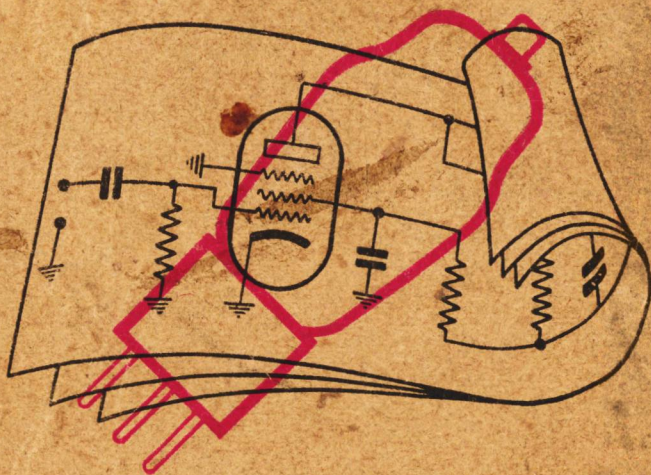


CE QU'IL FAUT SAVOIR EN RADIO

PAR

P. HÉMARDINQUER

Ingénieur électricien



PARIS

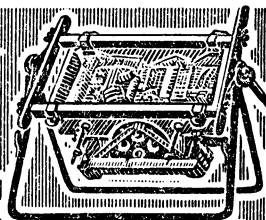
DUNOD

92, RUE BONAPARTE, (VI)

1947

TOUT L'OUTILLAGE DU DÉPANNEUR

**BERCEAU DE
MONTAGE ET
DE DÉPANNAGE**



FERS A SOUDER
résistance sur stéatite,
— GARANTIS UN AN —



**PERFORATEURS
ET TRÉPANS**



— **TROUSSE** —
D'OUTILLAGE



— Clés en tube —
Tournevis à padding
— Clés à trimmer —
Perforateurs et trépan
Grip - fils — Pick - fils
Clés flexibles, etc., etc.



En vente
dans toutes les
bonnes maisons
de Radio

◆
Catalogue
contre
6 francs
en timbres



Dyna

ET^s Adh. CHABOT

34-36, Avenue Gambetta, Paris (20^e) ROQ. 03-02

VENTE EN GROS EXCLUSIVEMENT

CE QU'IL FAUT SAVOIR
EN
RADIO

E
Class. déc. 621.396 (023)

CE QU'IL FAUT SAVOIR
EN
RADIO

PAR

P. HÉMARDINQUER

Ingénieur Conseil

Chargé de cours de l'Enseignement Technique

PARIS



92, RUE BONAPARTE (VI)

1947

Tous droits réservés, Copyright 1947 by Dunod

AVANT-PROPOS

Les progrès mêmes de la radiotechnique rendent constamment ses applications plus nombreuses et plus complexes. La radiophonie, c'est-à-dire la transmission de la parole et de la musique par l'intermédiaire des ondes hertziennes, demeure cependant l'essentielle, et la télégraphie sans fil conserve son importance primordiale.

Les appareils radioélectriques sont de plus en plus utilisés pour l'amplification musicale, en diffusion sonore (public-address), en cinématographie sonore, en téléphonie à grande distance, pour la navigation aérienne et maritime, comme en télé mécanique, en électro-optique, dans la technique des mesures de précision, et les recherches scientifiques, et même la construction mécanique et la thérapeutique. Leurs emplois sont tellement divers qu'il est presque impossible de les énumérer complètement.

Les récepteurs et émetteurs de T.S.F. ont été constamment transformés et perfectionnés. La manœuvre des récepteurs est devenue presque automatique, et peut être effectuée par n'importe quel usager dépourvu de toute connaissance technique ; mais, par un phénomène dont il existe des exemples dans d'autres industries, telles que celle de l'automobile, les montages sont en même temps devenus très complexes.

Cette diversité et cette complexité de la radiotechnique rendent plus difficile une étude d'ensemble, même élémentaire. Il devient assez malaisé de réunir *en un seul ouvrage* relativement réduit et sans caractère encyclopédique, un exposé utile et suffisamment complet des principes de la radioélectricité, de la technique, et de la pratique des montages, et de leurs principales applications.

En fait, la littérature radiotechnique est très abondante, mais les traités d'ensemble de ce genre sont assez rares. Il existe surtout de nombreuses études particulières sur les différents problèmes distincts qui se posent aux techniciens et aux praticiens, ou même aux simples amateurs et usagers de la T. S. F.

Parmi les quelques traités de T.S.F. ayant un caractère général, il y a, d'ailleurs, des ouvrages réservés exclusivement aux techniciens professionnels déjà avertis, et possédant une culture mathématique plus ou moins étendue, et des manuels très élémentaires, incomplets, sans véritable valeur didactique.

Un ouvrage d'ensemble sur la radiotechnique, et spécialement sur la radiophonie, assez simple pour être accessible sans connaissances mathématiques spéciales, assez complet pourtant pour offrir des notions utiles sur tous les sujets essentiels. demeure de plus en plus nécessaire pour une catégorie de lecteurs très vaste et très diverse.

Sans avoir la prétention de présenter une encyclopédie de la T.S.F. dans un livre relativement réduit, nous avons tenté d'établir un ouvrage de ce genre sous une forme à la fois accessible et complète. Notre traité s'adresse ainsi à tous les techniciens et praticiens non encore spécialisés, désirant acquérir *un ensemble de connaissances* indispensables sur les différents problèmes de la T. S. F., et plus spécialement de la radiophonie, avant d'entreprendre des études plus particulières. Il s'adresse également au grand public, à tous ceux qui veulent s'instruire et ne se contentent pas d'ouvrages de vulgarisation trop élémentaires pour avoir des données exactes sur l'une des plus grandes inventions modernes, soit dans un but de simple curiosité scientifique, soit parcequ'ils utilisent des appareils radioélectriques.

Les problèmes de la T.S.F. proprement dite, et, plus spécialement de la radiophonie, sont présentés d'après les données les plus récentes, de façon à faire connaître au lecteur les résultats pratiques réalisés, tout en précisant suffisamment les données techniques utiles.





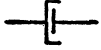


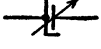





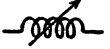
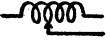

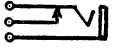
Nous n'avons pu, évidemment, étudier de façon approfondie tous les problèmes particuliers de la réception et de l'émission radiophoniques, mais seulement en signaler les points les plus importants. Des exposés spécialisés auraient amené un déséquilibre de notre ouvrage, en nous obligeant à négliger d'autres questions présentant un intérêt aussi grand. Nous avons voulu montrer *l'ensemble* des problèmes qui se posent, et les solutions apportées par les perfectionnements les

plus récents de la technique. En possession de ces données générales indispensables, le lecteur aura ainsi des *idées fondamentales exactes* sur les vastes questions des transmissions et des réceptions radiophoniques ; il en connaîtra les difficultés, et se rendra compte de la suite des progrès des radio-communications et de la radio-diffusion. Suivant le but qu'il recherche, suivant aussi qu'il est un technicien, un praticien, ou un simple usager, il lui sera loisible d'entreprendre, s'il y a lieu, des études plus particulières, rendues faciles et fructueuses grâce à ces premières connaissances générales.

Ce traité constituera ainsi, espérons-nous, une étude d'ensemble à la fois simple et claire, précise et complète, qui manquait encore dans la littérature technique française.

P. H.

**Symboles graphiques normalisés
de schémas radioélectriques (I. R. E. 1938)**

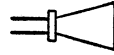
Antenne.	
Ampèremètre.	
Batterie (électrode positive représentée par ligne longue).	
Condensateur fixe.	
Condensateur fixe blindé.	
Condensateur variable.	
Condensateur variable (avec indication de la plaque mobile).	
Condensateur variable blindé.	
Contrepoids.	
Détecteur à cristal.	
Galvanomètre.	
Terre.	
Inductance.	
Inductance variable.	
Inductance variable (par bonds).	
Bobinage à noyau de fer.	
Jack.	

SYMBOLES GRAPHIQUES NORMALISÉS DE SCHÉMAS RADIOÉLECTRIQUES IX

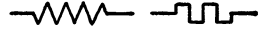
Cadre.



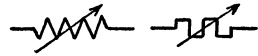
Haut-parleur.



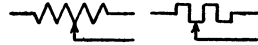
Résistance.



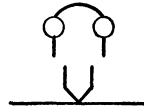
Résistance variable.



Résistance ajustable par bonds.



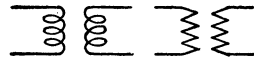
Récepteur téléphonique.



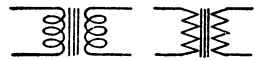
Thermocouple.



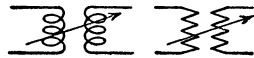
Transformateur sans fer.



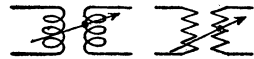
Transformateur à fer.



Transformateur à couplage variable.



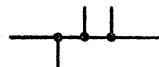
Le même avec indication de la bobine mobile.



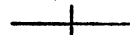
Voltmètre.



Fils connectés.



Fils non connectés.



Microphone.




Ampoule de lampe à vide.



Ampoule de lampe à gaz.



X SYMBOLES GRAPHIQUES NORMALISÉS DE SCHÉMAS RADIOÉLECTRIQUES

Cathode chauffée directement ou filament de chauffage. 

Cathode froide. 

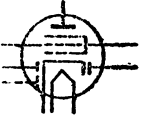
Cathode chauffée indirectement. 


Cathode photo-électrique. 

Cathode étendue à mercure. 


Grille. 

Plaque. 

EXEMPLES. — Duo-diode pentode à chauffage indirect avec connexion interne entre les grilles 1 et 3. Les plaques de la diode peuvent être placées d'un côté ou de l'autre de la cathode. 

Tube à gaz à grille de contrôle avec cathode à mercure. 

Cellule photo-électrique à gaz. 

Tube à rayons cathodiques à déviation électrostatique. 

Unités.

A,	Ampère.	H,	Henry.
mA,	Milliampère.	mH,	Millihenry.
μ A,	Microampère.	μ H,	Microhenry.
O ou Ω ,	Ohm.	C /s ou C:s,	cycle par seconde.
MO ou M Ω ,	Mégohm.	p;s,	période par seconde.
μ O ou $\mu\Omega$,	Microhm.	Hz,	Hertz.
KO ou K Ω ,	Kilohm (mille ohms).	Kc/s,	Kilocycle par seconde.
F,	Farad.	KHz,	Kilohertz.
μ F,	Microfarad.	b,	Bel.
$\mu\mu$ F,	Micromicrofarad	db,	Décibel.
V,	Volt.	n,	Néper.
KV,	Kilovolt.	dn,	Décinéper.
mV,	Millivolt.	C,	Coulomb.
μ V,	Microvolt.	J,	Joule.
V:m,	Volt par mètre.	Km,	Kilomètre.
W,	Watt.	m,	Mètre.
mW,	Milliwatt.	Cm,	Centimètre.
μ W,	Microwatt.	mm,	Millimètre.
kW,	Kilowatt.	m ² ,	Mètre carré.
VC,	Volt-coulomb.	cm ² ,	centimètre carré.
Wh,	Watt-heure.	mm ² ,	Millimètre carré.
VA,	Volt.ampère.	m ³ ,	Mètre cube.
Ah,	Ampère-heure.	cm ³ ,	centimètre cube.
kVA,	kilovolt-ampère.	mm ³ ,	millimètre cube.
kWh,	Kilowatt-heure.	μ ,	Micron (m. de mm.)
g,	Gramme.	Å,	Angstrom (dix millio-
kg,	kilogramme.		nième de mm.).
cg,	centigramme.		

ALPHABET GREC

LETTRES romaines	LETTRES GRECQUES		APPELLATION
	Majuscules	Minuscules	
<i>a</i>	A	α	alpha
<i>b</i>	B	β	bêta
<i>g</i>	Γ	γ	gamma
<i>d</i>	Δ	δ	delta
<i>e</i>	E	ε	epsilonn
<i>z</i>	Z	ζ	dzêta
<i>ê</i>	H	η	êta
<i>th</i>	Θ	θ	thêta
<i>i</i>	I	ι	iôta
<i>h, e</i>	K	κ	kappa
<i>l</i>	Λ	λ	lambda
<i>m</i>	M	μ	mu
<i>n</i>	N	ν	nu
<i>x</i>	Ξ	ξ	ksi
<i>o</i>	O	ο	om'cronn
<i>p</i>	Π	π	pi
<i>r</i>	P	ρ	ro
<i>s</i>	Σ	σ	sigma
<i>t</i>	T	τ	tau
<i>u, y</i>	Υ	υ	apsilonn
<i>ph, f</i>	Φ	φ	phi
<i>ch</i>	X	χ	khi
<i>s</i>	Ψ	ψ	psi
<i>o</i>	Ω	ω	oméga

CE QU'IL FAUT SAVOIR EN RADIO

CHAPITRE PREMIER

NAISSANCE ET DÉBUTS DE LA T. S. F.

Quel est l'inventeur de la T.S.F., ou, plus spécialement, de la radiophonie ? Cette question n'a pas grand sens, en réalité ; comme beaucoup d'autres inventions des temps modernes, c'est une invention *collective* et internationale, due aux travaux d'un très grand nombre de chercheurs de tous les pays. On doit retenir, avec juste raison, les noms de certains de ces chercheurs, et, en particulier, de techniciens français, auxquels revient, en grande partie, l'honneur d'avoir contribué à cet avènement.

Les premiers procédés de télégraphie sans fil. — Les essais de *télégraphie sans fil* sont bien antérieurs à l'avènement du *télégraphe électrique* avec fils conducteurs ; les premiers dispositifs employés n'étaient pas électriques, en effet, mais *optiques*.

Les Grecs, les Romains, et les Gaulois, se servaient, pour correspondre à grande distance, de feux allumés sur des hauteurs et observés de relais en relais par des guetteurs. Ce dispositif primitif est encore utilisé par les peuplades sauvages, en Afrique, et en Australie.

Ce procédé primitif ne permettait pas, évidemment, de transmettre des messages compliqués, et seulement un signal unique dont la signification était connue à l'avance. Le physicien français Amontons (1663-1705) le perfectionna en munissant les guetteurs de télescopes permettant d'observer des signaux rythmés convenus.

On doit l'invention du premier *télégraphe optique* sans fil digne de ce nom à Claude Chappe, né en 1763, qui en fit les premiers essais au début de Mars 1791, en utilisant deux grands panneaux pivotants placés au sommet de mâts élevés. Ce dispositif, appelé par lui *Tachygraphe*, fut présenté à l'Assemblée Nationale le 22 Mars 1792 ; à l'inau-

guration de la première ligne en 1794, il fut baptisé définitivement *Télégraphe* (du grec télé *loin*, et graphein *écrire*) par un fonctionnaire du Ministère de l'Intérieur.

Le télégraphe optique fonctionna officiellement pour la dernière fois en 1885, au moment où le télégraphe électrique imprimant réalisé en 1832, perfectionné par Wheatstone et Morse, et adopté depuis 1844, devait venir le remplacer. Il demeure pourtant encore utilisé sous d'autres formes pour des usages militaires, ou la navigation.

La *téléphonie sans fil*, transmission de paroles ou de musique sans l'aide de fils conducteurs, n'a pas été réalisée non plus, au début, par des procédés électriques ; les inventeurs avaient tout d'abord songé à utiliser comme support, en quelque sorte, des sons transmis dans l'espace, non des ondes électriques, mais des ondes lumineuses. On a réalisé, de nos jours encore, des appareils de *téléphonie sans fil par la lumière*, et le mot *radiophonie* s'est appliqué, tout d'abord, au contraire de l'opinion commune, à la transmission des paroles par l'intermédiaire de rayons lumineux visibles ou invisibles, c'est-à-dire infra-rouges ou ultra-violets.

Les premières transmissions électriques sans fil. — La naissance du téléphone date de 1875, et la T.S.F. n'a été possible qu'après la découverte des ondes électriques par Hertz en 1888.

L'*induction électrique* a constitué un premier mode de transmission électrique, sans aucun conducteur, tout au moins sur de petites distances (1843).

Ce phénomène de *l'induction* est bien connu. Un courant circule dans les spires conductrices d'une bobine, et l'on place dans le voisinage un second circuit comportant une bobine identique et un galvanomètre ; si l'on approche alors brusquement la première bobine de la deuxième, on constate la déviation de l'aiguille du galvanomètre, indiquant le passage d'un courant de peu de durée, mais intense. On a ainsi créé à distance, et *sans qu'il y ait contact entre les deux circuits*, un courant dans le deuxième circuit, dit *induit*. Faraday attribuait cette action à distance à la transmission d'une énergie par ondulations d'un circuit à l'autre, de même qu'une source sonore agit sur l'oreille, et une source lumineuse sur l'œil.

Cette action mutuelle des circuits, très différente de la conception que l'on avait à ce moment sur la transmission de l'électricité le long des fils conducteurs, devait attirer l'attention de nombreux savants.

Parmi eux, un disciple de Faraday, le professeur anglais James Clark Maxwell, chercha une explication mécanique des phénomènes électriques et magnétiques découverts par Ampère et Faraday. Il démontra, en 1867, que toute variation alternative d'un courant électrique devait donner naissance à *des ondes identiques aux ondes lumineuses*.

Le principe de la théorie de Maxwell consiste à attribuer les phénomènes produits entre les conducteurs électrisés à des mouvements élastiques dans le diélectrique séparant ces conducteurs. Une onde lumineuse est alors assimilable à une suite de perturbations électromagnétiques, à très haute fréquence se propageant de proche en proche par induction.

Le savant exposa ainsi, en 1873, dans son *Traité d'Electricité et de Magnétisme*, que les perturbations électromagnétiques se propageaient dans l'espace avec une vitesse égale à celle de la lumière, soit 300.000 km. par seconde, ce qui l'avait amené logiquement à assimiler les ondes lumineuses et électromagnétiques.

Cette analogie avait été pressentie en 1845 par Faraday, à la suite de son expérience sur la polarisation magnétique de la lumière, mais Maxwell conserve *la gloire d'avoir affirmé l'identité des ondes lumineuses et électriques*.

Il avait pu prévoir théoriquement que ces ondes, comme les rayons lumineux, devaient se déplacer en ligne droite, se réfléchir et se réfracter, se propager à des distances beaucoup plus grandes que ne l'avaient montré les premières expériences de Faraday.

Les travaux de Maxwell étaient *uniquement théoriques*, et l'existence, comme les possibilités, des ondes électriques, n'avaient été démontrées par *aucune expérience réelle*. Deux branches de la physique, qui avaient été jusqu'ici séparées : l'électricité et l'optique, étaient cependant réunies, ce qui montrait *la continuité de l'échelle des vibrations*, grâce à des démonstrations mathématiques.

L'étincelle oscillante. — Le physicien français Biot avait pu observer, dès 1816, des courants induits par les étincelles d'une machine électrostatique dans un fil vertical mis à la terre à son extrémité, en intercalant un muscle de grenouille servant de détecteur ; il peut être ainsi considéré comme le plus ancien précurseur de la T.S.F., mais il lui manqua, comme à ses successeurs, l'idée d'utiliser une antenne d'émission assez puissante *accordée* avec l'antenne de réception.

De 1857 à 1862, Feddersen, en étudiant l'étincelle produite par une bouteille de Leyde, avait pu montrer, expérimentalement, à l'aide d'un miroir tournant rapide étalant l'image de cette étincelle, qu'elle était *oscillante* ; ses expériences ne purent lui permettre de réaliser des ondes électriques, malgré la fréquence de l'ordre de 100.000 CS déjà atteinte, l'énergie mise en jeu étant trop faible.

En 1853, le physicien anglais Sir William Thomson (lord Kelvin) avait calculé, à l'aide de sa formule bien connue, la période propre d'une oscillation électrique dans un circuit théorique possédant une résistance une capacité, et une self-induction ; mais, cette formule ne s'appliquait pas pratiquement au dispositif de Feddersen.

Lord Kelvin et Feddersen avaient ainsi montré que la décharge du condensateur était oscillante, mais ils n'avaient pas songé que *les oscillations s'étendaient à l'espace environnant*.

Le physicien anglais Fitz-Gérald eut, en 1880, pour la première fois cette intuition géniale, et exposa cette théorie dans une communication à l'*Association Britannique pour le Progrès des Sciences*. Il soutenait que la décharge électrique des condensateurs devait, en partie, se communiquer à l'espace environnant, et déterminait le rapport de l'énergie rayonnée à l'énergie dépensée. Le rayonnement, exposait-il, dès 1883, devait être d'autant plus grand que la vibration électrique était plus rapide, et l'énergie rayonnée proportionnelle à la quatrième puissance de la fréquence. Une fréquence supérieure à 1 million de périodes par seconde devait, selon lui, permettre des transmissions expérimentales.

L'œuvre d'Henri Hertz. — L'identité des ondes lumineuses et des ondes radioélectriques exposée dans l'hypothèse de Maxwell (1831-1879) devait être confirmée complètement par les travaux de Hertz vers 1886.

Rudolf Heinrich Hertz, né à Hambourg en 1857, était le fils d'un magistrat. Après avoir songé à différentes carrières, il se destina d'abord au métier d'architecte en 1875, et entra à l'Ecole Technique Supérieure de Munich, où il comprit que son génie le destinait à la physique, et une vocation irrésistible le poussa vers la science pure. A force de travail et d'étude, il obtint la chaire de physique expérimentale à l'Ecole Supérieure Technique de Carlsruhe ; c'est dans les sous-sols de cet Institut Polytechnique qu'il devait réaliser les expériences qui ont immortalisé son nom, et apporté la preuve de la possibilité de diffusion d'ondes électriques dans l'espace, en Juin 1887.

Hertz s'attacha essentiellement à la vérification des calculs théoriques de Maxwell sur l'identité des ébranlements électriques et de la lumière et partit du principe que les ondes électriques doivent avoir une fréquence de 100.000 périodes à la seconde au minimum pour qu'on puisse les capter à distance, cette fréquence demeurant inférieure toutefois à celle de la lumière.

La solution purement expérimentale adoptée par lui pour la production de ces ondes électriques, consista à choisir une source électrique puissante à haute tension et à grand débit, constituée par une bobine

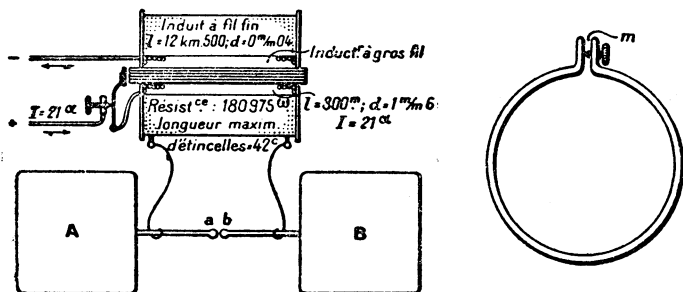


FIG. 1. — L'oscillateur-excitateur de Hertz et le détecteur d'ondes, ou résonnateur.

de Ruhmkorff. Cela permettait d'obtenir, suivant son expression, « un centre d'ondes électriques », en localisant la charge électrique empruntée à la bobine dans l'oscillateur, et en empêchant cette charge de retourner vers le générateur, grâce à la grande self-induction du secondaire ; il employa, en fait, une bobine alimentée sous une intensité de 21 ampères, et pouvant donner des étincelles de 40 centimètres.

Cette bobine alimentait un *excitateur*, composé de deux sphères métalliques de même rayon ou de deux plaques carrées de 40 centimètres de côté, reliées par une tige conductrice, au milieu de laquelle était ménagée une coupure. Deux petites boules, fixées aux extrémités de la tige interrompue, étaient mises en communication avec les pôles de la bobine.

L'étincelle oscillante éclatant entre les boules engendre des ondes électriques, et l'ensemble constitue un véritable *émetteur* (fig. 1).

Le génie expérimental de Hertz devait être démontré encore par la création du *détecteur* des ondes ainsi transmises. Le savant montra qu'elles pouvaient être très simplement reçues à l'aide d'un *résonnateur*, simple cerceau conducteur en laiton, dont les extrémités se terminent,

l'une par une petite boule, l'autre par une vis micrométrique, en formant un véritable *micromètre à étincelles*. On déplaçait le système de façon à rendre son plan parallèle à celui des plaques de l'émetteur, et le micromètre restait dans l'axe vertical passant par l'étincelle de l'émetteur, et perpendiculaire au plan de ce dernier. Une minuscule étincelle apparaît alors entre les contacts, et varie comme l'étincelle de l'émetteur.

Hertz a montré que ce résonateur devait avoir une dimension déterminée, pour un excitateur déterminé, et exposa ainsi la première notion de *résonance électrique*.

A l'aide de dispositifs élémentaires, il put obtenir des phénomènes de réflexion, de réfraction, d'interférence, et d'ondes stationnaires, analogues à ceux réalisés pour la lumière, et pour le son, et constitua même les premiers dispositifs de communication par *ondes dirigées* ; le résonateur permettait de contrôler l'existence des nœuds et des ventres des ondes stationnaires, comme les foyers de concentration et de réflexion des ondes réfléchies ou réfractées.

Dès 1887, il réussit à produire couramment des ondes amorties de quelques mètres de longueur. Celles de 1886 avaient une longueur de 5 m. 50 ; en 1887, elles avaient 0 m. 60 seulement (fréquence 500.000 kilocycles/sec.).

Hertz voulut, d'ailleurs, mesurer la vitesse de propagation de ces ondes électro-magnétiques, qui devaient plus tard, à bon droit, être appelées *hertziennes* ; il produisit des *ondes stationnaires*, en disposant devant un excitateur, et parallèlement à son axe, un écran métallique. Les ondes se réfléchissaient sur ce plan, et interféraient avec les ondes directes.

L'expérimentateur voulait déterminer la distance entre les nœuds et les ventres avec son résonateur à étincelles, pour déterminer directement la longueur de l'onde, en la mesurant avec un mètre. Malheureusement, son système d'accord n'était pas perfectionné, de sorte que les valeurs trouvées à ce moment étaient inexactes.

Grâce à son émetteur et à son récepteur, Hertz réalisa cependant la *première radio-communication*, en produisant des étincelles suivant le rythme conventionnel d'un signal, détecté de l'autre côté d'un mur par des étincelles synchrones du résonateur ; à l'Université de Bonn, où Hertz fut nommé l'année suivante, une transmission fut obtenue, jusqu'à 25 mètres de distance.

Malheureusement, il n'eût que le temps d'installer son nouveau

laboratoire ; la maladie l'empêcha d'en utiliser les ressources et de récolter le fruit de son labeur. Il mourut prématurément, à moins de trente-huit ans, le 1^{er} Janvier 1894.

L'œuvre de Hertz suscita un grand intérêt dans le monde, et tous les physiciens répétèrent ses remarquables expériences, en Suisse, en France, en Allemagne, en Autriche, en Angleterre, dès 1889.

Quatre jours après avoir reçu le compte rendu des expériences de Hertz, d'Arsonval, un grand savant français, mort en 1940, établissait un montage identique, et l'utilisait en vue des effets biologiques et des applications de thérapeutique qui portent son nom. Constatons ici, qu'en réalité, les *premières transmissions radio-électriques avaient été ainsi réalisées au moyen d'ondes ultra-courtes*, qui, pourtant, devaient être abandonnées plus tard, jusque vers 1922.

Le savant anglais William Crookes écrivait à Hertz : « D'ici vingt ans, on télégraphiera sans fil, du continent en Angleterre, et, avant un demi-siècle, par-dessus l'Atlantique ». Mais, Hertz était plus modeste, et répondait : « Non, mes signaux n'auront probablement pas 100 mètres de portée ». Ainsi, l'inventeur des ondes électriques n'en avait pas imaginé les vastes possibilités futures.

Le cohéreur et les travaux de Branly. — Le résonnateur de Hertz était un dispositif grossier et peu sensible pour la détection des ondes produites par l'excitateur ; il manquait un appareil capable de déceler la propagation des ondes à grande distance, et de donner à la découverte une première portée pratique ; le cohéreur à limaille constitua ce premier *détecteur*.

En Angleterre, Fitz Gérald, Howard, Oliver Lodge, montrèrent l'importance des travaux de Hertz, ainsi que Sarazin et de la Rive en Suisse, Joubert et Albert Turpain, en France, de 1889 à 1894.

Une première amélioration très importante de la détection était obtenue par Lodge, par la méthode des *contacts imparfaits*. Ce physicien constitua un détecteur au moyen de deux boutons en contact, mais sans pression, et fermant le circuit d'une pile et d'un galvanomètre. Sous l'action d'une onde électrique, le courant devenait plus intense, et déterminait une déviation supplémentaire de l'aiguille du galvanomètre, en permettant même d'actionner une sonnerie. Lodge nomma *cohéreur* (coherer) ce système de détection par cohésion électrique, dans une communication présentée en 1890 à l'Institut des Ingénieurs Electriciens de Londres.

Dès 1884, un professeur italien de Bologne, Calzecchi-Onesti, démon-

trait une propriété curieuse des limailles métalliques qui devenaient conductrices sous l'action d'étincelles et de courants d'induction, mais il ne songeait pas à la détection des ondes électriques, encore inconnues à ce moment, et voulait réaliser un avertisseur de tremblements de terre. Un courant traversait un tube à limaille cohérée, c'est-à-dire agglomérée ; une secousse sismique restituait la résistance primitive du tube, et déterminait la déviation d'un galvanomètre enregistreur ; en général, les limailles de divers métaux enfermées dans un tube entre

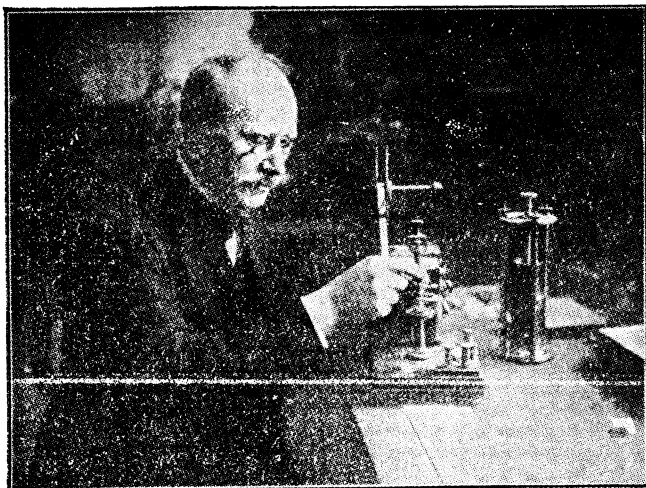


FIG. 2. — Branly et son radio-conducteur.

deux électrodes devenaient conductrices sous l'effet d'une force électromotrice, induite par la rupture d'un courant.

Le savant français Branly était né à Amiens en 1844, et devait mourir presque centenaire à Paris pendant la guerre de 1939-1945, Professeur de Physique, il avait inauguré en 1875, la chaire de Physique Générale du nouvel Institut Catholique de Paris, mais il était attiré par les études médicales. Il parut ignorer les travaux de Hertz, et surtout ceux de Calzecchi-Onesti, lorsqu'il reprit, à son laboratoire de l'Institut Catholique, l'étude des variations de conductibilité des limailles métalliques, non dans le but de transmettre des signaux, mais pour des recherches biologiques.

Le 24 Novembre 1890, Edouard Branly présentait à l'Académie des Sciences une note sur les *Variations de conductibilité sous diverses influences électriques*, dans laquelle il décrivait des circuits constitués avec différentes limailles métalliques étalées sur une plaque d'ébonite cuivrée et polies au brunissoir. Au repos, les circuits étaient très résistants, mais leur conductibilité augmentait brusquement, quand on produisait dans leur voisinage des décharges d'une machine de Wimshurst, ou d'une bobine de Ruhmkorff, et l'action était possible à une vingtaine de mètres, à travers les murs de trois salles consécutives.

Au lieu d'utiliser des couches de limailles aplaties, Branly les empila dans un tube de verre entre deux bouchons métalliques insérés de la même façon dans un circuit ; la résistance primitive pouvait être rétablie à peu près complètement par divers procédés, en particulier en frappant de petits coups secs sur la tablette supportant le tube (fig. 2).

Le 12 Janvier 1891, Branly présentait à l'Académie des Sciences une deuxième note sur les variations de conductibilité de substances isolantes, dans laquelle il signalait des résultats analogues obtenus au moyen de substances pâteuses diélectriques, et de métaux oxydés.

Il semble certain que Branly n'avait songé aucunement, à ce moment, aux ondes électro-magnétiques, et, à plus forte raison, à leur action à distance. Selon ses propres indications, présentées avec son admirable loyauté, il voulait seulement déduire de ses études une théorie de la conductibilité des nerfs.

« Je n'ai aucune prétention à la découverte de la T.S.F., déclarait-il en 1896, puisque je n'ai jamais songé à transmettre des signaux ». En 1897, seulement, après les expériences de Marconi, il appliqua à son tube à limaille le nom de *radio-conducteur*.

Branly ne songeait donc nullement à la transmission des ondes en réalisant le radio-conducteur ; cet appareil devait pourtant permettre les premières transmissions pratiques de signaux télégraphiques par les ondes hertziennes, et c'est à juste titre que Guglielmo Marconi lui adressa par sans fil en 1899, à l'occasion de l'inauguration du service Douvres-Wimcreux, le message célèbre : « M. Marconi envoie à M. Branly ses respectueux compliments à travers la Manche, ce beau résultat étant dû en partie aux remarquables travaux de M. Branly. »

Les débuts de la T.S.F. — Le radio-conducteur de Branly constituait ainsi le premier détecteur pratique, et relativement sensible, des ondes électriques découvertes par Hertz ; mais, l'inventeur du radio-conducteur n'avait pas songé à la possibilité des transmissions par T.S.F.

Popoff, en 1895, avait eu l'idée géniale, pour la première fois, de *la nécessité d'une antenne pour la réception*. Ses expériences consistaient essentiellement dans l'observation des orages par un tube de Branly au moyen d'un paratonnerre ; le dispositif était donc uniquement récepteur, et les oscillations reçues, d'une fréquence de l'ordre de 1.800 c/s consistaient en des parasites atmosphériques. « Si l'on pouvait avoir un émetteur de vibrations électriques assez puissant, écrivait le savant russe, on pourrait, par ce procédé, réaliser la transmission de signaux ». Il avait ainsi des idées intéressantes sur l'émission, mais ne sut pas réaliser les appareils correspondants.

L'Américain Tesla a été le génial inventeur des oscillations à haute fréquence. En faisant décharger des condensateurs dans le circuit primaire d'un transformateur, à l'aide d'une étincelle oscillante, le secondaire devient le siège d'une force électromotrice alternative de même période que la décharge oscillante du condensateur, et qui peut avoir une grande amplitude. Tesla obtint ainsi un courant alternatif de haute fréquence et de force électromotrice très élevée ; on atteignit une fréquence de 10.000, 100.000 et même 400.000 c/s, avec une tension de 100.000 à 500.000 volts, en substituant à la bobine de Ruhmkorff employée pour la charge, un transformateur actionné par un alternateur haute fréquence.

Dès 1895, Tesla avait entrevu la possibilité d'une transmission par ondes haute fréquence entre deux antennes mises par une extrémité à la terre, et reliées à une grande plaque formant capacité ; il songeait même à régler les deux antennes en résonance l'une sur l'autre ; mais, comme il ne connaissait pas le cohéreur de Branly, il n'avait pas su détecter le courant de l'antenne réceptrice et ses recherches étaient ignorées des physiciens.

Ce fut donc Lodge qui exposa, pour la première fois, le principe de la transmission des signaux télégraphiques par les ondes hertziennes, le 1^{er} Juin 1894, devant l'Institution Royale de Londres. Il avait remplacé le micromètre de Hertz par le tube à limaille, et utilisait un émetteur Morse fermant le circuit producteur d'étincelles ; il transmet des points et des traits à une distance de 30 mètres. L'expérience fut renouvelée la même année à Oxford, devant l'Association Britannique ; le tube à limaille était décohééré automatiquement par un petit marteau, et le message était enregistré sur un ruban de papier.

L'œuvre de Marconi. — Les savants, dont nous venons de citer les noms, avaient posé les bases, et rendu possibles les réalisations pra-

tiques ; désormais, le développement de la T.S.F. allait être l'œuvre des ingénieurs.

Suivant la signification véritable que l'on doit donner à ce mot, il n'est peut-être pas exagéré de considérer Guglielmo Marconi comme le véritable *inventeur*, ou, du moins, un des inventeurs de la télégraphie sans fil.

Il était né le 25 Avril 1874 près de Bologne, d'un père italien et d'une mère irlandaise, et, après avoir suivi des études élémentaires, il s'intéressa de bonne heure à la physique, et fut à l'Université de Bologne l'élève du célèbre professeur Righi ; ce dernier, dans ses expériences, réalisait des ondes hertziennes ultra-courtes de la manière classique, avec un éclateur, comportant deux sphères de 0 m. 10 dans des réflecteurs, et étudiait leur propagation au moyen du micromètre à étincelles de Hertz relié à l'aide de deux fils à deux plaques de capacité, ou avec un système analogue à celui de l'émetteur.

Marconi fut enthousiasmé par la nouvelle conquête scientifique, et n'ayant acquis aucun diplôme, il préféra continuer à travailler seul ; il eut l'idée, en 1895, de remplacer le micro-

mètre par un tube détecteur à limaille de nickel, avec électrodes d'argent beaucoup plus sensible que le cohéreur primitif ; il employait en dérivation un relais inscripteur Morse, avec un électro-aimant à matériau permettant de décoherer le tube automatiquement (fig. 3).

Il se rendit, d'ailleurs, en Angleterre en 1896, et prit son premier brevet le 9 juin 1896 ; le dispositif ne devait alors lui permettre qu'une expérience de physique et des transmissions jusqu'à 100 ou 200 mètres.

Quelques mois après, il eut l'idée originale de relier les boules de l'excitateur à la terre, et à une grande plaque verticale ; il supposait que la plaque rayonnait des ondes reçues à distance par une autre plaque semblable reliée au circuit de détection. Par un hasard heureux, il s'aperçut que la transmission devenait meilleure en élevant les plaques, et

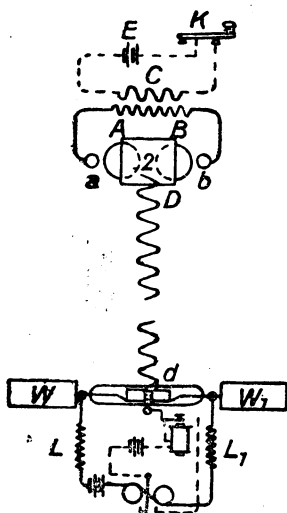


FIG. 3. — Premier dispositif de Marconi en 1897. *ab*, boules de l'oscillateur excité par la bobine *C* ; *d*, cohéreur avec capacité *W* et bobines de choc *L* ; *K*, manipulateur de Morse.

qu'on pouvait supprimer ces dernières en les remplaçant par des antennes plus élevées. Il avait, en réalité, abouti en quelques mois, et, sans déduction logique, créé un matériel de transmission de T.S.F. basé sur *l'association de deux antennes*.

L'Ingénieur en Chef des Postes anglais, Sir William Preece, le prit comme collaborateur, et il réussissait à faire une première expérience de transmission entre Bournemouth et l'Île de Wight, puis, en 1897, sur une distance de 2.500 mètres à Boulogne, et de 16 kilomètres à la Spezzia.

Le capitaine Jackson devait perfectionner les antennes, en les suspendant à des ballons ; *l'accord* des postes émetteur et récepteur, pour obtenir le maximum de rendement, et éviter les brouillages était trouvé par Lodge dans un brevet de 1897 indiquant l'emploi de bobinages d'induction, et la relation de la longueur de l'antenne avec la longueur de l'onde. Lodge montra que l'étincelle n'était pas forcément émise dans le circuit de l'antenne, et qu'on pouvait employer des circuits secondaires, aussi bien à l'émission qu'à la réception. Marconi utilisa ce montage pour la réception par transformateurs accordés, et réussit, en 1899, à envoyer la première dépêche à travers la Manche, de Douvres à Wimereux, en transmettant le message historique à M. Branly, cité plus haut.

Peu de temps après, Marconi fondait une société commerciale italo-britannique, pour l'exploitation de ses brevets, mais poursuivit ses travaux scientifiques qui lui permirent, le 12 Décembre 1901, de transmettre des signaux radio-télégraphiques par-dessus l'Atlantique entre Poldhu et Terre-Neuve.

Il lui fallut pourtant sept ans d'efforts pour réaliser un service régulier de radio-télégraphie transatlantique, en 1907-1908, entre Clifden, en Angleterre, et Glace-Bay, au Canada, sur une distance de 3.000 kilomètres, au moyen d'ondes très longues. Trois ans plus tard, il transmettait les messages de Clifden et de Glace-Bay jusqu'à Buenos-Ayres. Les théories scientifiques de l'époque, proclamant que les ondes ne pouvaient pas contourner la surface de la terre, avaient ainsi été démontrées inexactes, et la puissante compagnie qu'il avait fondée en Angleterre accumulait les brevets, de telle sorte qu'elle possédait le monopole de la technique des radio-communications.

Marconi n'a pas seulement réussi à établir le premier la possibilité pratique des radio-communications à grande distance ; dans une intuition géniale, il avait saisi, dès les débuts de la T.S.F., *toute l'importance*

des ondes courtes ou très courtes, et, en particulier, des ondes dirigées.

Les systèmes Marconi sont employés dans le monde entier, en particulier en Amérique du Sud et en Italie ; durant ses dernières années (il mourut en 1937) il avait continué ses recherches sur les ondes courtes et très courtes, en vue de perfectionner les radio-communications téléphoniques et télégraphiques, et pour assurer la direction des navires ou la commande à distance des appareils électro-mécaniques. Dans ce but, il avait converti son yacht « Elettra » en un véritable laboratoire flottant, ce qui lui permettait d'effectuer des essais nombreux de transmission, en liaison avec son laboratoire terrestre de Sancta-Maria Ligure.

La naissance de la T.S.F. — Avec Marconi, *la T.S.F. industrielle était née*, et, à sa suite, une foule de chercheurs de tous les pays devaient se livrer à de nombreux essais ; il faut citer en France, en 1898, les noms de Ducretet, du Général Ferrié, pour la Télégraphie Militaire, du Capitaine Tissot, pour la Marine, de l'Ingénieur Voisenat, pour les P.-T.-T., et surtout d'André Blondel, inspecteur général des Ponts et Chaussées, qui fut un des plus grands artisans de la radio-électricité, et dont nous nous honorons d'avoir été le collaborateur et l'ami.

André Blondel donna, en 1898-1902, la première théorie de la transmission des ondes électriques, en assimilant le système émetteur antenne-terre à un oscillateur de Hertz vertical de hauteur double et sans terre ; la collaboration entre Ferrié et Blondel devait devenir intime à partir de 1898, et se manifester par les résultats présentés au Congrès National des Electriciens de 1900, et par le développement du réseau radio-télégraphique en France, jusqu'en 1914.

Les progrès des systèmes d'antennes étaient, d'ailleurs, continus ; Lodge expérimentait en 1897 l'antenne à double cône et à contre-poids, Marconi, l'antenne en L renversé avec nappe horizontale, puis le modèle en T, Braun, des antennes en éventail, la Société Telefunken l'antenne en parapluie.

Le tube à limaille fut remplacé par le détecteur magnétique de Rutherford, mais l'emploi du téléphone, essayé par Albert Turpain en 1897, ne fut pratique qu'avec le redresseur électrolytique de Ferrié de 1900, constitué par un contact rectifiant entre un fil de platine et la surface d'une petite masse d'eau acidulée contenue dans un verre.

Bien que perfectionné par Schloëmilch, le détecteur électrolytique fut peu à peu remplacé par le détecteur à carborundum de Dunwoody en 1906, puis par le détecteur à cristal de galène, à pyrite de cuivre

découvert en 1907 par Ferdinand Braun, et perfectionné par Gallet et Pickard en 1909.

Les dispositifs d'accord, étudiés par Lodge et prévus par Tesla et Blondlot dès 1890-1891 étaient, en même temps, perfectionnés ; Ducretet et Popoff employèrent l'excitation par induction, en utilisant le matériel réalisé par d'Arsonval et par Oudin pour les applications médicales, montages qui devinrent classiques et assuraient une certaine sélectivité.

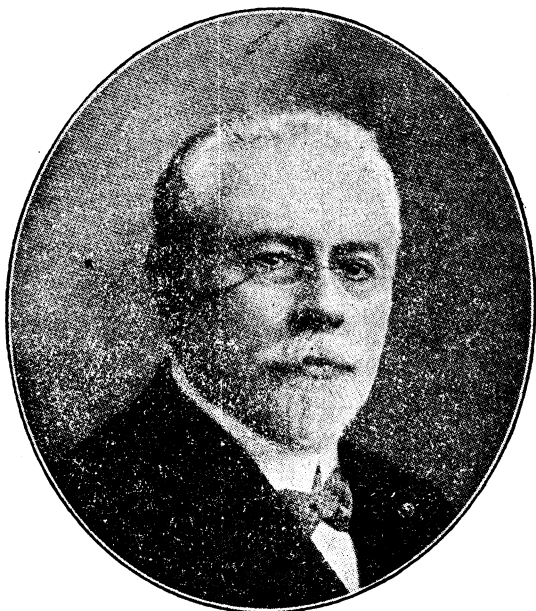


FIG. 4. — Le grand radio-technicien français André Blondel.

A ce moment, de puissantes sociétés de T.S.F. industrielles se fondèrent dans le monde ; la Société Marconi, en Angleterre, l'A.E.G., Siemens et Halske en, Allemagne qui devaient donner naissance en 1903 à la Telefunken ; en Amérique, la Société Fessenden, et, en France, la Compagnie Générale Radio-Télégraphique.

Pour l'émission, on utilisait toujours les dispositifs à étincelles, mais constamment perfectionnés, surtout en ce qui concerne l'éclateur, en particulier en soufflant l'étincelle ; au moyen de ces dispositifs, André Blondel pouvait déjà créer *la radio-goniométrie à cadre* et *les radio-phares automatiques* (1907-1912) (fig. 4).

Les émetteurs à étincelles à ondes amorties devaient pourtant être remplacés peu à peu par des systèmes producteurs d'ondes entretenues de grande longueur, à partir de 1905 ; on avait essayé d'adapter des systèmes à étincelles, mais on les remplaça par des arcs oscillants étudiés par Duddell en 1900, Poulsen en 1902, et André Blondel en 1905. La Société Française Radioélectrique était formée en 1910.

Alexanderson, en 1918, pouvait construire un alternateur industriel d'une fréquence de 23.000 c/s fournissant une puissance de 80 kilowatts. Bethenod, en France, avait créé des alternateurs à haute fréquence directe, seul, en 1909, puis en collaboration avec Marius Latour, en 1916 ; il devait équiper les grandes stations françaises.

A ce moment, la réception des émissions en ondes entretenues se faisait à l'aide d'un interrupteur vibrant, dit « *tikker* », ou par la méthode *hétérodyne* de Fessenden. Jusqu'en 1918, on croyait, d'ailleurs, à la supériorité des ondes longues pour les grandes portées ; ce fut seulement après cette date qu'on commença à se rendre compte des possibilités des ondes courtes, de 10 à 50 mètres de longueur.

C'est à ce moment, également, à partir de 1902, qu'on songea aux premières transmissions de *téléphonie sans fil*, sur lesquelles nous reviendrons plus loin.

L'avènement de la lampe à vide. — La création de la *lampe à vide*, la petite « lampe merveilleuse », et son avènement pratique, en 1912, devaient amener une véritable révolution dans les progrès de la radio-télégraphie, puis de la radio-téléphonie. L'anglais Fleming avait utilisé, dès 1904, le phénomène découvert par Edison en 1883, expliqué par la suite comme l'émission d'électrons négatifs par un filament incandescent dans une ampoule vide d'air, grâce aux études de J.-J. Thomson.

La valve de Fleming de 1905 comportait une cathode formée par un filament de carbone amené à l'incandescence par une pile, et une anode constituée par une plaque métallique en regard, portée à un potentiel positif assez élevé. Le système était un redresseur assez peu sensible par suite de l'imperfection de la cathode ; on le reliait à un « tesla » d'antenne, et un courant passait chaque fois que la plaque devenait positive.

Le courant obtenu à la sortie de ce détecteur était très faible, mais l'invention de « *l'audion* » de Lee de Forest, en 1906, devait permettre de renforcer cette énergie à la réception. L'inventeur américain avait d'abord cru remarquer que les étincelles d'une bobine d'induction

changeaient l'éclat d'un bec Auer à gaz, et essaya de construire un détecteur basé sur la sensibilité d'une flamme de gaz. Ayant reconnu son erreur, il substitua à la flamme un filament chauffé, et « retrouva » ainsi le détecteur de Fleming.

L'intensité de la réception était faible ; il eut l'idée d'ajouter au système une troisième électrode, constituée d'abord par une bande de papier d'étain enroulée autour de l'ampoule, puis par un fil métallique replié en treillis entre le filament et la plaque, et auquel il donna le nom de grille. L'ampoule était, d'ailleurs, remplie par du gaz inerte sous faible

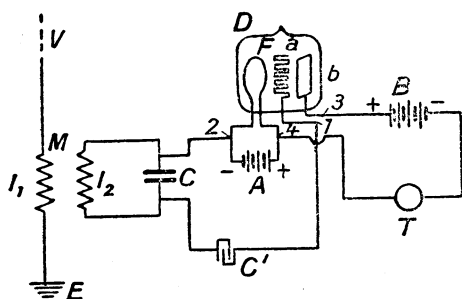


FIG. 5. — Schéma du premier dispositif de récepteur à lampe "Audion" de Lee de Forest, d'après son brevet de 1907. F, filament ; a, grille ; b, plaque AB, batteries de filament et de plaque ; c condensateur de grille.

pression, et le filament réalisé en tungstène ; une batterie fournissait la tension positive sur l'anode ; la grille était réunie au circuit d'entrée par une capacité convenable, de façon à obtenir un effet de résonance (fig. 5).

Langmuir, de 1910 à 1913, obtint un vide parfait dans l'ampoule, perfectionna les différents modèles, réalisa le montage détecteur à résistance shuntant le condensateur. Von Lieben, en 1911, fit connaître la lampe à vide en Europe ; Meissner, en 1913, indiqua des montages intéressants, et, en particulier, le rôle oscillateur de la lampe. Langmuir, en 1920, devait créer la lampe à vide, avec filament en alliage de tungstène et thorium, chauffé au rouge sombre ; puis apparurent, d'après les travaux de Wehnelt, sur les oxydes alcalino-terreux, en 1904, les cathodes des lampes triodes au baryum, puis à chauffage indirect, qui devaient donner naissance aux types de lampes modernes.

L'emploi des montages amplificateurs, des systèmes de réaction, avait été étudié dès 1913, par Franklin, Armstrong et Meissner. Dès le début de la guerre de 1914-1918, la radiotélégraphie militaire française, sous la direction du Général Ferrié, devait grouper une élite de techniciens : Gutton, Abraham, Armagnat, Bloch, Berthenod, Brillouin, Jouaust, Beauvais, Lahutte, Lucien Lévy, Latour, etc.

De leurs travaux, sont nés le fameux type de lampe à vide T.M. les amplificateurs à résistance, à transformateurs, les types réflexes, et surtout les changeurs de fréquence, qui devaient donner naissance au superhétérodyne moderne.

Schottky, en 1916, et Hull, en 1920, réalisaient les premières lampes à électrodes multiples, avec grille de protection, et, parallèlement aux progrès de la réception, apparaissaient depuis 1914 les différents montages *d'émetteurs à lampes*, étudiés successivement par Bethenod, en 1916, par Blondel, par Blanchard, qui ont amené à la création des lampes d'émission modernes à haute puissance, à refroidissement par eau, et aux systèmes divers de *modulation* radiophonique.

Naissance et débuts de la radiophonie. — « Si la télégraphie sans fil était née après la téléphonie sans fil, on l'aurait considérée comme un grand progrès », a dit avec humour un grand technicien. Il est certain que la transmission des signaux Morse, est, en réalité, souvent plus sûre et plus régulière que la transmission de la parole et de la musique et, d'ailleurs, la téléphonie sans fil n'a pu apparaître qu'après l'avènement de la radiotélégraphie.

L'idée d'utiliser la transmission sans fil pour la téléphonie s'imposa dès que l'on sut réaliser des décharges électriques ininterrompues par l'arc de Poulsen ; on essaya même de moduler des ondes amorties, ce qui conduisit à des résultats évidemment défectueux.

L'arc électrique chantant de Duddell, présenté en 1900, constitua un premier moyen, tout au moins en apparence. Si l'on relie les deux pôles d'un arc, alimenté par un courant continu, à un circuit contenant un condensateur et une bobine d'induction, il se produit dans certaines conditions, des oscillations électriques dans ce circuit. Ce phénomène avait été indiqué en 1892 par Elihu Thomson, et le professeur Simon, en 1898, tenta de l'utiliser pour la production des ondes entretenues, ou du moins ininterrompues.

Le physicien anglais William Duddel reprit l'étude de *l'arc chantant* en 1900, et breveta un montage dans lequel les modulations de la voix agissaient sur un microphone, en déterminant un courant variable se superposant au courant d'alimentation de l'arc, en faisant varier l'amplitude des oscillations.

En réalité, l'arc oscillant avait un caractère disruptif, et non sinusoïdal, comme l'a montré André Blondel en 1907 ; néanmoins, plusieurs chercheurs tentèrent de moduler les ondes produites, en vue de transmettre des paroles.

Les premières émissions radiophoniques eurent pourtant lieu avec des alternateurs haute fréquence, malgré l'emploi des grandes longueurs d'onde constituant une difficulté supplémentaire.

Fessenden, en 1906, réussit à moduler l'émission d'un alternateur par des sons musicaux et des paroles, et à atteindre une portée de 40 kilomètres, puis de 160 kilomètres.

L'arc électrique de Duddell, réuni en série avec un condensateur et une bobine de self-induction, ne permettait d'obtenir qu'une série d'ondes de basse fréquence très longues ; les transmissions ne pouvaient devenir économiques qu'au moyen d'ondes de haute fréquence.

Poulsen, en 1902-1903, montra qu'en faisant éclater l'arc électrique dans une atmosphère d'hydrogène plus ou moins raréfiée, on pouvait augmenter la fréquence, et utiliser en plus grande partie le courant d'alimentation de l'arc. Les harmoniques devenaient nombreux et pouvaient servir à la transmission radio-électrique.

La modulation téléphonique était pourtant extrêmement difficile ; le microphone était simplement intercalé directement dans le circuit d'antenne ou dans le circuit du générateur ; étant donné l'imperfection des modèles de microphones employés, et le courant intense qui les traversait, on utilisait, d'ailleurs, des batteries complexes en série parallèle.

Les premiers essais de téléphonie sans fil par arc avaient été tentés par Poulsen lui-même ; l'inventeur de l'audion, Lee de Forest, avait fait des essais de radio-téléphonie dès le début du siècle, et, en 1907, tenta les premières transmissions radiophoniques sur des navires de la marine de guerre américaine, avec l'arc de Poulsen brûlant dans l'hydrogène, et stabilisé par un champ magnétique. Les charbons s'usaient, et il fallait les changer toutes les demi-heures, surtout quand la puissance électrique était élevée ; malgré tout, de Forest eut, dès ce moment, la première conception de la possibilité de la radio-diffusion.

En Mars 1908, il vint à Paris offrir au gouvernement français ses appareils de téléphonie, en vue de l'équipement de la marine de guerre. On lui permit d'installer une antenne sur la Tour Eiffel, d'abord au premier étage, puis au sommet, et les résultats furent très encourageants. Une transmission fut obtenue avec Méry-sur-Mer, près de Marseille, à une distance de l'ordre de 900 kilomètres ; le système microphonique se composait de quatre microphones reliés en parallèle. Il ne semble

pas pourtant que ces essais aient paru concluants, et, en 1909, de Forest retourna aux États-Unis.

Néanmoins, l'emploi de la téléphonie sans fil dans la marine de guerre n'était pas perdu de vue, et deux officiers français, Colin et Jeance, réussirent, à leur tour, à utiliser l'arc électrique modulé pour la transmission. A partir de 1903, ils purent effectuer une radiocommunication entre la Tour Eiffel et Melun, sur une distance de 50 kilomètres, puis, sur mer, entre les cuirassés « *Vérité* » et « *Justice* ».

Les ondes produites par l'arc étaient irrégulières ; il en résultait des bruits parasites et des déformations de la parole. Les expérimentateurs employèrent des charbons de 1 à 2 millimètres de diamètre seulement, maintenus à une distance constante ; des filtres étaient employés pour éliminer les bruits parasites, et une atmosphère d'hydrocarbure contenue dans l'ampoule permettait, en se décomposant, de réduire l'usure des charbons.

