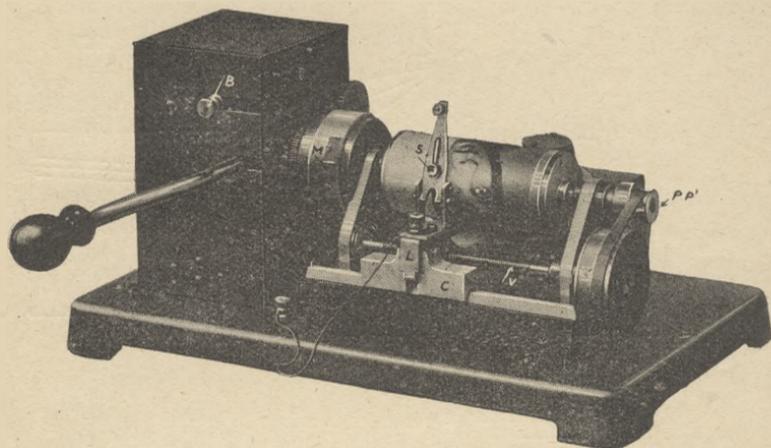


Fig. 62. — Appareil d'amateurs pour la réception des téléphotographies.

microphone au contact de sa surface. Mais il faut des dessins spécialement préparés.

Actuellement, on fait mieux. On construit en effet des cellules « photo-électriques », contenant des couches métalliques très minces qui, sous l'action de la lumière, laissent échapper des électrons. Elles fournissent donc un courant proportionnel à l'éclairement qu'on leur envoie. Si donc, devant la cellule, on fait défiler successivement dans l'ordre convenu, les points de l'image, on obtiendra une succession de courants qui représenteront la teinte de ces points.

A la réception, il s'agit de transformer ces courants en inscriptions. Pour cela, on peut, par exemple, les faire passer entre une pointe exploratrice et un papier imbibé de solution

électrolytique convenable ; la décomposition chimique produite par le courant fait apparaître un « précipité » de couleur foncée, qui reconstitue l'image. C'est la méthode en usage dans les appareils peu coûteux, pour amateurs, services météorologiques, etc. (fig. 62).

On obtient des résultats plus beaux dans les demi-teintes, en employant l'enregistrement photographique. Les courants reçus agissent alors sur un équipage mobile qui démasque plus ou moins un faisceau lumineux tombant sur du papier

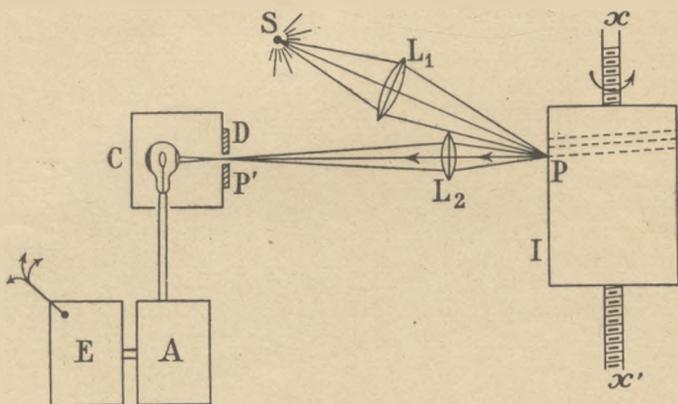


Fig. 63. — L'émission en téléphotographie.

sensible ; on fait apparaître l'image latente par développement et fixage ultérieurs.

Ces opérations se faisant successivement point par point, il faut nécessairement aux deux postes un mécanisme synchrone, faisant défiler dans l'ordre et à la vitesse voulus, tous les points de l'image devant le dispositif « explorateur » du départ et le dispositif « imprimant » de l'arrivée.

Habituellement, on y arrive fort simplement, en enroulant d'une part la photographie à transmettre, d'autre part le papier sensible, sur deux cylindres semblables, tournant et avançant d'un mouvement uniforme — c'est-à-dire dont chaque point décrit une hélice. Le « pas » de cette hélice détermine l'intervalle des rangées de points explorés : il est donc de 1 mm. dans l'exemple choisi, parfois de 0,5 mm.

Quant à la rotation rigoureusement identique des cylindres, on l'obtient soit avec des moteurs synchrones alimentés par le même réseau de distribution (solution élégante dans une région) soit en transmettant, de temps à autre, des signaux spéciaux qui indiquent la position du premier cylindre et produisent le « re-calage » automatique du second.

Les fig. 63 et 64 représentent le schéma d'un tel dispositif.

L'image à transmettre est enroulée sur le cylindre I, qui tourne sur l'axe fileté xx' ; chaque point P successivement, vient donc passer dans la zone éclairée par la source S et la lentille L^1 ; il renvoie donc plus ou moins de lumière vers

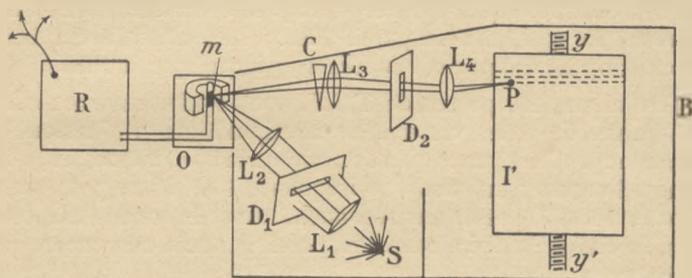


Fig. 64. — La réception en téléphotographie.

la lentille L^2 , qui forme une image P' dans le plan d'un diaphragme D ; cette lumière frappe la cellule photo-électrique C , dont les courants, amplifiés en A , actionnent l'émetteur E .

A l'autre station, les courants sortant du récepteur R actionnent un oscillographe O , dans le miroir m dévie plus ou moins le faisceau lumineux venu de S à travers les lentilles L^1 L^2 et le diaphragme D^1 . Le faisceau va donc frapper plus ou moins haut le « coin » C , d'épaisseur variable, et légèrement opaque : il est donc affaibli d'une quantité plus ou moins grande ; les lentilles L^3 L^4 et le diaphragme D^2 concentrent la lumière qui a traversé, au point P' correspondant de P , sur le papier sensible I' enroulé sur le cylindre I' qui tourne autour de l'axe yy' .

Avec ces dispositifs, une photographie de 10 cm. sur 10 cm., par exemple, est transmise en quelques minutes seulement.

Télévision. — Pour passer de la téléphotographie à la

Télévision, il suffit, en principe, d'accélérer le mouvement. Le cinématographe a depuis longtemps prouvé que l'œil a de l'inertie : quand on lui soumet un nombre suffisant d'images différentes par seconde, 16 à 20, par exemple, il éprouve la sensation de continuité. Donc nous ferons de la télévision si nous arrivons à transmettre 16 images par seconde. Première difficulté : énorme accroissement de vitesse, par rapport aux chiffres indiqués ci-dessus ; il faut transmettre 10.000 points en 1/16 de seconde, cela fait donc 160.000 par seconde ; cela devient affolant.

On se heurte tout de suite à l'impossibilité suivante : les lignes télégraphiques et téléphoniques ordinaires, sont absolument incapables d'un pareil débit ; elles affaiblissent beaucoup trop les fréquences supérieures à quelques milliers.

De même, les postes de T.S.F. sont également incapables de suivre de telles vitesses de manipulation, il s'en faut de beaucoup. C'est une question de principe même, avec les ondes longues ; une onde de fréquence 100.000 ne peut transporter 160.000 points par seconde... ! Avec les ondes très courtes, la chose est théoriquement possible, mais non encore réalisée.

A vrai dire, c'est bien là l'écueil qui arrête actuellement la télévision. On a tourné cette difficulté, on ne l'a pas résolue. On a commencé par réduire le nombre de points de l'image ; On a fait des démonstrations de laboratoire, entre deux points distants de quelques mètres, de quelques centaines de mètres : dans ces conditions, la « transmission » est évidemment possible. La compagnie Bell a réussi quelques portées un peu supérieures, avec des lignes tout à fait spéciales, entièrement ré-équipées ; avec un appareillage T.S.F. exceptionnel. C'est une prouesse technique de premier ordre ; mais, ce n'est pas commercialement utilisable.

Cette difficulté dans la transmission est d'ailleurs la plus importante, mais ce n'est pas la seule ; par rapport à la téléphotographie, l'augmentation de vitesse complique encore bien d'autres choses ; de même, le fait qu'il faut maintenant utiliser non plus des images sur papier que l'on peut enrouler sur des cylindres, mais des images « vivantes » dans l'espace.

Commençons par l'émission : le temps alloué pour l'exploration de chaque point, devient extrêmement petit ; pour

arriver, dans un intervalle aussi court, à impressionner la cellule photo-électrique, il faut donner à celle-ci une sensibilité considérable, une surface également aussi grande que possible, enfin il faut éclairer le sujet très violemment.

Jusqu'ici l'on n'a pu réussir qu'en plaçant le sujet dans un studio avec une installation spéciale. Une des solutions les plus élégantes est la suivante : le studio est éclairé en lumière

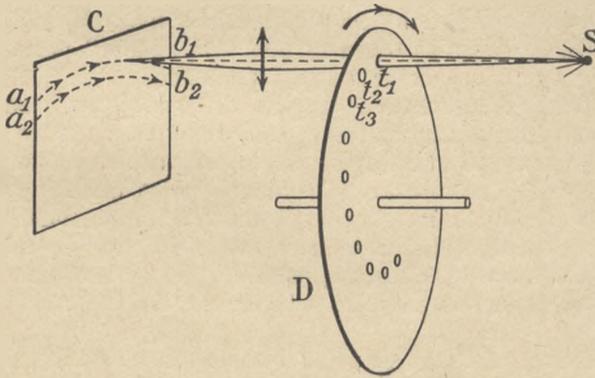


Fig. 65. — Principe du balayage en télévision.

non-actinique, et les cellules sont constamment démasquées. Sur la scène à « télé-voir », on projette un pinceau lumineux extrêmement intense qui en balaye successivement tous les points ; c'est donc chacun de ces points, qui, illuminé à son tour, impressionne directement les cellules.

On peut ainsi concentrer sur chaque point successivement, toute la lumière dont on dispose.

Quant au « balayage », il est obtenu en démasquant le faisceau par les trous d'un disque en rotation très rapide, le « disque de Nipkow » (Fig. 65). Soit S la source, C le cadre où paraît le sujet. On interpose le disque D tournant dans le sens de la flèche. Lorsque le trou t_1 passe, le faisceau le traverse et va balayer l'arc de cercle (presque rectiligne) $a_1 b_1$. Le trou suivant t_2 est un peu plus près du centre,

lorsqu'il passera nous aurons donc balayage suivant a_2 b_2 un peu plus bas ; ainsi de suite avec t_3 ... le disque comporte, disposés sur une spirale, autant de trous qu'on veut explorer de rangées distinctes.

Dans d'autres procédés, les trous sont remplacés par des lentilles ou des miroirs qui concentrent la lumière.

A la réception, on prendra évidemment un disque pareil, tournant en synchronisme, qui projettera à chaque instant le faisceau sur le point « homologue » de celui exploré au départ.

La synchronisation des disques est naturellement plus difficile, parce-qu'ils tournent plus vite ; on fait parfois plusieurs régulations superposant leurs effets.

Enfin l'on trouve une dernière difficulté quand on veut projeter l'image sur un écran en la rendant assez lumineuse pour être vue de toute une salle ; toujours en raison de la brièveté de l'illumination de chaque point, on n'arrive pas, même avec des sources très puissantes, à impressionner l'œil. Dans les réalisations existantes, on s'est donc borné à de tout petits écrans, ou même parfois à l'emploi comme écran, de la plaque lumineuse d'un tube à néon excité par le courant variable.

En somme, la mise au point d'un dispositif de télévision est une grosse entreprise. Les compagnies Bell y réussirent les premières, et, dès 1927, firent couramment des démonstrations avec fil et sans fil ; les recherches ont continué depuis ; on a successivement réalisé divers perfectionnements de détail, un éclairage et des cellules « orthochromatiques » (en remplacement des premières cellules sensibles seulement au bleu) une transmission en couleurs, enfin la télévision *bilatérale* (les deux correspondants se voient en se parlant).

Des dispositifs plus ou moins analogues ont été établis également en France, et dans divers pays.

Pour les raisons indiquées ci-dessus, aucune n'est encore susceptible d'exploitation commerciale.

La Télémécanique. — Il ne faut pas se tromper sur le sens du mot « Télémécanique » ; il ne s'agit pas de transporter à distance, sans fil, une quantité appréciable d'énergie, avec un rendement industriel. Malgré les progrès de la transmission dirigée en ondes courtes, le transport de la force sans fil n'existe

pas ; on ne reçoit jamais que de très faibles fractions de watt, et pour utiliser mécaniquement cette puissance, il faut l'amplifier beaucoup en prélevant l'énergie sur des batteries locales. Au total, le rendement est dérisoire.

Ajoutons que rien ne fait prévoir un changement dans cet état de choses ; le transport de l'énergie à distance, sans fil, ne peut résulter que d'une découverte imprévue.

Le mot « Télémécanique » doit donc s'entendre d'une commande indirecte, du simple déclenchement d'un relais à la

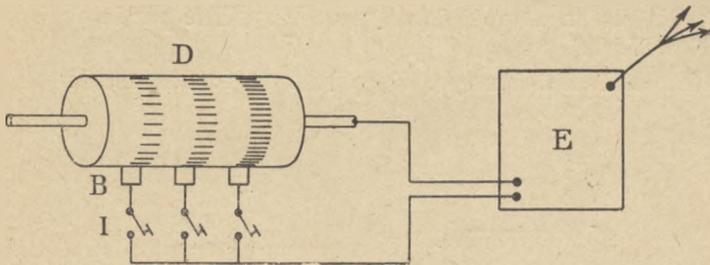


Fig. 66. — Schéma de l'appel sélectif : émission. (E, émetteur ; D, distributeur à plusieurs rangées de photo ; B, balais ; I, interrupteurs permettant de choisir la modulation envoyée).

suite d'un amplificateur. Cette manœuvre peut déclencher une suite illimitée d'autres manœuvres, une cascade de relais, aboutissant à la mise en œuvre d'une puissance énorme ; mais ce n'est pas cette puissance qui a été transportée.