Des dispositifs constamment perfectionnés comportèrent trois ou quatre arcs montés en série alimentés par courant continu à 650 volts, et neuf microphones refroidis munis de pavillons concentrant les ondes sonores. Le 4 Juin 1914, ce matériel permit de réaliser une communication satisfaisante entre Paris et Mettray, sur une distance de 200 kilomètres, et le Commandant Colin déclarait possibles des transmissions sur une distance de l'ordre de 500 kilomètres ; tout en songeant surtout aux applications maritimes, il prévoyait déjà l'avènement des radioconcerts (fig. 6).

D'autres chercheurs ne restaient pas inactifs dans toutes les parties du monde. André Blondel avait étudié, dès 1903, un procédé de modulation par manomètre à flamme d'un arc éclatant dans la vapeur de pétrole, qui permit d'établir une transmission téléphonique entre la Tour Eiffel et Verdun, sous la direction du Général Ferrié. Dès 1902, d'ailleurs, Tesla avait dit « le jour n'est pas éloigné où la radio-téléphonie permettra les communications directes entre deux hommes éloignés l'un de l'autre, à des distances considérables ; si j'ai un ami aux Antipodes, je pourrai l'appeler par la radio-téléphonie et engager une conversation avec lui. »

Deux techniciens italiens, Majorana et Vanni, proposaient des micro-

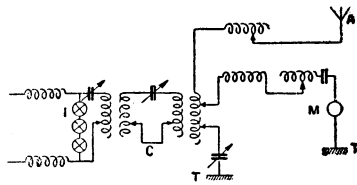


FIG. 6. — Disposition schématique de l'émetteur radiophonique à arc de Colin et Jeance.

phones à écoulement d'eau acidulée, et parvenaient à transmettre, entre Rome et la Sardaigne. Poulsen pouvait téléphoner sans fil entre Esbjerg et Lyngby. Lee de Forest songeait, dès 1909, aux transmissions de radio-concerts, et pouvait diffuser une représentation du Metropolitan



FIG. 7. — Une des premières radiodiffusions musicales en France, effectuée le 26 Novembre 1921 par un poste émetteur placé à Sainte Assise.

Opera de New-York, où Caruso chantait *Cavaliere Rusticana* de Mascagni. Faute de microphones spéciaux, il utilisait des microphones *Acousticon* de prothèse auditive, et les résultats artistiques étaient évidemment assez défectueux !

Le roi des Belges, Albert I^{er}, s'intéressait à la téléphonie sans fil.

mais, malgré tout, les techniciens de l'époque ne la considéraient guère encore que comme un développement sans intérêt de la télégraphie sans fil.

Pendant la guerre de 1914-1918, les techniciens n'étudièrent que la transmission des signaux Morse, assurant à ce moment une sécurité et un secret plus grands, une portée plus sûre, et, d'ailleurs, les ondes amorties étaient encore en faveur.

L'avènement pratique de la lampe à trois électrodes, à partir de 1917, pour la réception et l'émission, devait changer les conditions du problème. La modulation put alors être obtenue en radio-téléphonie, en agissant sur l'onde porteuse, convenablement stabilisée et amplifiée, suivant le principe initial de Meissner, indiqué en 1914. Le simple microphone téléphonique devait être assez rapidement perfectionné, et remplacé au début par un modèle électrostatique.

Lucien Lévy mit au point, au Laboratoire de la Tour Eiffel, un poste d'émission radiophonique à six grosses lampes triodes, à plaques de molybdène, à ailettes de refroidissement. On put obtenir ainsi une régularité de fonctionnement, une souplesse, et une syntonie excellentes, sur toutes longueurs d'onde.

La radiodiffusion. — Bien qu'une transmission à très grande distance ait eu lieu entre Arlington et la Tour Eiffel, dès 1916, ce fut pourtant après la guerre seulement qu'eurent lieu en France les premières tentatives de radiodiffusion (broadcasting).

Une première démonstration publique fut donnée le 26 Juin 1921 à l'aide d'un émetteur à lampes de 10 watts installé à Levallois-Perret, dans la banlieue parisienne, par la Société Française Radio-Electrique, et une seconde audition en public, le 26 Novembre 1921, au moyen d'un émetteur de 2 kilowatts placé à Sainte-Assise, près de Melun, à 40 kilomètres de Paris (fig. 7).

A partir de Janvier 1922, commence l'ère moderne de la Radiodiffusion en France. Un poste émetteur américain, fonctionnant sur une longueur d'onde de 500 mètres, est d'abord monté à l'École Supérieure des Postes et Télégraphes à Paris, et la station de la Tour Eiffel, sur l'initiative du Général Ferrié, commence ses transmissions sur une longueur d'onde de 2.600 mètres, avec une puissance de 1 kilowatt. Les émissions, consistant surtout en bulletins météorologiques et en enregistrements sur disques phonographiques, peuvent alors être reçues avec un poste à galène à une distance de l'ordre de 200 kilomètres.

Les services d'émission étaient encore expérimentaux, mais, à partir de la fin de 1922, et, dès 1923, les réseaux officiels et privés devaient connaître un développement parallèle. La radiodiffusion était née, mais son développement fut assez lent, et ses perfectionnements essentiels ne furent guère atteints qu'à partir de 1929, avec l'apparition des postes secteur qui devaient rendre possible la multiplication du nombre des auditeurs, en mettant à leur disposition des appareils sélectifs, d'une manipulation simple, pouvant être manœuvrés sans aucune connaissance technique, et installés aisément. L'adoption d'émetteurs à ondes moyennes et courtes stabilisés par cristaux de quartz permettait, en même temps, la multiplication des émissions sans risque de brouillage.

Il existe désormais, dans toutes les grandes nations du monde, des réseaux de radiodiffusion, et des millions d'auditeurs de T.S.F.

En France, depuis 1944, les postes d'émission privés ont été supprimés, et la radiodiffusion est devenue un monopole d'État.

On réserve souvent le nom de *radiophonie* à la transmission de la musique et des paroles dans un but de radiodiffusion, c'est-à-dire en vue d'atteindre un très vaste public tout autour du poste émetteur ; cette diffusion peut être dirigée dans une zone déterminée, grâce à l'emploi des *ondes courtes* permettant la *direction des ondes*. Le mot *radiotéléphonie* est plutôt le synonyme de téléphonie sans fil, et on le réserve à la transmission des messages dans une direction bien déterminée, et entre deux ou plusieurs correspondants déterminés.

Quelques années avant la guerre de 1939-45, des stations d'émission, dites à *haute fidélité*, et fonctionnant suivant un principe ancien, mais d'application récente, à *modulation de fréquence*, avaient été installées aux États-Unis. Ce nouveau procédé de radiodiffusion présente l'avantage de permettre des transmissions d'une haute qualité musicale, mais exige l'emploi d'ondes très courtes réduisant la portée de l'émission. Ce genre de diffusion est ainsi essentiellement *local* ; les stations de cette catégorie sont installées généralement dans des villes, et leurs émissions sont destinées plus spécialement à la population urbaine.

Les nouvelles applications des *ondes courtes et très courtes* durant la guerre de 1939-45 ont attiré encore plus spécialement l'attention des techniciens sur leur utilisation. Leur emploi pour la radiophonie se généralise donc constamment, et les postes récepteurs doivent être établis en conséquence.

Les appareils radio-électriques, créés spécialement au début en vue d'assurer les transmissions radio-télégraphiques ou radiophoniques, ne

sont plus uniquement employés à cet usage. Ils sont également adoptés pour l'amplification des courants musicaux de toute nature, en diffusion sonore, en cinématographie sonore, et en phonographie, en particulier.

Il est également des applications plus spéciales, relatives, par exemple à la médecine, à l'astronomie, à l'industrie. On peut dire qu'il n'est plus guère de technique, dans laquelle des appareils radio-électriques et des lampes de T.S.F. ne soient utilisables. La possibilité d'une *amplification presque illimitée des oscillations de toutes fréquences* offre un champ de recherches chaque jour plus vaste.

Pendant la guerre de 1939-45, les *applications militaires* de la radio-électricité ont été multiples et essentielles ; c'est grâce à elle, que la guerre contre les sous-marins a abouti à des résultats complets. Ce sont, paraît-il, des appareils de détection des avions de « Radar » qui ont permis, en fait, de sauver l'Angleterre de l'invasion en 1940. Grâce à eux, il a été possible de diriger à distance des torpilles, des avions, ou même des chars de combat. Dans la paix, la radio-électricité sera certainement de plus en plus précieuse, pour assurer la sécurité de la navigation aérienne et maritime.

La radiodiffusion des sons peut être complétée par la diffusion des images animées. Dès 1939, la *télévision* était entrée dans une phase d'exploitation industrielle, au moins aux Etats-Unis. Les progrès techniques sont suffisants pour assurer des services réguliers, non seulement à l'intention des amateurs, mais même des salles publiques avec des projections sur grand écran. Il ne reste plus guère que des problèmes économiques et financiers à résoudre.

CHAPITRE II

LES ONDES ÉLECTRIQUES ET LEUR PROPAGATION

La radiophonie permet la transmission à distance de la parole et de la musique par l'intermédiaire des oscillations électriques qui leur servent pour ainsi dire *de support* ; nous entendons finalement les sons restitués par le récepteur grâce à un *haut-parleur* mettant en vibration les couches d'air avoisinantes. Les *phénomènes vibratoires* jouent donc un rôle essentiel en T.S.F.

La physique moderne a démontré que l'origine de la plupart des phénomènes naturels est *la vibration* ; on peut en observer partout, qu'il s'agisse *d'une oscillation*, ou de la propagation d'un mouvement vibratoire, c'est-à-dire *d'une onde*.

Vibrations mécaniques (ressort, pendule), ondes élastiques (vagues de la mer, rides de la surface de l'eau tranquille), ondes sonores, ondes électriques, ondes calorifiques, ondes lumineuses, ondes radiologiques (rayons X), ondes radioactives (du radium), tout dans la nature est vibration.

Phénomènes vibratoires. — Un exemple type de vibration *simple périodique* est donné par les oscillations d'un pendule, masse suspendue à un fil fixé par son extrémité supérieure à un point fixe.

Au repos, le fil est vertical en IO. Si l'on écarte avec le doigt la masse de sa position d'équilibre, vers la droite, puis qu'on l'abandonne à elle-même, elle revient au point O ; puis, entraînée par son élan, dépasse cette position, exécute un déplacement en sens inverse, pour arriver au point B, symétrique de A par rapport à IO. A ce moment elle s'arrête puis revient en O, remonte vers A ; puis, le mouvement recommence vers B, et ainsi de suite (fig. 8).

Le pendule *oscille*, mais ses déplacements sont de moins en moins amples autour de la position d'équilibre, par suite des résistances et frottements divers déterminant un affaiblissement plus ou moins rapide, jusqu'à l'arrêt final ; le mouvement est dit « *amorti* ». Pour que les oscillations puissent se prolonger longtemps sans arrêt, il faudrait donner au poids de nouvelles impulsions, à des moments, et dans un sens convenable, et le mouvement serait alors « *entretenu* ». Il en est ainsi pour le mouvement du balancier d'une horloge, grâce aux impulsions régulières du système d'échappement, sous l'action d'un poids ou d'un ressort.

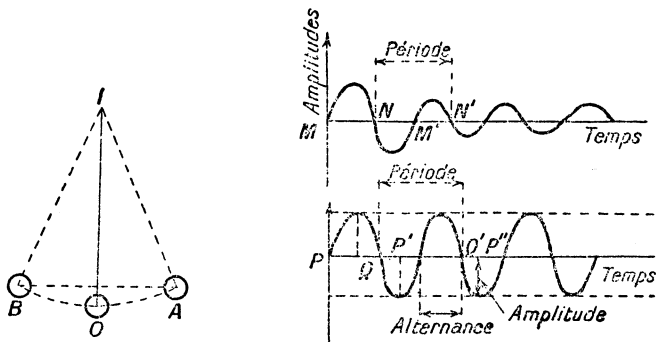


FIG. 8. — Mouvement pendulaire.

Représentation schématique d'un mouvement pendulaire. Oscillogrammes d'une oscillation amortie et d'une oscillation entretenue.

On appelle *amplitude* l'écart du pendule en mouvement autour de sa position d'équilibre ; cette grandeur diminue peu à peu, lorsque le mouvement est amorti ; par contre, la durée de déplacement du pendule, dans son mouvement d'une position extrême à l'autre, est *toujours la même*. Les oscillations sont dites « *isochrones* », c'est-à-dire présentent toujours la même durée.

La *période* est l'intervalle de temps mis par le corps vibrant à effectuer son mouvement complet, soit deux vibrations simples, d'une position extrême à l'autre. On considère habituellement le nombre de périodes par seconde, ou *fréquence*, mesurée en *périodes par seconde* (p/s), ou *cycles par seconde* (c/s). On emploie également en T.S.F. le *kilocycle* correspondant à 1.000 cycles par seconde (Kc/s) et le *mégacycle* (Mc/s), correspondant à 1 million de cycles par seconde.

La fréquence F représentant le nombre de périodes T par seconde ;
 il s'ensuit, par définition, que $F = \frac{1}{T}$ ou $T = \frac{1}{F}$. La fréquence est l'inverse de la période. Si la fréquence est de 10 périodes par seconde, la période est de $1/10$ de seconde.

Les oscillations du pendule ne sont qu'un exemple de mouvement vibratoire simple ; il en existe de très nombreux et très divers que nous pouvons observer à chaque instant dans la vie courante. Les vibrations au lieu d'être transversales, peuvent également être longitudinales ; il en est ainsi lorsque nous suspendons un poids à un ressort à boudin vertical fixé par son extrémité supérieure, et que nous écartons le poids de sa position d'équilibre.

Une vibration est donc caractérisée par un mouvement de va-et-vient autour d'une position de repos correspondant à la position d'équilibre. Certaines vibrations sont facilement visibles ; il en est ainsi de celles du pendule, du balancier d'une horloge, d'une tige élastique, d'un ressort, mais, la plupart ne sont pas visibles directement.

Frappons le bord d'un verre avec la lame d'un couteau ; le verre entre en vibration ; nous ne voyons pas ces vibrations, parce qu'elles sont trop rapides et trop faibles, mais nous les entendons, parce qu'il se produit un son dû aux vibrations de l'air environnant qui se sont propagées jusqu'à notre oreille. En appuyant, d'ailleurs, le doigt sur le bord du verre, nous pouvons sentir également cette vibration, et cette pression suffit à l'arrêter.

Pour qu'il y ait oscillation, il faut, d'ailleurs, que le corps soit élastique, c'est-à-dire ne se déforme pas définitivement sous l'action du choc initial, mais le corps en vibration peut être solide, liquide, ou gazeux. Si nous donnons un coup de marteau dans une motte de beurre, il ne se produira aucune vibration ; la matière se déforme simplement. Le son d'une sirène est produit par les vibrations de l'air, corps gazeux.

Si deux mouvements vibratoires se produisent dans le même sens, de telle sorte que les corps oscillants soient au même instant dans des positions correspondantes de leur mouvement (on dit en phase), les deux mouvements sont « synchrones », et il y a synchronisme entre eux. Deux pendules de même longueur passant au même moment à la position verticale, dans le même sens, sont synchrones.

Les vibrations des corps peuvent être enregistrées, pour permettre plus aisément leur étude, par exemple, en fixant une pointe traçante

au corps vibrant, et en inscrivant les déplacements de cette dernière sur une bande enduite de noir de fumée se déplaçant d'un mouvement de translation uniforme, ou sur un tambour rotatif. La composition des mouvements de la pointe et de la bande d'inscription détermine la formation d'une courbe, ou *oscillogramme*, représentative de la vibration. La courbe tracée ici est ce qu'on appelle une *sinusoïde*, et la vibration simple qui lui a donné naissance est dite *sinusoïdale* (fig. 8).

Sur l'axe horizontal du graphique, sont représentées les durées

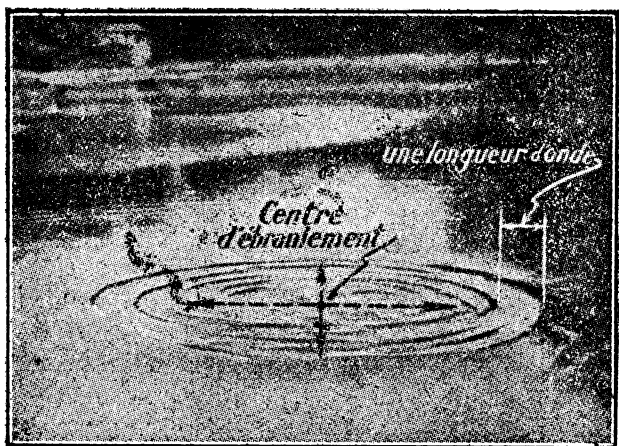


FIG. 9. — Exemple classique de la propagation d'ondes élastiques. Ondes produites à la surface de l'eau par la chute d'une pierre.

des phénomènes, puisque la bande enregistrée se déplace à vitesse constante, et, sur l'axe vertical, sont indiquées les amplitudes des oscillations. Ces amplitudes sont constantes pour une oscillation entretenue et décroissantes pour une oscillation amortie, mais les périodes demeurent constantes dans les deux cas ($MN = M'N'$; $PQ = P'Q'$).

Ondes élastiques. — Une onde est constituée par un mouvement vibratoire qui se propage. Le mouvement oscillatoire du pendule, du balancier d'une horloge, ou de l'eau dans des vases communicants, ne donne lieu qu'à des mouvements localisés ; mais, il n'en est déjà plus de même pour un diapason, et pour le bord du verre cité plus haut, dont la vibration détermine dans l'air la formation d'ondes sonores se propageant jusqu'à nos oreilles.

Comme exemple classique d'onde élastique, on cite les rides produites par la projection d'une pierre dans l'eau tranquille. Les particules d'eau frappées par la pierre sont déplacées de leur position d'équilibre, et le mouvement se propage de proche en proche par rides concentriques. Les premières masses d'eau déplacées reprennent leur équilibre, mais, emportées par leur élan, elles dépassent le niveau primitif en effectuant des oscillations de durée plus ou moins longue, et dont l'amplitude diminue peu à peu par suite de l'amortissement (fig. 9).

Ce phénomène n'est pas produit dans un vase fermé ; le mouvement se répartit sur toute la surface de l'eau ; au phénomène de la vibration proprement dite, à l'endroit où la pierre a frappé la surface, vient s'ajouter la propagation d'ondes concentriques rayonnant autour de ce point et la formation correspondante de rides circulaires. On aperçoit une succession de crêtes et de creux, et il nous semble même qu'il y a déplacement de matière.

Il n'en est rien, en réalité ; on peut le vérifier en faisant flotter à la surface de l'eau des bouchons qui montent et descendent sous l'influence

des oscillations de l'eau, mais ne se déplacent pas horizontalement. Il y a déplacement de mouvement, mais non de matière, et l'amplitude du mouvement décroît à mesure que les ondes se propagent, et que leurs cercles s'agrandissent. Si on laisse tomber, un par un, à une cadence assez rapide et régulière, une série de cailloux identiques, l'oscillation de l'eau reste entretenue et les rides successives conservent toujours la même hauteur. Mais, la hauteur des vagues concentriques augmente en même temps que la hauteur de chute des cailloux utilisés.

La vitesse de formation et de propagation des vagues reste constante, quelle que soit la forme de l'onde ; le nombre de rides passant en un point par seconde est donc d'autant plus grand que la distance constante séparant deux ondes consécutives est plus petite.

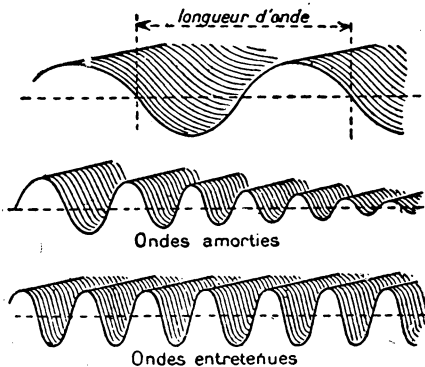


FIG. 10. — Représentation schématique d'une onde, d'un "train d'ondes" amorties (d'amplitudes décroissantes), et d'ondes entretenues (d'amplitude constante).

Cette distance constante, qui sépare deux crêtes ou creux consécutifs a reçu le nom de *longueur d'onde* ; c'est ainsi, le *chemin parcouru par l'onde pendant la durée d'une période du mouvement vibratoire qui lui a donné naissance* (fig. 10).

La *fréquence* de l'onde, correspondant à la fréquence d'oscillation du mouvement vibratoire initial, est le nombre qui indique combien il passe d'ondes en une seconde en un point donné dans la zone de propagation. D'après la remarque précédente, la fréquence F est d'autant plus grande que la longueur d'onde est plus petite.

La *longueur d'onde* est la distance parcourue pendant une période de la vibration ; si la vitesse de propagation de l'onde, c'est-à-dire la distance parcourue pendant une seconde est V , la distance parcourue pendant la durée T (en secondes) d'une période sera $V \times T$, et, par définition de λ , on aura donc :

$$\lambda = VT$$

Si λ est mesurée en mètres, V sera aussi mesurée en mètres. V est constante dans un milieu donné et égale environ à 300.000 kilomètres à la seconde pour les ondes lumineuses et hertziennes ; on aura donc :

$$\lambda \text{ (kilomètres)} = 300.000 \times T \text{ (secondes)}$$

$$T = \frac{\lambda}{V} = \frac{\lambda}{300.000}$$

D'après les remarques précédentes, la longueur d'onde λ et la fréquence F sont deux caractéristiques inverses de l'onde, on en déduit donc que :

$$F = \frac{V}{\lambda} = \frac{300.000}{\lambda}$$

Dans l'exemple classique, la durée d'oscillation des bouchons-témoins est la période, le nombre d'oscillations du bouchon par seconde la fréquence, et la hauteur de déplacement vertical du bouchon au-dessus de sa position d'équilibre est l'*amplitude* du phénomène considéré.

Echelle des radiations. — Une des plus grandes conquêtes de la science moderne a consisté à démontrer la nature commune des ondes hertziennes et des ondes lumineuses, avec leurs prolongements, qui sont les rayons calorifiques ou infra-rouges, du côté des grandes longueurs d'onde, les rayons ultra-violets et les rayons X vers les petites.

Maxwell avait prévu l'identité des ondes lumineuses et électriques qui devait être démontrée expérimentalement par Hertz, et par ses successeurs.

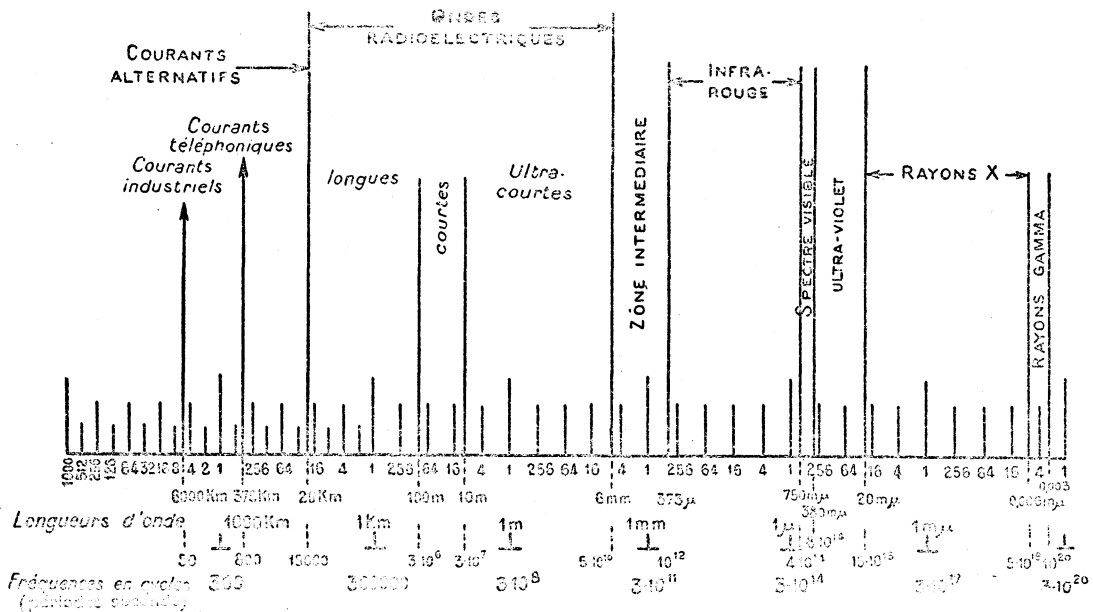


Fig. 11. — L'échelle des vibrations électro-magnétiques, avec leurs longueurs d'onde et leurs fréquences correspondantes.

Les différentes formes d'énergie rayonnante ne diffèrent donc, en principe, les unes des autres que par leur longueur d'onde ; il est même souvent difficile d'établir une distinction très nette entre elles. La gamme des phénomènes vibratoires peut être assimilée à une échelle, dont les échelons seraient les fréquences des vibrations, et dont la portée couvrirait plus de 64 octaves, dans l'ordre bien connu ; vibrations mécaniques, sons, ondes électriques, ondes calorifiques, ondes lumineuses, radiations ultra-violettes, rayons X, radioactivité.

La figure 11 représente schématiquement une partie de cette vaste échelle relative aux vibrations électro-magnétiques, avec indication des longueurs d'onde et des fréquences correspondantes.

Dans le cas des ondes électriques et lumineuses, la vitesse de propagation est approximativement de 300.000 kilomètres, soit 3×10^{10} centimètres par seconde ; la longueur d'onde varie de quelques centimètres à quelques milliers de mètres dans le cas de la radiophonie. La longueur d'onde étant très faible dans le cas des rayons lumineux, calorifiques, ou radioactifs, on la mesure en microns, ou millièmes de millimètre.

La continuité de cette vaste échelle des ondes est assurée d'une manière presque absolue, à l'heure actuelle, en particulier en ce qui concerne la jonction entre les ondes électriques, et les ondes calorifiques infra-rouges.

En 1911, Rubens et Von Bayer mirent en évidence des radiations infra-rouges d'une longueur de $3,2 \times 10^{-3}$ centimètres, alors que Nichols et Tear pouvaient produire, en 1925, des radiations infra-rouges d'une longueur de l'ordre de $4,20 \times 10^{-3}$ centimètres.

Les mêmes expérimentateurs pouvaient réaliser des ondes hertziennes amorties de l'ordre du millimètre, avec des harmoniques de $2,2 \times 10^{-3}$ centimètres et Mme Glagoleva-Arcadiewa, en 1924, également des oscillations amorties de longueur encore plus courte, de $8,8 \times 10^{-4}$ centimètres. Ainsi, la bande des ondes hertziennes et celle des radiations infra-rouges empiètent largement l'une sur l'autre, et les différentes radiations électromagnétiques peuvent être considérées comme des perturbations analogues ne différant que par leur longueur d'onde.

Classement des ondes électriques. — Les ondes radio-électriques sont caractérisées par leur longueur d'onde, leur fréquence, et leur amplitude. En Europe, on considère plutôt *la longueur d'onde*, alors qu'en Amérique on s'attache plutôt à *la fréquence*. Cette deuxième

méthode paraît plus rationnelle ; il est plus nécessaire de connaître la fréquence à laquelle oscille le circuit de l'émetteur, pour déterminer l'accord du circuit correspondant du récepteur.

On considère également l'amplitude des oscillations initiales, correspondant à la puissance avec laquelle l'onde électrique est transmise dans l'espace ; suivant l'effet produit, les ondes sont perçues avec un système d'égale sensibilité à une distance plus ou moins grande.

Dès les premières expériences de T.S.F., on s'est aperçu qu'il fallait employer des fréquences élevées ; le domaine des fréquences radio-électriques pratiques s'étend environ de 30.000 périodes par seconde à 3 milliards de périodes par seconde, ce qui correspond à des longueurs d'onde de 10.000 mètres à 10 centimètres au minimum.

Les longueurs d'onde sont, pour beaucoup d'usagers ignorants des questions techniques, comme des sortes de « numéros d'ordre » caractérisant chaque émission ; elles présentent pourtant une importance toute spéciale, comme nous le verrons, en ce qui concerne les problèmes de la propagation et de la sélection, c'est-à-dire la séparation des émissions les unes des autres.

En radiophonie européenne, on distingue d'une manière pratique et empirique les *grandes ondes* de 850 à 2.000 mètres environ de longueur, les *petites ondes*, de 195 à 570 mètres environ, et, au-dessous de 100 mètres, 1 ou 2 gammes d'ondes courtes, de 13 à 40 mètres, et de 30 à 90 mètres environ ; ces gammes possèdent déjà des propriétés distinctes, mais, on peut effectuer un classement plus logique qui ne présente pas cependant une valeur absolue et immuable.

On appelle généralement *ondes très longues*, celles dont la fréquence est comprise entre 10 et 100 kilocycles, et dont la longueur varie entre 3.000 et 30.000 mètres.

Les *ondes longues* s'étendraient de 750 à 3.000 mètres, avec une fréquence correspondante de 100 à 400 kilocycles. Au-dessous, on trouve les *ondes moyennes*, de 200 à 750 mètres, d'une fréquence de 400 à 1.500 kilocycles, puis les *ondes intermédiaires* de 100 à 200 mètres, d'une fréquence de 1.500 à 3.000 kilocycles.

Les *ondes courtes* sont comprises entre 10 et 100 mètres, avec une fréquence de 3.000 à 30.000 kilocycles, les *ondes très courtes*, entre 5 à 10 mètres, avec une fréquence de 30.000 à 60.000 kilocycles, et, enfin, les *ondes ultra-courtes* sont les ondes inférieures à 5 mètres, c'est-à-dire d'une fréquence supérieure à 60.000 kilocycles.

Le Comité Consultatif International des Communications Radio-Électriques a également établi la classification suivante :

Fréquence en Kc/s	Longueur d'onde en mètres	Classification
100	3.000	Ondes longues.
1.500	200	Ondes moyennes.
6.000	50	Ondes intermédiaires.
30.000	10	Ondes courtes. Ondes très courtes.

Les différences de classification n'ont évidemment qu'une valeur très relative, car leur réglementation varie souvent. Il est plus important de connaître les différences de propagation de ces différentes ondes suivant leurs longueurs, qui sont exposées plus loin.

Il n'y a pas seulement des ondes hertziennes produites artificiellement pour obtenir des liaisons sans fil à grande distance, il y a eu des *phénomènes radioélectriques naturels* depuis le commencement du monde, mais les hommes ne possédaient pas les détecteurs nécessaires pour les mettre en évidence.

Les *bruits parasites*, qui viennent troubler l'audition des radio-concerts, proviennent d'ondes électriques irrégulières produites par des phénomènes naturels : orages, chutes de neige ou de grêle, tempêtes, etc. Quant aux parasites industriels, ils sont produits par les machines électriques de toutes sortes, à distance plus ou moins grande du récepteur.

Constitution des ondes hertz'ennes. — Les ondes élastiques ne prennent naissance qu'à la suite d'un choc brusque ou d'un mouvement alternatif rapide. De même, des oscillations peu rapides dans un circuit électrique ne peuvent permettre d'engendrer des ondes hertziennes ; nous avons déjà noté ce fait à propos des premières expériences de Hertz.

Les ondes élastiques sont arrêtées par les obstacles matériels ; les ondes sonores, en particulier, ne peuvent se propager dans le vide. Les ondes électriques traversent, au contraire, la plupart des obstacles non métalliques, tels que les murs des habitations, une épaisseur de terre ou d'eau ; elles se propagent dans le vide, comme les ondes lumineuses,

bien qu'elles ne puissent facilement dépasser, pour des raisons particulières étudiées plus loin, les zones élevées de l'atmosphère.

Les physiciens ont ainsi été amenés à faire l'hypothèse de la présence d'un milieu immatériel, *l'éther*, infiniment élastique, infiniment conducteur, qui remplirait tous les corps, et même le vide, et permettrait la transmission sous forme d'ondes de l'énergie radio-électrique. Cette hypothèse est commode, mais elle est souvent abandonnée par les savants modernes.

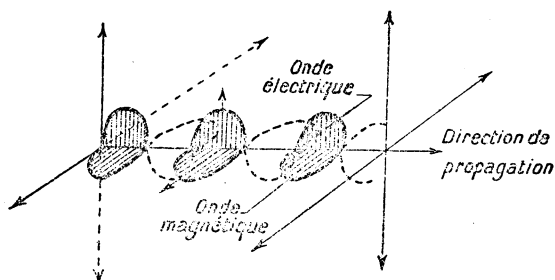


FIG. 12. — Constitution de l'onde électro-magnétique.

Les radiations radioélectriques ne sont donc pas arrêtées normalement par les phénomènes atmosphériques, tels que brouillard, pluie, etc., comme les rayons lumineux.

Comment agit l'onde radio-électrique à distance ? — Les actions réciproques des courants et des champs magnétiques peuvent lui être également appliquées.

Une onde radioélectrique, ou électro-magnétique, se compose, en réalité, suivant la théorie classique, de deux ondes : une *onde électrique* polarisée qui se propage dans un plan vertical, et une *onde magnétique* qui se propage dans un plan horizontal, l'action électrique produisant nécessairement une action magnétique, et inversement. L'onde électrique est donc liée à l'onde magnétique ; les champs sont synchrones, s'annulent en même temps, et atteignent en même temps leur valeur maximum (fig. 12).

La direction des phénomènes est toujours indiquée par la règle dite « des trois doigts » de « Fleming » déterminant le sens du courant électrique, du flux magnétique, et du mouvement résultant. Le pouce, l'index et le médius de la main gauche étant dirigés suivant les trois arêtes d'un cube, le pouce est orienté dans le sens de la force électrique

verticale, le médius dans le sens de la force magnétique horizontale, et l'index dans la direction horizontale de la propagation de l'onde. *L'action à distance des ondes est ainsi une généralisation des phénomènes d'induction de Faraday.*

Il se produit dans l'antenne du poste émetteur un courant alternatif de haute fréquence déterminant dans l'espace un mouvement vibratoire particulier, se propageant sous forme d'ondes en s'éloignant de l'émetteur avec une grande vitesse ; au fur et à mesure de la distance, par suite des absorptions diverses, il se produit une perte d'énergie plus ou moins considérable.

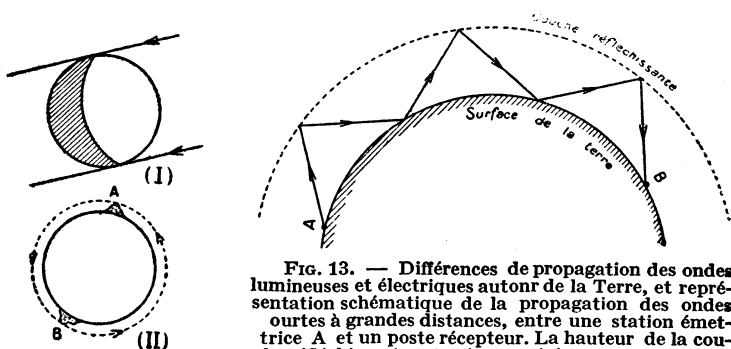


FIG. 13. — Différences de propagation des ondes lumineuses et électriques autour de la Terre, et représentation schématique de la propagation des ondes courtes à grandes distances, entre une station émettrice A et un poste récepteur. La hauteur de la couche réfléchissante est très exagérée par rapport aux dimensions de la Terre.

Le champ électro-magnétique peut être étudié en mesurant la force électro-motrice produite par lui le long d'un élément de conducteur rectiligne. L'évaluation se fait en volts par mètre, ou plutôt en millivolts et microvolts par mètre. En radiophonie, la limite des bonnes réceptions correspond à des valeurs de 1 à 10 millivolts par mètre, à la campagne ou à la ville ; un champ très fort correspond à 30, ou 40 millivolts par mètre.

Propagation des ondes hertziennes. — Malgré leurs analogies, les radiations électriques ne se propagent pas, en général, comme les radiations lumineuses. La lumière se propage en ligne droite, et ne suit pas la courbure de la terre ; c'est à cette propriété qu'est dûe, par exemple, la formation des zones terrestres éclairées par le soleil ou restant dans l'ombre, dans la succession des jours et des nuits.

On reçoit au contraire, aisément des messages provenant d'émet-

teurs de T.S.F. situés aux antipodes ; il faut bien en déduire que les ondes électriques suivent la surface de la terre, et ne se propagent pas en ligne droite (fig. 13 A).

Avant l'emploi des ondes courtes, on attribuait ce fait à la grande longueur des ondes employées ; on comparait celles-ci aux ondes sonores contournant des obstacles de grandes dimensions. Pour expliquer la facilité avec laquelle elles contournent les montagnes, on faisait intervenir des *effets de diffraction* comparables à ceux qu'on constate pour la lumière avec de très petits écrans, en se basant sur l'identité des ondes hertziennes et lumineuses.

Propagation à la surface de la terre. — La première théorie de la propagation des ondes sur un sol plan et bon conducteur est due à André Blondel, qui l'a exposée en 1903. Ce savant a montré que la majeure partie de l'énergie rayonnée est envoyée dans une direction peu inclinée à la surface du sol, et continue à la suivre, par suite de la conductibilité électrique de la Terre ; l'énergie recueillie est en raison inverse du carré de la distance.

La terre n'est pas parfaitement conductrice, en pratique ; il en est de même de l'eau de mer ; les ondes pénètrent dans l'épaisseur de la terre d'autant plus profondément que le sol est moins conducteur ; ce phénomène entraîne des pertes d'énergie, et une inclinaison du champ électrique dans le sens de la propagation.

L'affaiblissement variant avec la pénétration des ondes n'est pas le même suivant la longueur d'onde. *La pénétration est surtout sensible pour les grandes longueurs d'onde* ; elle diminue rapidement pour les ondes courtes. L'eau de mer n'est très conductrice que pour les ondes de plus de 130 mètres de longueur ; la terre humide ne l'est qu'au-dessus de 830 mètres. Si le sol est très conducteur, il absorbe les ondes très superficiellement, et les réfléchit presque complètement. Pour une longueur d'onde de 1.600 mètres, la pénétration est de 80 mètres dans un sol mauvais conducteur, et de 2 mètres seulement dans l'eau de mer ; les ondes longues peuvent être reçues par des sous-marins en plongée, même à 10 mètres de la surface.

Les courants à la surface de la terre, localisés dans une couche mince, rencontrent une grande résistance ; la perte en chaleur est augmentée et *les ondes se propageant le long du sol sont d'autant plus affaiblies qu'elles sont plus courtes.*

Au moment où l'on supposait que la conductibilité du sol assurait uniquement la propagation des ondes hertziennes, on pouvait considérer les ondes longues comme seules capables d'assurer les transmissions à grande distance.

Les études systématiques du physicien Austin entreprises dès 1909 avaient amené l'établissement d'une célèbre formule semi-empirique rendant suffisamment compte des conditions de propagation dans l'état technique de l'émission, à l'époque. C'est en s'appuyant sur elle que les techniciens ont eu pendant de nombreuses années, que seules les ondes longues assurèrent des radio-communications régulières.

Malgré les travaux de nombreux précurseurs, ce sont surtout les essais entrepris en 1912-1913, grâce aux concours des amateurs américains et européens, pour tenter des essais de transmission transatlantique, au moyen d'ondes de l'ordre de 100 mètres, qui démontrèrent l'inexactitude de cette hypothèse.

Ondes de surface et ondes d'espace. — Le développement prodigieux des résultats obtenus avec des ondes de longueurs de plus en plus courtes a prouvé qu'il ne suffisait pas de baser les théories de la propagation des ondes électriques sur l'influence du sol terrestre ; les ondes courtes doivent nécessairement, pour parvenir à de longues distances, suivre dans l'atmosphère des trajets fort éloignés de la surface du globe ; on a été amené ainsi à étudier *le rôle de l'atmosphère dans la propagation.*

On considère donc actuellement que la transmission radio-électrique est due à deux sortes d'ondes : les ondes directes ou *ondes de surface* et les ondes indirectes ou *d'espace* se propageant dans l'atmosphère.

Les ondes de surface glisseraient le long de la surface terrestre, suivant les hypothèses précédentes, et subiraient une absorption d'autant plus rapide que leur longueur serait plus courte ; de là, leur importance dans la propagation des émissions sur ondes longues.

Les ondes d'espace seraient transmises vers l'atmosphère sous un angle plus ou moins grand suivant la longueur d'onde, mais seraient renvoyées vers le sol, par suite de la présence à une grande altitude, de l'ordre de plusieurs centaines de kilomètres, d'une ou plusieurs *couches ionisées* parallèles à la surface de la Terre, bonnes conductrices de l'électricité. Une radiation hertzienne atteignant une surface conductrice de grandes dimensions par rapport à la longueur d'onde est réfléchi. La réflexion se produit, d'ailleurs, en général, à la surface de séparation

de deux milieux, d'indices de réfraction différents ; cette variation de l'indice de réfraction est en correspondance avec l'ionisation de l'atmosphère, mais elle est assez progressive, et non brutale.

Les ondes hertziennes qui atteignent la couche ionisée de l'atmosphère ne peuvent donc y pénétrer profondément, en général, et sont renvoyées vers la terre, mais il ne s'agit pas d'une réflexion précise, comme celle déterminée par un véritable miroir.

Les ondes se propagent donc dans une sorte de tunnel, dans des couches d'air médiocrement conducteur, entre la terre conductrice et la couche ionisée de la haute atmosphère, par réflexions successives, en progressant, en quelque sorte, en zig zag autour du globe terrestre (fig. 13 B).

On donne généralement le nom de *couche de Kennely Heaviside* à la zone ionisée où se fait la réflexion des ondes, bien qu'il ne s'agisse pas d'une couche très nette et de faible épaisseur ; il se produit, en réalité, une suite de réflexions ou de réfractions progressives, et l'on peut croire qu'il n'y a pas seulement une seule couche, mais plusieurs, dont la constitution et la hauteur au-dessus du sol dépendent de facteurs atmosphériques ou astronomiques, divers et complexes.

L'importance de l'onde de surface et l'inclinaison des rayons d'espace sur la surface de la terre dépendent essentiellement de la longueur d'onde de l'émetteur ; suivant cette caractéristique, les conditions de la propagation varient dans de très grandes proportions.

Si les rayons hertziens ne sont pas assez inclinés, ils peuvent être perdus dans l'espace ; seule, l'énergie envoyée dans l'atmosphère en direction très inclinée est utile. Le classement entre les différentes longueurs d'onde doit être complété par un classement correspondant des conditions de propagation.

Irrégularités de propagation. Zones de silence. — Les ondes hertziennes, quelle que soit leur longueur d'onde, ne se propagent pas d'une façon constante suivant les conditions géographiques et atmosphériques, suivant également l'heure de la journée ou la saison ; ces variations sont plus marquées pour les ondes courtes ou même moyennes de longueur inférieure à 600 mètres environ.

L'onde de surface se transmet à la surface de la terre, dans un rayon plus ou moins grand ; elle est peu à peu arrêtée par les obstacles, d'autant plus rapidement que la puissance de l'émetteur est moins grande ; les ondes d'espace se propagent, au contraire, vers les couches élevées de

l'atmosphère, et vont se réfléchir plus ou moins complètement, ou se réfracter, sur la couche ionisée de l'atmosphère ; suivant l'angle d'incidence, (fig. 14).

L'angle d'incidence varie suivant la longueur d'onde, et on trouve toujours un rayon ayant l'inclinaison limite pour permettre une réflexion sur la couche ionisée. Ce rayon vient toucher la terre, pour la première fois, en un certain point ; la distance séparant ce point de l'emplacement de la station s'appelle *la distance de saut*.

Dans une zone autour de l'émetteur, variable suivant la longueur d'onde, on peut recevoir uniquement les ondes de surface, dont l'intensité varie généralement relativement peu ; au delà de cette région, et jusqu'à celle où les premiers rayons hertziens réfléchis par la couche ionisée peuvent parvenir, aucune réception n'est possible en pratique. Cette *zone de silence* a une étendue variant suivant la longueur d'onde l'heure, et la saison.

Pour une longueur d'onde de l'ordre de 40 mètres, la distance de saut est de l'ordre de 275 kilomètres ; elle est d'autant plus grande que la longueur d'onde

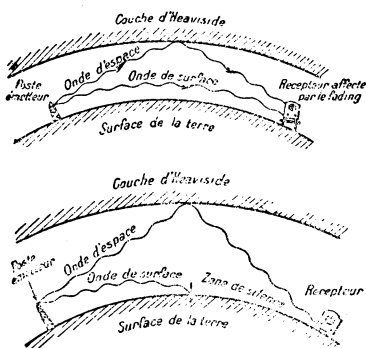
FIG. 14. — Propagation des ondes à différentes distances d'un émetteur. (Cliché La Nature).

diminue. *Les ondes courtes sont donc destinées, en principe, aux transmissions à grande distance, et non à distance moyenne.*

La variation de propagation de jour et de nuit, est encore plus nette et plus générale, et semble indiquer combien l'influence de la haute atmosphère est prépondérante.

L'onde d'espace traversant des régions ionisées perd d'autant plus d'énergie que l'ionisation est plus grande, c'est-à-dire plus le jour que la nuit, et l'été que l'hiver. La hauteur des couches réfléchissantes et leur composition varient également le jour et la nuit, et le phénomène diffère suivant la longueur d'onde.

L'intensité de réception est fonction des conditions météorologiques et des saisons ; il importe surtout de connaître les longueurs d'onde les plus favorables pour obtenir une transmission régulière dans une direction, et à une distance déterminées. Il devient nécessaire ainsi, pour les



postes à ondes courtes, de pouvoir disposer d'au moins deux longueurs d'onde différentes, l'une la plus élevée, pour la nuit, et l'autre pour le jour.

Le fading. — Le *fading*, mot anglais qui signifie *évanouissement*, est un phénomène connu de tous les auditeurs de T.S.F. et qui se traduit par une modification continue de l'intensité de réception des émissions lointaines, et spécialement des émissions sur ondes courtes.

Cette variation d'intensité rend plus ou moins difficile la compréhension de la parole et de la musique ; l'audition peut tomber au-dessous du niveau audible, et des effets sélectifs éliminent certains sons. Le phénomène est généralement irrégulier ; la variation ne reste pas constante pour l'écoute d'une même station, suivant les heures de la journée et les saisons.

La forme du fading dépend surtout de la longueur d'onde de l'émission, et de la distance du poste récepteur, de l'heure de la journée, des caractéristiques de l'antenne, et des conditions atmosphériques.

Le fading n'est pas sensible à peu de distance d'un émetteur ; il devient très marqué dans une certaine zone, puis, à grande distance, semble diminuer, et, généralement, la fréquence des variations augmente en même temps que la longueur d'onde diminue. A une distance souvent assez grande, de l'ordre de plusieurs centaines de kilomètres, d'un poste à ondes longues, on ne constate pourtant généralement pas de fading.

Le phénomène semble dû encore aux variations de propagation des ondes hertziennes traversant la haute atmosphère, et se réfléchissant sur les couches ionisées.

Dans une zone plus ou moins étendue autour de l'émetteur, on reçoit uniquement des *ondes de surface*, dont l'intensité ne varie guère, et il n'y a pas de fading ; dans une zone plus éloignée, on reçoit *en même temps* l'onde de surface et l'onde d'espace. Les rayons directs et réfléchis n'ont pas parcouru le même chemin pour parvenir au récepteur, et sont plus ou moins décalés. Leurs actions s'additionnent ou se retranchent ; il en résulte une augmentation ou une diminution de l'intensité de réception (fig. 14).

Ces variations ne demeurent pas constantes pour un même récepteur, car la couche réfléchissante n'est pas un système réflecteur stable, et indéformable ; elle est soumise constamment à des petites modifications plus ou moins marquées, suivant les conditions journalières ou saisonnières de l'activité solaire. Le phénomène est encore compliqué

par les effets mutuels des rayons réfléchis sur la couche ionisée, dont l'action ne concorde pas également, par suite du décalage des trajets suivant l'angle d'incidence.

Effet Luxembourg. — En principe, les émissions sur grandes ondes, au-dessus de 1.000 mètres de longueur, ne présentent pas d'effets de fading, et leurs conditions de réception diffèrent peu de jour et de nuit. On a cependant observé, sur plusieurs émissions de cette gamme et, en particulier, sur celle de *Radio Luxembourg*, des phénomènes perturbateurs constitués par des évanouissements très rapides, accompagnés de distorsion, des perturbations mutuelles d'émissions de longueurs d'onde voisines, quelles que soient les qualités du récepteur.

Cet effet particulier n'est observé généralement que la nuit, et en présence de l'émission d'une autre station ; on l'attribue encore à des phénomènes d'ionisation de l'atmosphère variant sous l'action d'une émission puissante à ondes longues.

Classification des ondes radio-électriques. — Il importe de connaître les conditions de propagation des ondes longues, moyennes, courtes et ultra-courtes.

Il convient de distinguer d'abord, en radioponie, les ondes longues au-dessus de 1.000 mètres ; pour des distances qui peuvent aller jusqu'à 1.000 kilomètres, c'est l'onde de surface qui joue alors le rôle essentiel.

La régularité de propagation est donc très grande, les zones de silence exceptionnelles, les effets de fading peu sensibles. Quelle que soit l'heure de la journée ou de la nuit, il y a normalement peu de modifications d'intensité ; par contre, il faut une énergie suffisante, et souvent très importante, pour permettre la réception à grande distance.

Celle-ci est également gênée plus spécialement par les perturbations parasites atmosphériques et industrielles se propageant plus fortement sur cette gamme. Dans les colonies, en particulier, les perturbations atmosphériques peuvent devenir assez intenses pour empêcher toute audition ; les émissions sur grandes ondes ne conviennent donc pas aux régions tropicales, et, en général, aux transmissions à très grande distance.

Considérons maintenant les ondes moyennes, appelées, en pratique, les petites ondes, de 200 à 1.000 mètres. On peut distinguer une zone de réception dans laquelle l'onde de surface est prépondérante, et qui s'étend à une distance variant suivant la longueur d'onde, la puissance de l'émetteur, et la nature géographique de la région. Dans cette zone,

plus importante le jour que la nuit, et qui peut atteindre quelques centaines de kilomètres, les variations sont peu importantes, mais ainsi la transmission à grande distance est peu parfaite.

Au delà de cette zone de réception directe, se trouve une zone de silence plus ou moins marquée, et au delà plus très étendue dans laquelle se combinent les ondes multiples réfléchies sur la croûte ionisée, et même quelquefois de ce genre, du moins pendant la nuit. On constate des variations d'intensité plus ou moins importantes, en particulier, le phénomène du *fading*.

Les phénomènes sont beaucoup plus nets lorsque la longueur d'onde diminue, et une audition parfaitement régulière et constante, de jour et de nuit, ne peut ainsi être obtenue au-delà de l'émetteur, qu'à une distance relativement faible. En outre, les transmissions à grande distance, principalement de nuit, deviennent beaucoup plus troubles avec une puissance émettrice plus faible. L'intensité des perturbations est moins gênante, et la sélection est plus aisée, pour les différentes émissions de plus en plus faibles.

Cette gamme est donc utilisable essentiellement pour les émissions de radiodiffusion.

Les *ondes courtes* de longueur inférieures à 100 mètres, et s'étendant jusqu'à une distance de mètres présentent les mêmes caractéristiques de propagation, mais d'une manière beaucoup plus marquée. La zone d'action directe autour de l'émetteur est de plus en plus réduite, de sorte qu'il se produit des zones de silence, souvent notables, dans un rayon de quelques dizaines de kilomètres, tandis que la réception à très grande distance peut être très intense.

L'onde d'espace doit être à peu près seule considérée, et, dans ces conditions, seules les transmissions à grande et à très grande distance, deviennent satisfaisantes. Les émetteurs correspondants, dont la longueur d'onde s'étend, en radiodiffusion, de 13 à 70 mètres environ, sont donc destinés essentiellement aux transmissions à grande distance, en particulier, dans les pays d'outre-mer.

Pour assurer une propagation régulière, de jour et de nuit, il est indispensable que l'émetteur ait à sa disposition *au moins* deux longueurs d'onde à volonté, en raison du caractère variable du résultat obtenu ; les phénomènes de *fading* sont souvent intenses et rapides, mais l'action des perturbations atmosphériques est très faible, et la sélection des émissions de plus en plus facile, c'est-à-dire qu'on peut mettre en ser-

vice un grand nombre d'émetteurs sans risquer qu'il se produise des *brouillages* empêchant les réceptions.

Enfin, les *ondes très courtes* ont une longueur inférieure à 8 ou 10 mètres, et, en principe, l'onde d'espace ne se réfléchit plus, dans ces conditions, sur la couche ionisée. Il n'y a plus à considérer qu'une transmission directe, et, suivant des conditions très particulières qui se rapprochent de plus en plus des conditions de propagation des rayons lumineux, lorsque la longueur d'onde diminue.

En principe, il est nécessaire que l'émetteur et le récepteur demeurent dans des conditions de visibilité optique, et ces ondes sont dites « quasi lumineuses » ; il ne faudrait pourtant pas attribuer à ces règles une valeur trop absolue, et certaines exceptions, récemment démontrées, font prévoir des découvertes ultérieures à ce sujet.

Il est déjà possible *de diriger* les ondes courtes de la gamme de 12 à 70 mètres dans des directions déterminées, ce qui augmente les qualités de transmission à égalité de puissance. Cette direction des ondes s'obtient encore plus facilement avec ces ondes très courtes « quasi-optiques » qu'on peut concentrer avec des systèmes projecteurs, comme des rayons lumineux. On peut ainsi obtenir des transmissions dans un rayon de l'ordre d'une centaine de kilomètres, avec des puissances extrêmement faibles, de l'ordre du watt. De même, il devient possible d'établir des radio-communications, avec des appareils très réduits et portatifs.

Par contre, même en augmentant la puissance, il est impossible, en théorie, d'augmenter le rayon de transmission au delà de la zone de visibilité optique ; les ondes très courtes sont donc spécialement destinées à des transmissions à courte distance, et à des usages particuliers, tels que la diffusion d'images animées, en télévision directe ou en télécinématographe. La sélection des différentes émissions devient encore beaucoup plus facile.

Parasites atmosphériques. — Des ondes hertziennes produites par des phénomènes naturels, ou *parasites atmosphériques*, viennent souvent troubler les auditions. Leur importance diffère suivant les saisons, les heures de la journée, et la latitude ; elles sont généralement plus sensibles l'été que l'hiver, et moins intenses dans les pays tempérés ; elles ne présentent aucun caractère de périodicité et de régularité, et correspondent généralement à des phénomènes atmosphériques d'observation facile.

Les chutes de neige ou de grêle se manifestent dans les récepteurs

par des bruissements, les décharges orageuses par des claquements ou des grincements. Il y a, en général, plus de parasites dans la journée que la nuit, et la plupart paraissent provenir d'une direction déterminée (fig. 15).

On peut distinguer, tout d'abord, les perturbations provoquées par les orages dans le rayon d'action de la station réceptrice, mais les perturbations provoquées par les décharges atmosphériques se transmettent à assez grande distance. Toutes les variations de l'état électrique

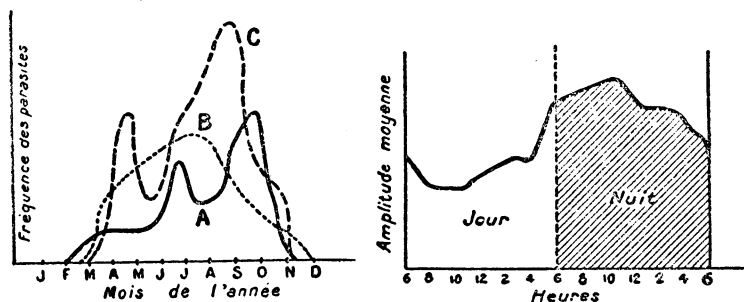


FIG. 15 — Fréquence des parasites dans les différents mois de l'année, et variation d'intensité suivant les heures de la journée. A, parasites d'intensité moyenne B, forte. C, très forte.

de l'atmosphère, mouvements cycloniques, aurores boréales, levers et couchers de soleil, produisent des parasites par électrisation de masses d'air en mouvement. Les mois d'hiver sont particulièrement calmes en Europe ; les perturbations plus gênantes en été qu'en automne.

Les nuages électrisés déterminent des bruissements et les radiations provenant des zones supérieures de l'atmosphère se traduisent par des roulements continus. Toutes ces perturbations sont plus intenses la nuit que le jour, et augmentent avant le coucher du soleil.

Conditions générales de réception des ondes radiophoniques.

— *De jour*, les émissions sur grandes ondes, supérieures à 1.000 mètres, sont reçues régulièrement, et l'affaiblissement est progressif suivant la distance ; l'affaiblissement avec la distance, à puissance égale, devient beaucoup plus rapide pour les ondes courtes. L'écoute à une distance supérieure à 300 kilomètres, devient difficile, même pour les longueurs d'onde de l'ordre de 300 mètres. On constate seulement avec les ondes longues un affaiblissement notable pour les stations très lointaines.

Pour les petites ondes, au-dessus de 600 mètres, les conditions deviennent très différentes *de nuit* et un renforcement très net se produit dès le coucher du soleil. La variation est plus sensible au delà de la

distance de réception directe de l'onde de surface, c'est-à-dire au delà de quelques centaines de kilomètres. L'audition n'est pas stable, cependant ; comme nous l'avons montré, elle est affectée du fading, et l'on note la formation de zones de silence.

Tout en restant très régulière *de nuit*, la réception des émissions sur grandes ondes peut cependant présenter quelques variations, du moins pour les stations très éloignées.

Les effets de réception de jour et de nuit, pour les *ondes courtes*, de 13 à 70 mètres, varient suivant la gamme considérée. Pour les longueurs inférieures à 20 mètres, la réception est régulière lorsque le trajet est éclairé ; sur la gamme de 20 à 30 mètres, la propagation s'effectue sur un trajet en partie dans l'ombre et en partie éclairé, et, enfin, pour les longueurs d'onde supérieures à 30 mètres, la réception de nuit est normalement possible.

La zone de réception directe, dans laquelle l'intensité diminue progressivement, est très réduite ; puis, on trouve une zone de silence, et, enfin, la zone de réception normale à grande distance, dans laquelle on constate les phénomènes déjà notés de fading et de scintillation.

Quant aux ondes *très courtes* et *ultra courtes*, leur propagation est essentiellement locale, comme nous l'avons expliqué ; par conséquent, les variations de réception sont normalement beaucoup moins nettes, et dépendent essentiellement des conditions géographiques, plutôt qu'atmosphériques.

Ces indications ne sont, d'ailleurs, pas absolues ; elles varient, surtout pour les ondes courtes, en fonction des saisons, et même des années, en suivant les variations de conditions astronomiques, les taches du soleil ayant, en particulier, une influence qui paraît très grande. Il y a ainsi de « bonnes années » pour la réception des ondes courtes, et d'autres qui sont moins favorables.

CHAPITRE III

LES COLLECTEURS D'ONDES

Tout récepteur de T.S.F. comporte différents organes indispensables :

1^o *Le collecteur d'ondes* est soumis à l'action des ondes hertziennes transmises par le poste émetteur ;

2^o L'énergie recueillie par ce collecteur d'ondes est *filtrée*, de manière à laisser passage seulement aux oscillations à haute fréquence provenant du poste émetteur choisi, et à éliminer les autres n'ayant qu'un effet gênant sur la réception. Ce résultat est obtenu dans un *dispositif d'accord* ;

3^o L'énergie, convenablement filtrée, est transmise au *récepteur proprement dit*, qui l'amplifie et la transforme, de manière à produire des oscillations électriques à fréquence musicale ;

4^o Ces oscillations, dites à basse fréquence, déterminent dans le *haut-parleur* des vibrations mécaniques transmises à un diffuseur. Celui-ci, à son tour, met en vibration les couches d'air avoisinantes et produit ainsi des ondes sonores reconstituant les sons produits dans le studio de l'émetteur devant le microphone de transmission.

Rôle et fonctionnement du collecteur d'ondes. — L'onde électrique est liée à l'onde magnétique, l'onde électrique étant verticale, et l'onde magnétique horizontale, les forces étant dirigées toutes deux dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation.

D'une manière très élémentaire, on peut considérer la transmission des ondes électriques entre l'antenne du poste émetteur rayonnant les oscillations électriques à haute fréquence, et le collecteur d'ondes du récepteur, comme due à des phénomènes d'induction statique et d'induction magnétique.

Une antenne d'émission peut être considérée, en principe, comme formée par une nappe de fils conducteurs isolés tendus à grande hauteur au-dessus du sol, et reliés au poste émetteur par des conducteurs verticaux, ou *descente d'antenne*.

Pendant la transmission, la descente d'antenne est parcourue par un courant électrique intense, tandis que la nappe des fils conducteurs est portée à une tension électrique élevée par rapport à la terre. Le poste émetteur, est, d'autre part, réuni à la terre.

La nappe d'antenne peut être considérée, vis-à-vis de la terre, comme une armature d'un condensateur électrique rayonnant des ondes élec-

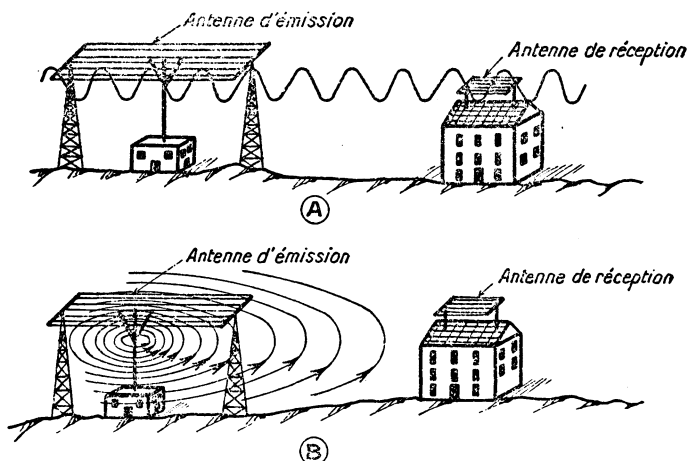


FIG. 16 — La nappe de l'antenne d'émission produit des ondes électriques verticales (en A), tandis que la base de l'antenne transmet des ondes magnétiques horizontales (en B)

triques verticales, et la descente d'antenne peut être comparée d'une manière élémentaire à un transformateur produisant des ondes magnétiques horizontales.

En agissant sur le récepteur, les ondes électriques verticales et les ondes magnétiques horizontales ainsi formées vont produire des effets correspondants sur des organes analogues.

Le collecteur d'ondes du récepteur peut également être formé par une nappe de fils isolés placés à une certaine hauteur au-dessus du sol, le récepteur étant, d'autre part, relié à la terre. L'onde électrique provoque sur cette nappe d'antenne un effet d'induction électrostatique ;

l'antenne réceptrice peut donc être considérée, en quelque sorte, comme la deuxième armature d'un condensateur, dont la première est formée par la masse des fils de l'antenne d'émission (fig. 16).

De même, les ondes magnétiques horizontales produites par la descente d'antenne de l'émetteur déterminent un effet d'induction magnétique dans la descente de l'antenne de réception, formant comme le secondaire d'un transformateur, dont le primaire est constitué par la descente d'antenne de l'émetteur (fig. 16 B).

Suivant la forme et la disposition du collecteur d'ondes utilisé à la réception, les effets électriques et magnétiques sont plus ou moins importants les uns vis-à-vis des autres, et il existe, en fait, deux catégories générales de collecteurs d'ondes : *les antennes* et *les cadres*.

Une antenne est formée par un réseau de fils isolés placés à une hauteur plus ou moins élevée au-dessus du sol, et complétée par une *prise de terre*, c'est-à-dire un conducteur reliant le poste récepteur à une masse métallique en relation avec la terre ou une canalisation d'eau.

Un cadre est formé par un bobinage vertical de grandes dimensions dont les extrémités sont réunies au récepteur ; avec le cadre, il n'est pas besoin normalement d'employer une prise de terre.

Les antennes comportant une nappe horizontale formée d'un assez grand nombre de fils, et une descente courte, peuvent être considérées presque uniquement comme une armature d'un condensateur ; l'effet d'induction électrostatique est alors essentiel, ce qui explique pourquoi le système présente peu de caractère directif.

Pour une antenne verticale, l'effet d'induction magnétique est prépondérant, et on peut obtenir, en particulier, des effets directifs à l'aide de réflecteurs convenables. Toute antenne possède un coefficient de self-induction, une capacité, et une résistance propres.

Pour *la réception sur cadre*, l'induction magnétique agit seule, l'enroulement du cadre pouvant être considéré comme le secondaire d'un transformateur. C'est pourquoi, le plan du cadre doit être vertical, et un enroulement traversé par le flux des lignes de force du champ magnétique. Il faut donc que le plan du cadre soit orienté dans la direction de propagation des ondes, vers le poste émetteur, de façon à être perpendiculaire à la direction de la force magnétique, sans quoi les deux branches verticales de l'enroulement seraient à la même tension ; *le cadre est ainsi un dispositif directif* (fig. 17).

Nécessité du collecteur d'ondes en radiophonie. — Les ondes radiophoniques parviennent au récepteur après un trajet plus ou moins

long et irrégulier ; une partie extrêmement faible de l'énergie initiale est recueillie utilement, et permet, après amplification et transformation, d'actionner le haut-parleur.

L'énergie finale nécessaire est, en réalité, empruntée aux sources d'alimentation du récepteur ; l'énergie radiophonique initiale permet seulement la mise en action de cette force locale, mais ce déclenchement ne peut s'effectuer dans de bonnes conditions *que si le signal reçu a une intensité suffisante.*

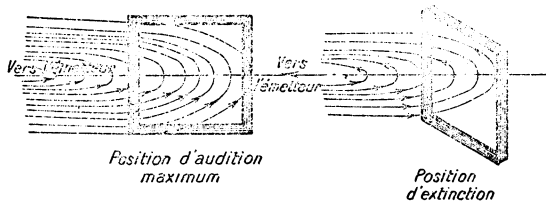


FIG. 17 — L'induction des forces magnétiques sur un cadre de réception ne se produit que si le plan vertical du cadre est orienté dans la direction de propagation, c'est-à-dire vers le poste émetteur.

Quels que soient les perfectionnements du récepteur, il est indispensable de recueillir à l'entrée de l'installation une énergie minimum à l'aide du collecteur d'ondes. Ce dernier ne sert pas seulement dans ce but ; son action est plus complexe ; *il permet d'assurer plus ou moins l'élimination des perturbations, et la qualité musicale de l'audition.*

Avec un collecteur d'ondes de fortune, il est possible, à l'aide d'un récepteur sensible d'obtenir des réceptions d'intensité sonore suffisante, mais ce résultat ne peut être normalement atteint qu'à la campagne, ou dans une ville où il n'existe pas trop d'installations industrielles.

Si l'on emploie une antenne de fortune, l'énergie recueillie est plus ou moins importante, mais les perturbations parvenant au récepteur sont également importantes, et sont « mélangées » aux signaux utiles ; tous les perfectionnements du récepteur ne pourront éviter cet inconvénient, et *la qualité de réception dépend ainsi de la qualité du collecteur d'ondes.*

Il faut, en outre, pouvoir éliminer les émissions gênantes ; la qualité correspondante de l'installation s'appelle *la sélectivité.* Cette qualité dépend essentiellement du récepteur employé ; mais, *l'influence de l'antenne n'est pas non plus négligeable.*

Différentes formes d'antennes. — Les différents types d'antennes sont : l'*antenne extérieure*, comportant un réseau de fils isolés extérieurs à la maison, l'*antenne intérieure*, réseau de fils isolés dans l'appartement et, enfin, l'*antenne de fortune*, masse métallique quelconque plus ou moins bien isolée.

L'*antenne extérieure* doit être employée de préférence ; elle permet de recueillir plus efficacement l'énergie utile, et d'atténuer l'action des perturbations industrielles. C'est elle, pourtant, qui est la plus difficile à établir, du moins dans les villes.

Plus l'antenne est longue, de grande surface, et élevée au-dessus du sol, plus l'énergie recueillie est importante, et plus on peut recevoir les émissions lointaines ou faibles, avec un appareil simple.

Si l'on dispose d'un appareil sensible, installé dans une région où les perturbations industrielles sont peu à craindre, il n'est pas besoin d'une

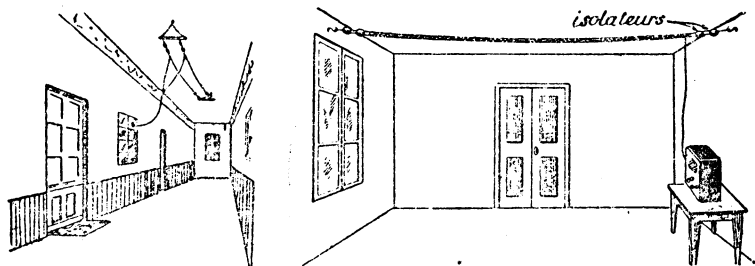


FIG. 18 — Deux types d'antennes intérieures simples.

antenne importante. Par contre, si l'on craint les perturbations, il est toujours recommandable d'avoir recours à une bonne antenne extérieure, de préférence verticale, disposée à une aussi grande hauteur que possible, réunie au récepteur par un câble de descente soigneusement blindé, ou à un type d'antenne anti-parasite.

Antenne intérieure. — L'*antenne intérieure* est réalisée avec du fil de bronze télégraphique, tendu à l'aide d'isolateurs en porcelaine ou en pyrex, et de corde ou de ficelle enduite de paraffine, maintenue à l'aide de pitons fixés dans les murs. On peut également adopter des câbles souples à brins multiples, d'un diamètre de l'ordre de 25/10 de millimètre, des ressorts en boudin, des rubans larges et souples tressés avec des fils de cuivre.

Le câble ou le ruban est tendu en-dessous du plafond, et à une distance de dix centimètres au minimum de celui-ci. On trouve des va-

riantes élégantes et ingénieuses de ces câbles, qui en rendent l'installation plus esthétique, et, au lieu de le tendre simplement entre deux supports, on peut le disposer autour de la pièce ou en diagonale, de façon à augmenter la surface totale, et, par conséquent, la capacité (fig. 18).

L'antenne intérieure est à recommander lorsqu'il n'y a pas à craindre les perturbations parasites violentes, pour la réception des émissions locales, ou avec un poste sensible. Certains appareils très réduits fonctionnent même uniquement en utilisant comme antenne un simple câble de cuivre isolé souple, de quelques mètres de long, étendu à terre, ou le long d'un mur.

L'antenne de fortune. — *L'antenne de fortune*, qui devrait s'appeler plutôt « antenne d'infortune », est constituée par une masse métallique plus ou moins bien isolée, dont la forme et la nature peuvent être très diverses. Les résultats obtenus varient suivant les conditions locales, et seule une expérience directe peut donner une indication sûre.

Le premier modèle d'antenne de fortune à essayer est *un fil du secteur* de distribution électrique ; il suffit, à cet effet, de relier la borne du récepteur d'antenne à un des fils du réseau. Cette liaison ne doit pas être directe, car on risquerait de relier le réseau à la terre, en déterminant un court-circuit et la fusion des plombs de sécurité de l'installation. Il est indispensable d'intercaler un dispositif permettant le passage des ondes radiophoniques, et s'opposant à la transmission du courant continu ou alternatif d'éclairage. Ce dispositif peut être constitué par un condensateur monté en série, de 0,1/1.000 ou 0,3/1.000 de microfarad, essayé au double de la tension du secteur, ou par deux petits bobinages accouplés, dont l'un est réuni au fil du secteur, et l'autre au récepteur ; le dispositif agit par capacité et par induction.

L'adoption d'un fil du secteur comme antenne ne dispense pas de l'emploi d'une prise de terre. On intercale également, le plus souvent dans le câble de prise de terre, un condensateur de sécurité, d'une capacité de l'ordre du microfarad.

La prise de terre elle-même, lorsqu'elle est formée par une masse métallique plus ou moins bien isolée, telle qu'une tuyauterie de chauffage central, peut servir d'antenne de fortune, et, dans ce cas, on n'emploie plus évidemment d'autre prise de terre classique.

Toute masse métallique importante, telle que balcon, poutre métallique, coffre-fort, lit métallique, réseau de fils de sonnerie, suspension

métallique, etc., peut servir, en principe, comme antenne de fortune, avec des résultats très divers.

Un réseau de fils téléphoniques, ou de fils de sonnerie, constitue généralement une antenne de fortune de meilleure qualité, mais l'emploi du réseau urbain est interdit par l'Administration des P.-T.-T., et seule l'utilisation d'un réseau privé peut être envisagée.

Antenne extérieure. — *L'antenne extérieure* est toujours préférable, à condition qu'on la mette à l'abri des brouillages, par sa forme et sa disposition.

L'antenne de balcon constitue un dispositif intermédiaire séduisant, tendu sur un balcon au moyen de deux perches en bambou, à un seul fil ou à plusieurs fils en nappe, isolés par des maillons en porcelaine ou en verre, et des cordes goudronnées ou paraffinées. Le système n'est pas toujours à l'abri des perturbations dans les immeubles des villes.

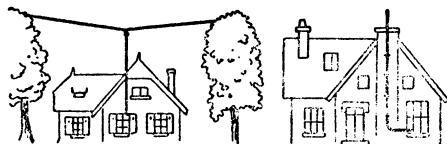


FIG. 19 — Types simples d'antennes verticales.

Si l'on veut éviter les brouillages, il n'est pas nécessaire de donner à l'antenne une forme très spéciale, mais il est indispensable qu'elle soit suffisamment élevée. Le niveau des perturbations ne dépasse pas, en général, deux à trois mètres au-dessus des conducteurs rayonnants : tuyaux de chauffage central, armature métallique, toitures en zinc, circuits téléphoniques, fils de secteur aériens. Les descentes d'antenne présentent, de ce fait une grande importance, en raison de leur niveau peu élevé qui les place dans le champ des brouillages.

Sur certains immeubles, il est difficile d'établir de nombreuses antennes de grande surface ; d'où, l'intérêt des *antennes communes* pouvant être utilisées pour l'alimentation d'un assez grand nombre de récepteurs distincts, et des modèles d'*antenne verticales*, dont il existe de nombreuses variétés, différant surtout par leur facilité plus ou moins grande d'adaptation, plutôt que par leurs qualités radioélectriques (fig. 19).

L'antenne verticale est moins sensible à l'action des perturbations ; on peut ainsi utiliser un brin vertical au milieu d'une cour intérieure d'immeuble et un brin horizontal tendu entre deux parois latérales. Une antenne verticale peut encore être tendue entre une chambre

d'une villa et une branche d'un arbre situé à proximité ; le bras horizontal peut aussi être fixé entre deux arbres. Un mât isolé sur un toit peut également servir de support, et l'antenne verticale est alors constituée par la descente elle-même, formée par un câble isolé descendant dans la cheminée.

On trouve désormais un grand nombre de modèles d'antennes, de formes plus ou moins spéciales, et de type généralement vertical, destinées à être montées sur le toit, au moyen d'un mât de bambou isolé de 5 à 8 mètres de long. Ces antennes sont légères, peu encombrantes et sont placées facilement, le plus souvent, sans l'aide de haultains. On peut citer ainsi l'antenne en parapluie, l'antenne sphérique, l'antenne en tambour, en parachute, l'antenne-cadre, etc. (fig. 20).

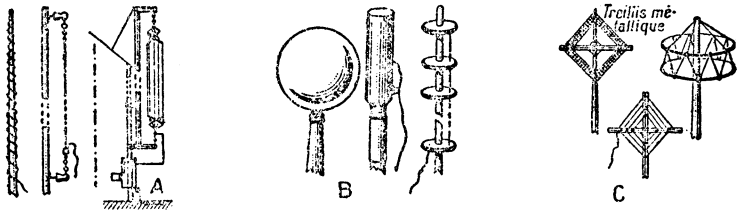


FIG. 20 — Antennes spéciales.

A, verticales ; B, sphérique, tubulaire, à disques empilés ; C, antennes cadre et tambour.

L'utilisation pratique de ces antennes, combinées généralement avec une *descente blindée* anti-parasite, ne supprime pas l'intérêt des modèles classiques qui donnent toujours les meilleurs résultats, lorsqu'il est possible de disposer d'un emplacement suffisant, et dans une zone à l'abri des influences parasites, par son emplacement géographique, ou sa hauteur au-dessus du sol.

Pour tous les modèles d'antennes horizontales installées à la campagne, la forme et la dimension présentent souvent une certaine importance ; dans une ville, il faut surtout considérer la direction, la composition, et la longueur de la descente ; une grande hauteur, à la campagne, est généralement moins indispensable qu'à la ville (fig. 21).

Le type le plus simple, ne comporte qu'un seul fil horizontal en bronze télégraphique, de 12/10 ou 20/10 millimètre de diamètre, ou un câble à brins multiples de 20/100 ou 7/10 millimètres ; le câble est tendu avec des cordes en chanvre goudronné, et des isolateurs en porcelaine, en

ébonite, ou en pyrex, entre deux supports, constitués généralement par deux perches en bambou de 3 à 4 mètres de hauteur.

Une antenne à un seul brin, ou *unifilaire*, doit avoir une longueur minimum de l'ordre d'une quinzaine de mètres.

Le type d'antenne classique *en nappe* est constitué par deux ou trois fils parallèles tendus au moyen d'isolateurs et de cordes paraffinées ou goudronnées, à l'aide de deux petites perches horizontales en bambou de 0 m. 50 à 1 mètre de long, également isolées, et suspendues elles-

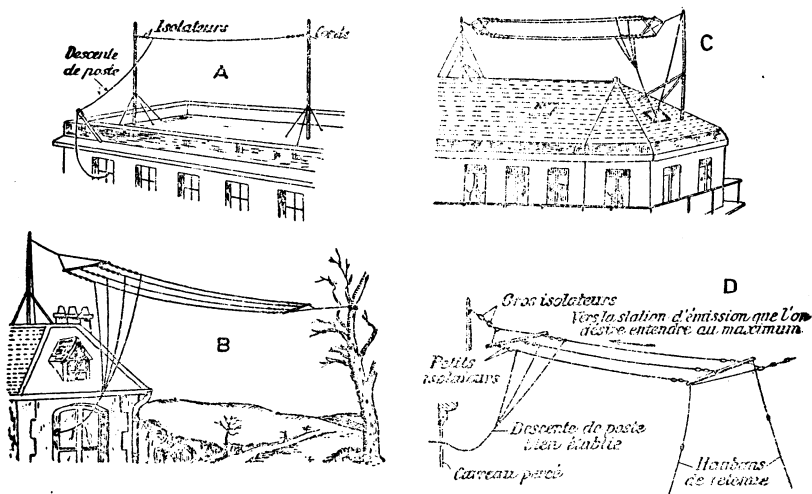


FIG. 21 — Antennes extérieures classiques.

A, unifilaire ; B, en nappe ; C en prisme ou en cage ; D, disposition rationnelle.

mêmes à des bambous verticaux, généralement haubannés : sa longueur minima est normalement de l'ordre d'une dizaine de mètres.

L'antenne *en cage*, ainsi appelée parce que les quatre ou les six brins qui la constituent forment une espèce de cage, supportée aux extrémités par des cerceaux ou des croisillons eux-mêmes isolés, est aussi un modèle efficace.

Descente d'antenne. — La *descente d'antenne* s'effectue généralement du côté du récepteur, et dans la direction du poste dont on veut entendre les émissions ; l'antenne est alors dite *en L*. La descente peut également être effectuée au milieu du réseau de fils, et le système est alors dit *en T* ; l'effet directif, très faible dans le premier cas, est encore moins accentué, mais la longueur propre du système diffère.

La descente doit être en contact parfait avec les fils d'antenne ; elle est constituée normalement par du câble à très fort isolement, analogue à celui utilisé dans les réseaux d'allumage des automobiles. L'entrée de ce câble dans l'habitation s'effectue par une lucarne ou une fenêtre, en employant comme isolant la vitre elle-même, une pipe en porcelaine ou une colonnette en ébonite ou en porcelaine.

La descente s'effectue également souvent à l'intérieur d'une cheminée, le câble descendant dans l'axe du conduit ; le moyen est pratique, mais il est moins satisfaisant au point de vue technique, car il augmente

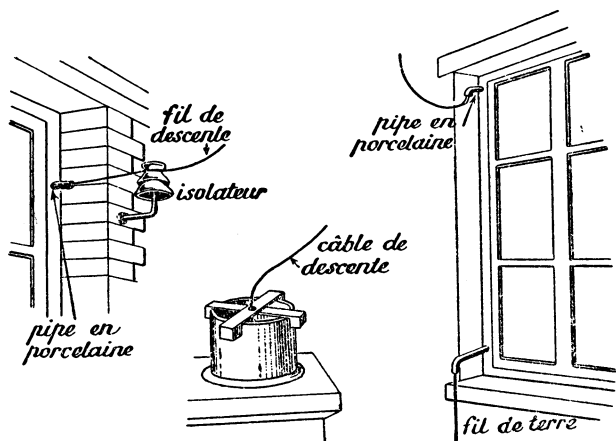


FIG. 22 — Entrées d'antennes et descente le long d'une cheminée.

la capacité de la descente et, par là même, les dangers de perte d'énergie haute fréquence. A l'intérieur d'un immeuble, le câble de descente doit d'ailleurs rester isolé, et suffisamment éloigné des murs, à l'aide de supports isolants (fig. 22).

Qualités de l'antenne extérieure. — On a toujours intérêt à disposer l'antenne *le plus haut possible*, et sa qualité s'exprime par sa *hauteur efficace*. Ce n'est pas toujours la hauteur par rapport au niveau du sol qui importe, mais bien par rapport aux obstacles les plus voisins, en particulier, au toit, lorsqu'il est couvert de zinc, par exemple. Pour l'élimination des parasites, surtout dans les villes, la hauteur au-dessus du champ probable de ces parasites est à considérer.

Dans certains cas, l'*orientation* dans le plan horizontal, lorsqu'il s'agit d'une antenne en nappe, présente une certaine importance, non

pour recevoir dans de meilleures conditions des émissions provenant d'une direction déterminée, mais plutôt pour l'élimination des perturbations provenant d'une certaine direction. Il en est ainsi à proximité de lignes de distribution électrique, et surtout de transport de force aériennes et de lignes téléphoniques et télégraphiques. Il conviendrait d'écartier le plus possible la nappe, et, en tout cas, de la disposer perpendiculairement à la direction des câbles propageant les oscillations perturbatrices à haute fréquence.

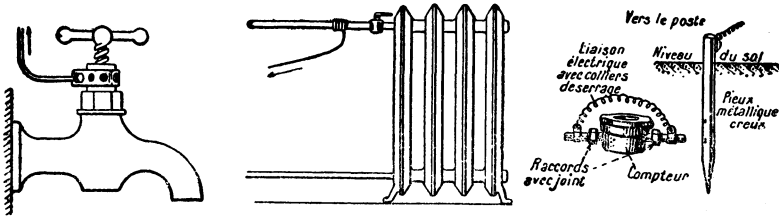


FIG. 23 — Prises de terre sur robinet d'eau et radiateur de chauffage central
Précautions à prendre pour assurer la liaison sur le compteur d'eau, et prise de terre indépendante à la campagne par pieu métallique.

Des dispositions d'antennes relativement simples, par exemple, à compensation, à brins croisés, donnent quelquefois des résultats dans ce dernier cas.

La prise de terre. — On peut, à la rigueur, recevoir les émissions radiophoniques sans prise de terre, tout au moins apparente, car certains récepteurs réduits fonctionnent uniquement en employant, comme collecteur d'ondes, un fil isolé de quelques mètres de long. Mais, dans ce cas, il existe toujours, sous une forme visible ou non, une masse métallique quelconque, plus ou moins bien isolée, qui sert de contre-poids électrique, et joue ainsi un rôle plus ou moins analogue à la prise de terre. Cette dernière, de capacité théoriquement infinie, laisse passage au courant haute fréquence : elle joue le rôle d'un miroir par rapport à l'antenne.

Le fil de terre reliant le récepteur à la prise de terre, constituée par une canalisation d'eau, de chauffage central, ou une masse métallique extérieure en contact avec la terre humide, n'a pas besoin d'être isolé, mais il est indispensable qu'il présente une résistance très faible. On emploie un fil de cuivre ou de bronze, ou mieux un câble à brins mul-

tiples non isolés, aussi court et d'aussi grand diamètre que possible, qui peut toucher les murs de l'appartement. Une bande de clinquant de cuivre rouge, d'un centimètre de large, et de quelques millimètres d'épaisseur, extérieure à l'habitation, et en contact avec une canalisation extérieure ou une prise de terre séparée, constitue une liaison parfaite (fig. 23).

Le contact entre le fil de terre et la prise de terre elle-même doit être effectué avec soin, généralement par soudure, afin de diminuer également la résistance, et surtout d'éviter des variations de contact se traduisant par des bruits insupportables dans le récepteur.

A la ville, la prise de terre est normalement constituée par une canalisation d'eau, et, à la campagne, une prise de terre séparée peut donner des résultats encore plus satisfaisants. On la constitue simplement en creusant une tranchée de quelques mètres de long, et d'une profondeur de 0 m. 50 contenant une bande de cuivre ou une plaque de zinc enfouie dans un lit de coke humide, arrosé de temps en temps avec de l'eau légèrement salée.

Des pieux métalliques creux, enfoncés dans le sol humide, à 1 mètre ou 1 m. 50 de profondeur, constituent très simplement d'excellentes prises de terre extérieures ; mais, tous ces dispositifs peuvent être remplacés, lorsqu'on dispose d'un grand espace, par des fils métalliques disposés de préférence en éventail, et enterrés sous l'antenne, et sur une longueur aussi grande que possible (fig. 23 D).

L'antenne et les orages. — Il ne faut pas croire aux dangers de la T.S.F. L'antenne, en particulier, malgré les légendes fâcheuses, n'attire pas plus les orages qu'une masse métallique quelconque, placée au même endroit, et dans les mêmes conditions. Ce n'est pas une raison pour négliger les précautions nécessaires contre les décharges atmosphériques, pouvant, dans certains cas, tout au moins, détériorer le récepteur.

Toute charge électrique dangereuse dans l'antenne doit, en principe, être dérivée vers la terre, avant d'atteindre l'appareil récepteur. Ce phénomène ne se produit pas seulement par temps d'orage, mais par suite d'influences atmosphériques, telles que la grêle, la neige, et, par contact accidentel beaucoup plus rare avec des lignes de distribution.

Le système de protection le plus simple est un commutateur antenne-terre, mettant directement l'antenne en liaison avec la prise de terre et qu'on actionne, lorsqu'on ne se sert pas du poste, en prenant la

précaution d'utiliser de préférence, une prise de terre extérieure à l'habitation ; le système est sûr, mais offre l'inconvénient de ne pas être automatique.

Basé sur le « principe des pointes », le peigne à dents métalliques évite également les surtensions. Les cartouches à gaz rare du commerce constituent un système plus perfectionné, et tout aussi simple (fig. 24).

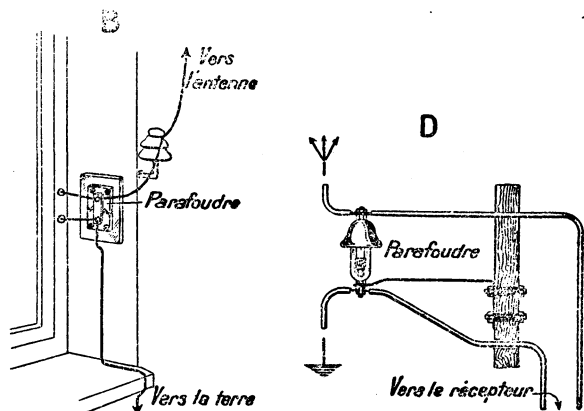


FIG. 24 — Parafoudres à peignes et à gaz rare.

Dès qu'une tension de 120 à 180 volts se produit dans l'antenne, la cartouche entre en fonctionnement, jusqu'à ce que la tension soit ramenée à une valeur normale, par suite de la décharge lente se produisant entre les électrodes à travers le gaz rare. Un éclateur est prévu pour assurer une décharge immédiate, en cas de surtension trop dangereuse.

Antennes antiparasites. — Les auditions radiophoniques sont souvent troublées par des bruits parasites de toutes sortes, provenant d'oscillations électriques dues à des machines électriques quelconques avoisinant le récepteur, et qui se propagent jusqu'à lui, généralement par l'intermédiaire des conducteurs ou des masses métalliques de l'immeuble.

Ces oscillations parasites ne sont pas toujours recueillies seulement par l'antenne ; elles peuvent être transmises par la prise de terre, et surtout par le réseau d'alimentation, lorsqu'il s'agit d'un poste-secteur. Il ne suffit donc pas toujours de modifier l'antenne pour obtenir un

résultat satisfaisant ; il faut quelquefois changer la prise de terre, et disposer en série dans le câble d'alimentation reliant le récepteur au secteur *un filtre* s'opposant au passage des oscillations perturbatrices, tout en permettant l'alimentation normale en courant continu ou alternatif.

Le niveau des perturbations dans les villes, ne dépasse pas 3 à 4 mètres au-dessus des conducteurs rayonnants. Pour mettre une antenne à l'abri des perturbations, il suffit qu'elle soit assez élevée au-dessus dutoit, et convenablement dirigée ; il n'est pas nécessaire d'employer un type spécial ; les modèles classiques précédents suffisent.

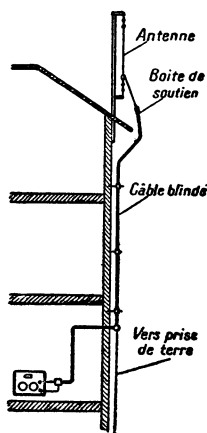


FIG. 25 — Descente blindée à liaison directe. (Cliché La Nature).

Il est difficile de la placer en dehors du champ perturbateur, puisqu'elle le traverse généralement. Un premier procédé consiste à la *blinder* partiellement, en la disposant dans une cage de Faraday formée par un tube métallique mis à la terre. Un conducteur central réuni à l'antenne transmet les courants utiles à haute fréquence ; le blindage reçoit les perturbations parasites locales, et les écoule directement vers une prise de terre efficace (fig. 25).

Le procédé est simple ; l'inconvénient, lorsque la descente atteint une certaine longueur, réside dans l'*augmentation de capacité*, d'autant plus gênante que la longueur d'onde est plus courte, ce qui détermine des pertes haute fréquence importantes. Avec un fil sous plomb, la capacité est de l'ordre de 0,1/1.000 de microfarad au mètre ; des câbles perfectionnés permettent de réduire cette capacité à 0,01/1.000 de microfarad au mètre. Néanmoins, ce dispositif ne s'applique guère qu'à la réception des émissions au-dessus de 200 mètres de longueur d'onde, et semble de moins en moins utilisé.

Les caractéristiques de la descente d'antenne, par rapport au circuit d'entrée du récepteur, ne peuvent être quelconques. Une adaptation est nécessaire, si l'on veut obtenir un bon rendement sur une gamme étendue de fréquences ; elle est d'autant plus utile que la majorité des récepteurs radiophoniques actuels sont dits « toutes ondes », c'est-à-dire étudiés pour la réception des émissions de 15 à 2.000 mètres de longueur environ.

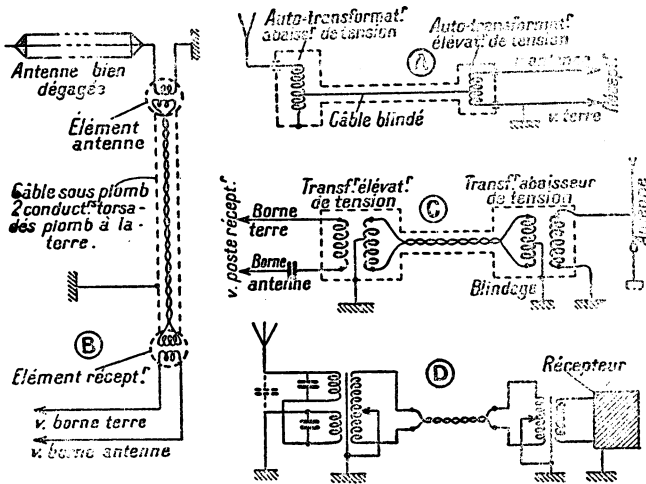


FIG. 26 - Disposition schématique de descentes d'antennes anti-parasites à liaison indirecte.

A, auto-transformateur ; B, à transformateur ; C, à transformateurs à prises médianes ; D, à circuits compensateurs. (Cliché La Nature).

Suivant un principe adopté pour la distribution d'énergie électrique, on utilise dans ce but, et afin d'éviter l'affaiblissement d'énergie haute fréquence, une ligne de transmission avec un autotransformateur ou transformateur d'antenne, et un dispositif similaire de récepteur. Le premier abaisse la tension des courants radiophoniques et augmente leur intensité ; le deuxième est élévateur de tension, d'une manière inverse ; il restitue aux courants haute fréquence transmis par là descente leurs caractéristiques initiales, avant de les transmettre au récepteur. (fig. 26).

Le câble de liaison utilisé, de petit diamètre, est généralement souple ; il est recouvert d'une gaine métallique formant blindage.

Lorsque la descente est relativement réduite, on peut se contenter d'utiliser une descente *compensée* ou *transposée*, à brins croisés, évitant l'influence des parasites, tout en ne présentant pas les inconvénients des câbles blindés (f.g. 27 A).

Pour couvrir une gamme de longueurs d'onde très étendue, il est

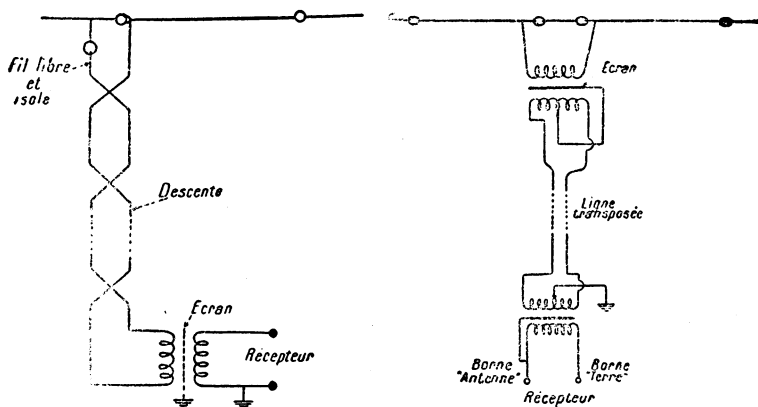


FIG. 27 — Principe de la descente d'antenne transposée, et du montage de l'antenne doublet.

difficile d'utiliser deux transformateurs ou auto-transformateurs fixes ; on emploie, tout au moins, un organe de liaison du récepteur fractionné à prises permettant d'adapter les caractéristiques du bobinage à la longueur d'onde des signaux.

En dehors des types d'antenne classiques, certains modèles plus particuliers permettent d'obtenir des résultats remarquables, et d'éviter l'emploi d'une prise de terre, en particulier le type « doublet » destiné à la réception des ondes courtes, avec deux brins horizontaux isolés d'égale longueur, dont l'un forme contre-poids, et le *double doublet* permettant la réception d'une gamme étendue (f.g. 27 B).

Le cadre et son évolution. — Le cadre est un collecteur d'ondes réduit et simple, puisqu'il n'exige pas l'emploi d'une prise de terre correspondante, et se compose uniquement d'un bobinage vertical de grandes dimensions.

Le cadre est caractérisé, *par son pouvoir directif*. Pour obtenir la réception des émissions choisies, il est nécessaire que le plan de ses spires soit

dirigé dans la direction de l'émetteur, afin qu'il soit traversé par les lignes de force du champ magnétique produit par ce dernier. Cette orientation est dite « position de réception maximum » ; dans la position perpendiculaire, au contraire, l'enroulement n'est pas traversé par les lignes de force de l'émetteur, et presque aucune énergie n'est induite dans le bobinage ; le cadre est orienté dans la position dite « d'extinction ». Entre ces deux positions, on obtient des effets intermédiaires faisant varier plus ou moins l'intensité.

Le cadre permet de constituer un poste récepteur autonome et transportable, relié à aucune antenne fixe, et à aucune prise de terre. Cette suppression de la prise de terre évite également l'influence des oscillations parasites qui pourraient être transmises par elle. Enfin, les propriétés directives du cadre sont précieuses, pour éliminer les émissions, ou même les parasites perturbateurs, du moins lorsque ces derniers proviennent d'une direction déterminée.

Le cadre n'était pourtant plus guère en faveur en France, et cet abandon temporaire a été dû à des raisons techniques, et surtout pratiques.

Une antenne, même courte, recueille toujours plus d'énergie qu'un cadre, surtout de petite surface, comme c'est le cas dans les appareils modernes. Un cadre de 2 mètres de côté correspond sous ce rapport à une antenne de 0 m. 40 de long seulement !

Un cadre ne peut donc être utilisé qu'avec un récepteur sensible, si l'on ne se contente pas de la réception des émissions locales. Ses avantages sont également réduits depuis l'avènement du poste-secteur, relié nécessairement au réseau de distribution électrique. La mobilité de l'installation ne peut être aussi grande, et la liaison au secteur diminue les propriétés directives et les qualités antiparasites, le réseau constituant un véritable collecteur d'ondes receillant aussi bien les ondes utiles que les courants parasites.

Les cadres des débuts de la T.S.F. étaient de grandes dimensions, et avaient au minimum 1 mètre à 1 mètre 50 de côté. De tels enroulements ne sont plus employés, et la réduction des dimensions diminue nécessairement la quantité d'énergie recueillie ; l'action des ondes parasites restant à peu près la même, par suite de la liaison au secteur, la qualité finale de l'audition peut diminuer.

Le cadre est employé en *radiogonométrie*, pour ses propriétés directives. Il permet de déterminer la direction d'où provient une émission, et, par conséquent, la direction du poste émetteur. On utilise deux

ou trois stations réceptrices à cadres mobiles accordés en même temps sur le même récepteur, on observe les orientations correspondantes des cadres, pour une réception optimum, et on trace sur une carte de la région des droites dans les directions correspondantes, le point d'intersection de ces droites indique la position du poste émetteur recherché. On utilise ce procédé en *navigation aérienne et maritime*, pour le *repérage des avions, et des installations militaires*.

En radiophonie, deux buts essentiels sont recherchés par l'emploi du cadre ; ils peuvent être combinés ou distincts :

1° Etablir un poste transportable à batteries ou universel, c'est-à-dire pouvant être alimenté à volonté sur batteries ou sur secteur, et capable de fonctionner partout d'une façon autonome ;

2° Obtenir un effet de protection antiparasite particulier, dans les régions où des influences perturbatrices sont particulièrement à craindre.

Les cadres adoptés sont donc généralement des enroulements plats, peu encombrants, de dimensions assez faibles pour trouver place dans le boîtier du récepteur, et comportant souvent un dispositif destiné à accroître leur pouvoir antiparasite.

Le résultat idéal consiste à supprimer complètement l'action des perturbations parasites sur le cadre, en ne laissant agir sur lui que les ondes radiophoniques provenant de l'émetteur ; on emploie dans ce but des modèles *équilibrés, compensés, ou blindés*.

Le *blindage* avec des écrans électrostatiques formés par des plaques métalliques ou des enroulements reliés à la terre, doit éviter les effets de capacité par rapport aux objets voisins, en permettant uniquement l'action d'induction magnétique.

Un système protecteur peut être constitué, par exemple, par deux disques métalliques, avec des montants verticaux disposés sur la génératrice d'un cylindre. Un seul de ces montants réunit le disque supérieur au disque inférieur, de manière à ne pas constituer de court-circuit interdisant toute réception. L'écran est réuni au sol par l'intermédiaire d'une capacité de 5/100 de microfarad, et le cadre, en forme de prisme vertical, est disposé à l'intérieur du cylindre.

L'enroulement peut également être constitué en fond de panier très plat, et le blindage par deux nappes de fils verticaux soudés ensemble à une extrémité, libres à une autre, et maintenus par un filet de cordes à mailles très larges.

La sensibilité est plus ou moins réduite, mais l'effet directif et le blindage permettent, en particulier, d'éviter des perturbations des lignes à haute tension, et des étincelles des contacteurs. Le dispositif n'est pourtant pas universel.

Le cadre n'est, d'ailleurs, pas utilisable uniquement comme collecteur d'ondes ; l'enroulement peut également servir comme bobinage d'accord pour la réception sur antenne.

Un cadre séparé est également utilisable en radiophonie avec un appareil quelconque, destiné normalement à la réception des émissions sur antenne ; lorsqu'ils s'agit, en particulier, de tenter de réduire l'action des parasites, le plan du cadre doit alors être dirigé perpendiculairement à la direction supposée des perturbations. Nous indiquerons plus loin comment le cadre doit être accordé, s'il est directement relié au récepteur, ou par l'intermédiaire d'un circuit ordinaire d'accord sur antenne.

La construction d'un cadre d'essai est une opération facile ; l'enroulement est constitué avec du fil isolé au coton ou à la soie de 8/10^e de millimètres de diamètre, bobiné sur un support non métallique quelconque, par exemple sur un cadre en bois de 70 centimètres de haut et de 20 centimètres de large. Pour la réception des petites ondes, de 200 à 500 mètres, on enroule 12 spires écartées de 15 millimètres ; pour la réception des grandes ondes, de 1.000 à 2.000 mètres, on emploie 40 à 45 spires dont les extrémités sont de même reliées à des bornes sur le socle du cadre (fig. 28).

En reliant une seule extrémité du cadre à la terre, l'enroulement présente une certaine capacité par rapport aux objets environnants ; cette capacité constitue une sorte d'antenne recueillant les parasites ; cet effet peut être neutralisé utilement en effectuant une prise médiane sur l'enroulement, en reliant celle-ci à la masse et à la terre ; le cadre est alors dit *équilibré*, et les courants parasites s'écoulent vers le sol, en passant par chaque moitié de l'enroulement (fig. 29).

L'emploi du cadre peut être combiné avec celui de l'antenne, en particulier pour obtenir un effet antiparasite, en opposant l'action des perturbations recueillies par l'enroulement avec celui en sens inverse des

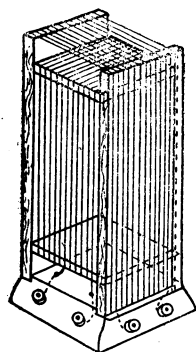


FIG. 28 — Cadre prismatique à deux enroulements perpendiculaires pour gammes d'ondes différentes.

perturbations identiques recueillies par l'autre collecteur d'ondes ; le cadre est alors *compensé*, il en existe différentes variantes.

Antennes anti-fading. — Les effets du fading peuvent être atténués à la réception à l'aide de *dispositifs de régulation* permettant d'obtenir une intensité moyenne de réception constante.

Les variations de réception ne se manifestent pas de la même manière en des endroits assez éloignés les uns des autres, et pour des antennes diversement orientées, en raison des causes mêmes du phénomène. Un autre procédé consiste donc à employer *plusieurs antennes de récep-*

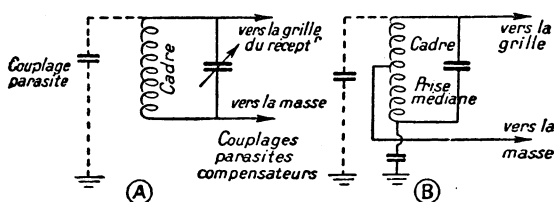


FIG. 29 — Couplage parasite électro-statique produit sur un enroulement de cadre ordinaire, et compensation obtenue en ménageant une prise médiane sur l'enroulement.

tion différentes, assez éloignées les unes des autres, et à combiner les réceptions obtenues au même instant, de manière à obtenir une audition unique aussi satisfaisante que possible (Procédé « Diversity »).

La suppression du fading à l'émission serait évidemment préférable. On a tenté de l'obtenir en supprimant les rayons d'espace, ou, tout au moins, en reculant le plus possible la zone dans laquelle les rayons indirects sont réfléchis pour la première fois vers le sol.

Dans ce but, on augmente l'efficacité du rayonnement direct, et on incline le rayonnement indirect en augmentant la puissance de l'émetteur, et en adoptant une forme d'antenne convenable.

On a trouvé qu'on améliorerait les résultats en employant une antenne vibrant en 1/2 onde au lieu des antennes normales vibrant en 1/4 d'onde adoptées auparavant. On a surtout utilisé des antennes verticales complexes, ayant environ la hauteur du 1/4 d'onde ; pour éviter les difficultés d'établissement des pylônes métalliques de support, on emploie des pylônes en bois, ou on utilise comme antenne un pylône métallique, lui-même de grande hauteur, constituant une antenne mât.

Il doit exister une relation précise entre la hauteur du pylône et la longueur d'onde de l'émetteur. On emploie un mât coulissant ou un mât télescopique placé au sommet ou mât d'accord, qui permet de déterminer exactement la hauteur du pylône suivant la longueur d'onde de l'émetteur.

CHAPITRE IV

ACCORD ET SÉLECTION

Le collecteur d'ondes, antenne ou cadre, permet de recueillir les ondes radiophoniques, mais il est nécessaire de faire une *sélection*, parmi ces ondes, d'éliminer celles qui ne correspondent pas à l'émission que l'on veut recevoir et déterminent des brouillages ou des perturbations. C'est là, le rôle *des appareils d'accord et de sélection*.

Principe de la résonance. — L'accord des récepteurs et la sélection des émissions sont basés sur le principe de *la résonance*, phénomène d'ordre très général, observé aussi bien en mécanique et en optique qu'en électricité, en acoustique, et en radio-électricité.

La fréquence de vibration d'un système oscillant, sous l'action d'une impulsion initiale, dépend des caractéristiques de ce système ; pour un pendule, elle est fonction de la longueur du fil de suspension. La fréquence ainsi déterminée est dite *fréquence de vibration propre* du système ; il lui correspond *une période propre*, et une *longueur d'onde propre*, si le phénomène peut donner naissance à une onde.

Lorsqu'on fait agir sur un corps susceptible de vibrer à une fréquence propre déterminée, des vibrations de fréquence à peu près égale, ou égale à un multiple entier de cette fréquence, le corps entre en vibrations ; il se produit ce qu'on appelle un phénomène de résonance.

Si nous suspendons deux pendules identiques à un même support élastique, et si nous mettons l'un d'eux en mouvement, nous constatons que le second se met lui-même en mouvement, et présente des oscillations synchrones des oscillations de l'autre ; l'amplitude des vibrations croît peu à peu aux dépens de celles du premier pendule, l'énergie totale du système restant constante (fig. 30 A).

Le corps mis en mouvement est *le résonateur*, le système agissant est *le moteur*. Chaque oscillation du moteur communique au résonateur une petite impulsion ; il y a *sommation* d'effets élémentaires concordant avec le mouvement propre que tend à prendre le résonateur, grâce aux impulsions données en sens voulu, au moment voulu.

Si les impulsions ne se produisent pas au rythme convenable, leur effet est nul ou très faible. Suspendons ainsi plusieurs pendules de longueurs différentes à une même tige, et frappons l'extrémité de cette tige avec un marteau, de telle sorte que la cadence des coups corresponde à la vibration propre d'un des pendules, et que ces coups soient donnés au moment voulu, et dans le sens voulu. Les impulsions données mettent

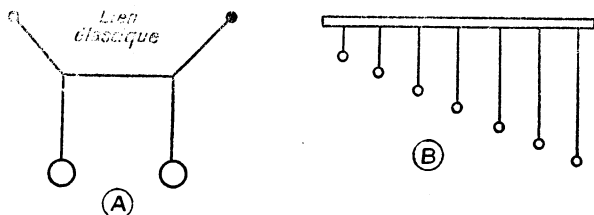


FIG. 30 — Transmission de l'énergie entre deux pendules d'égale longueur, et effet de sélection pour plusieurs pendules différents.

en mouvement le pendule le plus long, par exemple, et augmentent peu à peu l'amplitude de ses oscillations, mais les autres pendules n'entrent pas en vibration régulière. Si nous faisons varier le rythme des impulsions en augmentant la rapidité de la cadence, nous arriverons à mettre successivement en mouvement les autres pendules, lorsque la cadence des impulsions correspondra à leur fréquence de vibration propre, ou à un multiple entier de cette fréquence (f.g. 30L).

Un diapason produisant une certaine note musicale, ou une corde d'un violon excitée, placée à proximité d'un piano, déterminera la mise en vibrations de la corde produisant la note musicale correspondante. Si l'on fait varier la note produite par le diapason ou le violon, on mettra de même en vibration *par résonance* une autre corde du piano.

Le phénomène de résonance est beaucoup moins net, lorsque les vibrations excitatrices sont plus complexes. On peut exciter un piano, par exemple, en produisant, non un son musical, mais un *bruit*, en frappant l'ébénisterie avec un marteau ; si le bruit est très puissant, *toutes* les cordes du piano entrent en vibrations, mais chacune avec sa vibra-

tion propre. Le phénomène de résonance n'est donc précis et simple que si l'excitation n'est pas trop amortie, et a périodique.

Il s'agit, en radio-électricité, d'obtenir la mise en vibrations du collecteur d'ondes du récepteur, sous l'action des ondes électriques provenant de l'antenne du poste dont on veut recevoir les émissions, et *uniquement de celles-là*. L'antenne d'émission et l'antenne de réception doivent ainsi être en résonance, et les vibrations électriques de l'antenne sont comparables aux vibrations mécaniques d'une corde vibrante, de même qu'aux vibrations sonores du diapason. La résonance n'est satisfaisante que pour des vibrations électriques constantes et définies.

Vibrations d'une antenne. — L'antenne possède une certaine capacité, une self-induction, et une résistance, et constitue ainsi un circuit oscillant. Par construction, elle est, en principe, disposée pour recevoir une gamme d'ondes de longueur donnée, correspondant à des vibrations électriques de fréquence déterminée. Le coefficient de self-induction d'une antenne augmente avec la longueur du fil employé, et sa capacité diminue avec la hauteur de la nappe au-dessus du sol, mais augmente avec sa surface.

C'est ainsi, qu'en théorie, une antenne unifilaire verticale a une longueur d'onde propre égale à quatre fois la longueur du fil ; en pratique, la longueur d'onde d'une antenne varie de cinq à six fois sa longueur utile. Pour une antenne en nappe « en L », la longueur d'onde propre est égale à $(L + D) K$; L étant la longueur de la nappe, D la longueur de la descente, et K un coefficient variant avec la hauteur l'écartement des fils, etc., qui peut être fixé à 5 dans les conditions ordinaires des antennes de réception. Pour une antenne « en T », avec descente médiane, la longueur d'onde correspondante serait

$$\frac{T}{2} + D K, \text{ la longueur d'onde propre de la nappe étant théori-}$$

quement deux fois moins grande.

Les vibrations de l'antenne peuvent être comparées à celles d'un long tube de caoutchouc vertical d'une dizaine de mètres suspendu par son extrémité supérieure, par exemple. Au repos, le tube est rectiligne. Si nous déplçons latéralement l'extrémité inférieure, et le ramenons brusquement au point de départ, le tube se déforme. Il se produit une déformation, une onde élastique qui se déplace tout le

long du tube, puis, arrivée à l'extrémité supérieure, se réfléchit, revient vers le bas, remonte, et ainsi de suite. A chaque réflexion, l'amplitude diminue par suite de l'amortissement.

Si nous communiquons au tube une suite d'impulsions, par un mouvement alternatif régulier, nous produisons des ondes sans interruption. Une onde montante rencontre à chaque instant une onde descendante, et il se produit à chaque instant ce qu'on appelle des *ondes stationnaires* ; il y a des points du tube où le mouvement est maximum, qui sont des *ventres* de mouvement, et des points où le mouvement est nul, qui sont des *nœuds* de mouvement ; la distance entre un ventre et

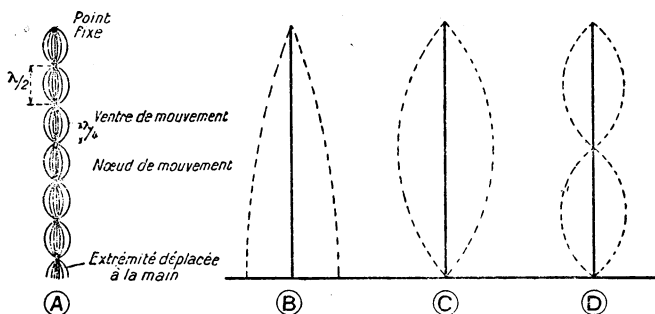


FIG. 31 — Représentation schématique des vibrations d'un long tube de caoutchouc (A). Vibration en $1/4$ d'ondes (B), en demi-onde (C), en onde entière (D).

un nœud reste la même, et correspond à $1/4$ de longueur d'onde du phénomène (fig. 31).

Une cadence convenable des impulsions permet d'obtenir une vibration du tube, produisant un ventre de mouvement à la base, et un nœud au sommet ; le tube vibre alors *en quart d'onde*.

Il en est de même pour une corde d'acier tendue entre deux points fixes, qui peut vibrer en onde entière, en demi-onde, etc.

Des phénomènes comparables sont constatés dans une antenne constituée par un fil conducteur vertical isolé à sa partie supérieure, et relié au sol par la partie inférieure.

La partie verticale d'une antenne est placée rappelons-le, sous l'influence du champ magnétique, et la partie horizontale joue seulement le rôle de capacité terminale. Au repos, l'antenne est en équilibre électrique ; le potentiel est le même en tous les points, et il n'y a aucun courant.