En ce sens, la télégraphie automatique est une forme de télécommande ; nous l'avons dit, les radiogrammes sont actuellement reçus et enregistrés, parfois même imprimés en clair, par des machines spéciales.

Une autre forme simple de télécommande est l'*appel*. Pour appeler, on peut mettre à la suite du récepteur un relais qui ferme le courant sur une sonnerie : pourvu que l'amplificateur reste allumé, on est alors averti sans avoir besoin de rester à l'écoute.

Cet appel peut être *sélectif*. Lorsque plusieurs postes récepteurs veillent la même onde, et qu'on veut en appeler un seul ou une partie, il est inutile de déranger tous les opérateurs. On munira donc les postes d'un « appel sélectif » permettant

de choisir son correspondant. Par exemple (fig. 66) un distributeur tournant, placé à l'émission pourra la moduler à diverses fréquences caractéristiques. Chaque récepteur sera muni d'une lame vibrante accordée sur l'une de ces fréquences (fig. 67) et cette lame fermera le circuit de la sonnerie, seulement si elle entre en résonance sur la fréquence envoyée.

Si le nombre de correspondants est trop grand pour que ce système soit applicable, on munit chaque poste d'un élément de téléphone automatique permettant de l'appeler par son numéro.

Un réseau d'appel de ce genre est utilisé par la police de New-York.

Enfin, il existe un type d'appel dont le fonctionnement auto-

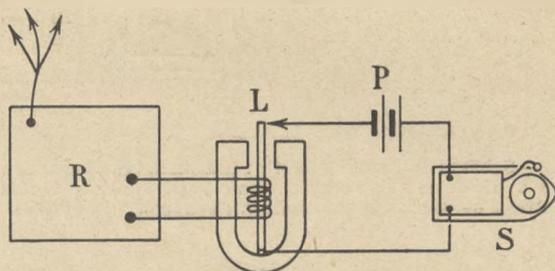


Fig. 67. — Schéma de l'appel sélectif : réception. (R récepteur ; L. lame vibrante accordée sur l'une des modulations ; P, pile ; S, sonnerie)

matique présente un grand intérêt : c'est l'« Appel de détresse » en mer. En effet, si les grands bâtiments peuvent entretenir un opérateur constamment à l'écoute, cela est impraticable sur les petits bateaux (cargos, chalutiers, etc.) On risque donc, à certaines heures, de manquer des appels de détresse émis à proximité.

Pour l'éviter, il suffit d'avoir un « opérateur automatique » enregistrant les signaux qui passent, et faisant résonner la sonnerie lorsque l'appel caractéristique de détresse survient, tandis que les autres messages restent sans effet. On y arrive par une cascade convenable de relais retardés (fig. 68), ou bien par la mise en marche progressive d'un petit pendule réglé pour la cadence de ce signal.

Le système peut être perfectionné par l'addition d'un émetteur automatique, permettant à la personne la plus inexpérimentée d'envoyer le signal d'alarme et même l'indication du « point » où l'on se trouve

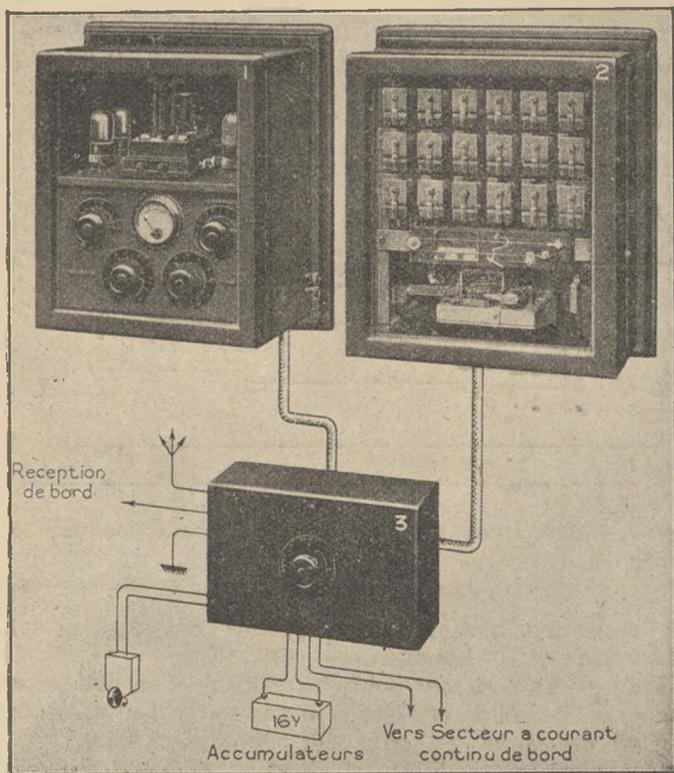


Fig. 68. — Avertisseur d'alarme faisant fonctionner une sonnerie en cas d'appel de détresse.

On a également utilisé la télémécanique pour la *remise à l'heure* automatique des pendules et des horloges.

Pour cela un poste de radio-diffusion envoie à une heure

convenue, un certain nombre de signaux musicaux rythmés. A la suite du récepteur *R*, on place un écouteur téléphonique *E* dont la membrane, en vibrant, coupe le contact *C*₂. Ceci coupe le courant du petit balancier *B* et lui donne chaque fois une impulsion ; si le rythme des signaux coïncide avec la fréquence propre du balancier, il acquiert progressivement une certaine amplitude et vient fermer un contact *C*₃, qui commande la remise à l'heure de la pendule.

On peut se passer entièrement de personnel, à condition que la pendule elle-même, quelques minutes avant l'heure, mette en marche le poste récepteur en fermant le contact *C*₁.

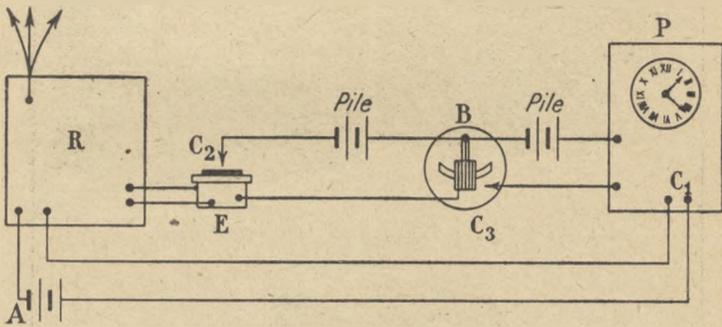


Fig. 69. — Schéma d'un dispositif de remise à l'heure automatique d'horloge.

de l'accumulateur A. De tels dispositifs sont utiles pour les Observatoires, les horlogers...