Produisons dans l'antenne une force électromotrice d'induction se traduisant par une différence de potentiel entre deux points ; le phénomène est comparable à la déformation initiale dans le tube de caoutchouc précédent. Il en résulte une action électrique qui se propage le long de l'antenne, se réfléchit à son extrémité, redescend, et ainsi de suite.

Si, au lieu d'une seule impulsion, on transmet de la même manière une série d'oscillations électriques alternatives l'antenne devient, de même, le siège d'ondes stationnaires ; à la base, l'intensité du courant est maximum, il y a un ventre d'intensité ; au sommet, l'intensité est nulle, il y a un nœud d'intensité. L'étude des courants dans l'antenne en chaque point peut être faite au moyen d'un ampèremètre.

Dans le cas actuel, l'antenne vibre donc *en quart d'onde* et, comme elle rayonne une onde électrique, elle donne naissance à une onde dont la longueur est quatre fois celle du fil conducteur, ou est disposée pour la réception d'une émission de longueur d'onde correspondante. Une antenne de 10 mètres de long aura ainsi théoriquement une longueur d'onde propre de 40 mètres à l'émission ou à la réception.

Accord de l'antenne. — L'antenne émettrice et l'antenne réceptrice doivent être le siège d'oscillations de même fréquence ; ces oscillations synchrones ne doivent se produire que pour les oscillations correspondant aux émissions que l'on veut recevoir ; *il doit y avoir résonance entre l'antenne d'émission et celle de réception.*

Un premier moyen d'obtenir ce résultat consiste à utiliser deux antennes identiques ; il suffit alors de disposer le récepteur à la base, près de la terre, puisque c'est en ce point qu'on constate un ventre d'intensité, et qu'on peut recueillir le maximum d'énergie.

Ce montage n'est pas pratique ; il ne permet de recevoir qu'une seule émission de longueur d'onde déterminée. Il faudrait utiliser autant d'antennes qu'il y a d'émissions à recevoir, chacune d'elles étant affectée d'une longueur d'onde distincte, pour permettre la sélection.

L'introduction d'un récepteur en série dans l'antenne augmente l'amortissement du circuit ouvert constitué par elle, et ne permet d'obtenir qu'une résonance atténuée s'opposant à une sélection satisfaisante (fig. 32 A).

L'antenne possède toujours une certaine capacité, une certaine self-induction, et une certaine résistance. On peut, d'ailleurs, pour les essais, constituer une *antenne fictive*, formée d'un bobinage, d'une résistance

et d'une capacité en série, de valeurs correspondant aux caractéristiques de l'antenne, mais ne possédant pas, évidemment, des qualités de collecteur d'ondes.

A l'aide de bobinages et de condensateurs on peut accorder le circuit oscillant formé par l'antenne sur la longueur d'onde de l'émission à recevoir, ou, plutôt, on intercale dans la descente d'antenne un circuit oscillant, dont on fait varier la fréquence de résonance. L'amplitude de la différence de potentiel recueillie aux bornes de ce circuit est

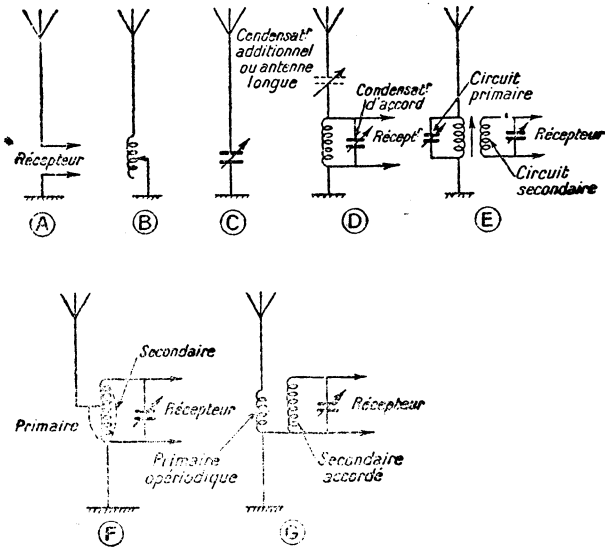


FIG. 32 — Montages d'accord d'antenne.

(A), montage primitif ; (B), emploi d'un bobinage pour augmenter la longueur d'onde propre ; (C), emploi d'une capacité pour diminuer la longueur d'onde propre ; (D), montage en dérivation ; (E), montage en Telsa ; (F), montage en Oudin ; (F), montage en Bourne,

maximum quand la fréquence de résonance est égale à la fréquence du courant alternatif provenant des oscillations radiophoniques, et parcourant l'antenne ; il faut évidemment tenir compte, pour calculer le système, des caractéristiques de l'antenne.

Le circuit oscillant présente une très grande impédance, lorsqu'il est accordé aux courants de la fréquence considérée, et laisse passage aux courants de fréquences différentes engendrés par d'autres émissions à éliminer.

Pour que la sélection ainsi réalisée soit bien précise, il faut que le circuit soit peu amorti ; cet amortissement dépend de la résistance ohmique du circuit oscillant, des pertes en haute fréquence de ce circuit ainsi que de l'antenne et de la prise de terre.

Examinons comment se produit le phénomène. Une antenne mise à la terre a une longueur d'onde propre appelée sa *fondamentale*, et déterminée précédemment. Si nous intercalons un bobinage de self-induction à la base, nous augmentons le coefficient de self-induction, et la longueur d'onde propre. On peut comparer le phénomène à la variation de fréquence des vibrations mécaniques, constatée lorsqu'on augmente le poids d'un fil métallique vibrant. L'introduction d'un bobinage constitue une sorte d'augmentation de l'inertie électrique du système (fig. 32 B).

Si nous plaçons à la base de l'antenne un condensateur, nous diminuons, au contraire, la longueur d'onde propre, la capacité de ce condensateur additionnel étant en série avec la capacité de l'antenne. En particulier, si la capacité est très faible, tout se passe à peu près comme si l'antenne était isolée de la terre, et vibrerait en demi-onde, au lieu de vibrer en quart d'onde ; la longueur d'onde propre est donc diminuée de moitié (fig. 32 C).

Différents montages d'accord. — Le montage primitif consiste à disposer le récepteur en série dans l'antenne elle-même ; il est abandonné pour les raisons déjà indiquées.

Dans le montage *en dérivation* ou *en direct*, le récepteur est disposé en dérivation aux bornes du circuit oscillant d'accord. Cet accord est réalisé avec un condensateur variable en dérivation sur le bobinage du circuit, ou au moyen d'un condensateur additionnel en série (fig. 32 C).

Dans le montage *en Tesla*, l'antenne est accordée sur l'onde à recevoir par un bobinage et une capacité variable constituant un premier circuit oscillant, dit « primaire ». Ce premier circuit est couplé avec un deuxième, dit « secondaire », comportant également un bobinage et une capacité variable, et aux bornes duquel est relié le récepteur. Les oscillations engendrées dans le circuit d'antenne sont ainsi transmises par induction au deuxième circuit, et la *syntonie*, c'est-à-dire l'accord exact, est obtenue par l'accord des deux circuits séparés, et par la *variation de couplage* entre les deux bobinages (fig. 32 D).

Le montage Tesla n'est plus guère utilisé, et on emploie plutôt, lorsqu'il s'agit d'obtenir une sélection accentuée, des systèmes de

filtres ou *présélecteurs* à couplage fixe (fig. 32 E). Par contre, on utilise encore des *montages en Oudin* ou en autotransformateurs, variantes du montage Tesla, dans lesquels on emploie un seul bobinage d'accord, dont une partie constitue le primaire, et l'autre le secondaire (fig. 32 F).

On emploie surtout *le montage Bourne*, dans lequel le primaire est plus ou moins apériodique, c'est-à-dire ne comporte pas de condensateur variable d'accord, et seulement un bobinage fixe, dont le nombre de spires est déterminé d'après la longueur d'onde moyenne des émissions à recevoir et la longueur de l'antenne (fig. 32 G).

Influence du système d'accord et du type d'antenne sur la résonance. — Le couplage indirect est, en principe, préférable parce qu'il évite plus ou moins d'introduire dans le circuit antenne-terre une résistance amortissant les oscillations, et atténuant l'effet de résonance. Par contre, si le réglage n'est pas effectué avec soin, si les bobinages ou les condensateurs déterminent des pertes haute fréquence, une partie de l'énergie recueillie n'est pas utilisée normalement ; dans les appareils simples, on emploie donc des dispositifs d'accord en direct.

L'accord est obtenu lorsque les valeurs des bobinages et des condensateurs correspondent à celles exigées pour la longueur d'onde choisie, mais l'amortissement affaiblissant l'acuité de la résonance est déterminé par la résistance électrique du système ; il convient donc de réduire le plus possible cette dernière.

Pour une antenne d'émission, il y a souvent intérêt à augmenter la capacité électrique, en même temps que la hauteur au-dessus du sol, pour produire une action en quelque sorte plus « ample ». L'antenne de réception recueille une quantité d'énergie d'autant plus grande, en principe, que sa surface est plus grande, et sa hauteur plus élevée. Comme ces deux facteurs sont très limités, pour les raisons déjà indiquées, il convient surtout d'augmenter le rendement obtenu, et d'utiliser dans les meilleures conditions la quantité très limitée d'énergie disponible. On diminue la résistance ohmique en employant du fil assez gros, de type bien étudié, et plusieurs brins en parallèle ; les câbles à brins isolés sont, en principe, supérieurs en haute fréquence. Les défauts d'isolement peuvent être évités en utilisant des isolateurs de bonne qualité montés en série, et en supprimant les capacités parasites dues à la connexion directe des câbles à ces isolateurs.

Les pertes par induction, dans les conducteurs voisins, sont peu à craindre, si l'antenne est bien dégagée, éloignée des autres antennes, des toitures, des murs, et des cloisons. A ce point de vue, la descente

d'antenne doit être particulièrement soignée, éloignée des masses métalliques et même des murs, et l'entrée de poste aussi a une grande importance.

Il convient surtout de rappeler l'importance de la prise de terre et la nécessité d'adopter un dispositif de faible résistance. En radio-électricité, la terre constitue l'armature d'un condensateur dont la nappe d'antenne forme l'autre armature ; mais, en pratique, la résistance du sol est plus ou moins élevée, et les courants de haute fréquence se propagent difficilement sur une grande surface ; nous avons noté les avantages d'une prise de terre séparée, extérieure à l'habitation. Le fil de prise de terre doit, pour cette raison encore, être aussi court et de diamètre aussi gros que possible.

S'il n'est pas possible d'employer une prise de terre satisfaisante, il vaut encore mieux la remplacer par un contre-poids électrique, antenne auxiliaire isolée tendue à quelques mètres du sol, sous la nappe d'antenne, et de faible résistance, qui réduit fortement les pertes.

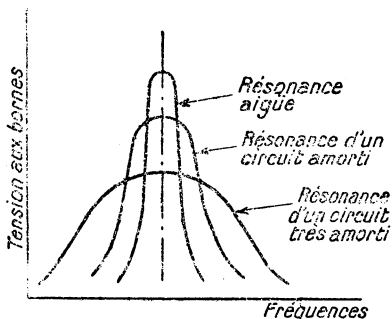


FIG. 33 — Courbes de résonance.

Sélectivité et couplage. — Si l'on trace la courbe représentant les variations de la tension aux bornes d'un circuit oscillant d'accord en fonction de la fréquence induite sur l'antenne, on obtient ce qu'on appelle « la courbe de résonance du circuit ».

Cette courbe présente une forme plus ou moins aplatie ; plus elle est aiguë, plus la résonance est accentuée, c'est-à-dire plus le système reçoit dans de meilleures conditions les oscillations de fréquence déterminée, à l'exclusion des autres (fig. 33). En radiophonie, il ne s'agit pas généralement, comme nous le verrons, de recevoir des oscillations d'une seule fréquence déterminée, mais d'une bande de fréquences limitée, correspondant à la modulation. La courbe de résonance idéale est alors une courbe rectangulaire correspondant à la réception exclusive de cette bande de fréquences.

Dans les récepteurs, on utilise normalement un certain nombre de circuits oscillants, tous accordés d'une façon plus ou moins précise,

sur une certaine fréquence, et généralement plusieurs de ces circuits sont *couplés* entre eux.

Il y a *couplage* entre deux circuits, lorsque les oscillations électriques produites dans l'un se transmettent dans l'autre ; le premier est appelé *circuit primaire* et le deuxième *circuit secondaire*.

Quand la transmission d'énergie du primaire au secondaire s'effectue par induction, le *couplage est électro-magnétique*. Il peut être indirect, les deux bobinages étant distincts et placés à des distances ou dans des orientations variables. Le *couplage est direct* quand les bobines primaire et secondaire ont une partie commune ; c'est le cas du couplage en

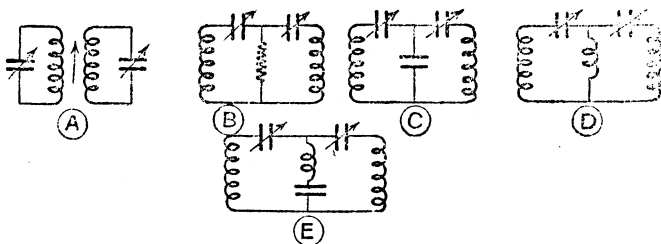


FIG. 34 — Différents procédés de couplage de circuits oscillants.

A, liaison par induction ; B, par résistance ; C, par capacité ; D, par inductance ; E, par inductance et capacité.

Oudin (fig. 34). Enfin, il peut être *mixte*, à la fois direct, et indirect par induction variable.

Les deux circuits peuvent encore être *reliés par capacité*, ce qui constitue le *couplage électrostatique* ; le couplage est alors d'autant plus serré ou lâche que l'on fait varier la capacité de liaison.

Il existe également des *couplages mixtes*, à la fois électromagnétiques et électrostatiques, et, enfin, des *couplages par résistance* ou *couplages galvaniques*.

Lorsqu'on fait varier le couplage de deux circuits accordés sur la même fréquence, on obtient dans le circuit secondaire des courbes de résonance qui varient suivant le couplage entre les circuits, c'est-à-dire suivant la distance, et l'orientation des bobinages dans le cas du couplage par induction, suivant la valeur de la capacité ou de la résistance dans le couplage par capacité, ou galvanique. On peut ainsi obtenir des *courbes de résonance* montrant que le système laisse passage, plus ou moins nettement, à une bande de fréquences déterminées. On a réalisé, de cette façon, ce qu'on appelle *un filtre de bande*, particulièrement utile en radiophonie.

Un montage Tesla d'accord ne fonctionne comme un filtre de bande efficace, qu'à condition que le couplage entre les bobinages soit optimum. Si ce couplage est trop lâche, c'est-à-dire trop faible, la sélectivité trop accentuée se réduit à celle du circuit le plus sélectif, c'est-à-dire du circuit secondaire. S'il est trop serré, la courbe de résonance s'aplatit, et la sélectivité diminue. Le résultat optimum est représenté par la courbe idéale dite « en dos de chameau » comportant deux pointes symétriques de la fréquence de « l'onde porteuse », et correspondant à un couplage critique (fig. 35).

Le dispositif d'accord est perfectionné par l'emploi de *filtres de bande* ou *présélecteurs*, laissant passage à une bande déterminée de fréquences correspondant aux fréquences radiophoniques à recevoir.

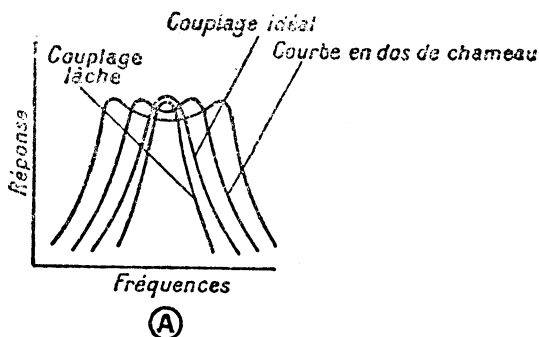


FIG. 35 — Variation de la courbe de résonance d'un système de deux circuits couplés par induction.

Emploi des filtres en radiotechnique. — On emploie dans la construction radio-électrique un certain nombre de systèmes de sélection ayant pour but de s'opposer à la transmission des oscillations perturbatrices, et laissant passage aux oscillations utiles.

On distingue ainsi *les filtres passe-haut*, laissant passer toutes les oscillations à partir d'une certaine fréquence dite, *fréquence de coupure*, et arrêtant les oscillations de fréquence plus basse. *Les filtres passe-bas*, inversement, livrent passage aux oscillations de fréquences inférieures à une fréquence de coupure, et s'opposent à la transmission des courants de fréquence plus élevée.

Les filtres passe-bande proprement dits sont, en somme, une combinaison des deux précédents, puisqu'ils ne laissent passage qu'à une

bande de fréquences comprise entre deux fréquences limites et s'opposent à la transmission des courants de fréquences supérieures ou inférieures à ces deux limites.

Enfin, les filtres éliminateurs de bande, ou *circuits-bouchons*, ont un rôle inverse des précédents ; ils s'opposent à la transmission des courants dont les fréquences sont comprises entre deux limites, et laissent passage aux oscillations de fréquence inférieure à la fréquence de coupure inférieure, ou supérieure à la fréquence de coupure supérieure.

Les *filtres passe-bas* sont employés, en particulier, dans les récepteurs

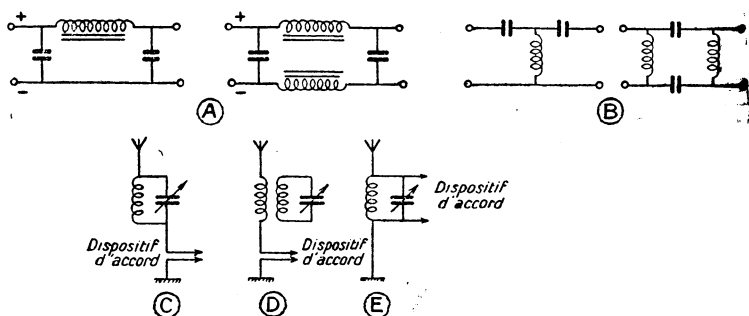


FIG. 36 — Circuits-filtres.

A, filtres passe-bas ; B, filtres passe-haut ; C, circuit bouchon classique ; D, circuit d'absorption ; E ; circuit shunt.

et amplificateurs alimentés par le courant d'un secteur alternatif ; ils sont composés généralement d'une seule cellule formée de deux capacités, et d'un ou deux bobinages à fer ; mais, on peut adopter une double cellule. Ces filtres sont destinés à empêcher les oscillations musicales du courant redressé et leurs harmoniques possibles de parvenir aux appareils, et à s'opposer, autant que possible, à la transmission des courants parasites à haute fréquence le long des lignes d'alimentation (fig. 36 A).

Les *filtres passe-haut* sont constitués comme les filtres précédents, mais les condensateurs prennent la place des bobinages ; on les utilise généralement pour l'amplification musicale, lorsqu'on veut éviter la transmission des notes trop graves (fig. 36 B).

Un *filtre de bande* efficace, c'est à dire laissant passer d'une manière pratiquement satisfaisante la bande des fréquences radiophoniques,

peut être constitué simplement par un Tesla à deux circuits accordés, et couplés par induction, résistance, inductance, capacité, ou inductance-capacité (fig. 34).

La largeur de la bande de fréquences transmise varie, le plus souvent, avec la gamme de fréquences considérée. Pour atténuer cet inconvénient, le couplage mixte par inductance et capacité est théoriquement le meilleur, afin de compenser les défauts du couplage par inductance par les défauts inverses du couplage par capacité (fig. 34 C).

La figure représentative parfaite du fonctionnement d'un tel système est indiquée par une courbe rectangulaire de résonance, ou, du moins, une courbe qui s'en rapproche au maximum ; les dispositifs simples permettent de réaliser l'effet représenté par la courbe « en dos de chameau » classique, déjà signalée sur la figure 34.

Les *circuits-bouchon* ou *anti-résonants* se montent dans les circuits d'accord pour éliminer les fréquences correspondant aux émissions que l'on veut éliminer ; en général, on emploie ces dispositifs en série dans l'antenne, de manière à obtenir, tout au moins, un affaiblissement notable des oscillations perturbatrices.

Le type le plus simple comporte un circuit oscillant formé d'un bobinage et d'une capacité variable, avec, s'il y a lieu, une prise mobile sur le bobinage, pour rendre l'action moins brutale, et éviter un dérèglement d'accord. Le circuit est simplement accordé sur la fréquence de l'émission à éliminer (fig. 36 C).

Le même circuit peut être couplé à une bobine de quelques spires intercalée dans le circuit d'antenne, et agit alors *par absorption*, en absorbant, en quelque sorte, l'énergie transmise par l'émission perturbatrice ; il se produit, en outre, dans le circuit d'accord, des oscillations qui tendent à s'opposer à celles qui sont transmises directement (fig. 36 D).

Enfin, un circuit disposé en dérivation sur le circuit d'accord tend à affaiblir les signaux de toutes fréquences, sauf ceux correspondant à celle sur laquelle il est accordé ; c'est donc un dispositif renforçant la sélectivité, et fonctionnant comme un véritable court-circuit, qui doit être accordé sur l'émission à recevoir, et comporter une capacité aussi grande que possible.

Pour éliminer les bruits parasites correspondant à des oscillations de fréquence relativement élevée, on utilise souvent des filtres passe-bas ou de simples circuits-bouchons.

Réalisation pratique des montages d'accord. — Les types de condensateurs, la façon de les utiliser, ont été modifiés au fur et à mesure des progrès de la construction. Les condensateurs variables employés dans les appareils d'accord sont à peu près uniquement à diélectrique d'air, et les lames mobiles ont une forme intermédiaire entre les types à variation linéaire de longueur d'onde et à variation linéaire de fréquence.

Les bobinages peuvent être formés par des enroulements en hélice à une ou plusieurs couches, par des bobines en galette, en fond de panier, ou en nid d'abeilles. En général, pour les bobinages comportant

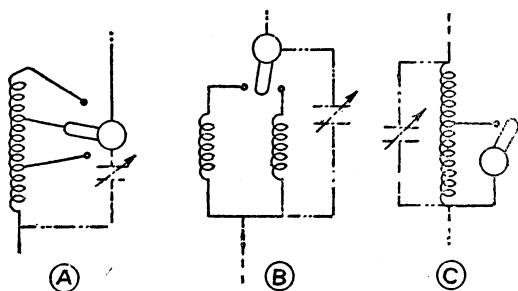


FIG. 37 — Fractionnement des bobinages d'accord

A, emploi d'une bobine fractionnée à plots ; B, bobines distinctes, utilisables par commutation ; C, bobine fractionnée avec court-circuit du "bout mort".

peu de spires, en particulier pour les ondes courtes, on adopte des enroulements simples en hélice ; pour les enroulements comportant beaucoup de spires, on emploie des bobinages en nid d'abeilles.

Les premiers dispositifs d'accord étaient montés dans des boîtiers séparés du récepteur proprement dit ; les appareils modernes comportent dans un même ensemble les organes d'amplification et de transformation des ondes radiophoniques, le dispositif d'accord, le haut-parleur, et les organes d'alimentation. Le réglage du dispositif d'accord s'effectue, d'ailleurs, très rarement d'une manière séparée ; les dispositifs dits à *réglage unique* permettent de combiner ce réglage avec celui des autres circuits d'amplification, et de transformation, et l'on emploie, à cet effet, des blocs de condensateurs variables formés de plusieurs éléments accouplés.

Les bobinages étaient autrefois d'assez grandes dimensions, et interchangeables, suivant la gamme des longueurs d'onde à recevoir.

Dans les appareils modernes, et sauf pour la réception des émissions sur ondes très courtes, ils sont très réduits, et sont mis en circuit au moyen de combinateurs qui permettent d'utiliser des enroulements séparés ou fractionnés, suivant les fréquences à obtenir dans les différents circuits oscillants à considérer (fig. 37).

Le coefficient de self-induction doit être en rapport avec la gamme de longueurs d'onde à recevoir, et l'on emploie donc plusieurs enroule-

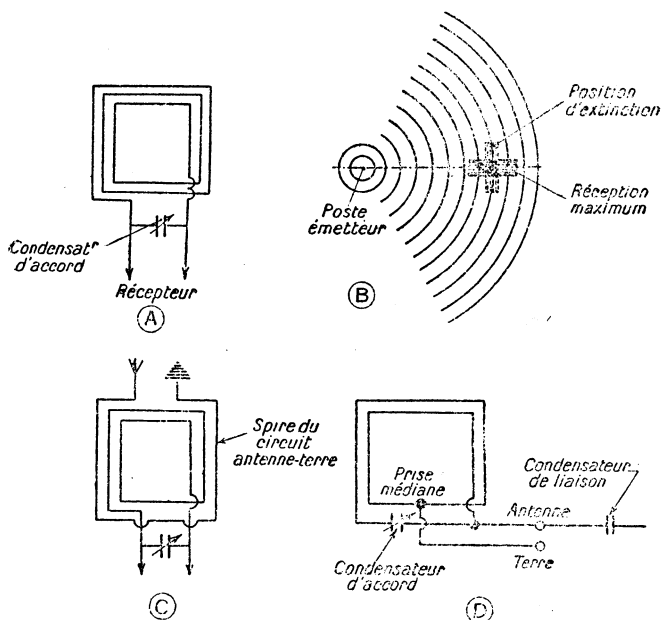


FIG. 38 — Accord du cadre.

A, montage d'accord classique ; B, sélection par orientation du plan du cadre (vu par dessus) ; C, combinaison de la réception sur cadre avec la réception sur antenne par montage d'accord à spire inductrice ; D, montage de cadre équilibré avec liaison par capacité.

ments distincts, ou un seul enrroulement à prises avec un combinateur mettant en circuit la fraction du bobinage convenable.

La fraction non utilisée peut constituer un « bout mort », siège d'oscillations parasites déterminant des pertes haute fréquence ; il est donc préférable, en tout cas, de court-circuiter les fractions du bobinage non utilisées.

Accord du cadre. — L'accord du circuit oscillant constitué par un cadre, sur la longueur d'onde de l'émission à recevoir, se fait simple-

ment en faisant varier la capacité d'un condensateur variable de l'ordre de 0,5/1.000 de microfarad en série avec l'enroulement. Nous avons noté également la sélection obtenue en faisant varier l'orientation du cadre grâce au pouvoir directif de ce dernier (fig. 38 A et B).

Lorsqu'on veut employer sur antenne un récepteur destiné au fonctionnement sur cadre, l'enroulement de ce dernier peut servir de bobinage d'accord, généralement avec le montage en dérivation. On peut encore relier l'antenne et la terre à un bobinage de quelques spires couplées avec l'enroulement du cadre ; ce dernier constitue alors le secondaire d'un Tesla d'accord, dont le primaire aperiodique est formé par la bobine d'antenne (fig. 38 C).

On peut avoir, inversement, à utiliser un cadre avec un récepteur quelconque, déjà disposé en vue de la réception sur antenne ; la solution consiste à accorder le cadre de la manière habituelle à l'aide d'un condensateur variable, et à relier le circuit accordé aux bornes d'entrée du récepteur, mais en intercalant une capacité de liaison ajustable de l'ordre de 0,1/1.000 de microfarad (fig. 38 D).

Le cadre est utilisable, en principe, sans prise de terre ; néanmoins, pour certains usages particuliers déjà signalés, et pour obtenir un effet anti-parasites, on effectue sur l'enroulement une prise médiane reliée à la terre, et l'accord par le condensateur variable habituel est alors effectué, comme le montre le schéma de la figure 37 D, avec le condensateur variable toujours monté en série.

CHAPITRE V

ÉMISSION RADIOPHONIQUE ET DÉTECTION POSTE A GALÈNE

Les ondes transmises par les postes de T.S.F. peuvent être de trois catégories : *amorties*, *entretenues*, ou *modulées*, mais les dernières seules sont utilisables en radiophonie.

Ondes Amorties et Ondes Entretenues. — *Les ondes amorties* sont de moins en moins employées en radio-télégraphie ; *les ondes entretenues* servent à effectuer la majorité des radio-communications en signaux Morse.

Le système type pour la production des ondes amorties est l'oscillateur de Hertz à *étincelles*, dans lequel on obtient une série d'étincelles oscillantes donnant à l'œil une impression continue et unique.

Chaque étincelle produit dans « l'éther » hypothétique environnant une onde amortie, c'est-à-dire dont l'amplitude diminue progressivement, et une série d'étincelles détermine *un train d'ondes* ; entre deux trains d'ondes se trouve une zone de silence, correspondant à la recharge du condensateur du circuit (fig. 39 A).

L'emploi des ondes amorties est abandonné, parce que le rendement de l'énergie dépensée est insuffisant, la portée obtenue très faible par rapport à cette énergie, l'amplitude très variable, et la résonance à la réception impossible, par suite des solutions de continuité. Les postes à étincelles encore en exploitation sur les navires déterminent une grande gêne dans les autres transmissions, et, en particulier, dans les réceptions radiophoniques ; ils doivent être supprimés complètement.

Les postes radiotélégraphiques modernes émettent en ondes *entretenues* produites par des émetteurs à alternateurs ou à lampes à vide. Ces *ondes entretenues* ont une amplitude constante, et ne présentent aucune solution de continuité ; une longueur d'onde, et, par conséquent

une fréquence précise est facile à assurer ; le rendement est bon, et la portée obtenue beaucoup plus grande, à égalité de puissance (fig. 39 C)-

Modulation radiophonique. — La parole est formée par un ensemble de sons complexes, de même que la musique des instruments à cordes ou à vent ; tout *son complexe* est composé d'un son pur, qu'on nomme le *son fondamental*, et d'*harmoniques* s'ajoutant au son fonda-

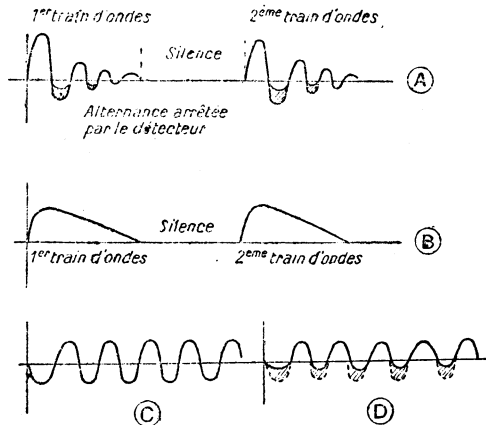


Fig. 39 — Détection des ondes amorties et entretenues.
A, train d'onde amorties partiellement redressées ;
B, effet des trains d'ondes redressées sur un écouteur téléphonique ; C, ondes entretenues ; D, ondes entretenues partiellement redressées.

mental, et comportant des fréquences plus élevées, multiples de la fréquence fondamentale.

Les ondes sonores ne peuvent se transmettre à grande distance. Aucun appareil actuel ne permet de les transformer directement en ondes hertziennes, celles-ci tiennent seulement lieu de support aux oscillations musicales remplaçant le fil téléphonique des liaisons téléphoniques ordinaires.

Les vibrations sonores produites dans le studio du poste émetteur par la parole ou la musique sont transformées en un *courant téléphonique*, grâce à l'emploi d'un *microphone*. Ce courant téléphonique agit sur des oscillations haute fréquence entretenues engendrées dans les circuits de l'émetteur en les modifiant.

L'onde entretenue, ainsi modifiée se transmet tout autour de l'antenne d'émission dans l'éther hypothétique, et va produire, grâce au champ

électromagnétique à haute fréquence, des oscillations haute fréquence correspondantes dans l'antenne ou le cadre du récepteur (fig. 40 A, B, C).

L'opération consistant à modifier ainsi les oscillations haute fréquence de l'émetteur au moyen de courants microphoniques, c'est-à-dire à faire varier, suivant une loi donnée, l'amplitude ou la fréquence des oscillations dites *porteuses*, s'appelle *la modulation*. Inversement, la séparation des oscillations haute fréquence de l'*onde porteuse* des oscillations microphoniques primitives s'appelle *la démodulation* ou *détection*.

On avait songé à réaliser des transmissions radiophoniques, au moment où l'on savait seulement produire des ondes amorties ; le résultat était très défectueux, l'émission était d'amplitude variable, et interrompue par des périodes de silence troublée par un bruit constant à fréquence correspondante. Seules, les ondes entretenues, émises d'une façon ininterrompue, avec une fréquence constante, et une amplitude précise, peuvent servir de support pour les courants microphoniques.

Il faut, d'ailleurs, que ces ondes possèdent une fréquence très supérieure à celle des oscillations vocales ou musicales ; c'est pourquoi, il est impossible d'utiliser des ondes trop longues correspondant à une fréquence relativement faible. La limite supérieure paraît être de 7.500 mètres, et l'on n'utilise plus guère aujourd'hui des longueurs supérieures à 2.000 mètres ; les ondes entretenues de support sont toujours obtenues par des montages à lampes à vide oscillatrices.

Il existe différents *procédés de modulation*, mais, en pratique, on n'en emploie guère que deux : *la modulation en amplitude* et *la modulation en fréquence* ; le premier est même seul employé pratiquement dans la très grande majorité des postes radiophoniques, et on commence seulement à utiliser le deuxième aux Etats-Unis.

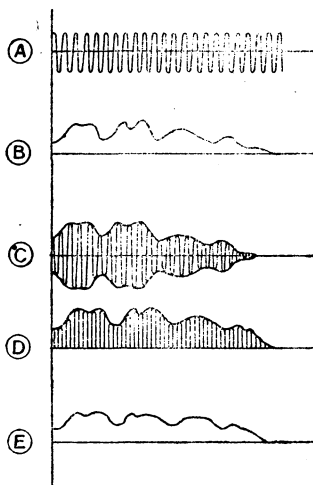


FIG. 40 — Détection des ondes radiophoniques modulées.

A, oscillations entretenues à haute fréquence ; B, courant microphonique ; C, oscillations à haute fréquence modulées ; D, courant détecté ; E, courant moyen traversant le haut parleur.

Modulation en amplitude. — Une émission radiotélégraphique est effectuée en ondes entretenues pures sur *une seule* longueur d'onde, correspondant à *une seule fréquence* ; il n'en est pas ainsi pour l'émission radiophonique modulée. L'onde porteuse est transmise sur une fréquence bien déterminée, correspondant à celle de l'onde entretenue primitive, mais l'émission radiophonique est modulée dans le procédé *en amplitude*, sur une bande de fréquences plus ou moins large, de chaque côté de l'onde porteuse.

Pour un émetteur ordinaire radiotélégraphique transmettant en ondes entretenues sur une longueur d'onde de 1.000 mètres, la fréquence correspondante de l'émission est de 300.000 cycles/seconde, et le poste récepteur doit être accordé sur cette fréquence. Pour une émission radiophonique, à l'onde porteuse, dont la fréquence est précise et stable, on applique les courants provenant du microphone après amplification. On modifie ainsi l'amplitude, suivant une fréquence variant comme la fréquence des sons transmis au microphone ; cette variation d'amplitude est d'autant plus profonde que l'amplitude des oscillations de modulation est elle-même plus grande (fig. 40 C).

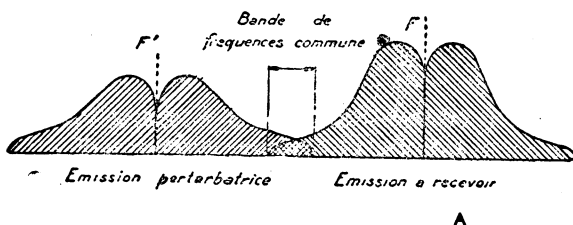
Les *oscillations entretenues modulées* sont donc des oscillations, dont les variations d'amplitude correspondent aux courants de modulation ; les oscillations musicales sont ainsi « imprimées » plus ou moins profondément dans la vibration haute fréquence de longueur d'onde bien déterminée qui leur sert de support. La *profondeur de modulation* est le rapport entre l'amplitude maximum de la modulation et celle de l'onde porteuse ; elle est exprimée en pour cent. S'il y a égalité entre l'amplitude de modulation, et celle de l'onde porteuse, le taux est de cent pour cent.

Bandes de transmission radiophoniques. — On peut montrer mathématiquement que ces oscillations à haute fréquence constante, modulées en amplitude à la fréquence microphonique f , peuvent être considérées comme la résultante de trois groupes, ou bandes d'oscillations d'amplitude constante ; tout d'abord, l'*onde porteuse*, à la fréquence choisie F , puis un groupe d'oscillations de fréquence correspondant à la différence entre la fréquence porteuse et la fréquence de modulation f , soit $F-f$, et, enfin, un autre groupe d'oscillations à la fréquence $F+f$. L'amplitude de ces bandes dépend de la profondeur de modulation.

Si nous reprenons l'émission précédente en ondes entretenues d'une fréquence de 300.000 c/s , et si nous faisons agir sur l'émetteur un micro-

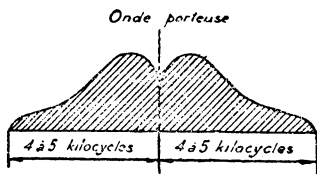
phone transmettant des sons purs à 1.000 c/s, le calcul montre, et l'expérience vérifie, que l'ensemble équivaut à des bandes de fréquences latérales s'étendant de 300.000 à 301.000 c/s, et de 299.000 à 300.000 c/s.

Tous les sons simples produisent un effet analogue, chacun avec sa fréquence caractéristique. Lorsqu'on fait agir sur le microphone, non plus des sons simples, mais des sons complexes, de la musique et des paroles, on peut considérer que chaque composant des sons complexes agit de la même manière. L'onde porteuse modulée porte ainsi des bandes de fréquences de 300.000 à 301.000, 302.000, 303.000, etc. c/s,



A. — Les bandes de fréquences de deux émissions peuvent empiéter l'une sur l'autre si les fréquences F et F' de leurs ondes porteuses ne diffèrent pas de plus de 10 kilocycles.

B. — Les ondes radiophoniques occupent une bande de fréquences s'étendant sur une gamme de 8 à 10 kilocycles.



et de 299.000, 298.000, 297.000, etc. c/s à 300.000 c/s.

De part et d'autre de la fréquence de l'onde porteuse, se trouvent ainsi des fréquences constamment variables, et à amplitude variable ; il faut réserver, de part et d'autre de cette onde porteuse, une *bande de brouillage* correspondant à la transmission des fréquences musicales, jusqu'à 4.000 ou 4.500 c/s, au minimum, ce qui équivaut à une gamme totale de 8.000 à 9.000 vibrations (fig. 41).

Pour une onde porteuse de 300.000 c/s, par exemple, il faut ainsi réserver une bande de brouillage de 295.500 à 340.500 c/s environ, et l'importance relative de cette bande par rapport à la fréquence porteuse de l'émission va en croissant, lorsque cette fréquence décroît, c'est-à-dire lorsque la longueur d'onde augmente.

Modulation et sélection. - La longueur d'onde, ou plutôt la fréquence, d'une émission est une caractéristique essentielle, puisqu'elle

renseigne sur les conditions générales de propagation ; elle est également essentielle en ce qui concerne les problèmes de *la sélection*, c'est-à-dire la séparation des différentes émissions les unes des autres.

D'après ce que nous venons de voir, *chaque émission radiophonique exige pour sa transmission normale une bande de fréquences de l'ordre de 8 à 10 kilocycles*, c'est-à-dire s'étendant de 4 à 5 kilocycles de chaque côté de la fréquence porteuse. Plus cette bande est large, plus on peut transmettre une gamme de fréquences musicales étendue, et, par conséquent, plus la *musicalité* est accentuée. Avec une bande limitée à 10 kilocycles, on ne peut, en principe, transmettre d'une façon très satisfaisante des notes aiguës supérieures à 5.000 c/s, et une largeur de brouillage de 8 à 9 kilocycles correspond à un minimum pour la musicalité.

Si l'on veut pouvoir effectuer simultanément un grand nombre d'émissions radiophoniques, il faut pouvoir transmettre simultanément les bandes de brouillage de chacune de ces émissions, et il faut que ces bandes ne puissent venir empiéter les unes sur les autres. Ce problème est d'autant plus facile à résoudre qu'on a affaire à des émissions de longueurs d'onde plus courtes, ou, plutôt, de fréquences plus élevées.

C'est la fréquence qui importe essentiellement dans les problèmes de la sélection. Il est facile de constater que des différences de longueurs d'onde identiques entre deux émissions correspondent sur la gamme des ondes à des différences de fréquences d'autant plus grandes que la longueur d'onde diminue.

Pour une longueur d'onde de 300 mètres, soit une fréquence de 1.000.000 de cycles, la bande de brouillage normale de 10.000 cycles correspond à une valeur relative de 1/100. Mais, pour une longueur d'onde de 2.600 mètres, soit une fréquence de 115.000 cycles, la valeur relative est de 1/10.

De 100 mètres à 1.000 mètres, l'intervalle de fréquences s'étend de 3.000.000 à 300.000 c/s, soit 2.700.000 c/s. Pour une bande de brouillage de 10.000 c/s, le nombre possible des émissions simultanées est donc de 2.700.000 : 10.000, soit 270.

Si l'on considère, au contraire, les émissions de longueurs d'onde entre 10 et 100 mètres seulement, les fréquences correspondantes s'étendent de 30.000.000 à 3.000.000 c/s, soit une bande de 27.000.000 c/s, et le nombre théorique d'émissions simultanées correspondant est de 2.700.

La limitation de la bande de brouillage ne permettant qu'une transmission d'une gamme musicale comprise entre 100 et 4.000 ou 4.500

c/s, la qualité de la parole est suffisante, sauf pour les syllabes sifflantes, mais la qualité de la musique reste insuffisante, puisqu'on envisage désormais en musique mécanique des bandes musicales s'étendant jusqu'à 8.000 ou 10.000 c/s. De là, les efforts entrepris pour élargir la bande de brouillage, en employant des appareils spéciaux et des dispositifs de *modulation en fréquence*, avec émissions effectuées sur longueurs d'onde très courtes.

Pour la réception des émissions lointaines ou très faibles, une bande de brouillage s'étendant sur 9 ou 10 kilocycles, et un récepteur correspondant possédant une sélectivité calculée d'une manière convenable ne suffisent plus. Etant donné la multiplication des émissions de fréquences voisines, il est bien souvent indispensable d'augmenter encore la sélectivité du poste, et de réduire la largeur de la bande de brouillage qu'il peut recevoir, aux dépens, évidemment, de la musicalité. De là, la construction des appareils à *sélectivité variable*, sur lesquels nous reviendrons.

Modulation en fréquence. — Malgré les progrès des appareils d'émission et de réception, les procédés de radiodiffusion habituels présentent des inconvénients, dûs *aux principes mêmes de modulation* des ondes porteuses entretenues servant de support à la musique ou aux paroles, tout autant qu'aux caractéristiques de propagation des ondes elles-mêmes.

Etant donné le nombre de plus en plus grand et la puissance croissante des émetteurs, il a fallu réglementer les longueurs d'onde pour éviter les interférences. Comme nous l'avons noté, chaque émission ne peut couvrir qu'une bande de brouillage de l'ordre de 9 à 10 kilocycle, au maximum. Il est ainsi impossible de transmettre intégralement la bande de fréquences de 50 à 10.000 c/s nécessaire pour obtenir une fidélité musicale absolue de l'émission. Les perturbations d'origine industrielle ou atmosphérique ne peuvent être éliminées complètement ; on ne peut bénéficier de tous les progrès possibles des dispositifs d'amplification.

Un très grand nombre de déformations sont dues enfin aux conditions de propagation des ondes radiophoniques, spécialement pour des longueurs moyennes et courtes. Le phénomène le plus connu est le *fading*, se manifestant par une variation d'intensité sonore, ou du genre sélectif faisant disparaître d'une manière irrégulière certaines notes musicales, rendant l'audition désagréable et la parole inintelligible.

Pour permettre d'étendre les gammes musicales transmises sans risquer les interférences, il faudrait réduire le nombre des postes émetteurs, et diminuer les longueurs d'onde vers la gamme très courte, de l'ordre de 5 à 10 mètres. La première solution est inacceptable, et les inconvénients ordinaires des transmissions radiophoniques subsistent encore plus ou moins dans le cas des émissions sur ondes très courtes, dont l'emploi peut cependant être envisagé pratiquement dans des conditions particulières.

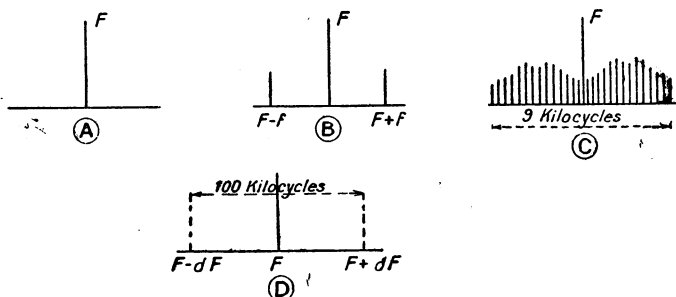


FIG. 42 — Bandes de fréquences occupées par des émissions modulées en amplitude en A, B et C, et en fréquence D.

Des recherches, d'ordre plus général, ont permis d'étudier des principes de modulation différents, assurant de meilleurs résultats dans des conditions particulières.

La modulation en fréquence consiste, non plus à faire varier l'amplitude, mais la fréquence de l'onde porteuse. Il n'y a plus ainsi, en principe, à chaque instant, qu'une fréquence unique, mais cette fréquence se modifie constamment, et varie sans cesse ; c'est cette variation, suivant le rythme de la modulation microphonique, qui détermine alors la profondeur de modulation. Si la variation de fréquence est faible, le signal reçu est faible ; si la variation est importante, le signal reçu est intense (fig. 42 D).

Considérons ainsi l'onde porteuse précédente de 300.000 c/s ; pour transmettre un son de 1.000 c/s, la fréquence doit varier 1000 fois par seconde, et passer à une autre fréquence, dont le décalage indique la profondeur de modulation, par exemple, de 300.000 à 320.000. Dans le système Armstrong, la variation de fréquence peut atteindre 100.000 c/s pour les sons très intenses.

D'après ce raisonnement, la variation de fréquence correspond à l'amplitude de la modulation, et, si l'on veut obtenir une émission

puissante bien modulée, le décalage doit être assez important. D'ailleurs, le phénomène est très complexe, et donne naissance à des fréquences résiduelles nombreuses.

La bande de fréquences occupée par une émission modulée de cette façon occupe donc dans « l'éther radiophonique », comme on le voit, une largeur beaucoup plus considérable qu'une émission de même

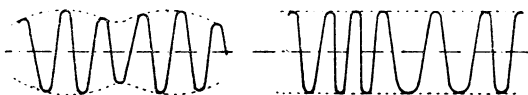


FIG. 43 — Représentation comparée d'une onde modulée en amplitude et d'une onde modulée en fréquence.

longueur d'onde, modulée de la manière classique, en amplitude. En fait, la bande de brouillage de l'émission américaine actuelle paraît dix ou douze fois plus large que celle des émissions correspondantes classiques de même longueur d'onde (fig. 42 C et 43).

Le principe de la modulation en amplitude est représenté de la manière classique par l'action d'un microphone à contact, dont la résis-

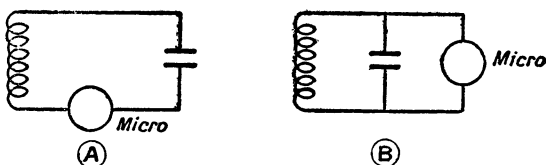


FIG. 44 — Principe élémentaire de la modulation en amplitude en A, et de la modulation en fréquence en B.

tance varie suivant les oscillations musicales qui agissent sur lui, lorsqu'on le place en série dans un circuit parcouru par un courant alternatif d'amplitude constante. Si la résistance du circuit accordé varie, l'amplitude du courant qui le parcourt varie dans les mêmes conditions ; les ondes sonores agissant sur le microphone produisent ainsi dans le circuit des oscillations modulées en amplitude (fig. 44 A).

Si nous remplaçons l'action du microphone à contact par celle d'un microphone à condensateur monté en parallèle sur le circuit, l'effet obtenu est complètement modifié ; la résistance ne varie pas sensiblement, mais la capacité du système varie en correspondance avec la fréquence des oscillations agissantes. L'amplitude des oscillations travers-

sant le circuit ne varie pas, mais, la fréquence sur laquelle il est accordé est modifiée ; il en résulte qu'on obtient des oscillations à amplitude constante, dont la fréquence varie suivant le rythme des courants microphoniques (fig. 44 B).

Avantages et inconvénients de la modulation en fréquence.

— D'après les techniciens américains qui l'emploient, l'adoption de la modulation en fréquence permettrait de résoudre toutes les difficultés de la radiodiffusion. En fait, jusqu'à présent, ce procédé, déjà bien connu théoriquement depuis longtemps, paraît offrir un intérêt certain dans des applications limitées, mais présente aussi de graves inconvénients, qui en ont retardé jusqu'à présent l'application pratique générale.

D'après ce que nous venons d'indiquer, le taux de modulation de l'émission dépend, non de la variation d'amplitude des oscillations mais de la variation de fréquence : normalement, la bande de brouillage nécessaire est nécessairement extrêmement large ; les stations américaines occupent dans l'espace radiophonique une bande d'une largeur de l'ordre de 100 kilocycles-seconde. La bande de brouillage normale d'une émission radiophonique modulée en amplitude, est normalement au maximum de l'ordre de 10 kilocycles, comme nous l'avons vu précédemment.

Même en réduisant les bandes musicales au maximum, on ne peut placer entre 100 et 1.000 mètres que 450 émissions de radiodiffusion et entre 1.000 et 10.000 mètres que 45 émissions. Avec une bande de brouillage de 9 à 10 kilocycles, le nombre des émissions normales entre 10 mètres et 100 mètres est de l'ordre de 2.700, entre 100 mètres et 1.000 mètres, il n'est plus que de 270, et entre 1.000 et 10.000 mètres, de 27.

Si l'on employait ainsi, au lieu d'émissions en amplitude, des émissions modulées en fréquence, on ne pourrait placer que 27 stations entre 100 et 1.000 mètres, et 2 seulement entre 1.000 et 10.000 mètres, 3 entre 200 et 600 mètres.

Le même problème se pose pour la radiodiffusion des images, qui exige aussi une bande de brouillage très large, par suite de l'importance de la bande des fréquences à transmettre, en correspondance avec le nombre des éléments d'images ; il est naturel qu'on soit arrivé dans ces deux cas à la seule solution logique, consistant dans l'emploi des ondes très courtes et ultra-courtes, d'une longueur inférieure à 10 mètres.

En fait, les émissions d'essai américaines sont effectuées sur une longueur d'onde de l'ordre de 7 mètres, avec une fréquence comprise

entre 39 et 44 mégacycles-seconde. Des essais ont même été effectués jusqu'à 2 m. 1/2.

Il n'est pas étonnant, dans ces conditions, de bénéficier de tous les avantages de l'émission sur ondes très courtes ; *influence beaucoup moindre des parasites industriels*, en général, et même atmosphériques, effets de fading très rapides, et *haute qualité musicale*.

La théorie qui assimile la propagation des ondes hertziennes ultra-courtes à celle des radiations lumineuses, n'a pu être vérifiée complètement, et les exemples de réception d'émissions de ce genre à grande distance sont maintenant nombreux : il est néanmoins certain que la propagation régulière de cette gamme d'émissions ne peut être obtenue dans des conditions vraiment régulières à une distance de l'émetteur très supérieure à la portée optique, généralement de l'ordre de 100 à 200 kilomètres au maximum, et quelle que soit la puissance de l'émetteur. Seule l'onde directe, en effet, est perceptible, et il ne faut pas compter sur les possibilités de réflexion sur les couches ionisées de l'atmosphère.

Pour cette raison essentielle, les émissions radiophoniques à modulation en fréquence de ce genre demeureront donc *locales* ; la complication des émetteurs et des récepteurs correspondants augmente encore le désavantage dû à cette limitation.

Élimination des perturbations. — En dehors cependant de la haute qualité musicale de l'audition, on ne saurait négliger l'avantage essentiel du procédé consistant dans *l'élimination plus ou moins complète des parasites industriels et même atmosphériques*.

La limitation de la bande de brouillage des émissions radiophoniques à modulation en amplitude ne permet que la transmission d'une gamme musicale comprise entre 100 et 4.000 ou 4.500 p/s environ. La qualité de la parole est suffisante, sauf pour les syllabes sifflantes, mais celle de la musique est forcément imparfaite, car la bande musicale considérée en musique mécanique est aisément, aujourd'hui, de 100 à 8.000 ou même 10.000 c/s.

Cette limitation de la gamme musicale est imposée par la limitation correspondante de la bande de brouillage due à la nécessité de placer de nombreuses émissions sur une bande de fréquences restreinte. Il suffirait de pouvoir augmenter cette bande de brouillage en diminuant le nombre d'émissions simultanées, ou en employant la gamme des ondes très courtes, pour pouvoir déjà obtenir des réceptions à haute fidélité, même en modulation en amplitude.

L'émission à modulation en fréquence bénéficie ainsi, non seulement des avantages dûs à son principe particulier, mais encore de ceux provenant de la longueur d'onde très courte choisie ; la gamme musicale transmise est de l'ordre de 15.000 c/s ; elle est même supérieure à la gamme normale nécessaire pratiquement pour obtenir une qualité musicale parfaitement satisfaisante.

L'emploi d'une bande de brouillage extrêmement large réduit, comme nous l'avons vu, le nombre des stations pouvant émettre simultanément sur une gamme de fréquences déterminée. Mais, l'emploi des ondes ultra-courtes permet d'augmenter ce nombre de stations, puisque la gamme de fréquences sur cette bande de longueurs d'onde est beaucoup plus étendue, et la réduction même de la portée des émissions offre encore un autre avantage.

Différentes stations locales émettant simultanément en des régions assez éloignées les unes des autres peuvent utiliser la même longueur d'onde, puisque ces émissions ne peuvent se gêner mutuellement, et être reçues simultanément par un récepteur placé dans une des régions considérées.

A cet effet d'atténuation des parasites industriels et atmosphériques dû à l'emploi des ondes ultra-courtes, vient s'ajouter un phénomène dû *au principe même de la modulation en fréquence*.

Cet effet s'explique par le fait que les perturbations présentent normalement de fortes variations d'amplitude, mais de faibles variations de fréquences. Un récepteur destiné à la réception des émissions modulées en fréquence est peu sensible aux variations d'amplitude, et l'élimination des parasites atmosphériques serait, en théorie, de l'ordre de 96 à 99 pour cent ; le bruit de fond est presque limité à celui produit par les appareils d'émission et de réception eux-mêmes.

Nécessité de la détection. — Il ne suffit pas de faire agir les oscillations haute fréquence recueillies par l'antenne, même en les amplifiant, sur un écouteur téléphonique ou un haut-parleur. Il faut auparavant effectuer une opération de *détection*, ou *démodulation*, rendant perceptibles à notre oreille les signaux ou la modulation transmis par les ondes radio-électriques. Il faut, en quelque sorte, *séparer l'onde porteuse de la modulation téléphonique*, qui semble faire corps avec elle.

Considérons un collecteur d'ondes modulées ou amorties accordé sur la fréquence de l'émission à recevoir, et, aux bornes du circuit d'accord, ou, s'il y a lieu, à la sortie d'un *amplificateur*, c'est-à-dire d'un appareil permettant d'amplifier les oscillations haute fréquence, reions

un écouteur téléphonique, ou un haut-parleur. Les oscillations agissant sur l'organe vibrant de cet appareil électro-acoustique sont de très haute fréquence, généralement de plusieurs centaines de mille ou de plusieurs millions de périodes/seconde. La membrane vibrante de l'écouteur, ou le diffuseur du haut-parleur, sera soumise à des actions alternatives très faibles, en raison de l'impédance des bobinages et tellement rapides que son inertie l'empêchera de vibrer. Même si cette vibration était possible, notre oreille ne percevrait aucun son, car elle

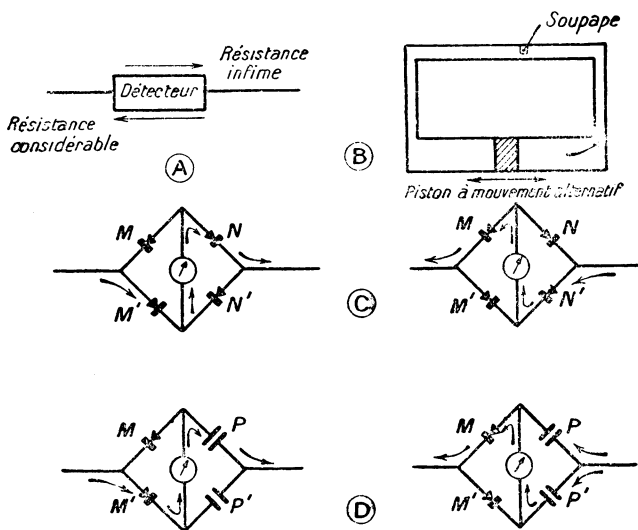


Fig. 45 - Détection et redressement des courants alternatifs.

A, effet d'un détecteur ; B, analogie hydraulique du fonctionnement d'un détecteur ; C, montage à quatre soupapes pour le redressement des deux alternances ; D, montage à deux soupapes et deux capacités (Doubleur de tension).

n'est pas sensible aux vibrations de fréquence supérieure à 15.000 p/s environ, et les sons seraient incompréhensibles, parce qu'ils seraient hachés, en quelque sorte, par les vibrations haute fréquence.

La détection est obtenue en utilisant un dispositif arrêtant, ou supprimant une des alternances de la vibration ; ce dispositif doit constituer une sorte de soupape, ne laissant passer les oscillations que dans un sens, et arrêtant celles qui proviennent de l'autre (fig. 45 A).

L'oscillation alternative comporte deux alternances : les détecteurs peuvent donc supprimer une alternance sur deux, ou modifier le sens de l'une, pour lui donner le même sens que l'autre.

Le détecteur peut être comparé à une soupape placée dans un circuit hydraulique, dans lequel se meut un piston animé d'un mouvement alternatif ; la soupape s'ouvre lorsque le piston se déplace d'un côté, et reste fermée lorsqu'il revient en arrière ; on obtient un mouvement d'eau pulsatoire, mais *toujours de même sens* (fig. 45 B).

La détection, ou *redressement*, ne peut être parfaite, en pratique, c'est-à-dire qu'on ne peut supprimer complètement une des alternances sans modifier l'autre ; dans nombre d'applications, on a donc cherché à utiliser les deux alternances en les « redressant » toutes deux. On peut obtenir ce résultat dans un circuit hydraulique, avec quatre soupapes montées en « pont » ; bien que le courant soit alternatif, le courant obtenu est toujours de même sens dans la branche médiane.

Dans un circuit électrique, on peut obtenir, de même, le redressement complet des deux alternances du courant alternatif, au moyen de quatre soupapes montées en pont, comme le montre la figure 45 C, mais, grâce aux propriétés du courant alternatif qui traverse les condensateurs, en arrêtant, par ailleurs, le courant continu, on peut réaliser le même effet en employant deux soupapes opposées seulement, et deux condensateurs de forte capacité, comme le montre la figure 45D.

Lorsque le courant se déplace de gauche à droite, il traverse la soupape M', le condensateur P, après avoir passé par la branche médiane ; lorsqu'il va de droite à gauche, le courant traverse le condensateur P', la branche médiane et la soupape M, ainsi que le condensateur P restituant la charge absorbée pendant l'alternance précédente.

Ces montages de redressement des deux alternances sont généralement utilisés, d'ailleurs, plutôt pour le *redressement* du courant alternatif destiné à l'alimentation des appareils radio-électriques que pour la détection proprement dite.

Caractéristiques des détecteurs. — Un détecteur est donc une soupape qui doit laisser passage au courant se déplaçant dans un sens, et non dans un autre, et *tout système détecteur est reconnaissable en ce qu'il ne suit pas la loi d'Ohm* ; la variation de tension n'est pas proportionnelle à la variation d'intensité. La courbe établie en étudiant les variations de courant moyen correspondant aux variations de tension, s'appelle la *caractéristique* du détecteur.

L'effet détecteur est la résultante de deux actions opposées inégales, et toute caractéristique d'un détecteur se présente sous la forme d'une courbe présentant un point d'inflexion très marqué. Considérons un point O sur cette courbe, dans la région de la courbure inférieure, et

supposons que nous appliquions sur le détecteur des tensions égales en valeur absolue, alternativement positives et négatives, OA et OA' . Le courant recueilli présente des variations très inégales, AB et $A'B'$, ce qui montre que le système agit en laissant passer le courant dans un sens plutôt que dans l'autre (fig. 46 en II). La conductibilité est asymétrique.

Si l'on fait agir une série d'oscillations, de telle sorte que le fonctionnement se produise toujours dans des conditions analogues, on obtiendra bien un redressement, tout au moins partiel, des oscillations (OA_1 , OA'_1).

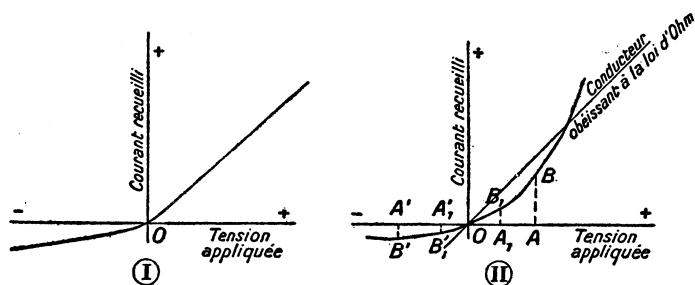


FIG. 46 — Caractéristique d'un détecteur linéaire en I et d'un détecteur non linéaire à courbe parabolique en II.

On voit généralement que pour une petite variation autour du point figuratif, la différence des oscillations recueillies à la sortie du système est moins grande, et l'effet détecteur est peu marqué ; l'efficacité du détecteur augmente ainsi avec l'intensité des oscillations à détecter, et ne reste pas constante ; la détection suit *la loi du carré* ; on dit également qu'elle est *parabolique*, à cause de la forme de la courbe.

Un détecteur idéal doit produire une détection dite *linéaire*, n'amenant pas de distorsion, et posséder une courbe caractéristique qui soit une droite. La caractéristique d'un détecteur linéaire est indiquée, en particulier sur la figure 46 en I ; on voit qu'elle se compose, en réalité, de deux droites, de telle sorte que l'effet de détection ne dépend plus de l'importance de la tension appliquée ; le détecteur à cristal permet d'obtenir une détection linéaire.

On étudie un détecteur en appliquant à ses bornes une force électromotrice continue, que l'on peut faire varier de façon régulière, et en mesurant, par exemple, au moyen d'un milliampèremètre, l'intensité du courant traversant le circuit ; il est facile d'appliquer sur le système

des tensions égales, en inversant la polarité, de manière à obtenir une deuxième portion de courbe.

En pratique, un détecteur n'est jamais parfait ; la résistance offerte dans un sens est très faible, mais elle n'est pas infinie en sens contraire ; le détecteur est d'autant plus parfait que la portion négative de sa caractéristique est plus voisine de l'axe horizontal des coordonnées, ou se confond avec cet axe, dans le cas théorique d'un détecteur à conductibilité unilatérale.

Détection radiophonique. — Considérons un courant alternatif modulé, de fréquence porteuse déterminée, recueilli aux bornes du circuit d'accord. Le détecteur permet de supprimer, suivant la définition précédente, les alternances d'un certain sens, ou, du moins, de les diminuer dans de très grandes proportions. Supposons ainsi que les alternances négatives soient supprimées ; on ne recueillera à la sortie du détecteur, et on n'enverra vers le haut-parleur qu'une suite d'alternances positives donnant naissance à un courant moyen, dont la forme est la même que la *courbe enveloppe* de ces alternances positives qui correspond au courant microphonique initial du poste émetteur. Le diffuseur du haut-parleur est actionné par les variations d'intensité du courant, suivant la courbe des intensités du microphone d'émission ; l'effet est le même que si l'on envoyait dans le haut-parleur un courant musical (fig. 40 E).

Le détecteur doit produire une *démodulation* satisfaisante sans amener de distorsion ; mais, en général, une oscillation modulée par un son pur agissant sur un détecteur ne permet pas d'obtenir un son pur. Ce résultat n'est atteint que si le détecteur est *linéaire*.

Les effets de distorsion sont d'autant plus à craindre que la *profondeur de modulation* est plus importante, c'est-à-dire que le rendement de l'émetteur est, en général, meilleur. Or, nous avons vu précédemment que l'effet de détection était d'autant plus marqué que les oscillations étaient de plus grande amplitude ; il y a là une difficulté supplémentaire pour la réception radiophonique.

Différents types de détecteurs. — Tout système constituant un conducteur unilatéral ou asymétrique, c'est-à-dire, en pratique, ayant une conductibilité beaucoup plus grande dans un sens que dans un autre, constitue un détecteur. La différence des oscillations dans un sens ou dans l'autre fait apparaître une composante de courant musical, par addition des alternances de même sens.

Le meilleur détecteur présente une caractéristique à coude très marqué. Pratiquement, la courbure est généralement légère et arrondie ; elle suffit lorsque la tension moyenne appliquée sur le système est bien choisie.

Il existe de très nombreux systèmes de détection : le *cohéreur*, le *détecteur électrolytique*, le *détecteur à contact*, le *détecteur magnétique*, etc. n'offrent plus qu'un intérêt historique ; on n'utilise, en pratique, que les *détecteurs à cristaux* dans les appareils extrêmement simples, et essentiellement les *détecteurs à lampes*.

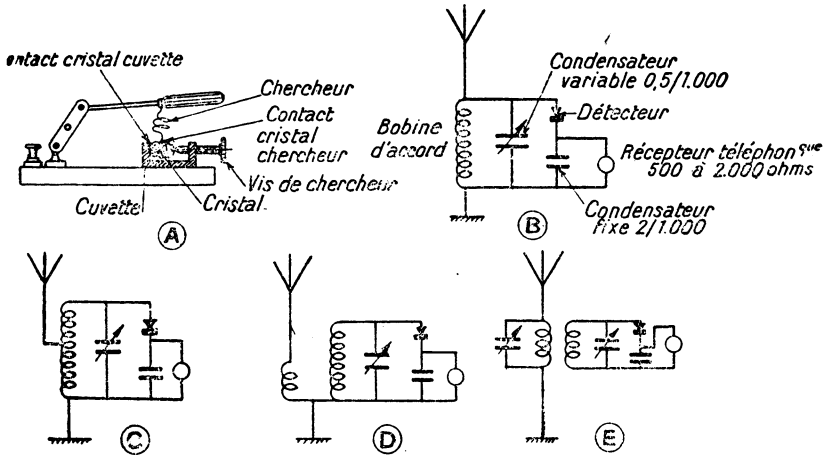


FIG. 47 — Poste à galène

A, détecteur à galène classique ; B, poste à galène avec montage d'accord en dérivation poste à galène avec accord en Oudin ; D, emploi d'un montage d'accord en Bourne ; E, emploi d'un montage Tesla.

On emploie surtout le *détecteur à galène*, qui se compose d'un cristal de sulfure de plomb (PbS) naturel, artificiel, ou sensibilisé, serré dans une mâchoire métallique, et sur lequel appuie à pression légère et variable une pointe métallique constituant généralement l'extrémité d'un ressort en spirale. Le diamètre de la pointe est de 1/10 à 2/10 de millimètre ; le ressort, ou *chercheur*, peut être en nickel, en argent en maillechort, en cuivre, en or ou en platine, et, en général, de préférence en métal inoxydable (fig. 47).

On a proposé d'employer à la place de la galène un grand nombre d'autres cristaux, tels que la zincite (oxyde de zinc), la hessite (tellurure d'argent), le carborundum (carbure de silicium), etc.

Le détecteur à contact carborundum-acier présente, en particulier,

une stabilité assez grande ; on emploie également des détecteurs à contact cristal-cristal, avec minerais de zinc oxydé, ou en adoptant à la place de la galène, un morceau de plomb, nickel, fer ou bismuth, à la surface duquel on dépose une couche fine d'un métalloïde : sélénium, soufre, phosphore rouge, antimoine, et même iode.

En pratique, le cristal de galène est le plus simple, mais la sensibilité du système varie suivant la qualité du cristal, et la pression de la pointe du chercheur. Tous les points de la surface ne sont pas également sensibles, et la qualité de l'échantillon est révélée par le nombre et l'étendue des *plages sensibles*.

Les cristaux *sensibilisés* possèdent des points sensibles, plus rapprochés les uns des autres ; on les obtient par sulfuration de la surface des cristaux naturels, ou en fabriquant des cristaux synthétiques. Ces cristaux plus sensibles sont, en général, plus affectés également par les agents atmosphériques, et moins durables que les cristaux naturels.

Le détecteur ne peut fonctionner que si la pointe du chercheur est très fine, et la surface du cristal parfaitement propre, de manière à éviter toute couche isolante entre le cristal et le chercheur. La pression de la pointe doit être réglée, non seulement en intensité, mais en orientation ; c'est pourquoi, on emploie souvent des chercheurs à rotule.

Postes à galène. — Le poste à galène est réalisé simplement au moyen d'un détecteur à galène sur lequel agissent les oscillations recueillies à la sortie d'un appareil d'accord ; les courants détectés actionnent un récepteur téléphonique shunté par un condensateur fixe laissant passage aux oscillations musicales de haute fréquence.

Dans les appareils primitifs, le détecteur à galène était intercalé directement dans l'antenne ; ce montage, très défectueux en raison de la résistance du système, produisait un amortissement des oscillations, et, par conséquent, réduisait les effets de résonance. On emploie aujourd'hui le montage en dérivation, ou encore le montage en Oudin, suivant les caractéristiques précédemment décrites.

Les premiers postes à galène comportaient des bobinages d'accord cylindriques, de grandes dimensions, de gros diamètre, avec des enroulements en fil émaillé et à curseur ; aujourd'hui, on utilise des bobinages de petites dimensions, en fond de panier, ou en nid d'abeilles, interchangeables ou à prises, et des condensateurs variables à diélectrique d'air à lame de mica, ou de prespahn pour obtenir l'accord exact.

Si l'on veut obtenir une plus grande sélectivité, on utilise encore le montage Bourne, et, beaucoup plus rarement, le montage en Tesla (fig. 47).

Avantages et inconvénients du poste à galène. — De tous les montages de T.S.F. en usage avant la guerre de 1914, le poste à galène est le seul encore utilisé pour la réception radiophonique. Ce fait est dû essentiellement à son extrême simplicité, et à son bon marché ; n'importe quel « bricoleur » peut établir un appareil à galène à très bas prix et les frais d'entretien sont à peu près nuls, puisqu'il n'est besoin pour l'alimentation d'aucune source électrique. C'est donc un appareil très utile qui peut rendre de bons services dans les régions les plus déshéritées, et convient aux débutants les moins fortunés.

Par contre, malgré les qualités remarquables du détecteur à cristal *un appareil à galène n'est ni sensible, ni sélectif, ni puissant* ; il ne permet pas de recevoir des émissions lointaines, si l'on ne dispose pas d'une bonne antenne extérieure ; dans les villes, il est destiné essentiellement à l'audition des radio-concerts locaux.

Il ne permet pas d'obtenir des auditions en haut-parleur, et il faut se contenter d'écouteurs téléphoniques, dont on peut seulement multiplier le nombre. Pour pouvoir utiliser un haut-parleur, il faut amplifier les réceptions à l'aide d'un appareil à lampes à vide, ce qui complique l'installation, et la rend aussi complexe que celle d'un poste à lampes plus sensible.

Enfin, un poste à galène ne permet pas de séparer des émissions de longueurs d'onde voisines. En particulier, dans les villes où se trouvent des postes émetteurs locaux, il est souvent impossible de recevoir les émissions lointaines, par suite des brouillages.

Ce manque de sélectivité est dû à la résistance ohmique relativement faible du détecteur, de l'ordre de quelques centaines d'ohms, déterminant un amortissement du circuit d'accord, sur lequel il est monté en dérivation. La détection est effectuée, d'autre part, sans aucun effet d'amplification, suivant une caractéristique linéaire. Il n'y a pas de déformation, l'audition est pure, mais la tension redressée est proportionnelle à la tension appliquée sur la grille, et non au carré de la tension, comme pour les détecteurs suivant « la loi du carré », en particulier la lampe détectrice triode.

La sensibilité des appareils à galène ne peut être augmentée que par l'adoption de cristaux sélectionnés ; les détecteurs plus modernes proposés, par exemple, à cuivre-oxyde de cuivre, ne sont utilisés qu'en com-

binaison avec des étages à lampes. On augmente un peu la sélectivité en réduisant l'amortissement, en branchant le circuit du détecteur sur une partie seulement du bobinage d'accord, comme le montre la figure 48.

La forme la plus moderne est ainsi représentée par ce schéma, et il n'y a guère à espérer, en complétant le système d'accord, par des filtres quelconques, qu'une complication du réglage et une augmentation des pertes, sans véritable intérêt. Les bobinages sont des enroulements à prises multiples, en nid d'abeille ou en gabion, par exemple ; il y a surtout intérêt à remplacer le condensateur variable de basse qualité par un modèle à diélectrique d'air.

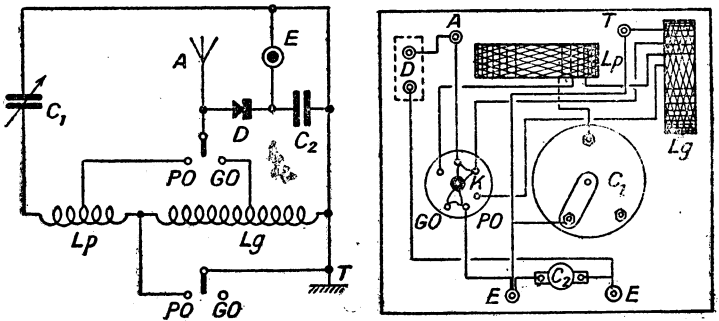


FIG. 48 — Forme perfectionnée du poste à galène.

Schéma de principe, et plan de montage sur une plaquette isolante. L_p bobine d'accord en nid d'abeille ou en gabion pour petites ondes, 50 à 60 spires ; L_g , bobine pour grandes ondes 150 à 200 spires ; C_1 , condensateur d'accord de 0,5/1.000 ; K , inverseur rotatif bi-polaire à deux directions ; A , borne d'antenne ; E , borne de terre ; D , détecteur ; C_2 , condensateur fixe de 2/1.000 ; E , borne d'écouteur.

Si l'on veut augmenter la qualité des résultats obtenus, à la campagne, en particulier, il faut s'efforcer d'établir une bonne antenne extérieure d'une hauteur de 5 à 6 mètres au-dessus du toit, et comportant des brins de 30 à 40 mètres au minimum. Les écouteurs seront de bonne qualité, et auront une résistance de plusieurs centaines d'ohms. Des modèles perfectionnés à diaphragme conique en aluminium sont évidemment plus sensibles, mais l'augmentation du prix de revient n'est pas toujours justifiée par l'amélioration du résultat obtenu.

En raison de sa simplicité, et du petit nombre d'organes qui le constituent, le poste à galène a pu être présenté sous les formes portatives les plus diverses, et les plus curieuses. Elles diffèrent presque à l'infini.

CHAPITRE VI

LA LAMPE A VIDE DE T. S. F.

Le fonctionnement et les perfectionnements de tous les appareils radio-électriques ne sont possibles que grâce à l'emploi des *lampes à vide*. La « petite lampe merveilleuse », dont les formes récentes ne ressemblent guère aux réalisations initiales de « l'âge héroïque » de la T.S.F., n'est plus seulement utilisée pour la détection, l'amplification, et la production des oscillations haute fréquence de T. S.F., mais pour l'amplification des courants de toutes fréquences, et spécialement de fréquence musicale.

Effet Edison. — Le fonctionnement de la lampe à vide est basé sur le phénomène de *l'émission électronique*, constaté, pour la première fois par le grand savant Edison, et connu pour cette raison sous le nom *d'effet Edison*.

En 1883, peu de temps après avoir construit sa lampe à filament de carbone dans le vide, le génial inventeur parvint à observer le passage d'un courant entre le filament incandescent et une électrode auxiliaire placée au centre de l'ampoule. La lampe était alimentée par un générateur à tension continue, et le courant ne traversait l'espace vide d'air que lorsque l'électrode auxiliaire était chargée positivement, en la reliant par l'intermédiaire d'un galvanomètre monté en série, à l'extrémité positive du filament, c'est-à-dire à l'extrémité reliée au pôle positif de la source (fig. 49).

Edison mentionne dans ses brevets quelques possibilités d'applications, mais il n'a pas publié les résultats de tous ses travaux, et il est probable qu'il n'a pu acquérir une connaissance approfondie des conditions de ce phénomène.

L'effet Edison se traduit, par exemple, par le noircissement des am-

poules des lampes d'éclairage à incandescence à la suite du dépôt sur la surface interne de vapeurs métalliques provenant du filament chauffé.

La conductibilité électrique de l'air au voisinage d'un métal à la température du rouge avait été signalée, pour la première fois, en 1725 par Du Fay, et d'intéressantes recherches de Becquerel, Guthrie,

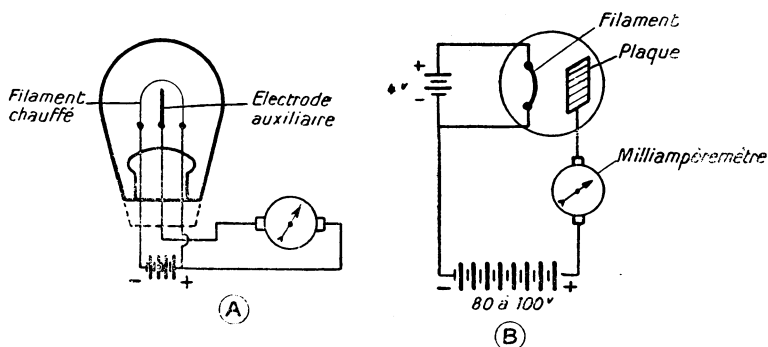


FIG. 49 — Effet Edison

A, expérience d'Edison ; B, démonstration de l'émission électronique.

Elster et Geitel, avaient été effectuées dans ce domaine dans la deuxième moitié du dix-neuvième siècle ; elles n'avaient pas abouti à des applications pratiques.

Preece et Fleming ont montré que l'effet Edison doit être attribué au déplacement vers l'électrode auxiliaire de charges électriques négatives abandonnées par le filament incandescent ; ce phénomène unilatéral servit à Fleming pour obtenir le redressement d'un courant alternatif à l'aide de sa valve constituant le prototype des redresseurs modernes à filament chauffé.

J.-J. Thomson et ses collaborateurs démontrèrent depuis 1898 l'identité des corpuscules négatifs émis par les métaux incandescents, et des électrons constituant les rayons cathodiques. Ils expliquèrent l'effet Edison en supposant que le métal constituant le filament, et porté à une certaine température, se désagrègeait, et rayonnait des *électrons*, petits grains d'électricité négative, qui se dirigent vers l'électrode auxiliaire portée à un potentiel positif.

Constitution de la matière et émission électronique. — Pour les savants du XIX^e siècle, deux éléments essentiels constituaient l'univers : la matière et l'énergie éléments aux aspects divers, mais de natures

essentiellement différentes et ne pouvant jamais se transformer l'un dans l'autre. Les travaux modernes ont montré qu'il y a un rapport plus étroit entre la matière et l'énergie ; toute matière est le siège de mouvements intimes extrêmement rapides, et perd de façon continue une partie d'elle-même.

La matière n'a pas un caractère uniforme et continu ; nous avons déjà insisté sur ce point. Un fragment d'un corps chimique simple, tel que le soufre, le fer, le cuivre, l'oxygène, peut être brisé en morceaux de plus en plus réduits, mais cette division n'est pas indéfinie ; il arrive un moment où l'on obtient une parcelle de matière indivisible, ou, tout au moins, si cette division était encore possible, les différentes parties obtenues ne seraient plus identiques entre elles.

La partie la plus réduite d'un corps simple a été nommée *l'atome* ; elle est de dimensions extrêmement réduites, puisque, par exemple 23 grammes de sodium contiennent un nombre d'atomes égal à $6,06 \times 10^{23}$; le diamètre de l'atome est de l'ordre de 10^{-8} centimètre.

Cette conception des atomes n'est pas nouvelle ; elle avait été prévue par les philosophes anciens, par Démocrite et Epicure. Cette hypothèse fut rejetée par Aristote ; elle ne revint en honneur qu'au XVI^e siècle, et ouvrit d'abord la voie à la chimie moderne.

Pour la physique actuelle, l'atome est un système solaire en miniature. D'après l'hypothèse de Bohr, datant de 1913, un noyau positif est entouré par des particules d'électricité négative, ou *électrons*, qui gravitent autour de lui, comme les planètes tournent autour du soleil. Les proportions des orbites sont les mêmes ; en remplaçant le noyau par le soleil, les orbites électroniques s'étendraient aussi loin que l'orbite de Saturne. *L'atome tout entier comporte donc surtout du vide*, ce qui explique pourquoi il est difficilement vulnérable ! La masse du noyau d'hydrogène ou proton vaut 1845 fois celle de l'électron. Sa masse serait de 9×10^{-28} gramme environ. L'électron est dénué de dimensions ; en tous cas, elles seraient inférieures à 10^{-13} centimètre, et, pour des dimensions aussi petites, toutes nos conceptions d'espace et de mesure perdent leur signification précise.

On a pu mesurer aussi la charge qui est de $1,59 \times 10^{-19}$ coulomb, et sa vitesse de déplacement de l'ordre de dizaines de milliers de kilomètres par seconde.

Les atomes de chaque élément chimique possèdent un nombre déterminé d'électrons, nombre égal à celui des protons positifs du noyau. L'atome d'hydrogène ne possède qu'un électron, l'atome d'hé-

lium, 2, celui d'oxygène, 8, celui de soufre, 16, l'atome de fer, 26, l'atome d'argent, 47, l'atome de mercure 80, celui de radium 83, et, enfin, celui d'uranium, le plus lourd, 92 (ce qui explique son emploi dans les « bombes atomiques »).

Le noyau et ses satellites ont donc à peu près les mêmes dimensions sauf celui d'hydrogène, proton unique dont le diamètre est près de 2.000 fois plus petit que celui de l'électron, et, par suite, que celui du noyau des autres atomes. *Il faut éviter, pourtant, d'avoir une idée trop simple de l'atome*, et des expériences récentes ont prouvé l'existence d'autres éléments entrant dans sa constitution.

On admettrait ainsi l'existence de trois particules élémentaires tout au moins : *l'électron négatif*, ou *électron* proprement dit, *l'électron positif*, ou *positon*, et *le neutron*. *Le proton* serait constitué par la réunion d'un neutron et d'un positon.

Les électrons se meuvent sur des orbites concentriques au noyau, correspondant à des niveaux d'énergie ; ceux qui sont sur les orbites les plus extérieures sont le plus facilement dissociés de l'atome, et provoquent la plupart des phénomènes chimiques, ainsi que les phénomènes physiques, tels que la lumière. Les travaux les plus récents ont éliminé plus ou moins l'idée simple des orbites géométriques parcourus par les électrons ; on songerait plutôt à une onde produisant un nuage de charge électrique négative.

Le noyau, dans son ensemble plus ou moins complexe, est chargé positivement ; les électrons sont chargés négativement ; au repos, les deux charges s'équilibrent, de sorte que l'atome est neutre.

Il y a une distance extrêmement grande (relativement, répétons-le bien entendu) entre le noyau et chaque couronne d'électrons satellites, et entre chacune de ces couronnes. En assignant au noyau de l'atome d'hydrogène la grosseur d'une tête d'épingle, et en la situant à Paris, l'électron satellite aurait le volume d'un tonneau, et décrirait une circonférence passant par Rouen, Orléans, et Reims. L'espace vide dans lequel voguent les électrons peut être comparé à la nef d'une cathédrale, dans laquelle se déplaceraient des mouches !

Mais, au repos, l'attraction électrostatique exercée entre les électrons négatifs et le noyau positif est équilibrée par la force centrifuge ; il est nécessaire de fournir une certaine énergie au système pour arracher un des électrons, comme pour écarter deux corps qui s'attirent.

Si un électron quitte l'atome, ce dernier devient positif : on dit qu'il *s'ionise*, et devient *un ion* positif. Ce phénomène peut apparaître dans

une solution liquide, par un phénomène chimique, et dans un gaz sous l'effet d'un bombardement électrique.

L'évaporation électronique, ou émission électronique, constituée par la projection à grande vitesse des électrons hors de l'atome sous l'action de la force centrifuge dûe à un mouvement accéléré, peut être obtenue par différents procédés.

Tout d'abord, par *une élévation de température* : c'est le principe des *lampes thermioniques*, ou tubes à vide, démontré dans l'effet Edison. On l'obtient également, *par effet de choc*, dans les phénomènes d'ionisation indiqués plus haut, et, enfin, par *excitation lumineuse* déterminant *l'effet photoélectrique* dans les cellules photo-électriques.

L'émission électronique, constatée dans les lampes à vide en chauffant un métal à une température suffisamment élevée par un moyen quelconque, pourrait donc être obtenue par un autre procédé, et les lampes à vide de T.S.F. seront peut-être un jour basées sur un autre principe.

L'énergie nécessaire pour obtenir la libération définitive des électrons dépend de la constitution du système. Si l'électron se trouve sur une orbite assez éloignée du noyau, l'attraction est relativement faible, et la séparation plus facile. Les échanges d'énergie entre l'atome et le milieu ambiant obéissent à une loi essentielle : ils ne peuvent s'effectuer que par valeurs fixes, ou *quanta*.

Principe initial de la lampe à vide. — Dans une ampoule vide d'air, plaçons un filament analogue à celui d'une lampe d'éclairage électrique, que nous portons à l'incandescence à l'aide d'une batterie de piles, à basse tension, et, en face de lui, une plaque métallique à une certaine distance. Réunissons le pôle positif d'une deuxième batterie d'assez forte tension à cette plaque, nous constatons, à l'aide d'un milliampèremètre monté en série, qu'un courant passe dans le circuit bien qu'il y ait un espace vide entre le filament et la plaque (fig. 49 B).

C'est là, l'effet Edison expliqué précédemment. Le courant électrique se produit du filament vers la plaque, puisqu'il est constitué par un flux d'électrons négatifs se précipitant hors du filament sous l'action de la chaleur, et allant bombarder la plaque. Suivant le sens conventionnel choisi en électricité, il faut cependant le considérer comme se propageant de la plaque positive vers le filament négatif.

Si l'on porte, au contraire, la plaque à une tension négative, en changeant la polarité de la pile, les électrons, grains d'électricité négative,

sont repoussés, puisque deux électricités de même nom se repoussent ; *le dispositif formé ne laisse donc passage au courant que dans un sens.*

Les formes respectives du filament et de la plaque doivent, d'ailleurs, être différentes, et le courant obtenu dans le système est d'autant plus élevé que le filament émet plus d'électrons. Cette émission électronique dépend de la surface du filament, de sa nature, et de sa température ; elle est d'autant plus intense que la plaque permet de mieux attirer les électrons, et à une vitesse plus considérable, c'est-à-dire que sa tension positive est plus élevée. Il y a cependant une limite dépendant de la construction même du système, correspondant aux conditions pour lesquelles tous les électrons émis par le filament viennent atteindre la plaque ; ce courant limite est appelé *courant de saturation*, pour une température donnée du filament.

On vérifie facilement que le courant traversant le galvanomètre est ainsi plus grand lorsqu'on augmente la tension de la plaque, jusqu'à un maximum qui ne peut être dépassé.

La vitesse des électrons se détermine d'après la formule approximative $V=594 \sqrt{E_a}$, E_a étant la tension appliquée sur la plaque. Pour $E_a = 100$ volts, la vitesse est d'environ 6.000 kilomètres-seconde.

Pour un courant d'un milliampère, passant entre le filament et la plaque, la quantité correspondante d'électrons est, d'autre part, d'environ 6×10^{15} par seconde.

Sous l'effet du choc des électrons qui viennent frapper sa surface, la plaque peut devenir rouge, et même entrer en fusion, par transformation d'énergie cinétique en énergie calorifique ; la tension de la plaque ne peut donc être augmentée indéfiniment pour une construction donnée, pas plus que la température du filament ; il arriverait, d'ailleurs, un moment où des étincelles, et des effluves éclateraient entre le filament et la plaque.

En réalité, en régime normal, tous les électrons émis par le filament ne peuvent parvenir à la plaque ; il se produit autour du filament un véritable *nuage d'électrons* produits par ceux qui s'échappent sous l'action de la température, mais avec peu de force ; comme ils sont chargés négativement, ils ont tendance à repousser ceux qui s'échappent du filament, en déterminant une action de répulsion contrariant l'attraction de la plaque ; cette charge négative s'appelle *charge d'espace* ou *charge spaciale*.

Ce phénomène diminue le courant plaque-filament ; de même, certains électrons, après avoir frappé la plaque, peuvent rebondir, en quel-

que sorte, en direction du filament, en produisant un effet analogue.

Lampe diode et valves de redressement. — La forme la plus simple de la lampe à vide correspond exactement au premier système d'Edison, ou plutôt à la valve de Fleming, et comporte ainsi deux électrodes : un *filament*, ou *cathode*, émettant des électrons, et, en face dans une ampoule vide d'air, une *plaque*, ou *anode*, portée à un potentiel positif. On donne à cette lampe le nom de *diod*e, parce qu'elle comporte deux électrodes.

Si l'on applique sur les électrodes, non une différence de potentiel continue, mais des oscillations alternatives, le système laisse passer seulement une alternance du courant, correspondant à la période pendant laquelle la plaque est portée à un potentiel positif.

Les lampes diodes sont employées en radiophonie pour la détection, et pour l'alimentation des appareils, lorsqu'il s'agit de redresser le courant alternatif d'un secteur.

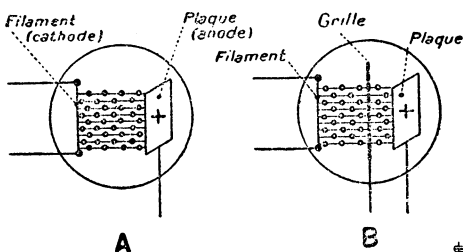


FIG. 50 — L'émission électronique dans la diode (A), et dans la triode (B).

En utilisant deux lampes diodes identiques d'une manière convenable, on peut redresser les deux alternances du courant alternatif, d'après le principe expliqué dans le chapitre précédent. Ces deux lampes peuvent être remplacées par une lampe à un seul filament, et à deux plaques, dite valve *biplaque*.

L'introduction dans l'ampoule d'un gaz rare à faible pression permet d'obtenir des effets d'*ionisation* augmentant le flux électronique final, et, par conséquent, le courant filament-plaque, mais compliquant également le fonctionnement. Les diodes utilisées pour la détection sont donc uniquement des modèles à vide.

Lampe à trois électrodes, ou triode. — La forme essentielle de la lampe à vide, malgré les usages récents de la lampe diode pour les réceptions radiophoniques, est la *lampe à trois électrodes*, ou *triode*, dont le prototype a été créé par Lee de Forest. Elle comporte, dans une ampoule vide d'air, en verre ou métallique, un *filament*, ou *cathode*, chauffé directement ou indirectement, et qui émet des électrons. En face de

ce filament, se trouve une *plaque* métallique, ou *anode*, portée à un potentiel positif à l'aide d'une source de courant continu, et qui attire les électrons émis par la cathode (fig. 50).

Entre la cathode et la plaque, on intercale une troisième électrode, appelée *grille*. Celle-ci, comme l'indique son nom, n'est pas constituée par une plaque pleine s'opposant mécaniquement au passage des électrons ; elle peut présenter différentes formes : treillis métallique, plaque perforée, et a souvent la forme d'une hélice, de section circulaire, elliptique ou rectangulaire, dont les spires sont constituées par un fil en nickel ou en tungstène enroulé autour de la cathode, qui en constitue l'axe.

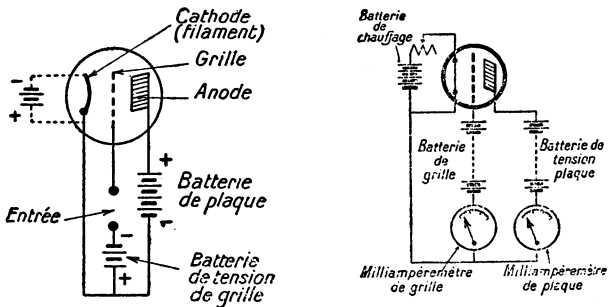


FIG. 51 — Etude du fonctionnement d'une lampe triode, et montage permettant d'établir les courbes caractéristiques pour une lampe à chauffage direct.

Si la grille n'est pas reliée à une source de courant, tout se passe comme si elle n'existait pas, puisqu'elle ne gêne pas mécaniquement le passage des électrons : la lampe fonctionne comme une diode.

Si l'on applique sur cette grille une polarisation négative, à l'aide d'une petite batterie de piles dont le pôle positif est relié au filament de la lampe, elle repousse les électrons chargés d'électricité négative. Si la tension négative est suffisante, tout le flux électronique est arrêté, et il ne passe plus de courant entre le filament et la plaque. Le courant diminue de valeur, en tout cas, à mesure qu'on augmente la tension de la batterie (fig. 51 A).

Recommençons l'expérience, en connectant le pôle positif de la batterie à la grille, et le pôle négatif au filament de la lampe, c'est-à-dire en appliquant sur la grille une tension positive. La grille étant à une tension positive attire les électrons et agit comme la plaque ; son effet attractif s'ajoute à celui de celle-ci, le flux électronique est augmenté.

Si l'on augmente encore la tension de la batterie, la grille attire de plus en plus violemment les électrons émis par le filament ; à un moment donné, il se produit des phénomènes complexes, car la grille joue le rôle d'une véritable plaque en retenant les électrons, et détermine la naissance d'un *courant de grille*, analogue au courant de plaque, entre elle et le filament.

Nous pourrions mesurer l'intensité de ce courant de grille en intercalant dans le circuit grille-filament un autre galvanomètre. Un nuage d'électrons se produit encore autour du filament, de sorte que tous les électrons émis par le filament ne peuvent normalement atteindre la plaque.

Le courant de plaque varie ainsi selon la polarisation de la grille ; cette dernière joue, pour le flux électronique, le rôle d'un véritable robinet mais il n'est pas besoin de dépenser une énergie notable pour le faire fonctionner ; le système agit comme *un relais de contrôle* permettant le passage de l'énergie fournie par les sources d'alimentation de la lampe ; si nous faisons varier dans de faibles proportions la tension de grille, nous pouvons obtenir une variation importante du courant traversant le circuit de plaque.

De là, résulte l'effet amplificateur de la lampe triode. Pour amplifier un signal, il suffit de le faire agir sur la grille et de recueillir dans le circuit de plaque les variations amplifiées correspondantes. On dit couramment que l'on a ainsi *amplifié* le courant de grille : en réalité il n'y a eu aucune amplification, au sens exact du mot ; on a uniquement remplacé la faible énergie appliquée sur la grille par l'action plus puissante produite par les sources d'alimentation.

Une lampe à trois électrodes comporte deux circuits absolument distincts: le *circuit plaque* se composant de la plaque, de l'espace plaque-filament, et de la source déterminant la tension positive, et le *circuit-grille* se composant de la grille, de l'espace grille-filament et de la source déterminant la polarisation de la grille ; il existe un espace commun à ces deux circuits : l'espace filament-grille (fig. 51 A).

Caractéristiques de la lampe de T.S.F. — Le fonctionnement de la lampe est assuré par une source d'alimentation plaque, généralement à haute tension, mais à faible débit, par la source de chauffage de la cathode à basse tension, et, s'il y a lieu, par la source de polarisation de la grille. Il faut donc connaître la tension et l'intensité du courant de chauffage, les tensions et les intensités des courants de plaque

et de polarisation des électrodes, ou, en tout cas, de la grille ; ce sont des *données d'utilisation*.

Les *données de fonctionnement* de la lampe permettent de déterminer le choix et l'adaptation du modèle considéré : ce sont le *coefficient d'amplification*, la *résistance interne*, et la *pente* de la caractéristique.

Les *caractéristiques statiques* sont les valeurs observées pour des tensions continues appliquées aux électrodes ; les *caractéristiques dynamiques* sont les valeurs obtenues en appliquant une tension alternative sur la grille de contrôle, et diverses tensions continues sur les autres électrodes ; elles donnent ainsi des renseignements plus exacts sur les propriétés de la lampe en fonctionnement normal.

Les courbes représentatives des phénomènes de fonctionnement, ou *courbes caractéristiques* sont établies à l'aide de mesures effectuées sur la lampe lorsqu'on fait varier la tension appliquée sur une électrode. On utilise surtout les courbes tension-plaque courant-plaque, obtenues en notant les différentes valeurs du courant en fonction de la variation de tension de l'anode, et les courbes tension-grille courant-plaque obtenues en faisant varier la polarisation de la grille de contrôle, et en mesurant le courant-plaque pour diverses valeurs de la tension plaque. Ces courbes permettent de donner chacune des informations sur les données statiques de fonctionnement sous deux formes différentes (fig. 48). Il n'existe pas une seule courbe caractéristique : chaque fois que l'on fait varier la tension-grille, dans le premier cas, et la tension-plaque, dans le deuxième, on obtient une courbe différente, ou, du moins, de forme analogue, mais décalée. Si la tension-plaque est plus élevée, par exemple, il faut une tension-grille plus négative, pour obtenir la même tension-plaque, ce qui s'explique aisément. Les groupes de courbes ainsi tracées sont appelées des *familles de courbes*.

Le dispositif classique pour étudier les propriétés statiques d'une triode à filament ordinaire, est indiqué sur la figure 51 B. Une batterie permet de chauffer le filament, une deuxième applique sur la plaque un potentiel fixe positif, choisi, par exemple, entre 40 et 250 volts ; une troisième fait varier la tension de la grille, en grandeur ou en polarité, suivant le nombre des éléments en circuit ou à l'aide d'un potentiomètre.

Deux milliampèremètres sont placés, l'un sur le circuit de plaque, l'autre sur le circuit de grille, et le pôle négatif de la batterie de chauffage forme le pôle commun des trois batteries.

L'expérience consiste, par exemple, à faire varier la tension de la grille, en laissant fixes le chauffage et la tension de plaque. Pour chaque valeur de la tension de grille, on obtient la valeur du courant de plaque et l'on peut construire une courbe qui est la caractéristique tension-grille courant-plaque de la lampe considérée.

Chaque fois que l'on fait varier la tension de plaque, on obtient une courbe différente, et, pour une même lampe, on peut donc tracer toute une famille de courbes analogues ; l'étude et l'interprétation de ces courbes permettent de déterminer les conditions de fonctionnement de la lampe.

Toutes ces courbes présentent une partie droite plus ou moins

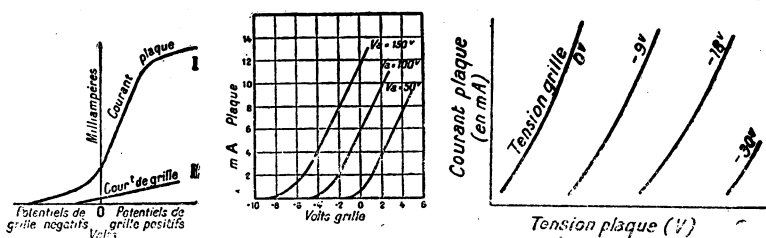


FIG. 52 — Courbe caractéristique du courant plaque d'une triode en fonction du potentiel de grille, et du courant de grille en fonction du potentiel de grille en A. B, famille de courbes caractéristiques courant plaque, volts-grille, pour différentes tensions de plaques ; C, famille de courbes tension plaque courant plaque.

longue ; dans cette partie rectiligne, le rapport entre les variations de l'intensité du courant de plaque et celles de la tension de grille reste constant.

Pour une tension de grille très négative, à gauche de l'axe des ordonnées, le courant de plaque est nul. Lorsque la grille devient moins négative, un courant de plaque prend naissance, mais le phénomène est irrégulier, la courbe présente un *coude inférieur* (fig. 52).

Le courant augmente peu à peu, et proportionnellement à la tension de grille dans la partie rectiligne de la courbe. Pour une certaine valeur de la tension positive de la grille, tous les électrons sont attirés par la plaque, le courant maximum, dit *de saturation*, est atteint, ce qui correspond à un *coude supérieur* de la courbe.

De même, en maintenant constants le chauffage et la polarisation de grille, mais en faisant varier la tension de plaque, on pourrait obtenir toute une famille de courbes, tension-plaque courant-plaque, de formes analogues, mais décalées les unes par rapport aux autres, et on pourrait

aussi étudier le courant de grille. Ces courbes sont *statiques* ; nous verrons, à propos de l'amplification, les différences qu'elles présentent avec les *courbes dynamiques*, considérées en étudiant la lampe en *fonctionnement*, et non en appliquant des tensions fixes.

La principale propriété de la lampe est de constituer un *relais*. En faisant varier de quelques volts la tension appliquée sur la grille, on peut établir, modifier, ou couper, le courant anodique, souvent élevé, et obtenu en appliquant sur la plaque une tension de plusieurs centaines de volts.

Les propriétés de ce relais idéal sont tout à fait différentes de celles des relais mécaniques connus jusqu'alors ; en principe, il *ne consomme pas d'énergie*, s'il n'y a pas de courant de grille ; son action n'est pas brutale, elle est dosée exactement par l'effet appliqué sur la grille. Enfin, c'est un *relais sans inertie*, grâce aux mouvements des électrons, d'une rapidité telle que leur action peut être considérée presque comme instantanée.

Les *données de fonctionnement* de la lampe, ou *constantes statiques* sont indiquées par une série de grandeurs déjà indiquées plus haut.

Pente de la lampe. — La *pente* d'une lampe, désignée en France par la lettre S, est le rapport existant entre une certaine variation de tension-grille en volts, et une variation du courant de plaque correspondant en milliampères, pour une valeur déterminée de la tension de plaque. Cette donnée s'exprime donc par l'expression :

$$S = \frac{\text{variation de l'intensité anodique (milliampères)}}{\text{variation de la tension de grille (volts)}}$$

La *pente* est exprimée en milliampères par volt (ma/V). Si, pour une augmentation de tension de grille de 8 volts, le courant de plaque varie de 4 à 20 milliampères, soit une augmentation de 16 milliampères, la pente de la caractéristique est de 16 milliampères pour 8 volts, soit 2 milliampères par volt. Ce rapport indique, d'ailleurs, la *pente géométrique* ou *inclinaison* de la courbe caractéristique considérée, déterminée d'après l'inclinaison de la courbe au point considéré. On peut la calculer en considérant le triangle rectangle ayant comme côtés les segments représentatifs de la variation de tension-grille, et de la variation de tension-plaque.

On donne aussi à la pente le nom de *conductance mutuelle* ; elle s'exprime alors dans l'unité *mho*, appellation formée en inversant l'ordre des lettres du mot ohm. Le mho est l'inverse de l'ohm ; pour simplifier les écritures, on utilise le millionième de mho ou micromho ; par exemple, une pente de 1 milliampère par volt correspond à 1.000 micromhos ou 0,001 mho.

Pente de conversion. — La *pente de conversion*, désignée généralement en France par la lettre S, est une caractéristique propre aux lampes *changeuses de fréquence*. On la définit comme le quotient du courant moyenne fréquence dans le primaire du transformateur moyenne fréquence, par la tension haute fréquence qui le détermine. Plus exactement, c'est la limite vers laquelle tend ce quotient lorsque le dividende et le diviseur tendent vers zéro.

La pente de conversion est utilisée, nous le verrons, pour étudier les caractéristiques d'un étage changeur de fréquence dans un récepteur du type superhétérodyne, comme la pente d'une lampe amplificatrice pour étudier un étage d'amplification.

Coefficient d'amplification. — En raison du rôle de relais joué par la lampe à vide, de très légères variations de tension de grille déterminent de fortes variations du courant de plaque, ce qui constitue le pouvoir amplificateur de la lampe. Une même variation du courant de plaque peut donc être obtenue pour des variations très différentes de la tension de grille, et de la tension de plaque.

Le *coefficient d'amplification* d'une lampe, désigné en France par la lettre K, est le rapport entre la variation de tension-plaque, et la variation de tension grille, qui produisent la même variation du courant de plaque. C'est également le rapport de la variation de la tension-plaque à la variation de tension-grille de contrôle dans le sens opposé, pour maintenir constant le courant de plaque. On peut l'exprimer par la formule :

$$K = \frac{\text{variation de la tension anodique}}{\text{variation de la tension grille}}$$

Pour une courbe établie avec une tension de plaque de 200 volts, on obtient, par exemple, un courant de plaque de 7 milliampères, pour une tension de grille de -12 volts. Si la tension-plaque n'est plus que de 100 volts, il faut adopter une tension-grille de -7 volts, pour

obtenir le même courant-plaque. Le rapport $\frac{200-100}{12-7} = \frac{100}{5} = 20$

indique le coefficient d'amplification.

Cette donnée est le rapport de deux quantités semblables exprimées toutes deux en volts, *c'est uniquement un nombre*, et il faut se garder de l'exprimer en unités électriques ; le coefficient d'amplification est de 20 ou 30, mais non de 20 volts ou de 30 milliampères, par exemple.

Ainsi, *la variation de la tension de plaque, nécessaire pour obtenir une variation déterminée du courant de plaque, est égale à la variation de tension de grille produisant le même effet, multipliée par le coefficient d'amplification.*

Résistance interne. — Dans une lampe, l'espace filament-plaque offre une résistance plus ou moins grande au passage du courant de plaque ; cette résistance dépend de la distance de la plaque : plus la distance est grande, plus le passage est difficile pour les électrons ; de même, plus la tension-plaque est élevée, plus l'intensité du courant augmente. Enfin, la variation du potentiel de grille détermine également la variation du courant.

La *résistance interne* ρ d'une lampe est la résistance offerte au passage d'un courant alternatif par l'espace cathode-plaque ; elle n'est donc pas fixe, et dépend de la distance séparant le filament de la plaque, de la tension de grille, et de la tension de plaque.

On peut plutôt comparer cette résistance interne à *une impédance*, existant toujours dans un circuit parcouru par un courant, et sur lequel on applique une certaine tension.

Par analogie avec l'impédance dans un circuit, *la résistance interne est le rapport entre une variation de la tension-plaque, et la variation correspondante du courant de plaque, et s'exprime par la relation*

$$\rho = \frac{\text{variation tension-plaque}}{\text{variation courant-plaque}}$$

La résistance interne produit comme effet une chute de tension du courant de plaque ; elle s'exprime en ohms, unité de résistance ou d'impédance.

On observe, par exemple, un courant de 6 milliampères pour une tension-grille de 8 volts, et une tension-plaque de 100 volts ; en conservant la même tension-grille, et en amenant la tension-plaque à 150 volts, on constate une intensité du courant plaque de 13 milliampères,

soit une augmentation de 5 milliampères ; on dira alors que la résistance

interne est de $\frac{50}{5/1.000}$, soit 10.000 ohms.

Il existe, d'ailleurs, une relation, évidemment, entre la résistance interne, la pente, et le coefficient d'amplification d'une lampe. Cette relation est donnée par l'expression (avec les unités précédentes) :

$$K = \frac{S \times \rho}{1.000} \quad \text{ou} \quad \rho = 1.000 \times \frac{K}{S}$$

D'où l'on tire : $S = 1.000 \times \frac{K}{\rho}$

En réalité, la résistance opposée au passage des électrons dans la lampe ne se manifeste que d'une manière négligeable dans l'espace filament-plaque. La puissance absorbée, correspondant, d'après la loi de Joule, au passage d'un courant dans une résistance, et se traduisant par un phénomène calorifique, est localisée surtout à l'arrivée sur la plaque de la lampe. Le « bombardement électronique » constitué par le choc des électrons sur la plaque, produit, nous l'avons noté, un échauffement de cette dernière, par suite de la vitesse énorme des particules électriques, mille fois plus élevée que celle de la balle d'un fusil.

Equation de la lampe. — Les trois constantes caractéristiques d'une lampe sont reliées entre elles par la relation :

Coefficient d'amplification = pente \times résistance interne. Relation correspondant à la formule des électriciens :

Volts = ampères \times ohms.

Il faut, d'ailleurs, prendre soin de ne pas confondre la résistance de la lampe avec la résistance de plaque, déterminée en utilisant une seule courbe, et qu'on pourrait trouver par la formule :

Volts-plaque = ampères-plaque \times résistance de plaque.

Appelons i la variation du courant de plaque, v la variation du potentiel de plaque, u la variation du potentiel de grille, l'équation de la lampe peut s'écrire :

$$\rho i = v + Ku.$$

Il s'agit uniquement de *variations* de tension et de courant, et *non de*

courants permanents, et cette formule donne alors la valeur d'une constante de la lampe lorsqu'on connaît les autres, ou les moyens de les déterminer.

Pour utiliser une lampe, il faut d'abord considérer ses *données d'utilisation*, courant de chauffage, courant de plaque, et tension de polarisation, puis ses *données de fonctionnement*. Parmi celles-ci, les plus importantes sont la résistance interne et la pente.

La résistance interne nous indiquera les caractéristiques que doivent posséder les éléments de liaison entre les lampes de l'appareil, pour obtenir les meilleurs résultats. Quant à la pente, elle désigne, en réalité, le pouvoir amplificateur de la lampe, c'est-à-dire le résultat final qu'on pourra obtenir. Il y aura lieu également de connaître pour l'amplification des courants haute fréquence les *capacités internes* de la lampe, et particulièrement la capacité grille-plaque.

Chauffage indirect des cathodes. — Tout en conservant le principe de l'émission électronique, on utilise aujourd'hui des lampes dont la cathode est disposée de telle sorte qu'elle peut être chauffée par le courant d'un secteur de distribution électrique, continu et surtout alternatif, dont la tension est ramenée, s'il y a lieu, à la valeur convenable, à l'aide d'un transformateur ou d'une résistance. Pour produire la polarisation nécessaire sur la grille et sur la plaque, on emploie, s'il est besoin, le courant alternatif, généralement amené à haute tension, mais redressé et filtré, c'est-à-dire possédant des propriétés analogues à celles du courant continu.

Nous étudierons le problème de *l'alimentation des récepteurs*, mais examinons ici quelles doivent être les caractéristiques des cathodes destinées à être chauffées ainsi par un courant alternatif à basse tension non redressé.

Normalement, si l'on fait traverser un filament ordinaire par un courant de ce genre, afin d'amener l'échauffement nécessaire pour l'émission électronique, on entend à la sortie de l'appareil des ronflements intenses interdisant toute audition. Ces ronflements sont dûs à trois causes principales :

La température du filament n'est plus constante ; elle varie avec la tension du courant d'alimentation, qui change à chaque instant, l'effet calorifique dépendant, suivant la loi de Joule, de la tension et de l'intensité.

Si l'on considère la représentation graphique du phénomène pendant une période, on voit qu'en A le courant est nul ; puis, il croît jusqu'à

un maximum positif en B, décroît, et s'annule de nouveau en C. Le courant change alors de sens, croît négativement jusqu'en D, nouveau maximum négatif, et décroît encore en valeur absolue, pour s'annuler enfin en E (fig. 53).

La durée totale de ces phénomènes très rapides est normalement de $1/42$ à $1/50$ de seconde, les secteurs français ayant une fréquence de 42 à 50 périodes. En ne tenant aucun compte de l'inertie calorifique du filament, les variations de température de ce dernier suivraient une loi identique à celle des variations de courant. En pratique, les changements de température ont des ondulations moins marquées, influant cependant sur l'émission électronique.

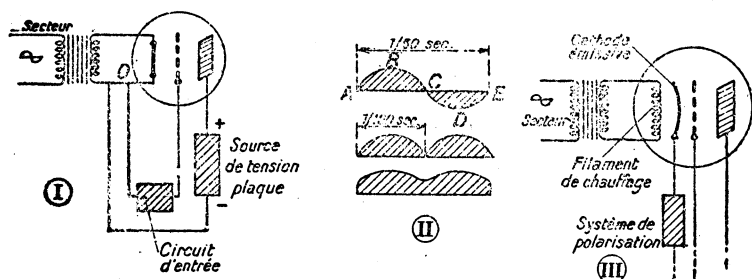


FIG. 53 — Alimentation de la cathode par le courant alternatif.

I. alimentation directe du filament par courant alternatif ; II, courbe théorique de la température du filament, variation réelle de la température d'un filament ordinaire ; III, principe du chauffage indirect de la cathode d'une lampe à vide.

Le sens du courant n'a pas d'influence sur l'effet calorifique ; aussi, ces variations se produisent-elles à une fréquence double de celle du secteur, de l'ordre de 100 périodes-seconde, et se traduisent par un son grave caractéristique interdisant toute audition agréable.

Le circuit d'entrée de grille, sur lequel on applique des oscillations amplifiées est relié au point O au filament, de manière à obtenir normalement une polarisation moyenne au repos, autour de laquelle se produiront des variations à amplifier. On n'obtient plus cette tension de grille moyenne constante, mais des variations continues, dues aux variations alternatives du potentiel de ce point, puisque le filament est traversé par un courant alternatif. Il en résulte des variations amplifiées correspondantes du courant de plaque, et un bruit correspondant.

Enfin, par suite des variations de la tension alternative, les extrémités du filament peuvent être portées à un potentiel positif, par rap-

port au point de retour de grille O ; il peut en résulter des courants de grille assez intenses pour créer une modulation supplémentaire de l'audition, à une fréquence double de celle du secteur.