Enfin — et c'est sans doute la première et la plus importante application de la Télémécanique — on peut *conduire à distance des engins de guerre*. On pourra ainsi faire remplir des missions particulièrement dangereuses sans risquer la vie d'un équipage : attaques à la torpille, attaques par avions, chars, vedettes, bourrés d'explosifs, dragage des mines, etc. Aucune nation ne peut perdre de vue l'importance de cette arme.

En temps de paix, il est utile pour les exercices de tir, de pouvoir télécommander un but mobile. Les principales marines étrangères ont ainsi équipé plusieurs vieux cuirassés, dont

toutes les machines et la barre étaient « contrôlées » par T.S.F.

Les diverses solutions imaginées diffèrent par le degré de sûreté obtenu, et la protection contre les brouillages éventuels de l'ennemi ; chacun garde, bien entendu, le secret absolu sur ses dispositifs.

Radiocommunications sur lignes. — Jusqu'ici, nous avons toujours supposé que les ondes électriques utilisées, se propageaient librement dans l'espace ; — « sans fil » — Il est également possible de les transmettre en les guidant par des fils, comme la téléphonie ordinaire. Quel avantage cela

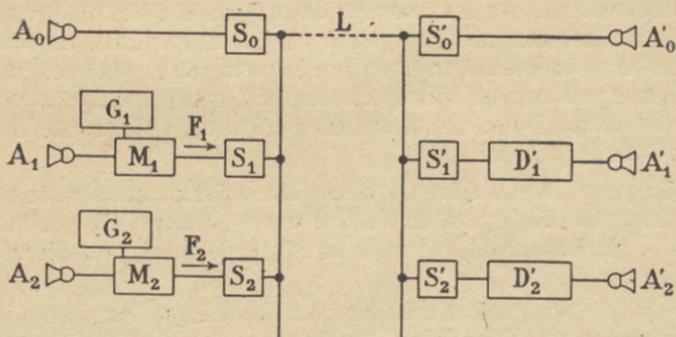


Fig. 70. — Principe de la téléphonie multiplex sur lignes.

présente-t-il ? D'économiser de la puissance, car l'affaiblissement de la haute fréquence, sensible assurément le long des fils, est pourtant moins rapide (en général) que si l'énergie est rayonnée dans tous les sens. Mais pourquoi ne pas se contenter alors des courants de basse fréquence ordinaire ? C'est que la haute fréquence peut leur être *superposée*, et que par suite, sur le même fil, on peut transporter à la fois une ou plusieurs radiocommunications, *en plus* de la communication normale, ou en plus d'un courant industriel intense. Ces deux cas correspondent à deux applications distinctes : la téléphonie *multiple* sur lignes téléphoniques, et la téléphonie sur les lignes de *transport de force*.

Téléphonie multiple sur lignes. — Elle consiste à faire

propager sur la ligne plusieurs ondes porteuses distinctes, chacune modulée par une conversation différente ; ces ondes étant triées à l'arrivée par des sélecteurs, détectées, et chaque modulation étant dirigée vers le correspondant intéressé. La fig. 70 donne le schéma de l'opération. L'abonné A_0 parle avec $A'o$ sur la ligne L à la manière ordinaire ; on se contente d'intercaler deux sélecteurs $SoS'o$ limitant strictement leur domaine de fréquences à quelques milliers de périodes par seconde.

Soit maintenant à faire parler l'abonné A_1 avec A_1' sur la même ligne et sans interrompre les premiers. On aura un générateur G_1 produisant une onde porteuse F_1 , que l'on modulera en M_1 par les courants de la ligne A_1 ; et l'on enverra ces courants sur la ligne principale L . A l'arrivée, ces courants ne pourront traverser le sélecteur So' , mais on aura préparé pour eux un autre sélecteur S_1' qui les dirigera vers le détecteur D_1' ; la modulation reparue à la sortie sera envoyée à l'abonné A_1' .

On pourrait procéder de même avec deux autres abonnés, A_2 A_2' , en employant une autre onde porteuse F_2 produite par le générateur G_2 , modulée en M_2 , triée en S_2' et détectée en D_2' .

Ainsi de suite. Pour éviter tout brouillage, on fera bien d'intercaler au départ d'autres sélecteurs S_1 S_2 limitant strictement chaque émetteur à la bande de fréquences qui lui est allouée, et l'empêchant d'empiéter sur les voisines.

En fait, les choses sont un peu plus compliquées par la nécessité de transmettre les courants alternativement dans les deux sens : l'abonné A' devant pouvoir répondre instantanément à l'abonné A . Comme les amplificateurs, modulateurs, etc... ne sont pas réversibles, il faut ménager en haute fréquence un chemin pour l'aller, un autre pour le retour ; il faut donc passer de « deux fils » à « quatre fils », et inversement ; c'est le même problème que nous avons rencontré en radiotéléphonie duplex. On le résout en employant des « transformateurs différentiels équilibrés » T_1 , T_1' , t_1 , t_1' (fig. 71), et des « lignes artificielles » a_1 , l , l' , a_1' , électriquement semblables aux lignes réelles. Voici le fonctionnement obtenu : si l'abonné A_1 parle, les courants qu'il envoie s'écoulent dans a_1 en agissant sur le secondaire du transformateur t_1 ; ils

modulent donc en M_1 le générateur G_1 , et par l'intermédiaire du sélecteur SE_1 , l'onde F_1 modulée atteint les milieux du transformateur T_1 ; elle s'écoule par moitié dans la ligne réelle L , et dans la ligne artificielle symétrique 1 ; par suite de cette symétrie, l'effet est nul sur le secondaire du transformateur T_1 , et le courant ne revient donc pas par SR_1 vers la ligne de départ. Au contraire, en arrivant en T_1' , et en s'écoulant dans l' , le courant induira au secondaire de T_1' d'où passage à travers SR_1' et réapparition de la modulation après le détecteur D_1' ; cette modulation atteignant le transformateur t_1 en son milieu, se répartira encore par moitié des deux côtés, en a_1 et A_1' , sans réagir sur le secondaire.

On verra facilement que les choses se passent de même quand

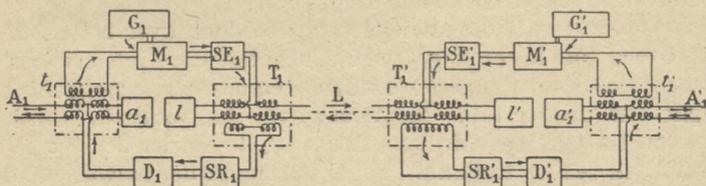


Fig. 71. — Dispositif permettant la communication bilatérale en téléphonie multiplex.

l'abonné A_1 parle, les courants étant dirigés exclusivement vers M_1' au départ et D_1' à l'arrivée. Les transformateurs équilibrés par les lignes artificielles évitent tout mélange — ceci au prix d'une perte d'énergie, d'ailleurs sans importance.

Le système est susceptible de diverses modifications ; on peut employer deux fréquences distinctes, F_1 et F_1' , pour l'aller et le retour ; on peut supprimer les ondes porteuses dans toutes les communications, et les rétablir à partir d'une fréquence pilote commune transmise sur la ligne, etc.

L'ensemble est évidemment délicat et coûteux ; il est cependant intéressant, en permettant de tripler ou de quadrupler le rendement des lignes. Cela n'est peut-être pas une solution générale et définitive pour les liaisons à grand trafic ; mais c'est une solution provisoire précieuse pour les lignes

momentanément surchargées, par suite d'accidents, ou d'affluence imprévue.

Téléphonie sur les lignes de transport de force. — Les grandes centrales électriques, interconnectées par des réseaux à 100.000 ou 200.000 volts, doivent nécessairement communiquer entre elles en toute sûreté, pour faire connaître leurs besoins, leurs disponibilités en énergie, et parer aux incidents. Or, l'appel interurbain est sujet à des retards ; la pose d'une ligne spéciale est fort coûteuse ; et les usines sont justement reliées par des conducteurs excellents, d'un isolement et d'une solidité incomparablement supérieurs à ceux des lignes téléphoniques : ceux qui transportent l'énergie à haute tension. Il est donc naturel d'utiliser ces mêmes conducteurs pour guider une téléphonie haute fréquence.

Le schéma est alors analogue au précédent, avec cette seule différence que le couplage au réseau se fait par l'intermédiaire de capacités fort isolées (condensateurs, ou fils longeant la ligne sur une certaine longueur) avec les sécurités convenables. La puissance des émetteurs est de l'ordre de 10 à 100 watts ; on réalise toujours l'appel automatique, parfois même sélectif pour le fonctionnement en « dispatching ». Enfin, lorsque la ligne comporte des embranchements ou des postes de coupure, on doit « boucher » les premiers par des circuits anti-résonants intercalés, arrêtant la haute fréquence, et au contraire shunter les seconds par des circuits résonants qui la laissent passer dans tous les cas.

Quelques autres applications de la radiotechnique. —

Nous n'avons pas la prétention de passer en revue toutes les applications de la radiotechnique — c'est-à-dire, souvent, de la lampe à trois électrodes — car elles sont innombrables, et l'on en rencontre dans les domaines les plus variés, parfois les plus saugrenus (1). Nous en choisirons arbitrairement quelques-unes parmi les plus intéressantes, afin de donner simplement une idée de leur étendue.

(1) N'a-t-on pas prétendu que le « rendement » des vaches laitières augmentait lorsqu'on leur faisait ouïr régulièrement les radio-concerts ?

La T.S.F. et l'Astronomie. — Pour observer les astres, on n'a pas attendu la T.S.F. Mais la T.S.F. permet de les mieux observer, et d'en tirer des informations plus précises.

Tout d'abord, en effet, la cellule photo-électrique peut remplacer l'œil de l'observateur avec moins d'inertie (pas d'« équation personnelle ») et plus de précision (par exemple pour comparer les magnitudes des étoiles). Un dispositif de ce genre est en essais à l'Observatoire de Paris.

Mais surtout, une des principales fonctions de l'Astronomie, c'est la connaissance du Temps. Notre étalon de temps, c'est la rotation de la Terre ; on le détermine par l'observation des étoiles, et, dans l'intervalle, on le conserve et on le fractionne au moyen d'horloges. Chacun sait que les horloges astronomiques (garde-temps), monuments de précision, sont conservées avec un soin jaloux dans les caves des Observatoires, loin des vibrations, à température et pression constantes, et que leur marche est minutieusement surveillée.

Mais, en dépit de l'ingéniosité de leur constructeurs, les horloges mécaniques conservent des tares de principe : le balancier est entretenu par un « échappement » mécanique, qu'il doit commander lui-même ; on lui demande donc un effort, et on lui donne des impulsions qui ne sont pas toujours parfaitement identiques (le rouage ayant des irrégularités de taille) ; de sorte que les secondes, successives, marquées par un contact de l'horloge, peuvent présenter des différences de durée de l'ordre du centième... les astronomes se voilent la face.

Or, voici que les procédés radioélectriques permettent d'entretenir une pendule par des impulsions tombant rigoureusement à la phase voulue, et déclanchées par le pendule lui-même sans lui demander aucun effort : il suffit de lui faire couper (ou démasquer) un rayon lumineux tombant sur une cellule, ou dérégler en passant un circuit haute fréquence accordé, ou un « pont » etc... par sa simple capacité électrique ; il en résulte une variation de courant que l'on amplifie, que l'on renvoie pour donner une impulsion (suivant le mécanisme connu des pendules électriques) et que l'on utilise d'autre part. On obtient ainsi des secondes successives bien plus régulières, ce qui augmente la précision des comparaisons par la méthode des coïncidences.

La radiotechnique fera peut-être mieux encore... ; en effet, ses étalons de fréquence : diapasons, quartz, etc... sont parvenus à un tel degré de perfection, qu'ils atteignent déjà, dans la détermination du temps, la précision du millionième, qui est aussi celle des observations astronomiques (cela fait un dixième de seconde par jour !). Encore quelques progrès de ce côté, et nous serons forcés de changer notre étalon de Temps, qui ne sera plus la rotation de la Terre, (après tout, qu'est-ce qui prouve que son mouvement est uniforme ?) mais la vibration de quelque diapason étalon conservé au Bureau International des Poids et Mesures. Beau sujet de discussions pour les Savants...

La T.S.F., la Géographie, la Physique du Globe. — La transmission instantanée des signaux radio-électriques, leur propagation au-dessus du sol et dans le sol, offrent ces moyens d'étude nouveaux pour la physique de notre globe.

En premier lieu, nous l'avons mentionné, l'envoi de signaux horaires permet la détermination très précise des longitudes, par comparaison des diverses heures locales. Cela est utile, non seulement pour guider les mobiles, mais pour situer les stations fixes, les unes par rapport aux autres — et même pour répondre à cette question du géographe Wegener : les stations fixes sont-elles bien réellement fixes, ou au contraire les continents ne flottent-ils pas sur la croûte terrestre avec un déplacement relatif appréciable ? Pour le savoir, on a décidé de déterminer avec le maximum de précision les positions de quelques observatoires, (Alger, Shang-Haï, San-Diego) formant les sommets d'un « polygone fondamental » à la surface du globe ; en refaisant l'opération dans quelques années, on espère pouvoir mettre en évidence un déplacement de quelques mètres, et voir si cette déformation a eu lieu.

Les lampes à trois électrodes, les quartz mis au point en électro-technique, sont également très utiles pour mesurer d'autres grandeurs intéressant la structure du globe : par exemple l'accélération de la pesanteur — g — le gradient de potentiel atmosphérique.