Pour diminuer les variations calorifiques du filament, on a cherché à employer des filaments courts, et de gros diamètre, à forte inertie calorifique. Pour atténuer les variations de tension, on a, de même, tenté d'employer des courants de chauffage de très faible tension et de forte intensité. Ces procédés n'ont pas donné de résultats satisfaisants.

On se contente aujourd'hui, lorsqu'on veut utiliser des lampes à chauffage direct, d'employer des filaments d'assez gros diamètre, et de diminuer les variations du potentiel moyen de grille, en effectuant le retour de grille non à l'extrémité, mais sur le point milieu du filament, ou, ce qui revient au même, sur la prise médiane du secondaire du transformateur d'alimentation de chauffage.

Dans la plupart des cas, la cathode n'est plus traversée directement par le courant alternatif : elle est chauffée *au moyen d'un élément chauffant séparé*, traversé par le courant alternatif, et qui agit par rayonnement ou conductibilité (fig. 59).

Cette cathode étant de surface relativement grande et d'inertie calorifique élevée, les variations de sa température, et, par conséquent de l'émission électronique, sont négligeables, et le potentiel du point de retour de grille demeure pratiquement constant.

La cathode n'est plus traversée par aucun courant ; elle n'est portée à aucun potentiel ; elle est dite *équipotentielle*, ce qui impose des montages particuliers pour la polarisation de la grille.

Caractéristiques de la lampe et dispositions des électrodes.

— Le fonctionnement d'une lampe à vide dépend de la nature, de la surface, et de la forme des électrodes, ainsi que des distances existant entre ces électrodes, qui déterminent le trajet du flux électronique.

L'intensité de ce flux dépend de la nature, de la surface, et de la température de la cathode, ce qui conditionne la résistance interne, et l'intensité finale du courant de plaque. Cette résistance interne dépend, comme nous l'avons montré, de la distance de la plaque à la cathode.

Pour une distance déterminée de la cathode à la plaque, le coefficient d'amplification dépend, de même, de la distance de la cathode à la grille et de la résistance offerte par cette grille au passage des électrons, c'est-à-dire du pas de cette grille, si celle-ci est en hélice.

En particulier, pour augmenter le coefficient d'amplification, il semble qu'il faudrait rapprocher indéfiniment la grille de la cathode ; mais, il

se produirait un échauffement de la grille, qui, à son tour, émettrait des électrons, troublant le fonctionnement de la lampe.

Si nous éloignons la plaque, la résistance interne augmente, et une variation de tension-grille très faible arrête le courant anodique, à moins d'employer des tensions-plaque extrêmement élevées ; il en est de même lorsqu'on augmente le pas de la grille ; c'est pourquoi, on ne peut augmenter facilement le coefficient d'amplification d'une lampe à

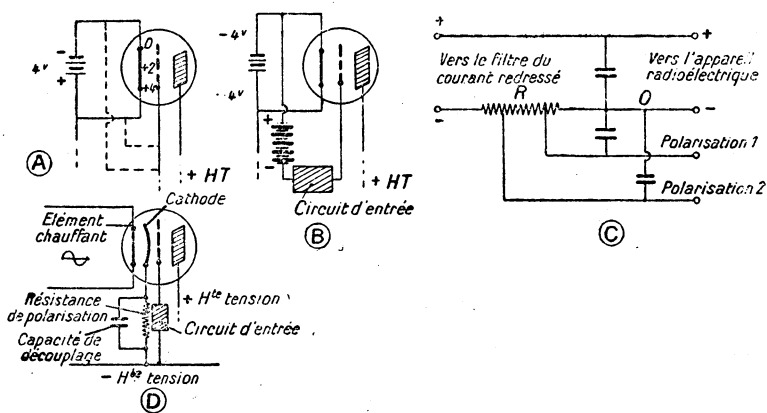


FIG. 54 — Polarisation de grille.

A, variation de potentiel le long d'un filament ; B, polarisation d'une grille par batterie ; C, polarisation automatique par résistance commune ; D, polarisation par résistance individuelle.

trois électrodes au delà d'une limite de l'ordre de 100, et on a été amené à rechercher d'autres dispositions.

Polarisation des électrodes. — Pour assurer le fonctionnement des lampes à vide, il faut leur fournir un courant de basse tension, d'intensité relativement importante, de l'ordre de l'ampère, servant au chauffage des cathodes, et un courant de haute tension, de 80 à 250 volts environ, pour la réception, et de l'ordre de quelques milliam-pères à quelques dizaines de milliam-pères, pour assurer la tension positive appliquée sur les plaques, et, s'il y a lieu, sur les électrodes auxiliaires.

Pour obtenir un fonctionnement satisfaisant, il faut appliquer, en outre, sur la grille de commande, une tension moyenne, généralement négative, variant suivant la tension-plaque adoptée.

Dans les lampes chauffées directement par batteries, on indique

généralement le *potentiel de grille par rapport au filament*. Par suite de la chute de tension produite le long du filament par la résistance de ce dernier, si l'on adopte le pôle négatif comme point O volt, l'autre extrémité est au potentiel + 4 volts, par exemple, et le point milieu, au point de vue électrique, est au potentiel + 2 volts (fig. 54 A).

Pour être précis, le potentiel de grille doit être déterminé par rapport à un point connu du filament, et, par exemple, à partir de l'extrémité négative prise pour base. Pour obtenir une *polarisation négative*, c'est-à-dire l'application d'une tension négative par rapport à ce point, il suffit d'intercaler entre celui-ci et la grille une petite batterie de piles, dont le pôle négatif est relié à la grille. Sans employer de piles, si l'on relie le point de retour de grille à l'extrémité positive ou négative du filament, on fait varier la polarisation moyenne de cette grille entre 0 et + 4 volts, d'après la convention précédente (fig. 54 B).

Cette méthode de polarisation très simple n'est plus guère utilisée, sauf dans quelques récepteurs à alimentation par batteries. On cherche plutôt à obtenir une *polarisation automatique*, sans avoir recours à des piles, et en employant des lampes à chauffage indirect. Même lorsqu'on a recours à une source de polarisation séparée, celle-ci est plutôt constituée par des lampes de redressement du courant d'un secteur alternatif et un système de filtrage fournissant finalement la tension indépendante nécessaire. Ce dernier procédé est uniquement utile dans certains amplificateurs à grande puissance, et dans les postes émetteurs.

Le problème de la polarisation des lampes à chauffage indirect est essentiel. Dans ces lampes, la cathode est indépendante du circuit de chauffage ; en la reliant à la grille, on n'obtient aucune polarisation.

On pourrait adopter encore des piles de polarisation à faible débit comme précédemment ; le procédé est inapplicable, puisqu'on veut éviter l'emploi des piles. On réalise la polarisation à l'aide de chutes de tension produites par des résistances traversées par le courant de plaque redressé et filtré.

Si nous choisissons arbitrairement un point quelconque de cette résistance R comme point O, les points suivants, dans le sens conventionnel du courant, auront un potentiel négatif par rapport à ce point, et on trouvera successivement les points -1 volt, -2 volts, -3 volts, etc.

Pour polariser les grilles de lampes à chauffage indirect, on peut ainsi adopter la borne — haute tension d'alimentation plaque comme point O,

et intercaler une résistance entre la borne négative de la sortie du filtre d'alimentation, et cette prise négative de tension-plaque du poste (fig. 54 C).

Afin de laisser passage aux courants haute fréquence, un condensateur fixe, d'une capacité de l'ordre du microfarad, est intercalé entre chaque prise et la borne — haute tension ; plusieurs prises sont prévues sur la résistance, de façon à obtenir des polarisations intermédiaires. Il est facile de calculer les valeurs successives des résistances, d'après l'intensité probable du courant qui les traverse, en utilisant la loi d'Ohm.

Cette méthode peut être appliquée dans le cas des lampes à chauffage indirect, et même à batteries ; on l'emploie, en particulier, pour les étages de sortie des amplificateurs équipés avec des lampes à chauffage direct.

Une troisième méthode de polarisation, particulière aux lampes à chauffage indirect, est désormais très employée ; les retours de grille sont directement connectés à la prise négative de tension-plaque ; les cathodes sont portées à un potentiel positif par rapport aux grilles, ce qui revient au même pour la polarisation de grille, en intercalant dans le circuit une résistance shuntée par un condensateur de découplage traversé par les oscillations haute fréquence. Il est facile de calculer la valeur de cette résistance, puisqu'on connaît la tension de polarisation à obtenir, et le courant qui la traverse (fig. 54 D).

On compense ainsi, dans une certaine mesure, les irrégularités de la tension du secteur d'alimentation ; l'augmentation du courant de plaque accroît la tension de polarisation, et, par suite, diminue l'amplification.

Cette méthode exige l'utilisation de résistances individuelles permettant de polariser positivement chaque cathode ; chaque résistance est parcourue par le courant de plaque de la lampe, à la cathode de laquelle elle est connectée.

CHAPITRE VII

LES TRANSFORMATIONS DE LA LAMPE DE T. S. F.

Les progrès de la radiotechnique dépendent essentiellement de ceux de la lampe à vide, et la lampe de T.S.F. moderne ne ressemble plus guère au modèle de 1908 de Lee de Forest, ni même à la première « loupote » de la télégraphie militaire de la guerre 1914-18.

Tout a été transformé : le nombre des électrodes, leur forme, l'aspect et la forme de l'ampoule, et même la disposition du culot, la construction est devenue de plus en plus complexe, en même temps que le fonctionnement. La spécialisation de plus en plus accentuée des différents modèles, l'apparition des types de plus en plus divers, les défauts de normalisation, ont augmenté encore cette complexité plus ou moins apparente.

Les appareils de T.S.F. sont désormais bien plus faits pour les lampes que les lampes ne sont faites pour les appareils ; aussi, l'étude des lampes est-elle absolument essentielle pour tout praticien ou technicien de la T.S.F.

Comment classer les différentes recherches sur les lampes ? Quelques inventeurs ont tenté d'établir des modèles fonctionnant suivant un principe différent de l'émission thermionique.

Les techniciens se sont efforcés d'établir des types robustes, de constantes précises, d'une durée de service de plus en plus longue, permettant généralement une amplification « poussée ». De là, des modifications de la construction mécanique, et de la nature de la cathode. Il faut joindre à ces recherches les travaux ayant pour but d'alimenter directement les lampes par le courant d'un secteur, continu ou alternatif, ou par divers courants à volonté.

Le nombre, les caractéristiques, et la disposition des électrodes ayant pour but de rendre le tube capable de jouer un rôle de plus en

plus spécialisé, ou d'établir des lampes à usages multiples constituant un ensemble dont chaque élément joue un rôle distinct, ont fait l'objet d'études non moins importantes.

Principes originaux de fonctionnement. — Le flux électronique est produit dans la lampe par une cathode métallique chauffée ; on obtiendrait, en principe, le même fonctionnement en remplaçant la cathode chauffée par un dispositif émettant un flux d'électrons équivalent.

Certains inventeurs ont eu l'idée d'établir des lampes de T.S.F. à *cathode froide*, dans lesquelles l'émission électronique est produite par

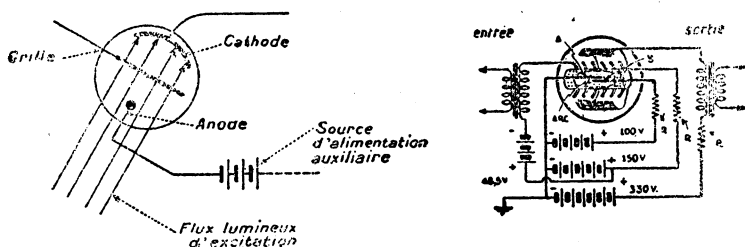


FIG. 55 — Principe d'une lampe photo-électrique à cathode froide et d'une lampe à ionisation. A et B, électrodes d'ionisation.

des couches de métaux *photosensibles*, tels que le sodium, le potassium, le rubidium, ou le césium placées dans le vide, et sous l'action de la lumière. Ce phénomène est employé, on le sait, dans les cellules photoélectriques (fig. 55 A).

Les études entreprises en Allemagne, par Von Ardenne entre autres, ont démontré la possibilité de réalisation d'une lampe à vide de ce type, mais la sensibilité, et surtout la puissance de cette dernière, paraissent jusqu'à présent très réduites.

Les dispositifs, dans lesquels on a tenté d'assimiler les déplacements des *micelles colloïdales* dans une solution colloïdale soumise à un champ électrique au flux électronique, semblent peu intéressants. Aucun résultat pratique n'a été obtenu grâce à eux, et on pouvait le prévoir *a priori* par des considérations théoriques.

L'effet d'*ionisation*, destiné à augmenter la sensibilité des cellules photoélectriques à gaz, par exemple, ou de certaines valves, a été utilisé dans quelques tubes de T.S.F. Il permet d'obtenir une véritable *auto-amplification* interne, mais le principe est fort délicat à appliquer

lorsqu'il s'agit d'établir des dispositifs amplificateurs aussi délicats et aussi fidèles que des lampes de T.S.F. Les phénomènes sont extrêmement complexes, et peuvent être modifiés complètement par une variation minime de la nature ou de la pression du gaz introduit.

Les ampoules sont donc vidées aussi parfaitement que possible, et ce vide est environ cent fois meilleur que celui obtenu dans une ampoule d'éclairage à vide ; l'introduction d'un gaz dans un tube de T.S.F. n'a lieu que dans les modèles très spéciaux, non utilisables pour l'amplification ou la détection normales, et servant de relais (Thyratrons) (fig. 55).

Transformations des cathodes. — Quels que soient son type et sa fonction, et, par conséquent, la disposition de ses électrodes, la lampe comporte toujours une cathode émissive chauffée.

Dans le modèle primitif de Lee de Forest, en 1903, la cathode était chauffée par une flamme de gaz ; mais, bientôt, l'inventeur utilisa un filament de carbone, et une plaque de platine montée dans une ampoule vide d'air. C'est sur ce principe que devait être construit le premier *audion* triode de 1906 ; il comportait un culot de lampe d'éclairage à vis, et sa durée de service était faible. Les modèles réalisés de 1908 à 1912 étaient déjà plus perfectionnés.

La cathode de la première lampe « TM », vers 1917, était un filament de *tungstène* étiré chauffé au voisinage de 2.500° par un courant de 0,7 ampère sous 4 volts. Le tungstène était alors la seule substance utilisable industriellement, et une durée de cent heures était considérée comme très satisfaisante ! (fig. 56).

En 1923, apparaissent les lampes « *micro* » dites « à faible consommation » à filament de *tungstène thorié* (c'est-à-dire recouvert d'une couche très mince de thorium), dans lesquelles l'intensité du courant de chauffage est réduite à 0,06 ampère ; la température ne dépasse pas 2.000° .

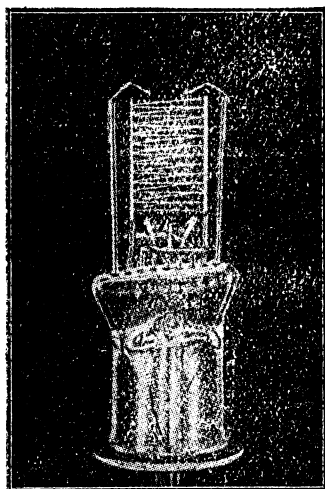
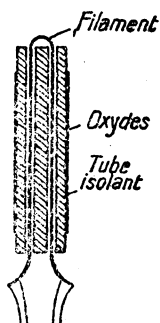
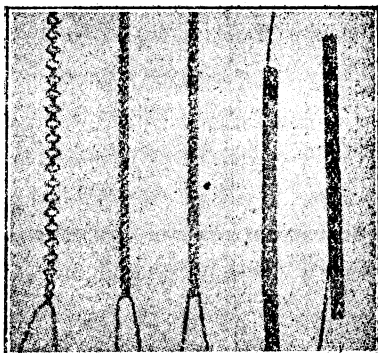
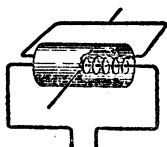
Les filaments de tungstène, pur ou thorié, ne sont plus utilisés pour la réception, mais ils le sont encore pour l'émission, en raison de leurs qualités de solidité et de stabilité ; dans les lampes à forte puissance, des filaments de gros diamètre permettent d'obtenir couramment une durée de service de 5.000 à 6.000 heures.

Pour la réception, on n'emploie plus que des *cathodes à oxydes alcalino-terreux*, de baryum et strontium, en général, chauffées entre 600° et 850° seulement.

L'établissement de ces cathodes à oxydes a permis une émission électronique plus régulière et plus puissante, une augmentation de la moyenne de durée de vie des tubes à 2.000 à 3.000, ou même 5.000

FIG. 56 — Perfectionnements des cathodes.

A, disposition des électrodes dans une des premières triodes T. M. ; B, première disposition d'une cathode à chauffage indirect ; C, étapes de la construction d'une cathode perfectionnée à chauffage direct ; D, disposition en W du filament dans une lampe à chauffage direct.



heures ; on peut réaliser des lampes spéciales, dont la durée de service atteint 20.000 à 30.000 heures. Ce procédé a rendu possible la réalisation des lampes à chauffage indirect.

On donne aux cathodes des lampes à chauffage direct des formes variées : rubans en tungstène, filaments en V, en Z, en W ou en zig-zag tendus en face d'électrodes planes (fig. 56). Dans les modèles à chauffage indirect, le courant de chauffage traverse un filament chauffant, qui, par rayonnement et conduction, élève la température de la cathode

recouverte d'oxydes ; celle-ci est séparée du corps de chauffe par un isolant à base d'alumine. La couche d'oxyde est apposée sur un petit cylindre en matière isolante, ou sur un tube métallique extérieur mince en nickel. A l'intérieur du cylindre isolant, se trouve placé un gros filament en tungstène traversé par le courant de chauffage, continu ou alternatif. Les cathodes chauffées indirectement ont la forme d'un bâtonnet ou d'un ruban creux ; on peut en placer plusieurs en parallèle.

Dans les premiers modèles, le filament chauffant était plus gros et deux fois plus long que dans une lampe ordinaire, et replié en U ; ses branches étaient enfilées dans deux tubulures parallèles placées dans le cylindre réfractaire (fig. 56 B).

La fabrication de ces cathodes à oxyde a atteint un haut degré de perfection ; les irrégularités d'émission dues à l'insuffisance d'homogénéité du revêtement d'oxyde ont disparu. On observait de petits crépitements dus à un contact insuffisant entre le filament chauffant et le cylindre isolant qui l'entoure ; on y a remédié en employant un filament spiralé, analogue à celui des lampes d'éclairage 1/2 watt, et dont la surface de contact est beaucoup plus grande ; ce sont les cathodes « *anti-crépitanes* » (fig. 56 C).

Inconvénients de la lampe triode. — Les premières lampes à vide servaient indifféremment à l'amplification des oscillations haute fréquence ou à fréquence musicale, à la détection, et à la production d'oscillations ; on constate désormais une spécialisation très « poussée » des différents types, dont chacun est destiné, en principe, à jouer un rôle particulier ; la conception de la *triode universelle* est donc périmée.

Le pouvoir amplificateur de la triode dépend de la disposition de ses électrodes établie d'après les règles expliquées précédemment. Par suite, *son coefficient d'amplification est relativement faible* ; pour obtenir des effets suffisants, il est souvent indispensable de recourir à des tensions de plaque élevées.

Les *capacités internes* de la lampe sont encore plus gênantes : la capacité grille-plaque, en particulier, est assez considérable, puisque les deux électrodes ne sont séparées par aucun élément intermédiaire, et la *résistance interne* est relativement faible.

La capacité grille-plaque explique la difficulté d'emploi en haute fréquence ; les circuits oscillants successifs de liaison sont ainsi couplés en quelque sorte, par cette capacité parasite, et déterminent une insta-

bilité du montage par production d'oscillations parasites haute fréquence. On ne peut ainsi employer plusieurs lampes à la suite les unes des autres.

La résistance interne trop faible de la lampe diminue, d'autre part, la résonance du circuit placé dans son circuit de plaque, puisque la lampe shunte, en réalité, ce circuit et l'amortit.

La lampe à écran. — La *lampe à écran* étudiée dès 1916 a été créée en 1926-28 surtout pour supprimer les effets des capacités internes de la triode usuelle. Pour éviter l'apparition d'une capacité entre deux conducteurs quelconques séparés par un isolant, et présentant une différence de potentiel, il suffit d'intercaler entre eux un conducteur relié à la terre interceptant les lignes de force du champ électrique ; la capacité mutuelle des deux corps est remplacée par une capacité de chacun d'eux par rapport au sol, ou à une masse à potentiel fixe.

Dans la lampe à écran, on utilise ainsi une électrode auxiliaire ou *écran* placée entre la grille et la plaque, et entourant complètement la grille et la cathode, de manière à obtenir une véritable *séparation électrique*, ce qui permet de diminuer la capacité interne dans des proportions considérables ; la capacité interne grille-plaque d'une lampe à écran est de l'ordre du millième de micromicrofarad, celle d'une lampe triode de l'ordre du micromicrofarad.

L'écran est relié généralement, non à la cathode, car son action se ferait sentir en sens inverse de la tension de plaque, mais à un point à potentiel fixe de l'ordre de la moitié de celui de la plaque.

On augmente ainsi l'attraction sur le flux électronique, ce qui permet d'éloigner la plaque, et rend possible la construction et l'emploi de lampes à très grand coefficient d'amplification, d'une résistance interne extrêmement élevée. (De l'ordre de plusieurs centaines de mille ohms.)

On peut, dans une certaine mesure, faire varier ces caractéristiques en agissant sur la tension d'écran ; une faible tension d'écran correspond à une grande résistance intérieure, et à un grand coefficient d'amplification ; on diminue la valeur de ces caractéristiques en augmentant cette tension, jusqu'à ce qu'elle devienne voisine de celle de la plaque (fig. 57 B).

Le flux électronique est contrôlé par la première grille, dite *de contrôle*, ou *grille principale*, comme dans une lampe triode ; mais une partie des électrons sont captés par l'écran, et constituent un *courant d'écran*, et, au niveau de l'écran, l'influence de la plaque est prédominante. Les

caractéristiques générales ne sont valables que pour *une seule valeur de la tension d'écran*, constituant un facteur déterminant sur l'attraction des électrons.

L'écran a normalement une forme cylindrique en treillis, ou est constitué, comme la grille, par une hélice en fil de nickel à pas plus ou moins serré.

Le coefficient d'amplification est élevé, il peut atteindre plusieurs mille. On démontre qu'il est égal au produit des coefficients d'amplification de la triode formée par la grille principale et l'écran, multiplié

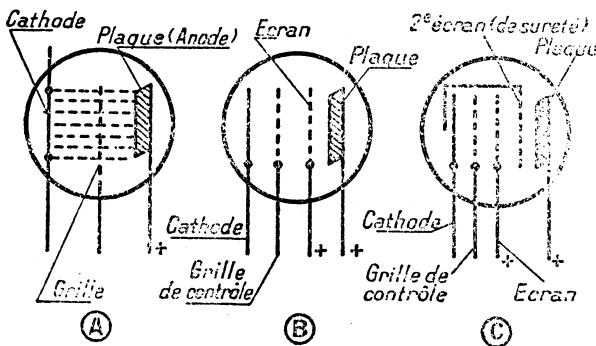


FIG. 57 — Comparaison schématique de la lampe triode, de la lampe à écran de grille, et de la lampe pentode. (Cliché La Nature).

par le coefficient d'amplification de la triode formée par l'écran et la plaque. *Tout se passe comme si la lampe comportait deux triodes en série.*

Considérons la courbe tension plaque courant plaque, pour une tension écran et une tension grille déterminées (fig. 58, en I). Pour une tension plaque nulle, le courant plaque n'est pas nul. Quand la tension croît, le courant commence à croître jusqu'à une certaine valeur en A, puis décroît jusqu'en B, et prend alors seulement une allure normale ; il y a une très petite portion rectiligne utilisable. Les tensions appliquées doivent être très faibles, une fraction de volt, au maximum.

La courbe du courant de la grille écran est symétrique ; quand l'une passe par un maximum, l'autre passe par un minimum.

Les irrégularités de fonctionnement constatées à la base de la courbe caractéristique sont dues à un phénomène de *résistance négative*. Dans cette zone, il peut se produire des oscillations parasites dans le circuit

de plaque, sans qu'il y ait couplage avec le circuit de grille, et, pour l'éviter, il est indispensable que la tension-écran soit très différente de la tension-plaque.

On attribue le phénomène à l'action des *émissions électroniques secondaires* de l'écran ou de la plaque, provoquées par le bombardement électronique. Un électron atteignant l'anode peut rebondir sur sa surface, et revenir en sens inverse ; il peut même détacher des électrons du métal de l'anode, ce qui constitue des émissions secondaires. Si la tension-écran et la tension-plaque sont voisines, les électrons secondaires à faible vitesse seront attirés vers l'écran. Il peut se produire un *flux électronique inverse entre la plaque et l'écran*.

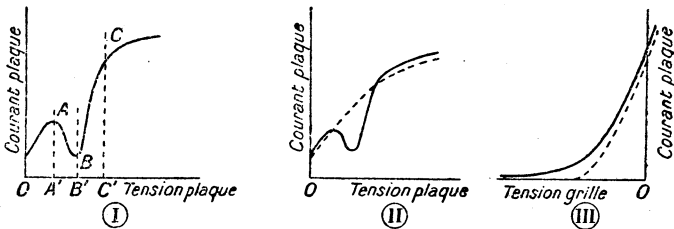


FIG. 58 — Caractéristiques de la lampe à écran, de la lampe pentode, et de la lampe à pente variable.

I, caractéristique tension plaque-courant plaque d'une lampe à écran de grille ; II, caractéristique tension plaque-courant plaque d'une pentode (en pointillés) comparée à celle d'une lampe à écran correspondante ; III, caractéristique tension grille-courant plaque d'une lampe à pente variable comparée à celle d'une lampe ordinaire correspondante (en pointillés).

Pentodes à haute fréquence et à basse fréquence. — Pour supprimer le courant d'écran parasite constaté dans une lampe écran, on utilise une électrode supplémentaire, dite *grille de sûreté*, ou de freinage, placée entre l'écran et la plaque, reliée très souvent intérieurement à la cathode ; on obtient ainsi ce qu'on appelle une *pentode*, ou *lampe à cinq électrodes*, ou encore une *trigrille* qui a fait son apparition en France en 1928.

La *grille d'arrêt* est à pas assez lâche : elle n'interdit pas le passage des électrons directs à grande vitesse, mais agit contre les électrons secondaires à faible vitesse, en empêchant leur retour en arrière (fig. 57 C).

Grâce à elle la caractéristique tension plaque courant plaque n'a plus le coude inférieur constaté pour la lampe à grille écran, et conserve les avantages de cette dernière, sans en avoir les inconvénients (fig. 58).

Il n'est plus nécessaire de limiter les tensions de la grille-écran à une valeur critique relativement faible ; les potentiels d'attaque peuvent devenir élevés sans inconvénient. La lampe à écran n'est donc plus utilisée pratiquement, et a été remplacée par la pentode, pour l'amplification à haute et basse fréquence.

En basse fréquence, les pentodes sont utilisées comme lampes de sortie ; elles exigent un potentiel d'attaque et une polarisation bien plus faibles que ceux d'une triode. Leur coefficient d'amplification est élevé et de l'ordre de 100, leur résistance interne atteint quelques dizaines de milliers d'ohms, ce qui exige une adaptation convenable du haut-parleur.

Le coefficient d'amplification des pentodes haute fréquence employées depuis 1932-1933 est de l'ordre de 1.000, la résistance interne de l'ordre du mégohm, ce qui permet d'établir des circuits de liaison sélectifs, La tension-écran n'est plus critique, ce qui rend leur emploi plus souple.

Lampes à pente variable. — L'emploi des lampes à écran et des pentodes à *forte pente*, c'est-à-dire à fort pouvoir amplificateur, a fait apparaître, surtout pour la réception d'émissions puissantes profondément modulées, des phénomènes gênants.

La *surmodulation* se traduit par une augmentation de la profondeur apparente de modulation de l'émission radiophonique. Il se produit des oscillations parasites de fréquence musicale harmonique amenant une *distorsion* gênante, d'autant plus marquée que l'émission radiophonique est plus profondément modulée.

La *modulation croisée*, ou *transmodulation*, est un phénomène de brouillage par des signaux parasites à haute fréquence, ou par des courants à fréquence musicale, provoqué uniquement par les caractéristiques des lampes employées.

Le remède le plus efficace consiste à *faire varier le pouvoir amplificateur de la lampe, suivant l'intensité des signaux à recevoir* ; dans les récepteurs modernes, et pour assurer le fonctionnement des dispositifs de régulation anti-fading, par exemple, il est d'ailleurs, indispensable d'employer des lampes dont le pouvoir amplificateur puisse aisément varier, lorsqu'on modifie la polarisation des grilles.

En réalité, toutes les lampes sont à pente variable ; en faisant varier le potentiel de polarisation de la grille, on déplace le point de fonctionnement sur la courbe caractéristique de la lampe, et on se place à un point de la courbe de pente différente ; les courbes permettent seulement d'obtenir des variations de pente plus ou moins progressives.

Les lampes dites à *pente variable*, ou *sélectodes*, présentent la particularité de permettre des variations de pente très progressives, même lorsqu'on déplace très loin du côté des polarisations négatives le point de fonctionnement de la lampe. Une telle lampe ne donne pas une amplification supérieure à celle d'une lampe usuelle, mais elle permet de faire varier progressivement le pouvoir amplificateur. Ce résultat est obtenu en employant, par exemple, une grille à pas variable, puisque

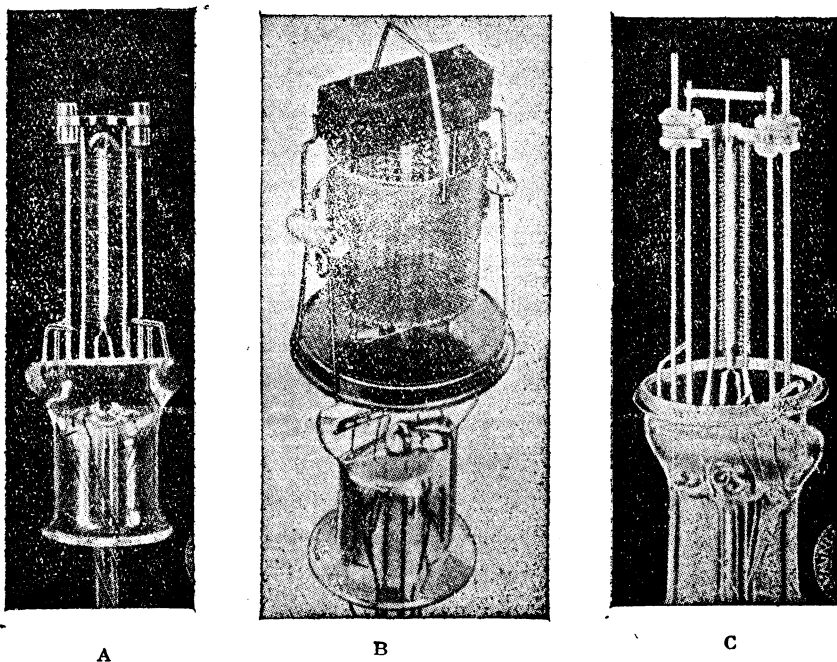


FIG. 59 — Disposition des électrodes d'une lampe à écran, d'une pentode, et d'une lampe à pente variable.

c'est l'écartement des spires de la grille, le « pas » de l'hélice, qui modifie la pente de la caractéristique (fig. 59).

On peut considérer, en théorie, une lampe à pente variable comme la réunion dans une même ampoule de deux lampes (à écran ou pentodes). La première aurait une forte pente, mais ne pourrait amplifier sans distorsion des oscillations de grande amplitude, la deuxième aurait une courbe caractéristique à faible pente s'étendant vers les potentiels

négatifs de grille, ce qui lui permettrait d'amplifier sans distorsion les oscillations de grande amplitude.

Le passage d'une lampe à l'autre serait obtenu par simple modification du potentiel de grille ; aux polarisations faibles correspond la lampe à pente élevée, aux polarisations élevées, la lampe à faible pente.

Une lampe à pente variable peut ainsi être « attaquée » par des potentiels dix ou vingt fois plus grands qu'une lampe ordinaire de même type et de plusieurs volts. La courbe caractéristique est celle d'une lampe ordinaire, mais comporte un prolongement vers les polarisations négatives de grille (fig. 58-III).

Lampes multiples et à fonctions multiples. — Dès les débuts de l'emploi des lampes de T.S.F., on a eu l'idée de réaliser des *lampes multiples* consistant dans la réunion, dans une même ampoule, de plusieurs ensembles d'électrodes constituant chacun un dispositif distinct. On tentait ainsi de réduire les dimensions et les complexités du montage, tout en évitant les effets mutuels des ensembles élémentaires les uns sur les autres.

Les premières lampes multiples, renfermant les électrodes des différents éléments, et leurs organes de liaison, ont été abandonnées ; mais, on emploie encore des modèles de cette catégorie sous une nouvelle forme. C'est ainsi qu'on utilise des lampes renfermant, à la fois, des éléments détecteurs et amplificateurs basse fréquence, tels que la double-diode-triode, et la double-diode-pentode, ou encore des lampes doubles, telles que les valves biplaques, les lampes amplificatrices à deux éléments symétriques pour montages basse fréquence classe B..., etc.

Les lampes comportant une seule cathode, et une seule plaque, mais un nombre convenable de grilles de commande permettant de modifier le flux électronique en combinant les actions de différents circuits indépendants sont, de leur côté, des *lampes à fonctions multiples*. Elles sont généralement destinées actuellement à obtenir le changement de fréquence dans un récepteur superhétérodyne, en jouant, à la fois, le rôle d'oscillatrices et de modulatrices.

Lampe bigrille. — La *lampe à deux grilles* ou *bigrille* est le premier exemple de lampe à grilles multiples et à fonctions multiples. Étudiée d'abord pendant la guerre 1914-18 par le technicien allemand W. Schotky, elle a fait son apparition en France dès 1925. Elle peut comporter un filament à chauffage direct, ou une cathode à chauffage indirect, mais n'est plus guère utilisée que sous la première forme.

Le modèle classique est une modification de la lampe triode. Entre la grille ordinaire, dite *extérieure*, ou principale, et la cathode, est intercalée une deuxième grille auxiliaire, dite *intérieure*. La plaque, ainsi que les grilles, sont généralement cylindriques, et le rayon de la plaque est plus grand que dans une triode (fig. 60 A et B).

Du fait de la deuxième grille, la lampe possède des propriétés particulières, et, pour une même amplification, exige une tension-plaque bien inférieure à celle d'une triode, et qui peut s'abaisser à 15 ou 20 volts, en portant la grille intérieure à un potentiel positif, inférieur ou

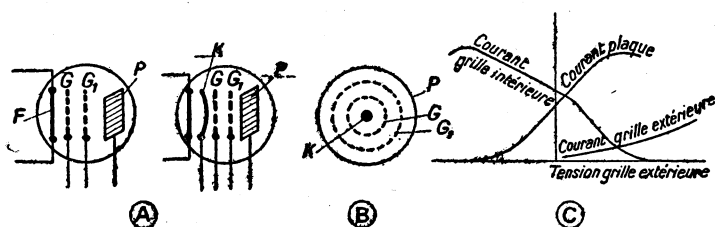


FIG. 60 — La lampe bigrille.

A, représentation symbolique de la lampe à deux grilles à chauffage direct et à chauffage indirect. ; B, coupe horizontale d'une bigrille ; F, filament ; K, cathode ; G, grille intérieure ; G1, grille extérieure ; C, courbes caractéristiques d'une lampe bigrille.

égal à celui de la plaque. Il est même possible de réaliser des montages dans lesquels on n'emploie aucune batterie de plaque, la batterie de chauffage seule fournissant la tension nécessaire.

La résistance intérieure des lampes à deux grilles est faible, de l'ordre de quelques milliers d'ohms, ce qui rend facile la liaison par transformateur ; la capacité interne est relativement grande ; le courant de saturation est peu élevé, de l'ordre de quelques milliampères.

Les courbes caractéristiques de la plaque et de la grille extérieure sont analogues à celles d'une triode. Lorsque le potentiel de la grille extérieure est suffisamment inférieur à celui de la cathode, tous les électrons sont repoussés, et aucun n'atteint la plaque ; ils sont captés par la grille intérieure, et le courant, dans le circuit de cette dernière est le courant de saturation (fig. 60 C).

Lorsque le potentiel de la grille extérieure augmente, des électrons peuvent parvenir à la plaque ; le courant de la grille intérieure diminue. Lorsque le potentiel de la grille extérieure est supérieur à celui de la cathode, elle attire à son tour des électrons, et débite un faible courant, ce qui fait encore baisser le courant de la grille intérieure.

Lorsqu'une augmentation de potentiel de la grille extérieure fait ainsi croître le courant de plaque, elle diminue d'autant le courant de la grille intérieure, et certaines applications de la lampe en découlent.

La deuxième grille de la lampe présente la particularité de pouvoir jouer le rôle d'une plaque, sous certaines conditions ; d'où résulte la possibilité de montages spéciaux. On a employé la lampe bigrille comme *lampe réflexe*, pouvant jouer à la fois le rôle d'amplificatrice haute

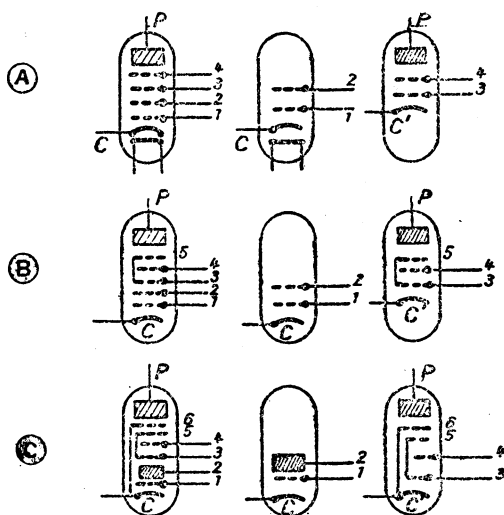


FIG. — 61 — Représentation schématique comparée de l'hexode (A), de la pentagrille heptode (B), et de l'octode (C).

fréquence et basse fréquence, pour la superréaction, dans des montages d'amplification haute fréquence sous une forme particulière, et surtout comme oscillatrice et modulatrice dans les superhétérodynes, pour obtenir le changement de fréquence. On ne l'adopte plus guère actuellement que pour équiper de petits postes portatifs à lampe détectrice à réaction, en raison de sa facilité d'alimentation, à l'aide de batteries de faible tension, mais elle ne supporte aussi que de faibles tensions d'attaque sur sa grille.

Lampe hexode. — Parmi les tubes complexes destinés à des usages spéciaux, les plus importants sont destinés à assurer le fonctionnement des récepteurs à changement de fréquence, dont nous expliquerons le fonctionnement.

La lampe bigrille a d'abord été remplacée par la lampe *hexode* à quatre grilles et une plaque (fig. 61 A et 62).

Les deux premières grilles et la cathode sont montées comme la grille et la plaque d'une triode ordinaire ; la seconde grille est portée à une tension positive élevée, et attire les électrons émis par la cathode. Un certain nombre d'électrons la traversent, bien qu'ils ne soient pas attirés par la troisième grille, portée à un potentiel négatif. Il se forme donc, en quelque sorte, autour de cette deuxième grille, une sorte de *nuage d'électrons*, et, si le potentiel de la troisième grille devient légèrement positif, ces électrons pourront s'échapper vers la plaque P.

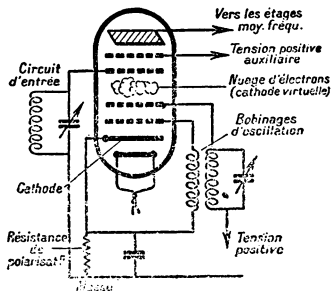


FIG. 62 — Montage de la lampe hexode en changeuse de fréquence. (Cliché La Nature).

La lampe forme ainsi, en théorie, deux ensembles distincts : un premier constitué par le système oscillateur triode, C, 1, 2, et un deuxième par un système modulateur. La cathode C' de ce système modulateur, en quelque sorte, *virtuelle*, est constituée par le nuage des électrons sortant de la deuxième grille, et modulée continuellement par les oscillations du premier système. La grille 3 reçoit les oscillations incidentes et la grille 4 est portée à un potentiel fixe.

L'ensemble n'est plus utilisé sous cette forme, mais il a le mérite de former le *prototype des lampes de ce genre*.

Pentagrille et octode. — La *pentagrille* américaine, ou *heptode* européenne, ainsi appelée parce qu'elle comporte sept électrodes, destinée généralement également au changement de fréquence, peut être considérée de même comme constituée par une triode oscillatrice et une pentode modulatrice avec « cathode virtuelle » C' (fig. 61 B).

Cette pentode comporte trois grilles 3, 4, 5, mais elle n'est pas constituée de la manière ordinaire, avec une grille de sûreté disposée entre l'écran et la plaque ; on pourrait plutôt la considérer comme une lampe à écran.

La lampe *octode* comporte six grilles, et au total huit électrodes. La cathode C est entourée par une première grille ; la troisième électrode est, en réalité, une anode auxiliaire 2 formée par deux petites tiges se trouvant presque en dehors du flux électronique ; la troisième grille

3 est normale, mais la quatrième est à pas variable ; la cinquième grille reliée à la troisième est une grille normale, et la sixième est reliée intérieurement à la cathode C.

On peut considérer cette lampe comme formée d'abord d'une triode constituée par la cathode C, la première grille de commande 1, et l'anode auxiliaire 2. Le deuxième élément à cathode virtuelle C' diffère de celui correspondant d'une pentagrille par l'adjonction d'une grille de sûreté supplémentaire 6 entre la cinquième grille et la plaque P. La différence est la même qu'entre une lampe à écran et une pentode haute fréquence (fig. 61 C).

L'anode auxiliaire et l'écran fonctionnent sous une tension analogue, de l'ordre de 70 à 100 volts, alors qu'on emploie deux tensions différentes dans la pentagrille. L'emploi de la sixième grille de freinage évite les émissions secondaires, et rend l'emploi de la lampe plus sûr ; on peut utiliser une tension écran voisine de la tension de plaque, et obtenue à l'aide d'une simple résistance en série.

L'octode a été employée à partir de 1935, et constamment perfectionnée ; les modèles de ces lampes complexes sont, d'ailleurs, modifiés très fréquemment au fur et à mesure des transformations de la construction industrielle. Il est impossible de les décrire tous, et il suffit de connaître les principes des prototypes.

Binode ou diode-tétraode. — Le problème de la détection est devenu plus complexe dans les récepteurs depuis l'utilisation des étages d'amplification à pouvoir amplificateur élevé, produisant sur la détectrice des variations de tension de plus en plus importantes pouvant atteindre 10 à 15 volts.

Les lampes triodes ont donc souvent été remplacées, nous le verrons, par la *diode*, établie suivant le principe de la valve de Fleming. Cette lampe assurant la qualité musicale de l'audition présente l'inconvénient de diminuer la sensibilité de la réception, en déterminant une détection linéaire sans effet d'amplification. On a été ainsi amené à réaliser des modèles complexes, comportant un élément diode combiné avec un élément amplificateur. La *diode-tétraode*, appelée improprement *binode*, est ainsi une lampe multiple, composée, en réalité, d'une diode et d'une lampe à écran de grille. La disposition des électrodes est identique à celle des lampes à écran, mais une petite anode supplémentaire de forme annulaire entoure la cathode à son extrémité inférieure, et constitue la plaque de la diode. Elle est reliée à une broche supplémentaire (fig. 63 A).

La tension haute fréquence à l'entrée de la binode peut atteindre quelques dizaines de volts sans crainte de saturation, et on peut constituer avec l'élément tétraode un étage d'amplification basse fréquence à résistance agissant sur l'étage final de sortie. Par contre, il faut que les étages moyenne fréquence et haute fréquence assurent une tension suffisante à l'entrée de la détectrice.

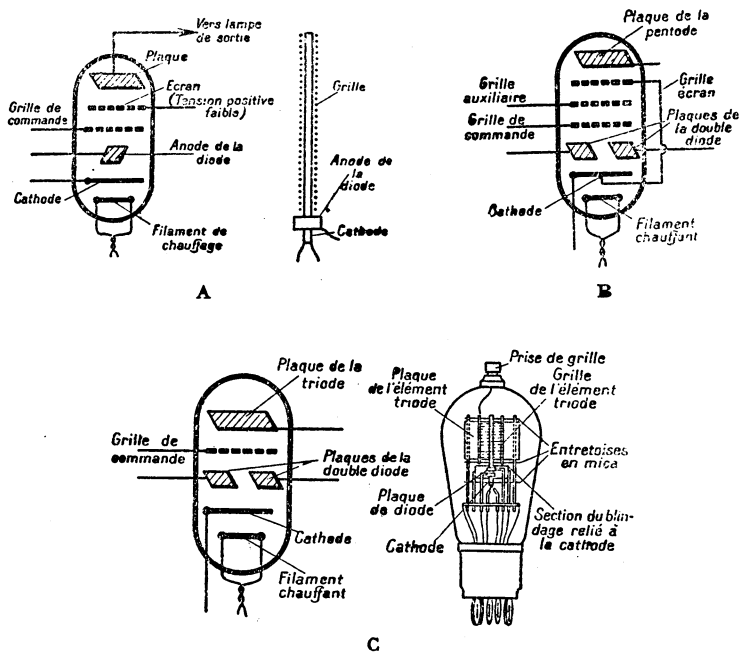


FIG. 63 — Représentation symbolique de la binode, de la duo-diode, et de la duo-diode pentode. (Cliché *La Nature*).

Double diode-triode et double diode-pentode. — Le fading est un phénomène gênant ; on cherche surtout à en atténuer les effets à l'aide de dispositifs dits *anti-fading* montés sur le récepteur, et destinés à maintenir l'intensité de l'audition à une même valeur moyenne, qu'il s'agisse de recevoir des signaux faibles ou des signaux intenses provenant de stations puissantes. Ces dispositifs augmentent l'intensité de l'amplification lorsque l'intensité de l'audition diminue ; ils la diminuent, lorsque l'intensité de l'audition augmente.

Indiquons seulement ici que la détection par diode convient spéciale-

ment pour leur fonctionnement, et, pour pouvoir les établir sous une forme pratique, on a réalisé des lampes multiples qui sont les *doubles-diodes-triodes*, et les *doubles-diodes-pentodes*.

La *double-diode triode* comporte une cathode à chauffage indirect et deux petites anodes constituées par des bagues métalliques de quelques millimètres de haut formant les anodes de la double diode (fig. 63 A). L'élément double-diode est enfermé dans un blindage métallique constitué par une coupelle cylindrique reliée à la cathode. Autour des deux tiers supérieurs de la cathode, sont disposées une grille et une plaque formant l'élément triode de la lampe.

La *double diode-pentode*, ou *heptode*, comporte, de même, un élément double diode combiné avec un élément pentode basse fréquence, et l'ensemble permet de réaliser des montages complexes à contrôle automatique de l'intensité sonore finale, suivant des variantes diverses (fig. 63 B).

Les combinaisons de ces lampes multiples sont nombreuses ; elles sont toutes caractérisées, en général, par l'assemblage d'un élément détecteur et d'un premier élément basse fréquence, ou par la combinaison de deux éléments utilisés pour l'oscillation et la modulation dans un appareil à changement de fréquence.

Lampes complexes. — En dehors des types essentiels de lampes complexes décrits plus haut, des modèles divers assez nombreux, ont été proposés avec des succès différents : citons ainsi la *double triode*, la *triode pentode*, et la *triode hexode*.

La *double triode* comporte deux éléments triodes à chauffage indirect dans une même ampoule ; elle est utilisée pour l'amplification basse fréquence, généralement suivant le principe push-pull.

La *triode-pentode* est constituée par un élément triode à chauffage indirect et un élément pentode ayant la cathode commune. La pentode est à pente variable, et la triode est utilisable séparément. L'ensemble peut servir en basse ou haute fréquence.

La *triode-hexode* présente dans une même ampoule une hexode et une triode. Le signal haute fréquence est appliqué sur la grille la plus interne de l'hexode. La première lampe excite la grille de contrôle la plus externe de la deuxième. La triode joue ainsi le rôle d'oscillatrice et l'hexode de modulatrice ; le dispositif permet de mieux séparer les deux fonctions, et la deuxième lampe peut être à pente variable.

Lampes à concentration électronique. — La lampe à trois électrodes permet une amplification fidèle, mais exige une tension-plaque élevée pour un niveau d'amplification important ; elle a donc souvent été remplacée par la lampe à écran, ou plutôt par la *lampe pentode*.

Cette solution n'est pas encore parfaite. Pour réduire la capacité, et augmenter la résistance interne, on utilise une grille-écran à pas serré, ce qui provoque un courant grille-écran important. Pour réduire ce dernier, on augmente la tension de plaque, mais l'accélération du flux électronique produit des émissions secondaires de la grille, comme celles de la plaque dans la lampe à écran. La résistance interne diminue

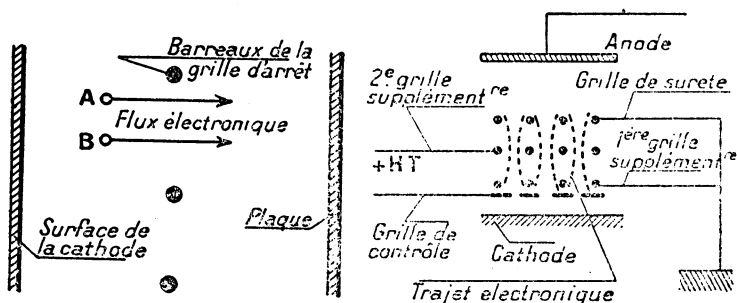


Fig. 64 — Production de l'émission secondaire d'une grille et dispositif employé pour commander le parcours électronique à l'aide de grilles successives. (Cliché La Nature).

en pratique ; les qualités amplificatrices de la lampe sont réduites. Ces phénomènes d'émission *électroniques secondaires* troublent le fonctionnement de la lampe (fig. 64).

Parmi les électrons franchissant à grande vitesse la grille d'arrêt, il en est qui passent près d'une spire de cette grille et d'autres relativement loin. L'effet de répulsion de la grille se produit dans des conditions différentes et les vitesses avec lesquelles les électrons arrivent sur l'anode varient entre deux limites extrêmes ; d'où, une élimination progressive d'une partie des électrons déterminant des irrégularités de la courbe caractéristique dynamique de la lampe (fig. 64).

La meilleure solution du problème consiste à supprimer les émissions secondaires de la grille auxiliaire de la pentode, ou plutôt à supprimer cette électrode de freinage, tout en obtenant un résultat identique.

Si l'on donne aux électrodes une forme bien étudiée, on concentre les faisceaux électroniques émis par la cathode, et on évite une absorp-

tion intense de l'électrode d'accélération. En plaçant de plus l'anode à une distance déterminée de la cathode, dite *distance critique*, on arrive à supprimer les irrégularités de la courbe.

De là, est née la conception de la *lampe à concentration électronique*, ou même à parcours électronique commandé. Dans ces lampes, on ne se contente plus de produire un flux électronique et de contrôler son passage, on le *concentre* dans des conditions bien déterminées, et même on le *dirige* de façon à obtenir une grande densité électronique dans les régions utiles de la lampe.

Ce procédé est utilisé spécialement dans les lampes destinées à l'amplification basse fréquence à haute fidélité, il permet une grande

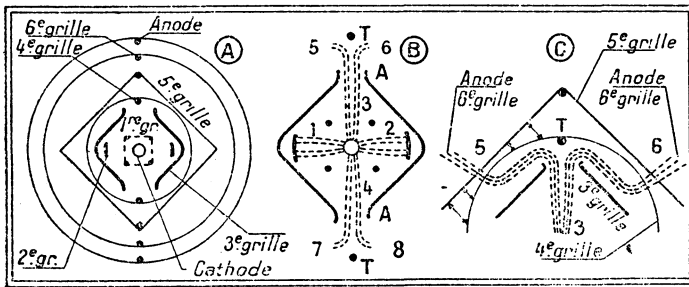


FIG. 65 — Lampe octode à émission électronique dirigée.
 A, disposition des électrodes ; B, formation des faisceaux électroniques ;
 C, détail du trajet des faisceaux (Cliché La Nature).

dissipation anodique avec des dimensions restreintes ; mais la concentration et la direction du faisceau électronique ont d'autres avantages.

Les *bruits de fond* dans les lampes à amplification haute fréquence, et, plus spécialement, pour la réception des ondes courtes, sont dus surtout au courant de la grille-écran. On diminue ce dernier en commandant le parcours électronique à l'aide d'une deuxième grille supplémentaire au potentiel de la cathode, qui découpe, en quelque sorte le flux électronique et d'une troisième à un potentiel élevé attirant les faisceaux résultants (fig. 64 B). Les électrons franchissent les grilles sans dévier, et les courants de ces grilles sont faibles.

Au lieu de se contenter de concentrer, ou de diriger, un seul flux électronique, on peut même, en établissant des champs électriques convenables, réaliser une suite de réflexions et de réfractions dans des conditions précises. C'est ce qu'on obtient dans des lampes complexes

destinées au changement de fréquence de type octode, par exemple. Un système d'écrans permet de diriger les flux électroniques avec précision, et de séparer, de manière très satisfaisante, les éléments oscillateurs et modulateurs, comme avec des tubes séparés, mais avec un rendement plus élevé et un parcours électronique plus court (fig. 65).

Lampes de T.S.F. à émissions secondaires ou multiplicateurs d'électrons. — La multiplication des électrodes a rendu plus gênants les phénomènes parasites produits à l'intérieur de l'ampoule ; il existe à l'amplification une limite déterminée par des phénomènes parasites, dont le principal est *l'émission électronique secondaire*.

Lorsqu'un électron émis par une cathode frappe des surfaces métalliques avec une vitesse suffisante, il peut en extraire des *électrons secondaires* animés normalement d'une vitesse de projection inférieure à la vitesse de l'électron initial. Ces électrons secondaires peuvent, à leur tour, venir frapper une surface analogue, en déterminant une émission électronique, et on obtient ainsi un phénomène, en quelque sorte, *en cascade* ; une *électrode froide* peut ainsi devenir une source émissive.

Cette émission secondaire est à craindre dans les lampes ordinaires, lorsque le nombre d'électrodes est important, et, par conséquent, lorsque le flux électronique rencontre, avant d'arriver à l'anode, un plus grand nombre d'obstacles. L'augmentation toujours désirable de *la pente des lampes* en a été rendue difficile ; cette pente est d'autant plus élevée que la résistance interne est plus faible, et le coefficient d'amplification plus grand, mais, il est malaisé, en pratique, d'obtenir ces résultats. On ne peut augmenter indéfiniment le pouvoir émissif des cathodes, et le rapprochement des électrodes se heurte aux obstacles déjà signalés.

Ces difficultés ont attiré l'attention des techniciens sur les possibilités réelles offertes par *l'émission secondaire*, considérée longtemps comme un inconvénient à supprimer, et qui n'avait guère été utilisée pratiquement que pour des emplois très particuliers, spécialement dans les cellules photoélectriques destinées à la télévision. Dans ces cellules, il n'y avait pas, d'ailleurs, à considérer les mêmes problèmes que dans les lampes de T.S.F., puisque les premières sont à cathodes froides, et les autres à cathodes chaudes.

Le principe des *multiplicateurs d'électrons* pour télévision consiste à utiliser une série de plaques de réflexion portées à des potentiels différents, et sur lesquelles se réfléchit successivement le flux électronique,

en déterminant des émissions secondaires « en cascade ». L'émission électronique initiale est obtenue à l'aide d'une cathode photosensible (fig. 66).

Dans une lampe de T.S.F., le baryum métallique incorporé à la cathode chauffée s'évapore, et pourrait se déposer sur les « cibles » d'émission secondaire, ce qui diminue leur pouvoir émissif. Il a fallu réaliser des procédés de guidage du flux électronique évitant cet inconvénient, et supprimant la projection directe de baryum sur les cibles.

Ce résultat est obtenu en choisissant convenablement les formes des électrodes, et les tensions appliquées sur elles. A l'aide d'un champ électrostatique, on dirige par une voie indirecte, les électrons primaires émis par la cathode vers la cathode auxiliaire, servant de cible à l'émis-

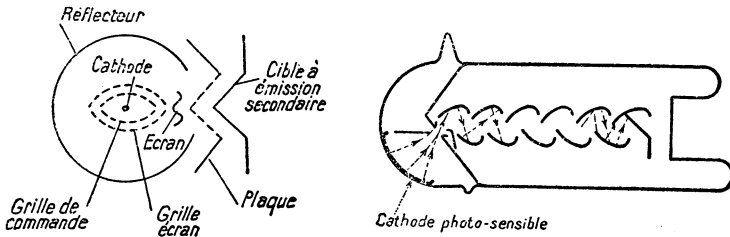


FIG. 66 — Disposition schématique d'une cellule photo électrique à multiplication électronique, et d'une lampe de T.S.F. à émission secondaire.