Ils ont également permis la réalisation d'une méthode de sondage continu pour déterminer la profondeur des mers : on envoie dans l'eau — par la vibration d'un quartz piézo-

électrique— un son de fréquence très grande, ce qu'on appelle un « ultra-son », qui se réfléchit sur le fond et revient ; on enregistre son départ et son retour, et, connaissant sa vitesse de propagation (1.500 m. environ dans l'eau de mer), on en déduit la profondeur. La fig. 72 représente un appareil de

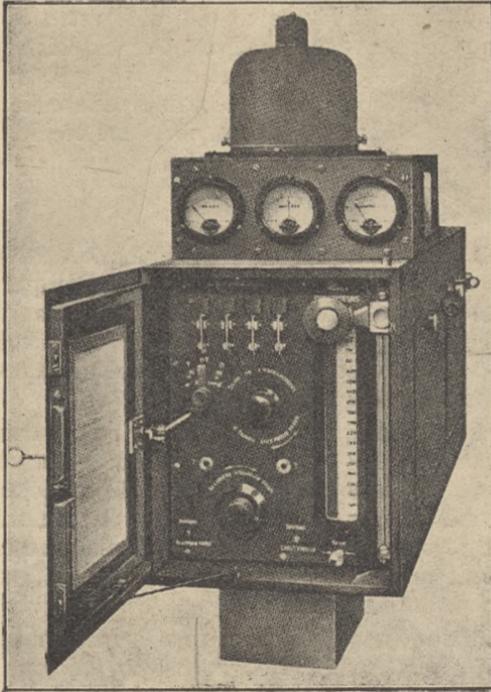


Fig. 72. — Appareil de sondage ultrasonore.

ce type, réalisant le sondage toutes les secondes, et faisant apparaître le résultat sous forme d'une indication lumineuse directement visible sur l'échelle de droite. A part son intérêt scientifique, la méthode est extrêmement précieuse pour la sécurité des navires en mer.

Mentionnons également l'enregistrement très précis et la

communication immédiate à distance, des déplacements du sol, au moyen de sismographes, pour étudier et jusqu'à un certain point prévoir les tremblements de terre.

Enfin les ondes électriques, susceptibles, suivant leur fréquence, soit de pénétrer dans le sol à une certaine profondeur, soit de s'élever dans l'atmosphère à 100 et 200 km de hauteur, nous fournissent des renseignements impossibles à obtenir autrement. Evidemment, cela est très nouveau, et nous sommes un peu gauches pour exploiter ces informations ; mais il est possible que dans quelques années, nous ayons saisi la relation entre certaines anomalies de cette propagation et d'autres phénomènes météorologiques, ce qui nous ouvrira des horizons sur l'origine et la prévision de ceux-ci.

La T.S.F. et la Physique. — L'invention de la lampe à trois électrodes a permis une amplification presque illimitée ; par suite, toutes les branches de la Physique en ont bénéficié ; les phénomènes les plus divers peuvent être étudiés malgré leur petitesse, pourvu que l'on trouve moyen de les transformer en variations électriques.

Ainsi d'abord toutes les mesures électriques : courants très faibles (jusqu'à 10^{-17} ampères), tensions alternatives très faibles, à toutes fréquences ; variations de capacité, que l'on peut aisément transformer en variations de courant ; et par suite, constantes diélectriques, etc... tout cela est mesuré, avec une facilité et une précision parfois incroyables, par les procédés de la radiotechnique.

Dès lors qu'on peut leur faire correspondre une grandeur électrique, les déplacements de l'ordre du micron, les variations de pression inférieures à la barye, les intervalles de temps du cent-millième de seconde... se mesurent, eux aussi, comme par enchantement, s'inscrivent automatiquement sur nos courbes et nos diagrammes.

Depuis bien des années, l'acoustique était restée sur ses positions, paralysée faute de moyens dans l'étude de phénomènes très complexes, très rapides et très peu puissants. Dans le palais de cette belle endormie, la lampe amplificatrice est apparue à la manière d'un Prince Charmant. A quel réveil de l'Acoustique n'assistons-nous pas aujourd'hui... Saisis

par nos microphones, amplifiés jusqu'au degré voulu, voici les sons mesurés, décomposés, analysés, la voix humaine et la musique fixées sur nos disques et sur nos films, mis en conserve pour notre instruction et notre agrément. Le jour qu'il nous plaît, ils ressortent avec la puissance qui nous convient. Et déjà, la production directe des sons par l'électricité, la musique électrique, fait entrevoir des possibilités nouvelles, s'échappe de toutes les limitations de registre, de force et de sonorité. Si l'on en juge par l'audace des symphonistes d'aujourd'hui, ceux de demain auront la partie belle avec tous ces moyens nouveaux ...

Il n'est pas jusqu'aux études théoriques abstraites, dont la radio-électricité fut l'origine et le stimulant, qui ne se découvrent ailleurs des domaines d'application imprévus. Ainsi, la théorie des filtres électriques, imaginés surtout pour les transmissions multiples sur fil, s'est trouvée utilisable pour l'étude des vibrations mécaniques et acoustiques. De même, les différents types d'oscillations, produits avec une commodité particulière par les tubes triodes, ont pu être généralisés à une étonnante variété de phénomènes périodiques parmi lesquels les sifflements, grincements, bourdonnements (du vent dans les fils, d'un marteau sur une assiette, de l'eau sous pression dans les conduites... etc.) ; le battement du cœur, la réapparition alternée de certaines espèces animales... et même les crises économiques mondiales.

La Radiotechnique, la Biologie et la Médecine. —

On s'est bien souvent demandé si les ondes utilisées en radio-communications, n'avaient aucune action directe sur les êtres vivants.

Cela semble probable ; puisque les radiations lumineuses, l'ultra-violet, l'infra-rouge, les rayons X et ceux du radium, ont des effets physiologiques manifestes, il serait étonnant que les ondes plus longues de la T.S.F., n'en eussent aucun.

En particulier, la répartition des courants induits dans les tissus, leur pénétration, étant très variable avec la fréquence, il semble possible de produire des échauffements très différents dans les tissus, et par suite des effets impossibles à obtenir autrement. Toutefois il ne semble pas qu'on ait obtenu jusqu'à maintenant, des résultats positifs vraiment utili-

sables. Est-il exact que le séjour dans un champ haute fréquence ait pu hâter la croissance de jeunes souris, ou, inversement, ralentir le développement de cultures microbiennes ? provoquer dans l'organisme une « fièvre artificielle » stimulant sa défense ? guérir des furoncles, des arthropathies et des névralgies rhumatismales, et même une fois un cancer des plantes ? C'est possible ; mais ce qui est certain, c'est qu'en forçant la dose, on a détérioré des tissus, et amené la mort rapide de petits animaux (souris et lapins). Dans un domaine où le bluff se rencontre trop fréquemment, ce n'est donc pas faire preuve d'un scepticisme farouche, que de réclamer la répétition des expériences et leur prudente interprétation.

D'un point de vue plus modeste, la T.S.F. peut être utile autrement ; par exemple l'électro-acoustique fournit des méthodes nouvelles pour l'étude des surdités, la ré-éducation de l'oreille, et la réalisation d'appareils microphoniques très sensibles permettant aux personnes sourdes d'entendre ce qui se dit autour d'elles.

CONCLUSIONS

Nous voici donc au terme de notre « voyage à travers la T.S.F. ».

J'espère avoir satisfait la curiosité de quelques lecteurs ; et ce qui serait mieux encore, éveillé la curiosité de certains autres, qui voudront approfondir ailleurs son étude.

J'ai dû négliger bien des aspects du problème, en dehors de la pure technique : notamment les points de vue juridiques : droits des Etats, droits des particuliers, auteurs, interprètes ; droits de réponse des auteurs ; liberté des émissions, etc. ; notamment encore, les difficultés d'un nouveau genre et très importantes, que pose au point de vue moral cette presse d'un nouveau genre : la radio-diffusion ; et l'influence qu'elle prend, insensiblement ou brutalement, sur les collectivités.

Je voudrais cependant, pour terminer, présenter deux suggestions sur la valeur éducative de cette science nouvelle.

La Radio-Electricité et la jeunesse. — Revenons un instant sur le rôle joué par les amateurs dans la découverte de la propagation des ondes courtes à grande distance : rôle que j'ai mentionné au chapitre I.

C'est un fait bien curieux et probablement unique dans l'histoire des sciences. Sans doute, les grandes découvertes ont été parfois l'œuvre de gens que rien ne désignait spécialement ; mais c'étaient des isolés de génie. Au contraire, les premières transmissions transatlantiques sur ondes courtes, furent le résultat d'un travail collectif, systématiquement préparé, organisé, en dehors des services officiels, par les amateurs.

Qu'il me soit permis de rendre hommage à leurs efforts, dont j'ai été le témoin.

Je les ai vus : pour la plupart, tout jeunes gens, de ressources souvent limitées, sacrifiant leur économies et parfois

leur nécessaire, leurs heures de repos et de sommeil, pour construire leurs appareils, apprendre l'alphabet morse et les codes de transmission, lancer leurs appels et se mettre à l'écoute des correspondants inconnus, de l'Amérique et de la Nouvelle-Zélande.

J'ai écouté leurs questions innombrables, leurs compte-rendus enthousiasmés ; j'ai vibré avec eux au récit des prouesses sensationnelles et des malchances imméritées.

Sans doute, ils agissaient un peu pour s'amuser, et un peu par amour-propre ; mais aussi par esprit scientifique et sportif, parfois avec une véritable passion.

Ne peut-on pas y voir la preuve que la T.S.F. peut jouer un rôle utile dans la formation de la jeunesse ?

Entre l'éducation scolaire par le livre et le tableau noir — trop souvent (qu'on me pardonne de le dire) abstraite et morne ; et le sport, où, par réaction, la jeunesse ira chercher le concret, le réel, le vivant — entre ces deux extrêmes, des « exercices pratiques » comme ceux de l'amateur T.S.F., ne peuvent-ils trouver utilement leur place ?

Construire un poste, c'est d'abord appliquer les principes fondamentaux de l'électricité ; c'est apprendre à réaliser sur un croquis, sur un schéma ; c'est, enfin, manœuvrer avec adresse quelques outils simples. Tout cela — fait capital — avec la sanction d'un résultat concret : transmission et réception de signaux véritables, pour récompenser le soin, la patience, la méthode... ; à leur défaut, pannes, déboires... allant jusqu'à l'inoffensif court-circuit...!

En vérité, où trouver meilleure « manipulation de physique » ?

La valeur instructive de la Radio-Électricité. — Ce n'est pas seulement à la jeunesse que peuvent être utiles la radio-électricité et les branches voisines de la Physique : Electronique, Electroptique. Elles me paraissent capables d'inspirer à chacun de nous, quelques réflexions salutaires... à l'exemple de deux sciences leurs aînées : l'Astronomie et la Géologie.

Henri Poincaré disait (1) que l'Astronomie est une Science profondément utile en dehors même de toutes ses applications,

(1) La Valeur de la Science, chap. VI.

parce qu'elle « nous fait une âme capable de comprendre la Nature » ; qu'elle nous apprend à nous défier des apparences ; à reconnaître les lois générales simples à travers les phénomènes complexes ; à ne nous point effrayer des grands nombres. Enfin, elle nous donne la notion de l'immensité de l'Espace, en nous montrant la Terre comme une petite planète d'un système solaire, lui-même point imperceptible dans les espaces infinis.

Pierre Termier a réclamé pour la Géologie « de non moindres éloges ». La Géologie, dit-il (1), nous conduit à considérer des abîmes infinis de durée. Ce que l'Astronomie fait pour l'Espace, elle le fait pour le Temps ; elle élargit notre notion du Temps, elle nous montre que rien n'est éternel ; elle nous montre l'instabilité des systèmes les mieux ordonnés, la fragilité des édifices les plus solides, le caractère provisoire et contingent de toutes les choses créées ; elle nous fait une âme métaphysicienne.

Il est vrai. Mais sans rien ravir de leur gloire aux deux sciences si magnifiquement exaltées, me permettra-t-on de leur associer très modestement cette nouvelle venue : la science des vibrations électriques, et de montrer qu'elle nous apporte un enseignement complémentaire des précédentes ?

L'Astronomie, la Géologie, nous placent dans une échelle de grandeurs d'une étendue vertigineuse par rapport à ce que saisissent nos sens. Elles nous étourdissent en nous démontrant que la masse du soleil vaut 10^{30} de nos kilogrammes (le chiffre 1 suivi de *trente* zéros) ; que les étoiles les plus éloignées sont à 10^{18} mètres (le chiffre 1 suivi de dix-huit zéros) de nous ; que la durée de chacun des âges de la Terre est de centaines de mille ou millions d'années.

Sans doute, mais ces distances et ces âges nous sont inaccessibles. Au contraire, l'Electricité fait apparaître une échelle de grandeurs aussi étendue — quoique en sens inverse — dans des phénomènes qui passent dix fois par jour entre nos mains.

Le courant électrique, génie familier de nos demeures, est composé d'*électrons* ; grains que nous avons mesurés et pesés, et dont la masse est à notre kilogramme, par une symétrie

(1) A la Gloire de la Terre, p. 424.

curieuse, dans le même rapport que celui-ci à la masse du Soleil : 10^{80} fois plus petite.

Dans nos tubes à vide, cet électron établit des records de vitesse atteignant 100.000 kilomètres par seconde.

Et, pour construire l'atome, les électrons se groupent autour d'un noyau positif, comme se groupent et circulent autour du Soleil, les planètes et spécialement notre Terre.

Ainsi, dans l'extrême grandeur et dans l'extrême petitesse, aux deux bouts de l'échelle que nous avons pu explorer, nous retrouvons le même schéma de principe, la même unité, révélatrice d'un plan, d'une harmonie universelle. Est-il plus éclatant témoignage des lois de cet Univers ?

De même que l'Astronomie, l'Electricité nous montre donc la simplicité, la rigueur de ces Lois. Mais aussi, comme la Géologie, elle nous montre ensuite la complexité et l'insuffisance de nos synthèses et les imprévus qui toujours nous attendent.

Nous avons ramené à une même nature, un grand nombre de phénomènes d'apparence distincte : ondes radio-électriques, rayons infra-rouges, lumière visible, ultra-violet ; rayons X et rayons du radium... tout cela, nous le savons, et c'est une des plus belles découvertes de la physique moderne, — tout cela, c'est une *vibration électrique*, dont la fréquence seule diffère.