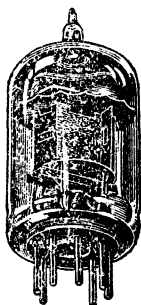
sion secondaire. Celle-ci est protégée par un écran qui se trouve devant la cathode primaire contre la projection directe du baryum volatilisé. Un deuxième écran dévie le flux électronique, et le dirige également par un trajet indirect sur la cathode à émission secondaire ; la plus grande partie des électrons projetés est recueillie finalement par l'anode en forme de plaque, et soumise à une tension positive plus élevée que celle de la cathode secondaire.

La pente peut ainsi devenir extrêmement élevée, de l'ordre de 14 milliampères par volt, et la lampe à multiplication électronique, grâce à sa puissante amplification, trouvera de nombreuses applications en radio-technique.

Lampes pour ondes courtes. — A mesure qu'augmente la fréquence sur laquelle sont employées les lampes, c'est-à-dire que diminue la longueur d'onde, les capacités et les selfs des éléments constitutifs de la lampe prennent plus d'importance.

Une triode, par exemple, a des capacités propres entre la grille et l'anode, la grille et la cathode, et la grille et l'anode, et des selfs propres de plaque, de grille, et de cathode, qui viennent agir sur les circuits extérieurs. Lorsque la fréquence augmente, les facteurs intérieurs prennent de plus en plus d'importance vis-à-vis des circuits extérieurs.

C'est pour cette raison, que, dans les lampes modernes, on s'efforce de diminuer le plus possible la *longueur des connexions*. Les électrodes sont fixées près des sorties des conducteurs, et, dans ce but, les pieds moulés sont très recommandables. Les lampes modernes ne ressemblent plus, comme les modèles primitifs, à des lampes à incandescence, mais à des boîtes en verre ou métalliques très ramassées.



Les lampes de réception de petites dimensions fonctionnent pour des ondes très courtes au-des-

sous du mètre ; dans cette catégorie, on range les lampes *glands* (acorn) appelées ainsi à cause de leur forme, dont les sorties de connexions sont effectuées vers le tiers inférieur de l'ampoule par des broches latérales ; ces lampes fonctionnent jusqu'à 50 centimètres environ. Il y a, d'ailleurs, une tendance à réduire de plus en plus les dimensions des lampes ; on réalise maintenant des modèles vraiment minuscules, de quelques centimètres de longueur, par exemple, les tubes « cacahuètes » américains (fig. 67 et 68).

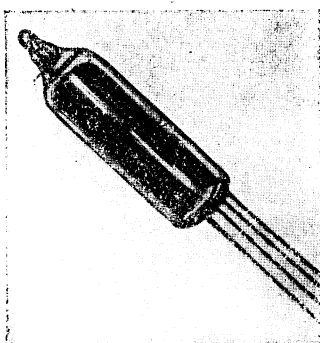


FIG. 67 — Lampes minuscules américaines *granleur naturelle*, sans culot et du type "tout verre".

Nous verrons plus loin les modifications successives des ampoules. Les premières étaient en verre, comme celles des lampes à incandescence ; puis, on a préconisé l'utilisation des ampoules métalliques ou des ampoules en verre avec capuchons en métal. On voit, de nouveau, apparaître maintenant des modèles « tout verre », de dimensions réduites, et ne comportant pas de culot. Suivant le principe indiqué, toutes les électrodes et même la grille de commande, sont « sorties » par la

base du tube, et les électrodes sont montées directement sur un fond de verre. Ainsi, toutes les liaisons s'effectuent par la base, et les connexions sont très réduites. Les capacités internes, et, en particulier, la capacité grille-anode est abaissée au minimum, et inférieure à 3 millièmes de micro-microfarad.

Lampes à déviation électronique. — Le principe de la grille de contrôle, sur laquelle on applique les oscillations à amplifier ou à modifier, a été conservé, quelles que soient les transformations des types successifs de lampes à vide. Certains inventeurs ont cependant déjà songé à des dispositifs électroniques comportant encore une cathode, mais dans lesquels la grille de commande serait remplacée par un autre dispositif de contrôle.

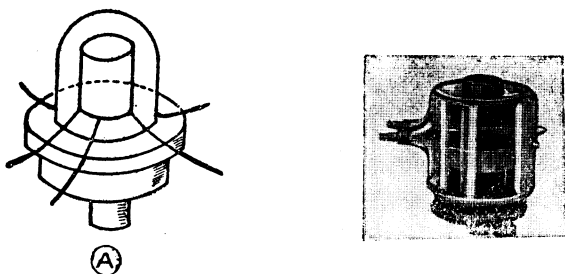


FIG. 68 — Lampe de réception type "gland" et tube oscillateur pour très hautes fréquences.

Dans les *oscillographes cathodiques* destinés à l'étude des oscillations de toutes fréquences et à la télévision, un pinceau électronique produit par une cathode, et concentré par un dispositif convenable, peut être dévié par un champ électrique ou magnétique, avant de venir atteindre une anode ou un écran fluorescent.

On peut obtenir cette déviation à l'aide de deux plaques métalliques parallèles, sur lesquelles on applique une différence de potentiel continue ou alternative, ou à l'aide de bobinages parcourus par un courant.

En théorie, ce principe peut être utilisé pour réaliser une lampe amplificatrice. On applique sur une paire de plaques parallèles de déviation des oscillations de T.S.F. et le pinceau électronique vient atteindre, suivant sa position, des anodes portées à des potentiels différents, ce qui a sure la variation du courant plaque.

Tubes à champ magnétique. Magnétrons. — L'action de la grille peut aussi être remplacée par celle d'un champ magnétique extérieur ou intérieur. Il en est ainsi dans le *frenotron* et le *callyotron*. Le tube de ce genre le plus employé est le *magnétron*, étudié pour la première fois vers 1920 par le physicien Hull, et qui permet d'obtenir des ondes extrêmement courtes, jusque vers 3 centimètres.

Le dispositif de principe est extrêmement simple. Il se compose généralement d'un filament et d'une anode scindée en deux parties, à l'aide de deux fentes opposées. Si une tension positive est appliquée sur l'anode, les électrons émis par le filament sont attirés suivant une

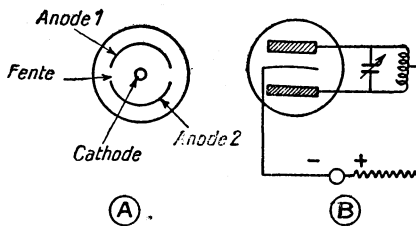


Fig. 69 — Magnétron
A, disposition schématique (vue par dessus)
B, schéma de montage ; C, magnétron avec son
dispositif magnétique.

certaine trajectoire, qui se propage dans un champ magnétique, produit, par exemple, par un électro-aimant ; cette trajectoire est alors modifiée et s'enroule autour des lignes de force du champ. Si les deux anodes ne sont pas en équilibre électrique, la trajectoire est modifiée de nouveau, et des oscillations à haute fréquence prennent naissance, un circuit oscillant formé par un bobinage et une capacité étant connecté aux deux anodes (fig. 69).

La période de l'oscillation est imposée par le circuit. Le rendement est supérieur à 50 pour cent ; les longueurs d'onde restent supérieures à 70 centimètres avec des tubes et des champs normaux.

Les puissances atteintes, de manière continue, sont de l'ordre de quelques dizaines de watts, mais ces tubes sont particulièrement utilisés pour les émissions par impulsions (appareils de détection des obstacles et « Radars »).

Les magnétrons sont des tubes très simples, et d'un emploi commode. Ils présentent l'inconvénient d'émettre des oscillations sur une fréquence déterminée par le tube lui-même, et surtout par le diamètre de l'anode,

l'énergie dissipée est relativement considérable (40 à 50 watts) par rapport à celle des autres dispositifs utilisés sur les mêmes longueurs d'onde.

Tubes à modulation de vitesse. — Les perfectionnements précédents ne sont plus suffisants pour les très hautes fréquences, c'est-à-dire pour les ondes centimétriques ; à partir d'une certaine limite dépendant de la puissance, le rendement décroît, il n'y a plus d'amplification, ni d'oscillation. Les pertes de toutes sortes sont telles que l'effet exigé pour l'action sur la grille demande plus d'énergie que la lampe elle-même n'en fournit.

Cette réduction du rendement est dûe surtout aux variations de densité du flux électronique, qui se produit entre la grille et l'anode, et à la *durée de traversée de l'espace qui les sépare*, absolument négligeable dans les conditions ordinaires, mais qui prend une importance pour ces très hautes fréquences.

Dans les hypothèses ordinaires, on admet, en effet, que les tensions appliquées aux électrodes ne varient pas durant le temps mis par les électrons à traverser le dispositif. Le temps ainsi exigé par un électron pour passer entre deux électrodes planes situées à 5 millimètres l'une de l'autre avec une différence de potentiel de 200 V. est de l'ordre du milliardième de seconde. et, pour une longueur d'onde de 3 mètres, la période correspondante est du 100 millionième de seconde. Ce temps est ainsi déjà égal au dixième de la période ; dès que l'on considère des ondes en dessous du mètre, il faut donc tenir compte de ces facteurs.

On a eu ainsi l'idée d'agir, pour obtenir la modulation, *sur la vitesse* d'un flux continu d'électrons émis par une cathode, en les accélérant ou en les retardant ; puis, de les faire pénétrer par « *paquets* », plus ou moins denses, dans un espace de modulation, de façon que cette variation de densité puisse produire des variations de courant dans les circuits de sortie ; on peut ainsi recueillir des oscillations d'intensité, en utilisant un courant de modulation très réduit.

Aux très hautes fréquences, les connexions doivent être réduites au minimum ; on les constitue par une simple boucle conductrice, dont la self-induction propre et la capacité répartie déterminent la longueur d'onde. Pratiquement, les boucles résonantes constituant les circuits de modulation et de collecte d'énergie sont formés par des *résonateurs creux*, en forme de tores présentant en leur centre des parois rapprochées munies de grilles de modulation et de sortie. L'espace intermédiaire est constitué par un tube métallique reliant les deux grilles. Pour que le système oscille en auto-excitation, les deux circuits sont couplés par

une boucle, et une électrode collectrice recueille les électrons après leur passage dans le champ. Les résonateurs doivent être exactement accordés ; l'accord est obtenu en déformant les cavités à l'aide d'effets mécaniques réversibles.

Les meilleurs de ces genres de tubes ou *Klystrons* permettent l'oscillation et la production d'ondes centimétriques. On peut obtenir des puissances de plusieurs centaines de watts, pour des longueurs d'onde de l'ordre de 20 centimètres, avec un rendement de 20 à 30 pour cent. La longueur d'onde peut être réglée entre 20 et 25 centimètres, par exemple, ce qui ne paraît pas à première vue constituer une variation importante, mais, en réalité, la variation de fréquence correspondante est de 3×10^8 C/S, et elle correspond à une gamme égale à près de cent fois la largeur de la bande de radiodiffusion et des ondes de trafic normal !

Perfectionnements mécaniques de la lampe. — Les premières lampes de T.S.F. avaient des électrodes de formes géométriques simples, et leur ampoule à pointe ressemblait à celle des lampes à incandescence. La lampe de réception s'est extraordinairement compliquée : la forme, les dimensions, et la disposition, les unes par rapport aux autres, de ses multiples électrodes jouent un rôle essentiel. *La plus grande précision mécanique* est devenue indispensable ; c'est d'elle, que dépendent la constance des caractéristiques, le pouvoir amplificateur, et la durée de service utile.

Les facteurs chimiques jouent aussi un grand rôle pour assurer la qualité des lampes ; les métaux employés pour les électrodes doivent être de composition parfaitement contrôlée. La fabrication des cathodes, leur sensibilisation et le maintien du vide poussé dans l'ampoule, mettent en jeu des réactions chimiques dont le constructeur doit être parfaitement maître.

L'écartement des électrodes, les unes par rapport aux autres, doit avoir une valeur bien déterminée, et qui reste invariable en service. La nature des phénomènes électroniques interdit l'emploi de tout support métallique calibré ; on a donc recours à des intercalaires en mica, pour donner plus de rigidité aux électrodes. L'adoption de ces « ponts » dans la partie supérieure et inférieure des supports a constitué un grand progrès mécanique, mais il fallait éviter que leur présence ne créât des perturbations électriques. C'est pourquoi, on a réduit leur surface, et diminué le nombre des points de contact entre les électrodes et le mica, pour réduire le trajet des lignes de fuites éventuelles (f. 69bis).

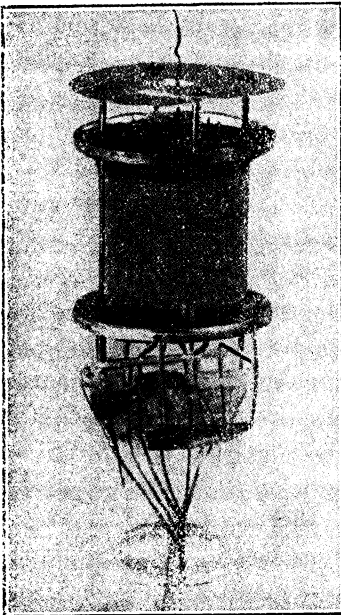
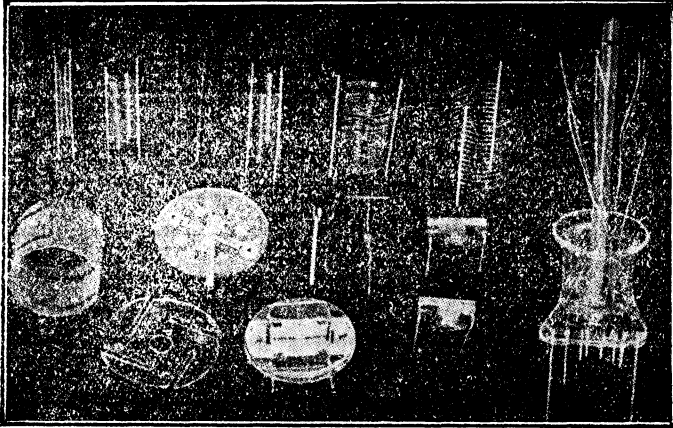


FIG. 69bis — Différentes pièces détachées entrant dans la construction d'une lampe à électrodes multiples, et leur assemblage prêt à être introduit dans l'ampoule. (Cliché *La Nature*).

La forme des grilles et des plaques ne s'est pas moins modifiée que celle des cathodes ; ces électrodes sont fortement fixées, et leur centrage automatique peut être effectué par aiguille. Les grilles peuvent avoir une forme ovale ou ellipsoïdale, ce qui permet une meilleure répartition du champ électrique, un refroidissement plus actif, et une rigidité plus grande.

La surface des grilles étant moindre, la capacité interne est réduite ; la sortie des grilles de contrôle s'effectue par « une corne » qui assure un bon isolement de l'électrode. L'induction, due au voisinage des autres électrodes, est ainsi réduite, et on peut obtenir plus facilement la réception des ondes très courtes.

L'emploi de tiges de fixation plus courtes et plus grosses augmente la rigidité de montage des grilles et des anodes, qui peuvent être en treillis métallique ou pleines, plus rigides, et produisant moins d'émissions secondaires.

Les ampoules des lampes européennes sont couvertes extérieurement d'une couche métallique uniforme jouant le rôle d'écran, ce qui permet d'éviter le blindage. La métallisation est connectée séparément, de telle sorte que la cathode peut être portée à un potentiel quelconque la métallisation restant reliée à la masse.

La forme du *culot* a souvent été modifiée, ainsi que la disposition des broches de connexion pouvant être remplacées par des ergots. On s'attache surtout à obtenir une réduction des capacités des liaisons, une disposition standard facilitant le montage, et évitant toute erreur de connexion, ainsi que le montage et le démontage sur le châssis, malgré la multiplication des connexions.

Lampes métalliques. — Les ampoules des lampes de T.S.F. sont normalement en verre et scellées sur un pied en verre, lui-même scellé au culot isolant auquel sont adaptées les broches ou ergots de connexion. La surface extérieure du verre est recouverte d'un enduit métallique, et la surface intérieure est bien souvent recouverte, soit d'un enduit métallique absorbant en magnésium, soit d'une couche de graphite destinée à éviter, autant que possible, les émissions secondaires.

Pourquoi a-t-on eu recours au verre ? Sans doute parce qu'on a tout naturellement appliqué à la construction des premières lampes de T.S.F. les procédés utilisés pour la fabrication des lampes d'éclairage électrique.

Le verre est, d'ailleurs, une matière facile à travailler qui tient parfaitement le vide, ; mais il a des inconvénients : les parois minces en verre sont très fragiles, les parois épaisses supportent mal les différences de température déterminées par les opérations de pompage dans la fabrication, et de formation de la couche d'oxyde sur la cathode.

Lorsqu'il a fallu réaliser des supports pour les multiples électrodes de la lampe, on s'est heurté à de difficiles problèmes. Pour augmenter la solidité des supports fixés sur le *pied* en verre, éviter les déplacements relatifs des électrodes, on a ainsi été obligé, dans le cas des lampes à électrodes multiples, de recourir à des rondelles d'écartement, et à des *ponts* en mica.

Les particularités de la construction en verre ne permettent pas une fabrication entièrement automatique, et les inconvénients s'aggravent

pour les lampes puissantes et de grandes dimensions. C'est pourquoi la substitution du métal au verre a-t-elle été envisagée d'abord pour les lampes puissantes. L'ampoule en verre est remplacée, en partie, par un

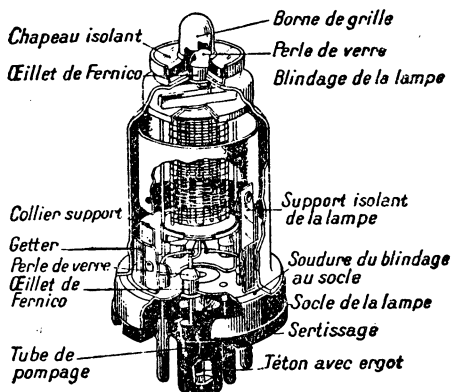


FIG. 70 — Coupe d'une lampe métallique. (Cliché La Nature).

tube de cuivre formant anode et permettant le refroidissement par circulation d'eau ou d'un autre liquide ; la difficulté réside dans la jonction étanche du verre et du métal.

Certaines lampes de réception d'origine américaine sont entièrement

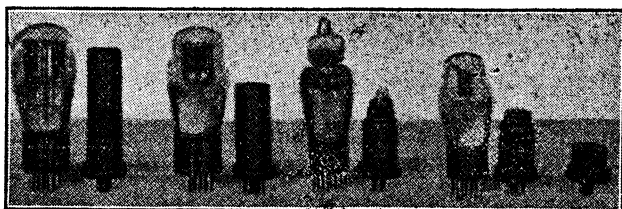


FIG. 71 — Modèles de lampes métalliques avec les lampes verre correspondantes.

métalliques ; le pied en verre est supprimé, et les dimensions sont très réduites (fig. 70 et 71).

Le passage des conducteurs à travers l'enveloppe s'effectue de la façon suivante : les fils de connexion sont enfilés dans des perles de verre disposées elles-mêmes dans un œillet fait d'un alliage, auquel on a

donné le nom de *fernico*, parce qu'il contient du fer, du nickel, et du cobalt. Cet alliage a une courbe de dilatation presque identique à celle du verre normal ; l'œillet en fernico est soudé dans la plaquette métallique du tube ; les ouvertures de l'enceinte métallique sont fermées d'une manière absolument hermétique. Ces gouttes de verre du culot constituent les seules pièces de verre employées pour la construction de la lampe, et les électrodes sont maintenues à l'écartement convenable par des ponts en mica sertis dans des cercles métalliques, ou rivés sur un support circulaire.

Les deux opérations les plus délicates de la fabrication sont la soudure et le pompage ; les autres phases de la fabrication sont facilitées par la suppression du verre, et peuvent être exécutées en série.

Les avantages de la lampe métallique consistent dans sa construction entièrement mécanique et son blindage parfait, la réduction de ses dimensions, sa résistance aux chocs. Mais, la lampe en verre peut présenter de bons arguments pour sa défense, et essentiellement le fait qu'aucun matériau n'est supérieur au verre pour le maintien du vide ; chaque type conserve donc ses partisans et ses adversaires.

Lampes métal-verre. — Les lampes mixtes à enveloppe de verre et à blindage métallique ont été conçues pour allier aux qualités de la lampe en verre certains avantages des tubes métalliques. La lampe métal-verre (ou MG, metal-glass) a une forme cylindrique comme la lampe métallique ; elle comporte une ampoule en verre recouverte d'un blindage serti sur un culot analogue à celui de la lampe métallique.

Les caractéristiques des lampes métal-verre sont évidemment analogues à celles des lampes verre correspondantes ; leurs avantages sont essentiellement mécaniques et pratiques.

Par un curieux paradoxe, on a vu apparaître inversement des modèles *tout-verre* déjà signalés plus haut, ne comportant pas de culot, et dont toutes les électrodes, et même la grille de commande, sont « sorties » par la base du tube, les liaisons s'effectuent par la base.

Lampes tous courants et lampes batteries. — Les perfectionnements de la fabrication des lampes ont été appliqués également aux modèles à filament chauffé directement au moyen de batteries de piles ou d'accumulateurs. On trouve des séries de conception européenne ou américaine de tous les modèles correspondant à ceux des séries-secteur ; les seules différences résident dans le pouvoir émissif de la cathode, malgré les perfectionnements de fabrication. La puissance

électrique utilisée pour le chauffage étant beaucoup moins considérable, l'émission électronique ne peut être comparable, et, en général, la sensibilité est moins grande. La plus grande difficulté réside encore dans la construction de la lampe de sortie, qui doit alimenter directement le haut-parleur.

Deux séries sont utilisées : *la série européenne* comporte des filaments à chauffage direct alimenté sous 2 volts ; la série américaine est alimentée sous une tension de 1,4 volts seulement.

Le principe du chauffage indirect des cathodes, ou de l'alimentation des filaments par courant redressé, permet, d'ailleurs, d'employer des lampes pouvant être à volonté alimentées par le courant d'un secteur continu ou alternatif ou par des batteries.

Il existe, d'ailleurs, des modèles comportant des éléments chauffants alimentés sous une tension relativement élevée de l'ordre de 25 volts et même davantage, ce qui permet, en les montant en série, d'éviter l'emploi des transformateurs ou même des résistances pour abaisser la tension du courant du secteur.

CHAPITRE VIII

LA DÉTECTION PAR LAMPE ET LA LAMPE DÉTECTRICE A RÉACTION

Tout récepteur radiophonique comporte *un collecteur d'ondes, un dispositif d'accord*, permettant la sélection des oscillations haute fréquence recueillies, et *un détecteur* assurant la *démodulation* des ondes radiophoniques. A la sortie du détecteur, on recueille des courants alternatifs à fréquence musicale, de 100 à 4.500 périodes-seconde, en général, dite à *basse fréquence*, par opposition avec les courants *haute fréquence*, et qui agissent finalement sur un récepteur téléphonique ou un haut-parleur.

Un dispositif d'accord relié à un détecteur agissant sur un écouteur téléphonique suffit donc pour constituer un récepteur radiophonique, et nous avons déjà décrit des modèles de postes à détecteur à galène. La détection peut être également réalisée avec avantage à l'aide d'une lampe à vide, et on réalise ainsi des récepteurs à *une lampe détectrice*, généralement montée suivant le principe particulier dit à *réaction*.

Les montages de ce genre sont extrêmement simples et peu coûteux, mais ils sont peu sensibles et peu puissants ; c'est pourquoi on emploie généralement un premier dispositif amplificateur à *haute fréquence* permettant d'augmenter l'amplitude des oscillations haute fréquence recueillies, avant de les transmettre au détecteur à lampe, et connecté à la sortie du système d'accord ; un deuxième dispositif amplificateur, dit à *basse fréquence*, amplifie les courants de fréquence musicale recueillis à la sortie du détecteur, avant de les faire agir sur le haut-parleur (fig. 72).

Différents modes de détection par lampe. — Le courant haute fréquence recueilli à la sortie du dispositif d'accord est la superposition

d'un courant haute fréquence pur, ou *courant porteur*, dont la fréquence est caractéristique du poste émetteur, et d'un courant à fréquence musicale dépendant de la modulation en amplitude produite par les courants microphoniques du studio d'émission.

La détection permet d'obtenir un courant à basse fréquence correspondant à la modulation primitive, et transmis, après amplification ou non, au récepteur téléphonique ou au haut-parleur.

Le procédé le plus courant pour séparer le courant basse fréquence de modulation des oscillations haute fréquence du courant porteur, consiste à redresser les oscillations modulées, c'est-à-dire à amplitude variable.

La valeur moyenne des impulsions varie en suivant la modulation,

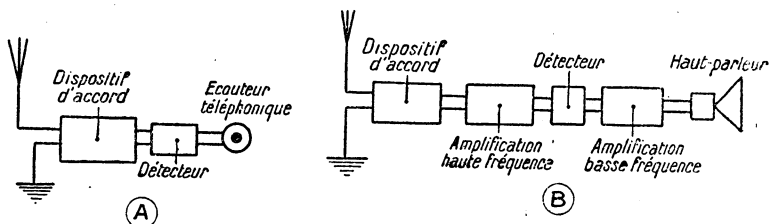


FIG. 72 — Partie constitutive d'un récepteur simple à détecteur, en A, et d'un récepteur classique avec amplification haute fréquence et basse fréquence en B.

et, à la sortie du détecteur, on fait apparaître dans le circuit de plaque les trois composantes du courant modulé : une composante continue, se produisant en l'absence de toute tension alternative, une composante à la fréquence de modulation, et une composante haute fréquence à la fréquence du courant avant détection.

Seule, la seconde composante est utile, en général, et, dans les différents montages, on la sépare des deux autres ; dans tout système détecteur, on trouve donc un dispositif de *redressement*, et un dispositif de *séparation* des composantes recueillies à la sortie du détecteur.

On peut employer la lampe à vide pour constituer différents montages de détection. La lampe triode permet d'établir un montage, dit par utilisation de la courbure de la caractéristique de plaque, ou par utilisation de la courbure de caractéristique de grille ; on a pu également employer des montages détecteurs dits de *puissance*.

La triode n'est pourtant plus guère adoptée que dans les postes très simples à une seule lampe détectrice ; on emploie généralement la

lampe *diode*, ou plutôt une lampe combinée *double-diode* et amplificatrice.

Triode détectrice par la plaque. — Considérons une courbe caractéristique tension-grille-courant-plaque, pour une tension-plaque donnée d'une lampe triode. Cette courbe présente une courbure inférieure tournée vers le haut, une partie rectiligne, et une courbure supérieure tournée vers le bas. Appliquons les oscillations modulées à détecter entre la grille et la cathode, et, à l'aide d'une source de polarisation, appliquons sur la grille un potentiel tel que le point de fonctionnement figuratif se trouve en P, sur le coude inférieur de la courbe (fig. 73 A).

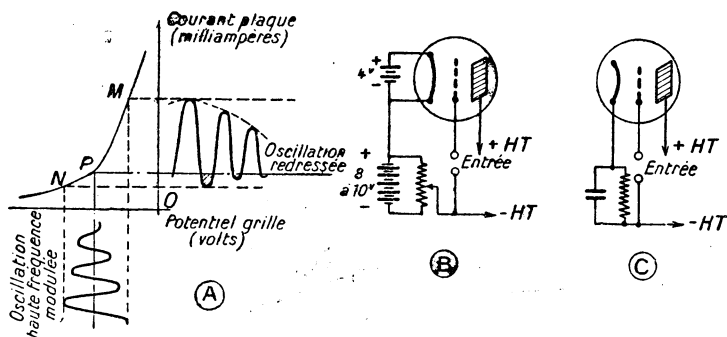


FIG. 73 — Montage de détection par la plaque.

A, courbe caractéristique du courant plaque de la détectrice ; B, montage d'une lampe à chauffage direct ; C, montage d'une lampe à chauffage indirect.

Par suite de la courbure de la courbe, lorsqu'une tension alternative est appliquée sur la grille, les variations du courant-plaque ne sont pas les mêmes pour l'alternance positive et pour l'alternance négative. Pour une alternance positive, on obtient un courant de plaque se traduisant par une augmentation très nette de l'intensité moyenne ; pour une alternance négative, le courant est à peine différent du courant continu obtenu en l'absence de toute oscillation.

La dissymétrie entre les effets des alternances positive et négative détermine un courant de plaque *moyen* d'amplitude proportionnelle à celle de la composante basse fréquence de la tension modulée ; les impulsions sont intégrées par une capacité du circuit de plaque, de même par celle d'un primaire de transformateur, et on recueille finalement un courant basse fréquence correspondant à la modulation.

Il existe entre les amplitudes du courant redressé une différence d'autant plus grande que deux éléments voisins présentent une différence d'inclinaison plus grande. Deux éléments contigus, mais très petits, ne peuvent présenter qu'une faible différence d'inclinaison ; il en résulte que les courants produits par des oscillations alternatives de très petite amplitude sont redressés imparfaitement, et *le détecteur ne donne un bon rendement que si l'amplitude des oscillations qui viennent agir sur lui est déjà assez grande.*

En principe, les alternances négatives sont à peu près supprimées, et la caractéristique de détection devient rapidement linéaire, tout au moins pour les tensions supérieures à une certaine limite, de l'ordre du volt. Mais, si l'émission présente une profondeur de modulation considérable, la détection n'est plus linéaire, et il y a déformation.

Le montage ne consomme aucune énergie en haute fréquence, puisqu'il n'y a pas de courant de grille, celle-ci étant fortement négative ; le détecteur ne produit pas d'amortissement, et on peut lui appliquer des oscillations de grande intensité. Dans les postes-secteur, la polarisation obtenue par résistance varie cependant en même temps que le courant de plaque ; c'est pourquoi, en particulier, le montage est désormais abandonné au profit de la détection par diode dans les appareils à lampes multiples (fig. 73 B et C). En raison de la nécessité d'une amplification préalable, il n'est pas utilisé non plus dans les postes simples à une seule lampe détectrice, sauf s'il s'agit de la réception d'émissions locales et puissantes ; on peut alors adopter des lampes à écran ou pentodes, avec un mode de liaison bien étudié, à haute impédance.

Triode détectrice par la grille. — Dans ce montage, on utilise le coude inférieur de la courbe caractéristique de grille.

On n'étudie généralement que le courant de plaque d'une lampe triode, mais il est bon aussi d'établir la courbe caractéristique indiquant les variations du courant de grille en fonction de la tension de grille, pour des valeurs déterminées de la tension plaque et du courant de chauffage.

Le courant de grille est très inférieur au courant de plaque, et seulement de l'ordre du microampère ; il s'amorce pour une faible tension de l'ordre de moins d'un volt, et la forme de la courbe caractéristique ressemble à celle de la caractéristique de plaque (fig. 74 A).

En insérant dans le circuit de grille une résistance de forte valeur de l'ordre du mégohm, une chute de tension se produit au passage du

courant de grille, et la grille devient plus négative ; le point figuratif de fonctionnement peut ainsi venir en P, sur le coude inférieur de la courbe.

Si, à ce moment, une tension alternative est appliquée entre la grille et la cathode, le courant de grille subit des variations ; les oscillations sont transmises par l'intermédiaire d'une capacité de l'ordre de 0,15/1000, pour éviter qu'elles ne soient arrêtées par la résistance. Par suite du coude de la courbe, les variations du courant grille ne sont pas de même valeur pour les deux alternances ; en moyenne, l'intensité du courant de grille augmente (fig. 74 B et C).

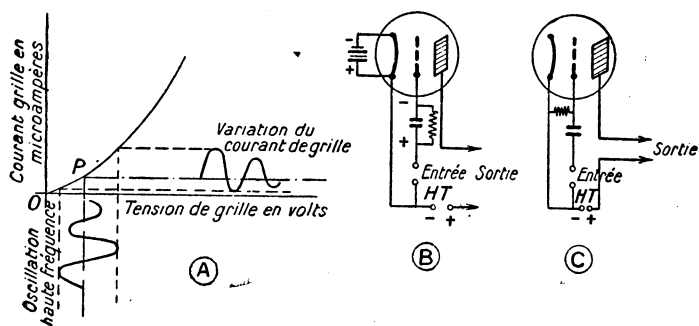


FIG. 74 — Montage de détection par la grille.

A, courbe caractéristique du courant grille ; B, montage à condensateur de grille shunté ; C, variante du montage.

Cette augmentation du courant grille provoque une chute de tension dans la résistance, et la grille devient plus négative ; le courant de plaque diminue, puisque l'intensité du courant de plaque varie en fonction du potentiel de grille, et il y a détection.

Le courant détecté a une forme différente de celui obtenu avec un détecteur à galène ou une lampe détectrice par courbure de plaque. Dans ce deuxième cas, il y a, en réalité, une série d'impulsions d'amplitude variable ; dans le premier, le courant de basse fréquence ne nécessite pas d'intégration, et l'action d'un signal sur la grille détermine une diminution du courant moyen de plaque.

En réalité, il y a, à la fois, une détection opérée entre la cathode et la grille, et une amplification opérée entre la cathode, la grille, et la plaque. L'effet détecteur est surtout marqué pour des valeurs croissantes de l'amplitude des oscillations, et la détection n'est pas linéaire ; elle s'effectue suivant « la loi du carré ». (fig. 75)

La variation du courant de plaque est proportionnelle au carré de la variation de la tension de grille ; si, pour une certaine variation de grille, on obtient une variation d'intensité de plaque de 0,5 milliampère, une variation deux fois plus grande amènera une variation de 2 milliampères. Le système est particulièrement sensible, mais il peut amener des déformations par introduction d'harmoniques. Le montage n'est pas linéaire pour les oscillations faibles, les augmentations du cou-

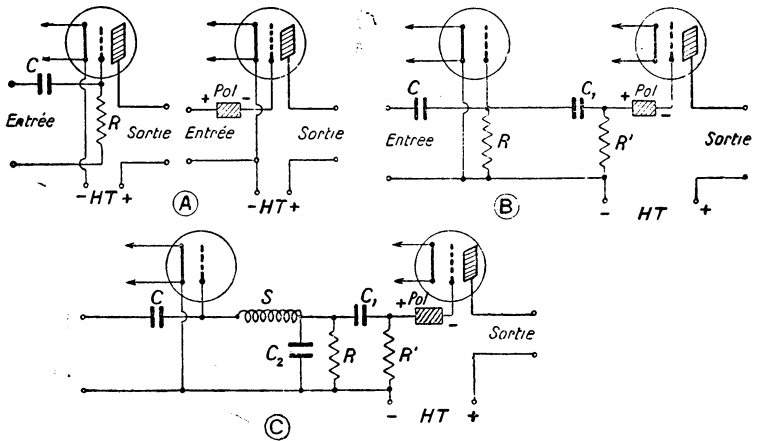


FIG. 75 — Décomposition du rôle détecteur et amplificateur d'une triode

A, triode montée en détectrice par la grille, et triode amplificateur séparée ; B, montage théorique équivalent, constitué par une diode détectrice relié à une triode amplificateur par un condensateur, et dont le potentiel de grille est fixé par une résistance ; C, montage pratique avec bobinage d'arrêt haute fréquence, et condensateur de fuite.

rant grille n'étant plus proportionnelles aux amplitudes des oscillations. Pour des émissions profondément modulées, les amplitudes très faibles sont détectées d'une façon insuffisante, et il se produit des déformations.

Inversement, si l'on applique sur la grille des oscillations de grande amplitude, le potentiel de grille peut devenir tellement négatif que le point figuratif se déplace en même temps sur le coude inférieur de la caractéristique de plaque. Il se produit des effets de détection par la plaque, opposés à ceux de détection par la grille, et des déformations. Il y a *saturation* de la détectrice.

Pour éviter cet inconvénient, on peut modifier les valeurs de la résistance, et du condensateur de grille, de manière à déplacer le point de fonctionnement dans des régions où le courant de grille est annulé.

En même temps, on augmente la tension de plaque, de manière à déplacer vers la gauche la caractéristique de plaque pour maintenir le point de fonctionnement dans la partie droite de celle-ci. La résistance est alors de l'ordre de 200.000 ohms, et la capacité de 0,1/1000.

Ce montage dit *de puissance* convenait pour des signaux puissants c'est-à-dire dans des récepteurs à très forte amplification ; il était difficile à réaliser pratiquement, et il est désormais inutile, grâce à l'emploi de la diode.

Déetectrice diode. — L'emploi de la détection par diode s'est généralisé depuis 1932, en raison de l'amplitude de plus en plus grande des oscillations appliquées sur la déetectrice, par suite de l'efficacité des étages d'amplification, et de l'augmentation de la profondeur de modulation des émissions, ce qui nécessite l'adoption d'un déetecteur linéaire.

La lampe diode supporte l'application de tensions haute fréquence importantes, et sa sensibilité est seulement un peu inférieure à celle d'une triode à détection de grille.

Grâce à la détection linéaire, la sélectivité du récepteur est pratiquement augmentée, et les effets d'intermodulation sont supprimés. A la sortie du déetecteur, on peut recueillir des tensions téléphoniques importantes, et obtenir à la sortie de l'ensemble constitué par une diode et une première amplificatrice basse fréquence, des oscillations suffisantes pour agir sur la grille d'une lampe de puissance, en employant une liaison à résistance, sans transformateur.

La détection dans une lampe triode fonctionnant par utilisation de la courbure de caractéristique de grille se produit dans le circuit de grille, et la lampe fonctionne également en amplificatrice basse fréquence, le courant de plaque étant déterminé par les variations de tension alternative basse fréquence obtenues sur la grille. Il y a donc, *à la fois, détection et amplification*. Même si la détection se produit normalement, l'amplification basse fréquence est souvent anormale, la grille étant polarisée trop négativement, et déterminant une détection parasite, par courbure de la caractéristique de plaque.

Le remède consiste, en principe, à utiliser *deux lampes distinctes* : la première fonctionnant en déetectrice, et comportant deux électrodes, et la deuxième étant une amplificatrice normale à trois électrodes. On arrive ainsi à séparer les deux fonctions, et à obtenir un résultat satisfaisant (fig. 75 A).

La première lampe est montée comme une détectrice normale, avec résistance R connectée entre la grille et la cathode, et condensateur de grille C . Les oscillations détectées sont transmises à la grille de la lampe amplificatrice par l'intermédiaire du condensateur C_1 qui s'oppose au passage du courant continu.

La grille de cette lampe peut ainsi être polarisée à la valeur optimum par une source de courant et la résistance R' (fig. 75 B).

Les oscillations haute fréquence se transmettent cependant à la grille de la première lampe, et aussi de la seconde, par l'intermédiaire du condensateur C_1 , et il se produit des effets de détection irréguliers.

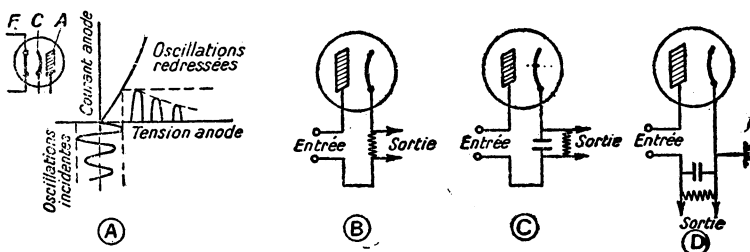


FIG. 76 — Principe de la détection par diode.

A, représentation symbolique et courbe caractéristique d'une diode ; B, montage théorique en détecteur ; C, emploi d'une capacité ; D, montage pratique.

Pour éviter cette transmission, on intercale avant le condensateur de liaison un bobinage d'arrêt haute fréquence S , et un condensateur C_2 dérive les oscillations haute fréquence, tout en ayant une capacité assez faible pour s'opposer au passage des oscillations basse fréquence (fig. 75 C).

Étudions la variation du courant d'anode dans une diode, en fonction de la tension appliquée. Lorsque le potentiel est négatif (ou plus exactement en pratique, inférieur à -1 volt environ), il n'y a plus passage du courant. Le courant commence à apparaître à 0 volt, et, sauf une portion coudée au début de la courbe, la caractéristique est pratiquement droite (fig. 76 A). Pour des tensions supérieures à 1 volt environ, la détection obtenue est donc linéaire.

La tension détectée est recueillie aux bornes d'une résistance placée dans le circuit de la cathode (fig. 76 B). Mais, pour obtenir une intégration, on place, comme il a déjà été indiqué, un condensateur en shunt (fig. 76 B et C).

La lampe peut comporter ainsi dans le circuit de sa cathode un condensateur de valeur comprise entre 0,05/1000 et 0,2/1000 de microfarad shunté par une résistance de valeur comprise entre 250.000 ohms et 2 mégohms. Pendant la première alternance positive de l'oscillation appliquée, le condensateur se charge à la valeur maximum correspondante ; lorsque la tension s'abaisse, le condensateur maintient le potentiel de la cathode à une valeur plus positive que celle à laquelle est portée l'anode ; il coupe donc le courant traversant la lampe ; pendant un court instant, le condensateur se décharge à travers la résistance.

Lorsque la tension haute fréquence sur l'anode s'élève de nouveau,

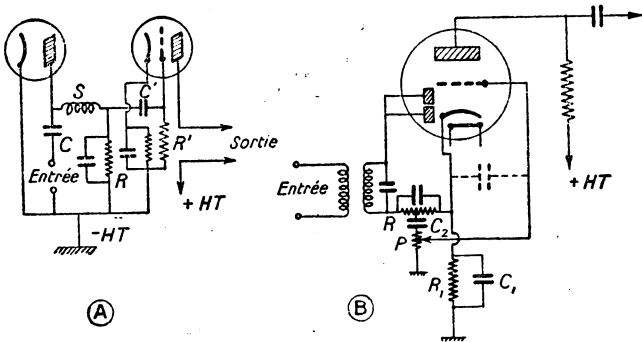


FIG. 77 — A, montage combiné d'une diode avec une triode à chauffage indirect, à comparer avec la fig. 75 ; B, exemple de montage d'une double diode-triode.

et dépasse la tension à laquelle est portée la cathode, le courant traverse la lampe, et le condensateur est chargé à la tension maximum de la seconde alternance positive, et ainsi de suite...

La tension aux bornes du condensateur varie donc suivant la valeur maximum de la tension haute fréquence modulée, en reproduisant la modulation téléphonique, en réalité, suivant une ligne en zig-zag ; mais cette composante haute fréquence peut être considérée comme négligeable.

La liaison entre une diode et une deuxième lampe amplificatrice s'effectue normalement par une capacité C' , et une bobine d'arrêt S évite le passage de la composante haute fréquence, suivant le principe indiqué précédemment pour le montage théorique (fig. 77 A).

La lampe diode peut être considérée comme une valve de redressement ; en principe, on peut donc songer à utiliser une double diode

permettant d'utiliser la deuxième alternance. En pratique, il n'en est pas ainsi ; un examen plus approfondi montre que la complication du montage ne correspond nullement à une amélioration réelle de la qualité du résultat obtenu.

Les lampes utilisées sont plutôt des diodes combinées avec des amplificatrices ; c'est ainsi, que la binode, comme nous l'avons montré, correspond à la combinaison d'une lampe diode avec une lampe à écran. L'élément diode est relié normalement à l'élément à écran par une liaison à résistance.

Les oscillations haute fréquence sont recueillies aux bornes de la résistance cathodique de la diode, et intégrées par le condensateur ; après redressement, elles sont transmises à la grille de la triode amplificatrice par un condensateur de liaison.

On emploie rarement des diodes combinées, mais plutôt des *double diodes* ; le modèle le plus simple est alors la *double-diode-triode*, qui donne une amplification plus faible que la binode, mais une plus grande facilité de mise au point.

L'élément double-diode peut servir pour obtenir un redressement des deux alternances, ou plutôt, pour assurer, grâce à la deuxième anode de la diode, le fonctionnement d'un dispositif de contrôle anti-fading. On utilise le courant redressé par cette anode, et dont les variations suivent la modulation, pour faire varier la polarisation des grilles de lampes amplificatrices à pente variable ; on peut également, évidemment monter en parallèle les deux anodes.

Un montage simple de ce genre est indiqué sur la figure 77 B. Dans la cathode de la diode, on voit la résistance shuntée habituelle, et une partie de la tension basse fréquence recueillie aux bornes de cette résistance est appliquée sur la grille de l'élément triode, avec un potentiomètre de réglage P. La polarisation de la partie triode est obtenue de la manière habituelle par une résistance de cathode shuntée $R_1 C_1$. Le rôle du condensateur C_2 est d'éviter que la tension de polarisation de la cathode ne vienne réagir sur la grille par l'intermédiaire des résistances du circuit d'entrée.

La *double-diode-pentode* est également très employée ; son montage correspond à celui d'une binode ; une des plaques de la lampe diode est normalement utilisée pour assurer la polarisation des grilles des lampes amplificatrices à pente variable, comme nous l'avons déjà indiqué. La liaison entre l'élément diode et la pentode s'effectue évidemment par une liaison à résistance capacité, comme pour la double-diode-triode.

Lampe détectrice à réaction. — Le montage à *lampe détectrice à réaction* constitue le plus simple des récepteurs à lampes, puisqu'il ne comporte qu'une seule lampe. S'il ne permet pas d'obtenir des auditions en haut-parleur sans lui adjoindre des lampes supplémentaires, du moins est-il sensible, et permet-il la réception des émissions de toutes longueurs d'onde sans avoir recours à des éléments nombreux et complexes.

Il existe un très grand nombre de variantes dont chacune présente des avantages particuliers et paraît destinée à jouer un rôle plus ou moins spécialisé. Leur sensibilité est la même et ne dépend guère que du type de lampe utilisé variant suivant les sources d'électricité que l'on peut avoir à sa disposition, batteries ou secteur.

La lampe détectrice ne permet d'obtenir qu'une audition à l'écouteur téléphonique, ou en faible haut-parleur ; pour une *audition puissante*, des étages basse fréquence sont nécessaires. Malgré les perfectionnements possibles des systèmes d'accord, l'absence d'étages haute fréquence ne permet pas l'augmentation de la *sélectivité*, et rend difficile ainsi la réception des émissions étrangères lointaines, dans une ville où se trouvent des émetteurs locaux.

Le montage est destiné aux débutants, à ceux qui veulent s'exercer aisément à la réception des ondes courtes, aux auditeurs peu exigeants qui se contentent de l'écoute des émissions locales, ou, en tout cas, nationales.

Avec une antenne suffisante, il rend possible l'écoute d'un grand nombre d'émissions, dans des conditions musicales satisfaisantes. La possibilité d'alimentation par des batteries de faible capacité, et souvent même à faible tension, rend facile la constitution de postes portatifs, par excellence, souvent plus réduits que des appareils photographiques !

Principes du montage. — Parmi les dispositifs de détection à lampe étudiés précédemment, le montage à condensateur shunté de grille constitue le plus simple et le plus sensible ; il doit être adopté, si l'on veut obtenir une sensibilité maxima permettant la réception des émissions faibles, sans amplification haute fréquence préalable. On utilise un petit condensateur fixe d'une valeur de 0,1/1.000 de microfarad shunté par une résistance de 2 à 5 mégohms, produisant un effet de détection et d'amplification.

Les oscillations appliquées sur la grille ayant une faible amplitude, les effets de détection non linéaire n'ont pas d'action très nuisible sur

la qualité de l'audition. Pour recevoir des émissions puissantes, ou pour abaisser la tension-plaque, on adopte des lampes à plusieurs électrodes : lampes à écran, pentodes, ou lampes à deux grilles.

L'effet d'amplification de la détectrice est encore augmenté grâce au dispositif de réaction donnant son nom au système.

La réaction est un procédé très général consistant à ramener l'énergie

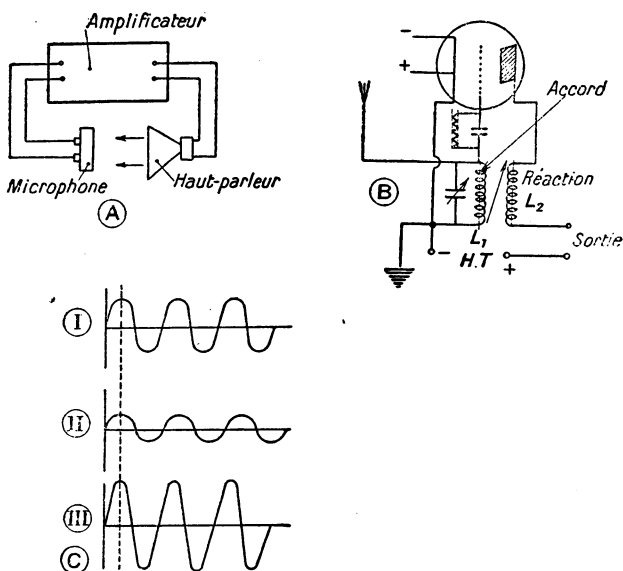


FIG. 78 — Détectrice à réaction.

A, principe du phénomène à réaction ; B, détectrice à réaction classique ; C, effet de la réaction ; I, oscillation incidente, II, oscillation de réaction en phase, III, renforcement de l'amplification.

provenant de la sortie d'un appareil vers l'entrée de ce dernier, pour provoquer une amplification supplémentaire.

Considérons, par exemple, un microphone relié à un amplificateur, dont la sortie est connectée à un haut-parleur (fig. 78 A). Si l'on approche ce dernier du microphone, des ronflements très intenses se font entendre, et s'accroissent constamment. Ils sont provoqués par les ondes sonores engendrées par le haut-parleur qui actionnent le microphone, sont de nouveau amplifiées, transmises au haut-parleur, et ainsi de suite avec, à chaque fois, une amplification supplémentaire.

Dans la détectrice à réaction, le courant haute fréquence, composante du courant détecté, qui a pu traverser le circuit-plaque, est

reporté sur le circuit de grille. Il y a là un phénomène dit *de réaction* analogue au phénomène acoustique précédent, les oscillations de sortie réagissant sur les oscillations d'entrée ; l'effet d'amplification peut se compliquer par la production d'oscillations nouvelles.

La lampe est, en réalité, montée en *oscillatrice* ; un bobinage L_2 , intercalé dans le circuit de plaque, peut, à cet effet, être couplé avec un bobinage L_1 du circuit de grille. La transmission des oscillations traversant le circuit de plaque vers le circuit de grille est alors obtenue par un effet *d'induction* électromagnétique ; les variations du courant de plaque se produisent sous forme de variations correspondantes de la tension de grille (fig. 78 B).

Dès qu'on allume la lampe, un courant s'établit dans le circuit de plaque, mais, par suite de la présence de la bobine L_2 , sa production n'est pas instantanée, et la variation tend à créer des oscillations électriques. Il se produit des oscillations qui peuvent croître jusqu'à une amplitude maximum, dépendant des caractéristiques de la lampe, et de l'amplitude des ondes entretenues.

La petite quantité d'énergie prélevée sur le circuit de plaque est ainsi renvoyée à ce circuit, après application à la grille, et amplification. Cette amplification entretient les oscillations dans le circuit de plaque ; tout se passe comme si, à chaque oscillation, la grille donnait une petite impulsion supplémentaire pour entretenir le mouvement, malgré l'effet d'amortissement dû aux pertes haute fréquence et aux résistances, et comparable à celui du balancier d'une horloge recevant une impulsion à chaque oscillation dans le mouvement d'échappement.

Pour que les oscillations se produisent, il est indispensable que le sens des bobinages, l'un par rapport à l'autre, soit convenable, et que leur coefficient de self-induction soit bien choisi. Le couplage dépendant de la distance et de l'orientation doit être assez serré pour obtenir un effet suffisant ; les conditions varient suivant les fréquences considérées et seront précisées plus loin.

Le bobinage L_2 intercalé dans le circuit de plaque, et servant ainsi à augmenter finalement l'énergie des oscillations initiales, est appelé *bobine de réaction*, mais cet effet de réaction peut être obtenu par différents procédés. La liaison entre le circuit de sortie et le circuit d'entrée peut également être réalisée à l'aide d'une *capacité* laissant passage aux oscillations haute fréquence, et arrêtant le courant continu ; les deux dispositifs peuvent être combinés.

La fraction de l'énergie amplifiée du circuit de plaque que la réaction réintroduit dans le circuit de grille est réamplifiée à nouveau, et, en principe, l'opération se renouvelle automatiquement. L'amplification s'accroîtrait indéfiniment, s'il ne fallait la limiter pour éviter les phénomènes parasites ; il s'établit alors un équilibre correspondant à une augmentation déterminée de l'amplification, et variant suivant le réglage (fig. 78 C).

Tout se passe comme si la réaction avait permis de supprimer une partie de la résistance électrique du circuit d'entrée, ce qui est facile à démontrer en introduisant une résistance dans ce circuit, et en montrant qu'on peut en supprimer les effets. On traduit ce phénomène en disant que la réaction introduit dans le circuit un effet de résistance négative, qui se retranche de la résistance ohmique.

Fonctionnement du montage. — Considérons un montage classique (fig. 78 B). Lorsque la bobine de réaction L_2 est suffisamment écartée de la bobine d'accord L_1 , la lampe fonctionne comme une détectrice ordinaire ; lorsqu'on augmente progressivement le couplage, on observe, si ce couplage est bien choisi, c'est-à-dire si les bobinages sont enroulés en sens contraire l'un par rapport à l'autre, un effet de renforcement. Si le sens mutuel n'est pas correct, on constate un effet d'affaiblissement.

Si l'on continue à augmenter le couplage, en rapprochant les bobines, il se produit, à partir d'une certaine limite, un effet d'amorçage déterminant des sifflements violents dans l'écouteur, et une audition incompréhensible.

Pour faire cesser ces bruits, il faut ramener en arrière la bobine de réaction, mais on remarque que la position critique d'arrêt, ou de désamorçage, n'est pas la même que la position d'amorçage.

A propos du sens de couplage de la bobine de réaction, il ne suffit pas, pour obtenir un bon résultat, d'inverser, s'il y a lieu, l'une des bobines sans changer les connexions, car on change, à la fois, le sens de l'enroulement et le sens du courant, ce qui ne modifie pas le couplage. Il faut changer l'un ou l'autre, mais non les deux à la fois.

Le réglage du récepteur consiste à faire varier, à la fois, la capacité du condensateur d'accord, et l'effet de réaction, en approchant, par exemple, la bobine de réaction de la bobine d'accord. Il faut manœuvrer les boutons simultanément, parce que les circuits ont l'un sur l'autre une certaine action mutuelle. Pour renforcer l'audition, après avoir d'abord réglé l'appareil d'accord de manière à entendre l'émission

cherchée, on manœuvre peu à peu la réaction, en rectifiant légèrement le réglage d'accord ; à un certain moment, on entend un « toc » dans le récepteur, et des sifflements violents indiquant l'amorçage des oscillations haute fréquence ; le couplage est alors trop serré ; il faut revenir en arrière.

Si aucun phénomène ne se produit, le sens de connexion du bobinage de réaction est défectueux ; il faut l'inverser, et recommencer la même manœuvre. En augmentant le couplage, on arrive à une position permettant de compenser exactement la résistance du circuit d'entrée ; à ce moment, les oscillations peuvent se produire momentanément dans le circuit, et la lampe fonctionne en oscillatrice ; on dit qu'elle fonctionne en *autodyne*.

Pour recevoir les ondes radiophoniques, le dispositif de réaction permet l'amplification, mais ne doit pas amener d'oscillations haute fréquence ; on règle donc le couplage de manière à le maintenir légèrement au-dessous du seuil d'amorçage.

Différents montages de lampes détectrices à réaction. — Les montages peuvent varier suivant le système d'accord, le dispositif de couplage réactif, et le type de lampe. On emploie normalement la lampe triode à chauffage direct, et plus rarement à chauffage indirect ; la lampe à deux grilles permet de réduire la tension de plaque dans les postes portatifs, la lampe pentode, de réaliser une audition en haut-parleur. On peut même, à la rigueur, utiliser une lampe à écran pour la détection des émissions locales puissantes.

Le couplage réactif est normalement obtenu par induction magnétique ; mais, on peut aussi utiliser un dispositif statique à condensateur variable, ou combiner les deux procédés. La variation peut être obtenue par modification du couplage des bobines ; on peut aussi maintenir fixe le couplage, et commander la réaction en faisant varier l'intensité du courant traversant la bobine de plaque, à l'aide d'une capacité ou d'une résistance.