Qui donc aurait imaginé la stupéfiante diversité qui en résulte ? Toutes ces radiations présentent des propriétés complètement différentes : les unes impressionnent nos sens, les autres nous baignent, agissent sur nous, sans que nous puissions les soupçonner ; les unes sont arrêtées par quelques centimètres d'air, les autres traversent des lames de plomb ; celles-ci sont incapables de sortir d'un tube, celles-là font le tour de la Terre. Avec quelle malice ces ondes ont toujours échappé à nos extrapolations, chaque fois que nous croyions avoir « tout compris »... Et combien nous ménagent-elles encore de surprises, puisque nous hésitons encore à définir le phénomène fondamental, cette onde, que nous avons longtemps classée comme une pure vibration, continue, et à laquelle dix expériences nouvelles et différentes nous contraignent aujourd'hui à attribuer une structure

granuleuse... Qui donc peut se vanter de l'avoir vraiment comprise...?



Ainsi, la « méditation » sur la T.S.F. peut s'élever jusqu'à nous faire mieux comprendre bien des choses.

Elle nous montre, sur un exemple concret, les limites de la science. La science n'est pas une idole ; elle n'est pas infallible ; ceux-là sont des faux prophètes, qui viennent d'un ton tranchant nous la présenter comme telle, ou la faire sortir de son domaine. Ce qu'elle est ? Une amie, et un guide, parce qu'elle nous fait mieux connaître la Vérité, nous fait saisir, dans le monde créé, l'Intelligence créatrice, et nous permet de nous situer à notre véritable place, ce qui constitue notre véritable grandeur.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	5
CHAPITRE PREMIER. — La Propagation des ondes	7
Premières études. La propagation des ondes longues. Parasites. Formules de propagation. Portées des ondes courtes. Ses variations. Echos. Influence des phénomènes météorolo- giques ; astronomiques. Obstacles. Théories de la pro- pagation.	
CHAPITRE II. — Les lampes à vide	27
Importance de leurs progrès. Eléments et caractéristiques des triodes de réception. Lampes à 4, à 5 électrodes. Lampes multiples. Lampes puissantes d'émission.	
CHAPITRE III. — Technique des appareils	42
Emission. Anciens procédés par étincelle ou arc. Le poste à lampes moderne. Stabilisation de la fréquence. Modulation téléphonique. Les microphones. Antennes d'émission. Récep- tion. Collecteur d'ondes. Sélection. Détection. Amplification, diverses méthodes ; son réglage. Réaction. Types de récep- teurs actuels. Exemples. Relais. Haut-parleurs : principe, fidélité.	
CHAPITRE IV. — Organisation des radiocommunications ...	79
Règles fondamentales. Répartition des ondes. Services mobiles, signaux météorologiques, horaires, guidage, goniométrie et balisage. Services fixes. Centraux radiotélégraphiques. Liai- sons radiotéléphoniques. Radiodiffusion. Postes émetteurs ; organisation, distribution.	
CHAPITRE V. — Applications diverses	123
Transmission des images. Télévision. Télémécanique. Radio- communications sur lignes. La T.S.F. et l'Astronomie, la Géographie, la Physique du Globe, la Physique Générale, la Biologie et la Médecine.	
CONCLUSIONS	145
La Radio-Electricité et la jeunesse. Valeur éducative de la Radio-Electricité.	

Radiotechnique Générale

PAR C. GUTTON

Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy

1927. 1 volume grand in-8° de 572 pages, avec 303 figures. —
Broché.....125 fr.; relié..... 140 fr.

Circuit oscillant. Décharge par étincelles d'un condensateur. Charge du condensateur d'un circuit oscillant à étincelles. Eclateurs. Entretien des oscillations par l'arc électrique. Alternateurs à haute fréquence. La lampe à trois électrodes. Entretien des oscillations par la lampe à trois électrodes. Circuits oscillants couplés. Résonance. Antenne. Propagation des ondes électromagnétiques. Résistance des conducteurs en haute fréquence. Prise de terre. Postes radiotélégraphiques d'émission. Réception des signaux radiotélégraphiques. Détection. Détection par la lampe à trois électrodes. Amplification. Appareils de réception. Réception sur cadre. Radiogoniométrie. Radiotéléphonie. Mesures électriques en haute fréquence. Ondemètres.

Appareils et installations téléphoniques

PAR M. REYNAUD-BONIN

Professeur à l'École supérieure des Postes, Télégraphes et Téléphones

1923. 1 volume grand in-8° de 487 pages, avec 292 figures. —
Broché.....75 fr.; relié..... 87 fr.

Appareils et installations télégraphiques

PAR E. MONTORIOL

Professeur à l'École supérieure des Postes et Télégraphes

PRÉFACE DE M. BLONDEL

Membre de l'Institut

1921. 1 volume grand in-8° de 625 pages, avec 449 figures. —
Broché.....80 fr.; relié..... 92 fr.

Le Monteur Électricien

PAR MM. BARNI et MONTPELLIER

5^e édition entièrement refondue

PAR E. MAREC

5^e édition. 1920, 1 volume in-16 de 664 pages, avec 350 figures. 30 fr.

Ajouter pour frais d'envoi : France 10 p. 100 — Étranger 15 p. 100

Manuel de Télégraphie sans fil

PAR M. LECLERC
Ingénieur-constructeur

1924, 1 volume in-18 de 266 pages, avec 214 figures. — Cartonné 19 fr.

Les Systèmes de Télégraphie et de Téléphonie

PAR E. MONTORIOL
Professeur à l'École supérieure des Postes et Télégraphes

1922, 1 volume grand in-8° de 723 pages, avec 737 figures. 60 fr.

Télégraphie optique. Télégraphie électrique. Historique. Appareils à aiguilles aimantées, français, à cadran, Morse, imprimeurs, autographiques. Transmission automatique, simultanée, multiple. — Appareils accessoires, Piles et accumulateurs. Paratonnerres. Commutateurs. Sonneries. Postes échelonnés. Relais et translations. Instruments de mesures. Remontage automatique des poids. — Lignes télégraphiques et téléphoniques. — Téléphonie. Transmetteurs et récepteurs. Tableaux pour postes d'abonnés, pour bureaux centraux. — Télégraphie sans fil. Cohérents et détecteurs. Postes radiotélégraphiques.

Manuel de Télégraphie et de Téléphonie

PAR M. LECLERC
Ingénieur-constructeur

1924, 1 volume in-18 de 260 pages, avec 214 figures. — Cartonné 19 fr.

Formulaire aide-mémoire de l'Électricien praticien

PAR E. MAREC
*Ancien chef de travaux à l'École supérieure d'électricité de Paris
Directeur de station centrale d'électricité*

4^e édition, 1926, 1 vol. in-16 de 522 p., avec 407 figures et tableaux. —
Broché. 24 fr. Cartonné. 30 fr.

Ajouter pour frais d'envoi : France, 10 p. 100 — Étranger, 15 p. 100