Pratiquement, le condensateur variable d'accord a une capacité de l'ordre de 0,5/1.000 de microfarad ; le condensateur de grille de 0,025/1.000 à 0,1/1.000 est shunté par une résistance de 3 à 5 mégohms ; la bobine de réaction est un bobinage de 60 à 150 spires, pour les petites ondes et les grandes ondes de radiodiffusion. Le système peut permettre la réception des émissions sur ondes courtes, mais on adopte plutôt un montage spécial.

La détectrice à réaction peut être montée avec un accord en tesla ; en pratique, on emploie plutôt le montage Bourne avec un bobinage primaire apériodique dans le circuit d'antenne et un bobinage secondaire accordé par un condensateur variable. Les bobinages primaire et secondaire ont une extrémité mise à la terre.

La réaction se produit également lorsqu'on accorde à la fois le circuit de grille et le circuit de plaque sur la même fréquence, par suite du couplage établi entre les circuits par la capacité interne des électrodes de la lampe elle-même ; c'est ce qu'on appelle *le couplage par lampe*. Cet effet peut être obtenu en disposant dans le circuit de plaque un circuit oscillant accordé par condensateur, une bobine à impédance

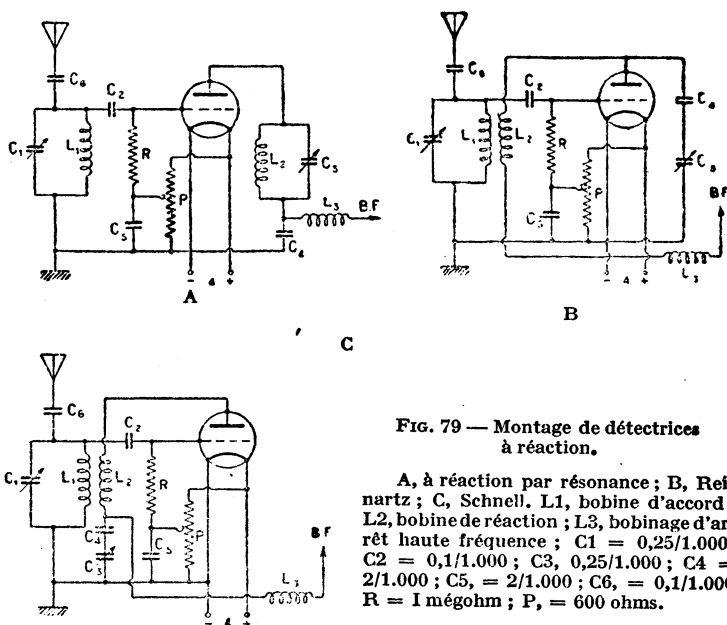


FIG. 79 — Montage de détectrices à réaction.

A, à réaction par résonance ; B, Rehnartz ; C, Schnell. L1, bobine d'accord ; L2, bobine de réaction ; L3, bobinage d'arrêt haute fréquence ; C1 = 0,25/1.000 ; C2 = 0,1/1.000 ; C3, 0,25/1.000 ; C4 = 2/1.000 ; C5, = 2/1.000 ; C6, = 0,1/1.000 R = 1 mégohm ; P, = 600 ohms.

variable par commutateur à plots, ou un variomètre. L'effet de réaction est maximum lorsque le circuit oscillant d'accord, constitué, en réalité, par le bobinage et la capacité interne de la lampe, entre en résonance. Pour obtenir une réaction plus douce, on peut placer en série une résistance de faible valeur, ou, en parallèle, une résistance de valeur élevée, variable, et d'une centaine de milliers d'ohms (fig. 79 A).

dique, une bobine secondaire accordée par un condensateur variable la réaction étant obtenue par couplage avec une bobine en dérivation de petite capacité (fig. 79 B).

Dans le circuit de plaque, se trouve une bobine d'arrêt laissant passage au courant continu et au courant basse fréquence détecté, mais renvoyant les courants haute fréquence vers les circuits d'entrée, par l'intermédiaire du condensateur variable et du bobinage de réaction. La réaction magnétique est ainsi *dosée* à l'aide du condensateur variable, la capacité de ce dernier doit être réglée d'une façon très progressive.

La séparation des courants haute fréquence non détectés et des courants détectés basse fréquence peut être obtenue, non pas avant, mais après, le bobinage de réaction. Ce résultat est atteint dans le montage d'une détectrice à réactions type *Schnell*, destinée également à la réception des ondes courtes et réalisée suivant les mêmes principes. La réaction mixte par capacité et induction est particulièrement souple (fig. 79 C).

Les bobinages d'accord étaient du type interchangeable à broches et douilles, dans les premiers modèles; ils sont aujourd'hui généralement à réglage par prises avec curseur et plots, par mise en court-circuit des fractions non utilisées, ce qui évite l'effet des « bouts-morts ».

Pour la réception des ondes courtes cependant, c'est-à-dire pour la gamme de 16 à 80 mètres environ, on adopte encore des bobinages interchangeables par broches et douilles, comportant ou non des mandrins à support isolant, et établis de manière à réduire les pertes haute fréquence.

Un montage de lampe à deux grilles du type classique est indiqué sur le schéma de la figure 80 A; l'avantage consiste à permettre l'abaissement de la tension-plaque à 15 ou 20 volts; l'emploi d'une pentode est de même noté sur la figure 80 B. Avec une tension suffisante, supérieure à 80 ou 90 volts, on obtient directement une audition en faible haut-parleur.

Pour les montages à une seule lampe détectrice, sans étage basse fréquence additionnel, on adopte généralement une lampe-batteries, et non à chauffage indirect. Les postes portatifs sont les plus employés et les ronflements possibles sont particulièrement gênants pour l'audition à l'écouteur.

Néanmoins, la réalisation d'un petit poste-secteur de ce genre n'offre aucune difficulté. Il comporte une détectrice à chauffage indirect,

et une valve redressant le courant d'alimentation plaque, comme nous le verrons. On peut même employer une lampe combinée, détectrice à chauffage indirect et valve à la fois.

On voit ainsi sur la figure 80 B, un montage à lampe combinée pentode et valve de redressement bi-plaque.



CHAPITRE IX

AMPLIFICATION HAUTE FREQUENCE ET BASSE FRÉQUENCE

Les oscillations radiophoniques à haute fréquence recueillies et sélectionnées par le collecteur d'ondes et le dispositif d'accord sont amplifiées par un dispositif à lampes constituant la partie *haute fréquence* du récepteur, et assurant *l'amplification avant détection*.

Les oscillations à fréquence musicale, dite à *basse fréquence*, recueillies à la sortie du détecteur peuvent actionner directement un écouteur téléphonique, mais on utilise plus souvent un haut-parleur, exigeant pour son fonctionnement une énergie plus grande. Il est alors indispensable d'amplifier encore une fois les oscillations recueillies à la sortie du détecteur dans des *étages d'amplification dits à basse fréquence*.

Tous les récepteurs, nous l'avons montré, ne comportent pas nécessairement une partie haute fréquence, un détecteur, et une partie basse fréquence ; seul, le détecteur est indispensable. L'appareil peut comporter, soit un système détecteur seul, soit un détecteur suivi d'étages basse fréquence, soit, plus rarement, un amplificateur haute fréquence suivi d'un détecteur (revoir fig. 70).

Il est indispensable de comprendre la différence du rôle des étages d'amplification haute fréquence et basse fréquence. L'amplification haute fréquence permet d'augmenter *la sensibilité* du récepteur, et les étages basse fréquence d'augmenter *la puissance* de celui-ci.

Un récepteur est *sensible*, lorsqu'il est susceptible de recevoir des émissions provenant de stations émettrices placées à une très grande distance ou très faibles.

Un récepteur est *puissant*, lorsqu'il permet d'entendre fortement les émissions ; il peut, par contre, ne pas recevoir des émissions provenant

de stations éloignées, justement parce qu'il manque de sensibilité, c'est-à-dire parce que l'énergie recueillie par son antenne n'est pas assez grande pour le faire fonctionner.

Une hélice destinée à entraîner une petite dynamo et très légère est *sensible* au moindre souffle ; elle se déplacera sous l'action du vent le plus faible, mais le travail fourni sera également infime.

Un moulin destiné à entraîner une forte dynamo restera, par contre immobile, tant que le vent n'aura pas atteint une certaine intensité, mais, une fois mis en marche, il pourra fournir un travail considérable ; c'est une machine *puissante*.

Des artifices permettent d'augmenter, soit la sensibilité, soit la puissance d'une machine à vent ; de même, en T.S.F., les dispositifs haute fréquence et basse fréquence permettent d'agir sur la sensibilité ou la puissance obtenue.

L'amplification haute fréquence permet également, plus ou moins, d'obtenir un effet de résonance sur une gamme de fréquences déterminée, et, par conséquent, concourt à améliorer la *sélectivité* du récepteur.

Par contre, les étages basse fréquence ne doivent pas être accordés sur une fréquence musicale déterminée ; il en résulterait une amplification d'une gamme musicale aux dépens des autres, et, par conséquent, une distorsion.

L'amplification basse fréquence augmente uniquement la puissance du récepteur. Il est cependant certaines émissions à la limite de détection trop faibles pour être perçues directement à l'écouteur, à la sortie du détecteur, et entendues en haut-parleur, grâce aux étages d'amplification musicale.

Les difficultés du problème de l'amplification, en général, doivent être bien comprises ; l'énergie recueillie par le collecteur d'ondes est infime, et, une fois redressée, ne permet d'actionner un écouteur téléphonique que dans des cas assez particuliers, grâce à la proximité ou la puissance du poste émetteur, à l'efficacité du collecteur d'ondes.

L'amplification consiste normalement à augmenter, dans un rapport donné, l'*amplitude* des oscillations recueillies par le collecteur d'ondes, mais l'amplification *en énergie* n'est pas moins nécessaire, puisqu'un niveau minimum d'énergie est indispensable pour actionner le haut-parleur.

Les systèmes amplificateurs de déplacement en mécanique, tels que le levier, ne sont que des *transformateurs d'énergie*, et *conservent seule-*

ment l'énergie initiale, sans l'augmenter. De même, le transformateur électrique peut élever la tension d'un courant alternatif, mais sans augmenter la quantité d'énergie électrique disponible.

Des dispositifs de ce genre ne représentent pas des amplificateurs d'énergie ; le problème consiste à *commander la mise en action d'une énergie notable au moyen d'une énergie très faible*, de même, qu'un robinet à vanne légère pourra commander la circulation d'eau dans un réseau à forte pression. La lampe à vide constitue, nous l'avons vu, un *relais idéal*, dont l'action est parfaitement progressive et fidèle, et ne se manifeste pas seulement « par tout ou rien », comme celle des relais ordinaires électriques à contact.

La lampe amplificatrice. — Parmi les dispositifs d'amplification du récepteur, il en est donc qui ont pour but d'augmenter l'*amplitude des oscillations*, et qui sont dits *étages d'amplification en tension*, et d'autres qui serviront à augmenter l'*énergie* ; ce seront les *étages de puissance*. Les étages de tension sont placés à l'entrée du récepteur ; ils permettent spécialement l'amplification avant détection ; les étages de puissance sont destinés à amplifier les courants musicaux à la sortie du récepteur.

L'énergie appliquée au haut-parleur provient, non de l'énergie initiale, mais des sources électriques d'alimentation ; cette énergie initiale sert uniquement à commander l'action de l'énergie locale.

Pour que l'amplification soit fidèle, c'est-à-dire pour que les oscillations amplifiées aient une amplitude, une fréquence, et une phase correspondant aux caractéristiques des oscillations initiales, il faut que le montage soit effectué dans des conditions convenables, et que la lampe fonctionne dans des conditions déterminées.

Il est très rare qu'on utilise une seule lampe amplificatrice, c'est-à-dire un seul *étage* d'amplification. Les oscillations amplifiées par une lampe sont généralement transmises à une lampe suivante ; puis recueillies à la sortie de la deuxième, elles doivent être transmises à une troisième lampe, et ainsi de suite. L'amplification s'effectue alors *en cascade*, et peut amener un *gain* final très élevé.

Le degré d'amplification obtenu n'est pas illimité, en pratique. *On ne peut augmenter indéfiniment le nombre des étages d'amplification*, les lampes placées à la suite les unes des autres produisant des effets mutuels troublant leur fonctionnement normal. En dehors des oscillations haute fréquence et basse fréquence amplifiées normalement, il faut considérer la présence inévitable, dans les circuits, d'oscillations parasites recueillies par le collecteur d'ondes, et dues aux imperfections

des circuits d'amplification, ou des lampes elles-mêmes. L'amplification agit, à la fois, sur les oscillations utiles et sur ces oscillations parasites ; il en résulte dans le haut-parleur, et dans certaines conditions, un *bruit de fond* gênant qui peut rendre l'audition insupportable, lorsque l'amplification atteint un niveau trop élevé.

Les perfectionnements des récepteurs, et tout spécialement ceux des lampes, ont pour but d'éviter, ou, tout au moins, d'atténuer, la production et l'amplification de ce bruit de fond, et, par conséquent, de permettre l'amélioration du niveau d'amplification. Pour fixer les idées, rappelons que la tension recueillie aux bornes du circuit d'accord

est de l'ordre de quelques dizaines de microvolts, et qu'à la sortie du détecteur, on doit obtenir normalement des tensions de l'ordre de plusieurs volts.

Représentons, de nouveau, la courbe caractéristique d'une lampetriode, par exemple, sous sa forme classique, indiquant les variations du courant de plaque en fonction de la tension grille, et, avec son coude inférieur dirigé vers le haut, sa partie rectiligne, et son coude supérieur dirigé vers le bas (fig. 81).

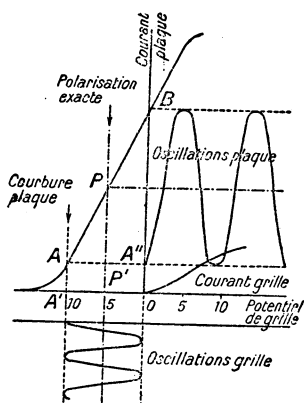


FIG. 81 — Courbe caractéristique de la lampe amplificatrice.

Si l'on applique sur la grille de la lampe des oscillations qui font varier son potentiel, en reliant le circuit d'entrée entre la grille et l'extrémité du filament ou de la cathode, la variation du potentiel de grille détermine une variation du courant plaque beaucoup plus importante que la variation primitive. Ce phénomène est instantané, par suite de la vitesse de propagation des électrons : la lampe agit comme un *relais sans inertie mécanique*, l'énergie mise en jeu dans le circuit de plaque est fournie par les sources d'alimentation de la lampe.

Pour qu'il n'y ait pas de déformation, il faut que l'amplification des alternances des oscillations soit symétrique et qu'une alternance ne soit pas amplifiée au dépens de l'autre, comme cela se produit dans la détection.

Il faut ainsi que le point de fonctionnement se déplace sur la partie rectiligne de la courbe, et le montage doit être établi en conséquence.

Dans ces conditions, si l'on applique sur la grille une tension alternative déterminant des variations de tension entre O et A', on obtiendra des variations du courant de plaque rigoureusement proportionnelles dans l'hypothèse où la ligne APB est bien une droite. L'amplification est d'autant plus importante que la caractéristique est plus inclinée, ou, comme nous l'avons vu, que la pente est plus forte. Plus la pente est élevée, plus les variations du courant de plaque sont grandes, pour une même variation de tension de grille (fig. 82).

Si la partie rectiligne n'est pas très allongée, si les oscillations sont de grande amplitude, ou si le point P est trop bas ou trop haut sur la partie rectiligne, il y a déformation, le point figuratif se déplaçant sur une partie non rectiligne de la courbe (fig. 83).

Pour obtenir une amplification fidèle, il faut donc que la lampe soit bien choisie pour le rôle qu'elle doit jouer, et bien adaptée aux caractéristiques du montage où elle figure ; il faut, en outre, que l'amplitude des oscillations ne dépasse pas une certaine valeur, pour un type déterminé de lampe, au delà de laquelle on dit que la lampe est saturée. Il

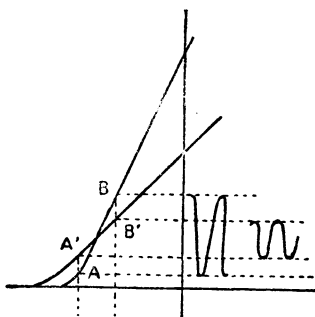


FIG. 82 — Comparaison des pouvoirs amplificateurs de deux lampes de pentes différentes, sur lesquelles on applique le même potentiel moyen de grille.

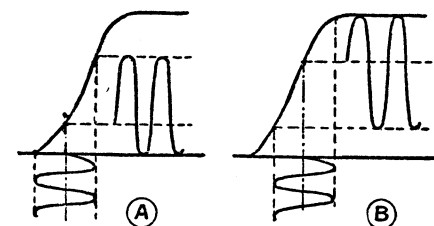


FIG. 83 — Déformations produites lorsque le point de fonctionnement se trouve dans la partie basse ou élevée de la courbe.

faut, enfin, appliquer sur la grille un potentiel fixe moyen, autour duquel variera le potentiel, instantané sous l'action des oscillations amplifiées. Cette polarisation est normalement négative, et plus élevée pour l'amplification basse fréquence que pour l'amplification haute fréquence.

Montages amplificateurs haute fréquence. — Le courant de plaque d'une lampe amplificatrice a normalement une forme complexe ; au repos, il a une intensité constante ; celle-ci devient variable lorsqu'une tension alternative est appliquée sur la grille. On peut donc le considérer comme la somme de deux courants composants, l'un continu, représen-

tant le courant de plaque au repos, l'autre alternatif correspondant à la variation du courant de plaque produite par la variation du potentiel de grille.

Pour relier les étages d'amplification entre eux, à la sortie ou à l'entrée du détecteur, on utilise des *systèmes de liaison*. En haute fréquence, on emploie, de préférence, des montages de liaison augmentant la sélectivité de l'appareil, laissant passage le plus strictement possible à la bande de brouillage correspondant à l'émission radiophonique à rece-

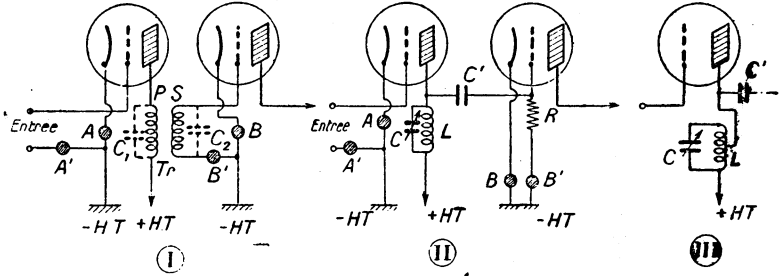


Fig. 84 — Disposition schématique des montages de liaison à haute fréquence les plus employées.

I, à transformateur accordé ; II, à résonance par circuit bouchon. L'emplacement possible théorique des système de polarisation est indiqué en A, A', B et B' ; III, modification pour le montage en auto-transformateur.

voir, et accordés sur cette gamme ; ils sont dits à *résonance*. Ce sont actuellement les dispositifs de liaison à circuit oscillant-capacité, ou à transformateur haute fréquence (fig. 84 I et II).

Le premier comporte, en principe, un *circuit oscillant*, formé par un bobinage L et une capacité fixe ou variable C ; ce circuit est accordé sur la fréquence de l'émission qu'on veut recevoir, ou sur une fréquence correspondante, suivant le montage. Au moment de la résonance, on recueille aux bornes du circuit des oscillations amplifiées transmises à la grille de la lampe suivante par une capacité C' de faible valeur, de l'ordre du 1/10.000 de microfarad, laissant passage aux oscillations haute fréquence, mais arrêtant le courant continu de plaque. Le potentiel moyen de la grille de la deuxième lampe est fixé à l'aide d'une résistance R d'une valeur de l'ordre du mégohm reliée à la source de polarisation.

On emploie plutôt désormais le montage à transformateur haute fréquence représenté également sur la figure 84 en I. Le courant de

plaque de la première lampe traverse le primaire P du transformateur. Le secondaire S est, d'une part, relié à la grille de la deuxième lampe, et, d'autre part, à la source de polarisation.

La composante alternative du courant de plaque traverse le primaire, et induit alors dans le secondaire une force électromotrice alternative de même forme appliquée entre la grille et la cathode de la lampe suivante. Le potentiel de grille varie par rapport à celui de la cathode, et on obtient dans le circuit plaque de cette deuxième lampe un courant variable. L'effet d'amplification de la lampe est encore augmenté par les propriétés du transformateur, en choisissant un rapport convenable entre le primaire et le secondaire.

En haute fréquence, on utilise quelquefois des transformateurs, dont les enroulements comportent peu de spires, et sans noyau de fer ; mais on emploie désormais depuis peu, également, des noyaux en poudre de fer finement divisée pour éviter les pertes par courants de Foucault.

Pour obtenir un effet sélectif, on peut accorder, soit le secondaire du transformateur, soit le primaire à l'aide d'un condensateur. On peut également utiliser des circuits accordés au primaire et au secondaire, par deux condensateurs C1 et C2.

Il existe d'autres dispositifs de liaison à haute fréquence, dits *apériodiques*, parce qu'en principe ils permettent l'amplification d'une gamme de fréquences très étendue sans favoriser spécialement une bande particulière. Ce sont les montages à *résistance-capacité*, ou à *impédance*.

Nous étudierons l'amplification à résistance, en général, à propos de la basse fréquence. Le montage à résistance se déduit du montage à résonance de la figure 84 II, en remplaçant le circuit accordé L C par une résistance non selfique, de 70.000 à 80.000 ohms, par exemple. Les variations de tension recueillies aux bornes de la résistance sont trans-

0,1 0,15
 mises à la lampe suivante par une capacité de liaison de $\frac{\text{---}}{1.000}$ à $\frac{\text{---}}{1.000}$
 de microfarad.

L'amplification n'est pas sélective, ce qui est un défaut en haute fréquence, et la tension plaque est réduite. Par suite des capacités internes de la lampe, le rendement diminue, d'ailleurs, pour les ondes courtes.

La résistance de plaque peut être remplacée par un bobinage avec ou sans fer qui ne réduit pas la tension plaque d'une manière appréciable, et présente une résistance apparente déterminée par son coefficient

de self-induction et sa capacité propre. La gamme amplifiée est sélective, tout en étant plus large qu'avec un circuit accordé classique.

Ce dernier système de liaison représenté sur la figure 84-I peut également être modifié, en disposant la connexion de plaque, non à l'extrémité du bobinage, mais sur une prise intermédiaire, ce qui constitue le montage *en auto-transformateur*.

La sélectivité dans le montage à résonance peut être atténuée par une résistance interne trop faible de la lampe, qui shunte, en réalité, le circuit ; à ce point de vue, le montage à auto-transformateur est préférable, la lampe n'étant plus en dérivation que sur une partie du bobinage (fig. 84 III). La sensibilité est un peu moins grande.

On emploie, d'ailleurs, normalement des lampes à forte résistance intérieure à écran, ou plutôt pentodes, dont nous avons indiqué les avantages, et qui présentent également une faible capacité interne, évitant les couplages parasites.

L'amplification haute fréquence directe est peu employée, et on utilise surtout l'amplification *moyenne fréquence*, calculée pour une gamme de fréquences bien déterminée. Le montage à transformateur à primaire et secondaire accordés formant *filtres de bande* suivant le principe déjà étudié est alors le plus fréquent.

Il permet d'assurer une bonne sélectivité, tout en laissant passage à la bande de fréquences nécessaire pour une amplification correcte de la gamme musicale radiophonique.

L'utilisation d'un noyau magnétique permet de diminuer les dimensions du bobinage, et, par suite, leur résistance, mais les pertes par courants de Foucault sont intolérables en haute fréquence, sans emploi de tôles feuilletées très fine au silicium, ou plutôt actuellement de fer divisé, dont les grains isolés ont des diamètres de quelques millièmes de millimètre seulement.

L'efficacité des montages de liaison est déterminée par le *gain d'amplification* qui montre combien de fois les variations du courant de sortie sont plus grandes que celles du circuit d'entrée.

Principes de l'amplification basse fréquence. — Dans tout amplificateur basse fréquence, il faut distinguer aussi des étages *d'amplification de tension* sur lesquels agissent les courants provenant du détecteur ; les oscillations amplifiées sont transmises ensuite à des *étages de puissance* reliés au circuit d'utilisation.

Pour qu'une énergie importante puisse être recueillie, il faut que le

produit de la résistance intercalée dans le circuit plaque par le carré du courant constituant la composante alternative utile du courant plaque soit élevé.

Ce résultat est obtenu avec des lampes triodes ou pentodes fonctionnant avec des variations importantes de tension grille. Pour appliquer ces variations, il faut donc généralement amplifier les tensions fournies par le détecteur, jusqu'à ce qu'elles atteignent une valeur suffisante ; les étages d'amplification en tension permettent d'obtenir cette tension minima.

Pour les lampes de puissance de sortie, on considère uniquement la puissance maxima obtenue aux bornes de l'impédance du circuit de plaque.

Les étages d'amplification en tension ont donc pour but de permettre le fonctionnement normal des lampes de sortie ; *pour connaître l'effet produit par un amplificateur basse fréquence, on doit considérer normalement les caractéristiques de l'étage de sortie.*

La puissance dissipée dans cet étage est égale au produit de la tension plaque par l'intensité du courant plaque ; mais, cette caractéristique ne renseigne pas exactement sur l'énergie utile obtenue réellement.

Lorsqu'on applique une tension variable sur la grille des lampes de sortie, on recueille dans le circuit de plaque une tension variable correspondante, qui donne naissance à l'énergie utile.

On appelle *puissance modulée utile* l'énergie correspondante. Si V , est la valeur de la tension en volts, et Z l'impédance du circuit de plaque, c'est-à-dire la self-induction de charge, la puissance modulée

$$P = \frac{V^2}{Z}$$
 En général, la puissance modulée utile ne dépasse pas le tiers de la puissance dissipée.

Systèmes de liaison. — Les amplificateurs basse fréquence se composent d'une série de lampes montées en cascade, et couplées entre elles par un système de liaison à transformateur, à résistance, ou à impédance, comme les amplificateurs haute fréquence, mais *sans effet de résonance.*

Le rôle des amplificateurs à fréquence musicale est de fournir une grande puissance modulée, à partir d'une très faible tension alternative, l'étage final devant seul fournir la puissance nécessaire pour alimenter l'organe d'utilisation (fig. 85).

Amplification en tension. — On emploie désormais assez rarement, pour l'amplification en tension, la liaison à transformateur, mais on peut encore l'adopter quelquefois avec des triodes.

La valeur maximum de l'amplification en volts, réalisée par une triode reliée à un transformateur élévateur de tension, est égale à la moitié du produit du coefficient d'amplification de la lampe par le rapport d'amplification du transformateur.

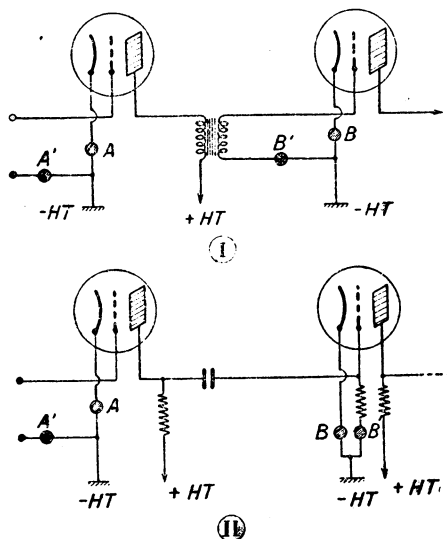


FIG. 35 — Les deux principaux montages de liaison à basse fréquence.

I, à transformateur; II, à résistance. L'emplacement possible théorique des systèmes de polarisation est indiqué en A, A' et B, B'.

Si une triode a un coefficient d'amplification de 10, et si elle est reliée à un transformateur de rapport 3, elle ne pourra pas permettre d'obtenir une amplification supérieure à 15, et, pratiquement, le résultat réel sera même inférieur.

L'amplification par étage dans la liaison à résistance n'est jamais supérieure au coefficient d'amplification K de la lampe.

On aurait intérêt à augmenter la valeur de la résistance de plaque, mais la tension de plaque deviendrait alors trop faible pour assurer l'amplification.

Pratiquement, la résistance d'utilisation est de l'ordre de deux fois la résistance interne, et l'amplification de l'étage peut alors être représentée par les deux tiers du coefficient d'amplification de la lampe.

Choix des lampes de tension et de puissance. — Connaissant le « gain en volts » par étage, il est théoriquement facile de déterminer les caractéristiques des lampes devant donner le meilleur résultat.

Pour plusieurs lampes ayant le même coefficient d'amplification, et fonctionnant avec une résistance d'utilisation identique, il y aurait avantage, dans le cas d'amplification de tension, à utiliser une lampe ayant une résistance interne aussi faible que possible.

En réalité, le coefficient d'amplification dépend de la résistance interne, et il est surtout utile de connaître la valeur optima de cette résistance, pour des lampes de pente donnée. Pour choisir une lampe amplificatrice de tension dans les meilleures conditions, *il faut donc considérer d'abord sa pente statique, et si plusieurs lampes ont la même pente, choisir celle qui présente la plus grande résistance interne.*

La lampe de puissance doit fournir un débit anodique important, sans introduire de distorsion ; la puissance modulée étant le produit d'une tension par un courant modulé, il y a intérêt à augmenter la valeur de ce courant. Ce sont presque toujours des modèles à chauffage direct, le retour de grille s'effectuant simplement sur la prise médiane du secondaire de chauffage. Le bourdonnement est négligeable, puisqu'il n'y a pas d'amplification ultérieure.

Les lampes triodes utilisées doivent ainsi présenter une faible résistance interne, et celle-ci doit être égale, pratiquement, au quart environ de la résistance apparente de l'organe d'utilisation.

Classes d'amplification. — Le courant modulé musical recueilli dans le circuit de plaque peut être considéré comme la superposition de trois courants :

1° Un courant continu constant, dont l'intensité dépend des caractéristiques de la lampe, de la température de la cathode, de la tension de plaque, et du potentiel moyen de grille ;

2° Un courant alternatif, de même fréquence que le son amplifié, et dont l'amplitude même dépend des oscillations du potentiel de grille ;

3° Des harmoniques de cette fondamentale, dont le rang et l'amplitude dépendent du timbre du son émis.

La composante continue du courant de plaque n'a ainsi, en réalité, aucune action utile ; on peut la considérer comme un courant parasite.

Pour augmenter le rendement des amplificateurs, on a cherché à réduire l'intensité moyenne de ce courant, à ne plus le laisser constant, à le rendre proportionnel à la modulation.

Les lampes de sortie ont alors un fonctionnement variable, et la consommation est moins élevée.

Amplificateurs classe A. — Les amplificateurs montés suivant les principes élémentaires exposés sont appelés de *la classe A*.

Les variations d'intensité du courant de plaque des lampes de sortie sont proportionnelles aux variations de tension appliquées sur les grilles. *L'intensité moyenne du courant de plaque reste constante, quelle que soit l'amplitude des oscillations amplifiées.*

Pour éviter la distorsion, on détermine les conditions de fonctionnement de la lampe, de sorte que le point figuratif de fonctionnement se déplace uniquement *sur la partie rectiligne* de la courbe caractéristique. On polarise la grille à cet effet, de sorte que le point figuratif se trouve au repos sur une position médiane.

Pour des variations de tension très importantes, le point figuratif peut atteindre la partie courbe de la caractéristique, et il y a distorsion (fig. 83).

Si l'on augmente la polarisation négative, il se produit un courant de grille, puisque la tension de grille peut devenir positive, et la grille fonctionne comme une plaque ; il en résulte une chute de tension, et une distorsion importante. La polarisation négative diminue toujours le rendement, réduit la valeur moyenne du courant de plaque, limite l'amplitude des oscillations recueillies à la sortie de la lampe.

Pour obtenir une forte puissance, on adopte des lampes de puissance triodes à tension plaque élevée, ou des lampes pentodes, et on doit augmenter le potentiel moyen de grille, en même temps que la tension de plaque.

Les *amplificateurs classe A* sont des appareils simples et fidèles ; on peut seulement leur reprocher leur rendement insuffisant.

Vérification du fonctionnement en classe A. — Plaçons un milliampèremètre, à cadre mobile, dans le circuit de plaque ; si ce milliampèremètre est à courant continu, nous mesurons ainsi *l'intensité moyenne* du courant de plaque. Nous constatons que si le point de fonctionnement ne quitte pas la partie rectiligne de la caractéristique, l'aiguille restera fixe, et la déviation mesurera l'intensité moyenne qui reste constante.

On peut ainsi vérifier que la polarisation de grille est bien correcte. Si l'on observe, au contraire, des diminutions du courant anodique, c'est que le point de fonctionnement atteint le coude supérieur de la caractéristique, et les alternances positives sont réduites. La polarisation est trop faible en valeur absolue.

Inversement, si l'on observe une augmentation du courant de plaque,

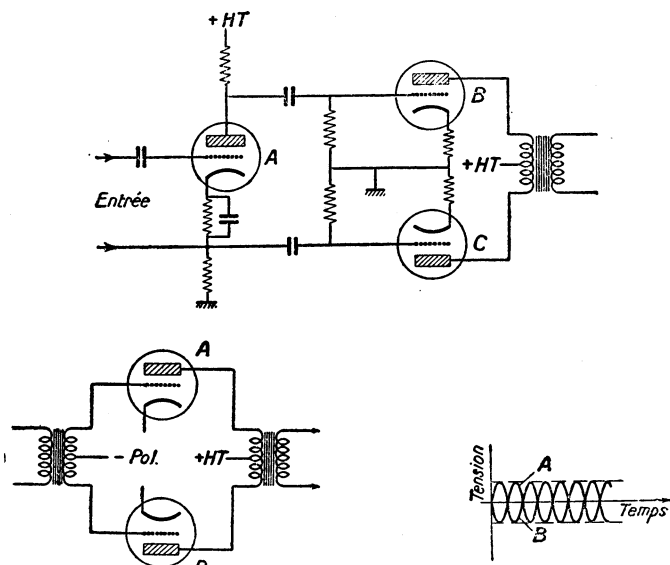


FIG. 86 — Le montage push-pull.

I, disposition d'un étage ; II, fonctionnement du montage ; III, montage en push-pull cathodyne.

c'est que le point de fonctionnement atteint le coude inférieur de la caractéristique, et les alternances négatives sont réduites ; la polarisation est trop grande en valeur absolue. Ce dernier cas est plus fréquent que le précédent, car le coude supérieur est assez éloigné avec les lampes à fort courant de saturation.

Montage push-pull. — Ce montage permet d'atténuer les inconvénients dus à la courbure des caractéristiques, et aux effets du courant continu de plaque.

Il comporte deux lampes identiques ; il est réalisé au moyen de deux transformateurs à prise médiane, ou à l'aide de résistances ; il reçoit

alors le nom de *push-pull cathodyne*, et il devient nécessaire d'utiliser une lampe supplémentaire.

Dans le premier cas, le secondaire du transformateur d'entrée à prise médiane, relié à la source de polarisation, présente deux enroulements en opposition, reliés aux grilles. Lorsqu'un courant musical est transmis au primaire, la tension des deux grilles des lampes varie autour du potentiel moyen déterminé à l'aide d'une source auxiliaire de polarisation. Les plaques des lampes sont reliées, de même, aux extrémités de l'enroulement primaire d'un transformateur de sortie, dont la prise médiane est connectée au pôle positif de la source haute tension (fig. 86 en I).

La composante continue du courant plaque traversant les deux enroulements du primaire ne provoque pas, dans ces conditions, de magnétisation du fer, puisque les deux enroulements sont en opposition. Les composantes alternatives donnent naissance à des effets d'induction en concordance, recueillis dans le secondaire.

Les deux lampes fonctionnent ainsi simultanément, et permettent d'obtenir une puissance, sinon doublée, comme la théorie l'indiquerait, du moins supérieure à celle d'une seule lampe, tout en évitant la formation d'une grande partie des distorsions, et, en particulier, la production des harmoniques pairs. L'effet obtenu par les transformateurs est beaucoup plus indépendant de la fréquence.

On emploie également, en France, le montage *push-pull* avec déphasage par résistance, ou *push-pull cathodyne*. Le montage le plus pratique de ce genre consiste à utiliser une lampe de couplage déphaseuse, et à envoyer les oscillations recueillies aux bornes plaque et cathode de cette lampe, sur les deux grilles d'une lampe de sortie double, ou de deux lampes symétriques (fig. 86 III).

L'amplification obtenue est moins considérable, et il faut utiliser une lampe supplémentaire. L'avantage consiste dans la suppression des transformateurs, forcément coûteux.

Montage classe B et ses variantes. — Une modification du montage *push-pull* permet d'obtenir une amélioration du rendement, en réduisant au minimum l'intensité du courant continu de plaque, en le rendant *constamment variable*, et *proportionnel à la modulation*.

Il suffit, en principe, d'appliquer sur les grilles de l'étage de sortie une polarisation négative plus élevée, de manière que le point figuratif de fonctionnement soit abaissé vers la partie coudée inférieure de la caractéristique de plaque.

Pendant les alternances positives, on ne risque plus de rendre la grille positive, puisque la tension négative de polarisation est beaucoup plus élevée, et on peut appliquer des oscillations de valeur double de l'amplitude limite normale.

Pendant les alternances négatives, il n'y a plus d'amplification ; il se produit un effet de distorsion considérable, un véritable redressement, une détection (voir fig. 87 A).

Pour rendre le montage utilisable, on le constitue avec deux lampes symétriques fonctionnant en opposition de phase, une alternance posi-

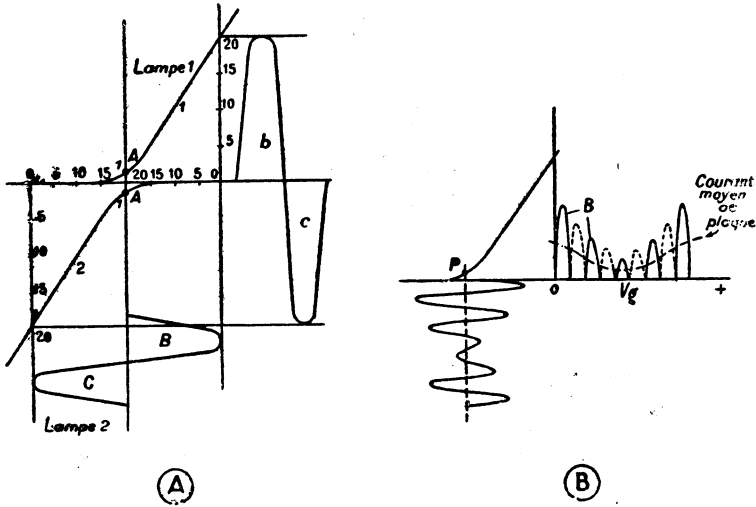


FIG. 87 — Fonctionnement d'un étage symétrique classe B ou A B, et variation du courant moyen de plaque suivant la modulation.

tive pour l'une étant négative pour l'autre ; chaque alternance est amplifiée par l'une ou l'autre des deux lampes, et, finalement, on recueille une oscillation complète amplifiée dans le circuit de sortie.

Ce montage est appelé *classe B*, et les deux lampes fonctionnent *l'une après l'autre*, chacune pour amplifier une alternance de l'oscillation, ce qui la distingue du montage *push-pull* ordinaire ; on l'appelle quelquefois aussi, pour cette raison, montage *push-push*

L'intensité du courant plaque est variable, et la tension grille doit demeurer constante ; d'où, la nécessité de recourir à des systèmes de polarisation différents et distincts (fig. 87 B).

Dans tout amplificateur de cette catégorie, on trouve au moins un étage de préamplification, un étage intermédiaire, et un ou plusieurs étages de sortie symétriques. La difficulté réside toujours dans l'alimentation en courant de plaque, la source utilisée devant fournir un courant d'intensité variable, *sans variation de tension* (fig. 88).

Les amplificateurs classe B sont des appareils à grands rendement surtout intéressants pour les grandes puissances, lorsqu'une grande fidélité d'amplification n'est pas nécessaire. En pratique, on a surtout recours à des types intermédiaires entre la classe A et la classe B, et dits classe AB ou A', présentant un courant de plaque au repos plus faible que dans la classe A, mais non complètement nul, et de construction plus facile. Ce système est également utilisé sur les étages de sortie des postes à batteries pour économiser le courant plaque.

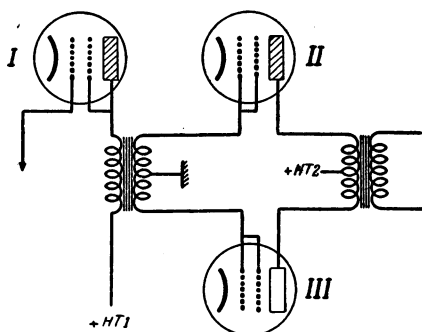


FIG. 88 — Montage d'un étage classe B. I, Lampe driver ; II et III, étage push-pull classe B, ou push-push.

La polarisation négative des grilles est plus négative que dans les systèmes classiques, mais moins négative que pour la classe B. Dans la classe AB₁, les grilles restent toujours négatives, c'est-à-dire qu'il ne se produit pas de courant de grille ; dans les montages AB₂, au contraire, il se produit un courant de grille, et les grilles deviennent positives.

Les distorsions. — Un amplificateur musical ne présente pas de *distorsion*, quand le courant sortant de l'appareil est rigoureusement proportionnel à celui qui pénètre à l'entrée. Les oscillations recueillies à la sortie ont alors la même fréquence, les mêmes amplitudes relatives, et les mêmes phases qu'à l'entrée. Il n'en est pas ainsi, la plupart du temps, et on observe des distorsions de deux types essentiels : la *distorsion en fréquence*, et la *distorsion en amplitude*.

Dans la première, on note une déformation du timbre, avec un affaiblissement ou une amplification d'une certaine bande de fréquences. Cet effet est dû aux organes intermédiaires entre l'entrée et la sortie de l'amplificateur.

La *distorsion en amplitude*, ou *distorsion non linéaire*, est déterminée, au contraire, par les caractéristiques de la lampe elle-même ; elle se manifeste par des déformations de la courbe de l'oscillation amplifiée, telle qu'une dissymétrie ou une variation de la forme, due à l'introduction dans l'oscillation amplifiée de fréquences harmoniques paires ou impaires n'existant pas dans les oscillations primitives.

Selon le genre de déformation, certains harmoniques particuliers apparaissent. Si la courbe est symétrique, mais si les alternances sont effilées ou tronquées, il y a production d'harmoniques impairs. On le vérifie en traçant sur une feuille deux sinusoides dans le rapport de 1 à 3, et en additionnant leurs amplitudes.

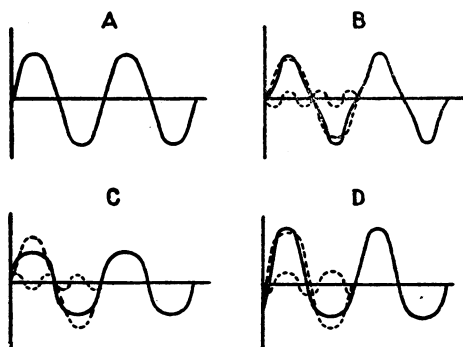


FIG. 89 — Distorsions d'amplitude.

A, onde incidente sinusoidale ; B, alternances symétriques et effilées, harmoniques pairs ; C, alternances tronquées, harmoniques impairs ; D, alternances inégales et tronquées, harmoniques impairs.

Lorsque deux alternances sont dissymétriques, on peut en déduire l'existence d'harmoniques pairs, sans que cela implique l'absence d'harmoniques impairs. On le vérifie également en dessinant deux sinusoides dans le rapport de 1 à 2, et en additionnant leurs amplitudes. Il suffit pratiquement de considérer la distorsion des harmoniques 2 et 3 (fig. 89).

Les distorsions les plus difficiles à faire disparaître sont les distorsions d'amplitude, parce qu'elles sont dues à la lampe elle-même ; on tolère, en pratique, une distorsion de 5 pour cent à 10 pour cent pour l'harmonique 2, et de 3 pour cent à 5 pour cent pour l'harmonique 3.

Triodes, pentodes, et lampes à concentration électronique en basse fréquence.— Les lampes triodes permettent d'obtenir une amplification fidèle, mais elles ont un coefficient d'amplification relativement peu élevé, et exigent un courant d'alimentation plaque important ; c'est pourquoi, on leur préfère souvent des lampes pentodes.

Le pouvoir amplificateur de ces dernières est élevé, avec une tension plaque assez faible, mais leur caractéristique dynamique est courbée.

Lorsqu'on étudie, d'une manière élémentaire, le fonctionnement d'une lampe, on trace des courbes caractéristiques tension grille-

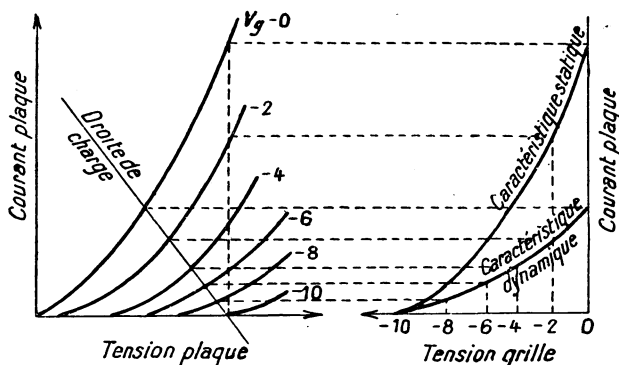


Fig. 90 — Caractéristique tension-plaque courant-plaque à tension grille constante ; à droite, courbe tension grille courant plaque à tension constante. Détermination de la caractéristique dynamique.

courant plaque à tension plaque constante, ou tension plaque-courant plaque à tension grille constante.

Ces courbes sont *statiques*, et elles ne sont valables que lorsque la tension plaque conserve une valeur constante. En examinant la question plus en détail, on constate que le fonctionnement de la lampe ne se produit pas réellement à tension plaque constante, mais *variable*.

Dans le circuit plaque de la lampe de sortie, il se trouve une impédance, constituée, par exemple, par le primaire du transformateur de liaison. Le passage du courant plaque à travers ce bobinage détermine une chute de tension ; la plaque de la lampe est portée à une tension inférieure variant suivant l'intensité du courant.

Le point représentatif du fonctionnement se déplace ainsi sur toute la famille de courbes précédente, le long d'une droite dite « *droite de charge* » (fig. 90).

L'intersection de la droite de charge et des courbes caractéristiques successives tension plaque-courant plaque, permet de déterminer la *caractéristique dynamique* tension grille-courant plaque de la lampe, et indique réellement l'intensité du courant plaque, en fonction de la tension de grille, pour la lampe en fonctionnement.

Ces *courbes dynamiques* peuvent présenter des déformations ; pour que la fidélité soit parfaite, il faudrait qu'elles soient des droites. Une caractéristique dynamique à allure parabolique correspond, en

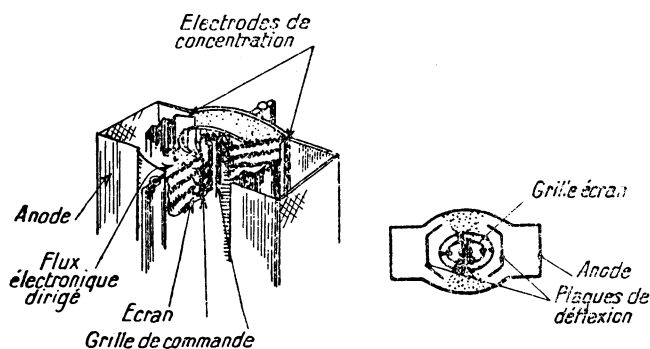


FIG. 91 — Disposition de électrodes d'une lampe de sortie à concentration électronique.

réalité, à l'apparition d'harmoniques pairs, tandis qu'une courbure en S décèle l'apparition d'harmoniques impairs.

Une solution déjà indiquée consiste à remplacer la lampe pentode par une autre produisant les mêmes effets d'amplification, mais n'ayant pas les mêmes défauts.

Ces irrégularités sont dues essentiellement aux *émissions secondaires* provoquées par les électrons provenant de la cathode, et qui franchissent à grande vitesse la grille d'arrêt. La meilleure solution consisterait à supprimer cette grille d'arrêt, tout en obtenant un résultat identique.

Si l'on donne aux électrodes une forme bien étudiée, on concentre les faisceaux électroniques émis par la cathode, et on évite une absorption intense de l'électrode d'accélération ; de là, la conception de la *lampe à direction électronique*.

Dans ces lampes, on ne se contente plus de produire un flux électronique, on le dirige, comme dans les oscillographes cathodiques. Le type

initial est le modèle 6L6 comportant quatre électrodes disposées d'une manière très particulière (fig. 91).

Les flux électroniques n'atteignent l'anode que dans des parties bien déterminées ; l'émission secondaire est évitée par la concentration du flux électronique en deux faisceaux sous l'action de deux plaques perpendiculaires reliées à la cathode à l'intérieur de l'ampoule.



CHAPITRE X

LA LAMPE OSCILLATRICE ET LES POSTES D'ÉMISSION

La lampe à vide joue le rôle de *déetectrice* et de *relais amplificateur* ; elle peut être également montée en *génératrice d'oscillations de toutes fréquences* : très basse fréquence, fréquence musicale, ou haute fréquence. Elle est alimentée, normalement, en courant continu ou redressé, et peut donc être comparée à une machine *commutatrice* particulière pouvant produire des courants alternatifs à très haute fréquence.

Les appareils à étincelles, à arc, ou alternateurs, permettant d'abord la production des ondes amorties, puis des ondes entretenues radiotélégraphiques, ont été remplacés progressivement par des postes émetteurs à lampes assurant les émissions radiotélégraphiques en ondes entretenues dans des conditions bien supérieures ; les émissions radiotéléphoniques en ondes modulées sont obtenues uniquement au moyen de postes émetteurs à lampes.

Nous avons indiqué le fonctionnement en oscillatrice de la lampe détectrice à réaction, qui permet aussi la réception des signaux en ondes entretenues. Les montages de lampes oscillatrices sont utilisés dans de nombreux cas de réception particuliers, pour constituer des appareils d'étalonnage et de mesure, en haute ou en basse fréquence dits « hétérodynes ». Mais la fonction oscillatrice de la lampe est surtout utilisée à la réception dans les appareils dits « à changements de fréquence », dont nous montrerons les caractéristiques et les avantages.

Lampe triode oscillatrice. — Un exemple classique de fonctionnement de la lampe à vide en oscillatrice nous est donné par le montage de la lampe triode en *autodyne*, rappelé sur le schéma de la figure 92.

Le montage comporte un circuit oscillant $L_1 C_1$ connecté dans le circuit de plaque d'une lampe triode, et un bobinage L_2 intercalé dans un sens convenable dans le circuit de grille, et couplé par induction avec la bobine L_1 du circuit oscillant.

Lorsqu'on ferme le circuit de plaque, un courant prend naissance à travers la bobine L_2 , dans laquelle il engendre une force électro-motrice de self-induction et le condensateur du circuit se charge ; la variation du courant dans le circuit détermine la production d'oscillations à la

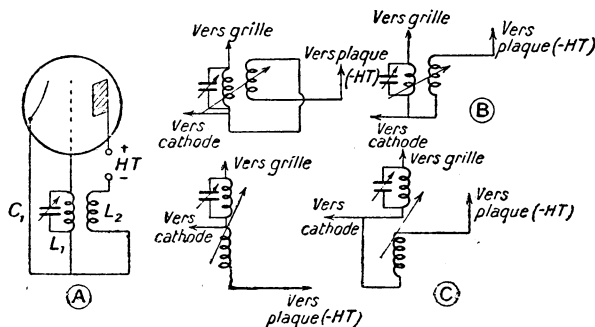


FIG. 92 — La lampe oscillatrice.

A, montage classique à couplage électromagnétique ; B et C, dispositions diverses des bobinages, placés côte à côte, ou bout à bout ; à gauche, bobines enroulées dans le même sens, à droite, bobines enroulées en sens inverses.

fréquence propre du circuit. Les variations du courant-plaque engendrent des variations du potentiel de grille, qui à leur tour déterminent des variations amplifiées du courant plaque et le phénomène se répète indéfiniment : on dit qu'il est « *entretenu* ».

Un tel montage est appelé *hétérodyne*, lorsqu'il est utilisé pour produire des oscillations pouvant être appliquées à un circuit extérieur, ou *autodyne*, comme nous l'avons vu, lorsqu'il permet la production d'oscillations utilisables dans le dispositif lui-même, par exemple dans une lampe détectrice.

On obtient dans le circuit de grille un véritable courant alternatif, et, dans le circuit de plaque, un courant variable avec une composante alternative ; la durée de la période de l'oscillation dépend de la période propre du circuit oscillant, calculée d'après la formule de Thomson.

Pour que des oscillations puissent être entretenues, il est nécessaire que les deux bobines aient un coefficient d'induction mutuelle négatif ;

si l'une des bobines est parcourue par un courant d'un certain sens, elle doit transmettre à travers l'autre un flux d'induction produisant un courant de sens inverse.

Si les bobines sont placées côte à côte, et enroulées dans le même sens, elles doivent être disposées comme l'indique, à gauche, la figure 92 B ; si elles sont enroulées en sens inverse, la disposition est indiquée à droite.

Si les bobines sont placées bout à bout l'une dans l'autre, elles doivent être montées suivant le schéma 92 C, et, si elles sont enroulées en sens inverse, comme on le voit à droite.

Il y a une *distance critique* pour les bobinages, pour laquelle les oscillations prennent naissance ; le couplage est maintenu un peu au delà de la limite « d'accrochage » dans une zone où les oscillations sont stables, et ont une forte amplitude. La facilité avec laquelle une lampe entre en oscillations dépend aussi de ses caractéristiques ; elle oscille d'autant plus facilement que sa résistance interne est faible, et son coefficient d'amplification élevé.

Pour que le régime des oscillations soit stable, il est nécessaire que le coefficient d'induction mutuelle soit supérieur à une certaine valeur, dépendant de la résistance apparente du circuit oscillant. Cette résistance apparente comprend les résistances ohmiques des selfs et des capacités, les pertes par effet de Joule, et par rayonnement.

La batterie de plaque fournit alors au circuit oscillant plus d'énergie qu'il n'en perd à chaque oscillation ; le phénomène initial augmente d'amplitude, jusqu'à ce que le point de fonctionnement de la lampe atteigne le coude de la courbe caractéristique ; à ce moment, l'amplitude reste constante, et le régime d'entretien est stable. À la limite, le régime des oscillations est instable, et il peut y avoir arrêt brusque, c'est-à-dire *décrochage* des oscillations. Une modification inverse ramène la production des oscillations ; on dit qu'il y a *accrochage*.

Comme toutes les oscillations mécaniques, les oscillations électriques de la lampe se produisent ainsi par suite d'un choc initial, et sont *entretenu*es par des impulsions répétées. Dans une horloge, le mouvement du balancier est *entretenu* grâce aux impulsions du ressort transmises par le système d'échappement ; dans la lampe à vide oscillatrice, le mouvement est *entretenu* par la batterie de plaque, et le choc initial est déterminé par le passage du courant dans un circuit.

La petite quantité d'énergie prélevée sur le circuit de plaque est renvoyée à ce circuit après application à la grille, et suffit à entretenir

les oscillations dans le circuit de grille. Tout se passe comme si, à chaque oscillation, la plaque produisait une petite impulsion supplémentaire, pour accroître l'amplitude des vibrations dans la période d'établissement du phénomène, et, pour l'entretenir ensuite, malgré les causes d'amortissement, pertes en haute fréquence, résistances, etc.

Le montage classique précédent peut être modifié de différentes façons ; le circuit oscillant, au lieu d'être monté dans le circuit de grille, peut-être disposé dans le circuit de plaque ; on peut aussi coupler les circuits de grille et de plaque par capacité, ou utiliser un montage

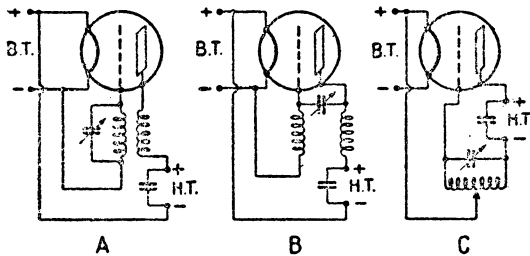


FIG. 93 — Schémas classiques comparés de la lampe oscillatrice.

A, couplage par induction ; B, couplage par capacité ; C, couplage mixte, par capacité et par induction.

mixte, avec le dispositif en Oudin comportant une seule bobine grille-plaque (fig. 93).

Principe des montages émetteurs. — Reprenons le montage de lampe oscillatrice précédent, et supposons que le circuit oscillant, intercalé dans le circuit de grille, soit connecté à l'antenne et à la terre. Toute variation du courant de plaque produit dans la bobine de grille un courant induit ; si une onde quelconque arrive sur l'antenne, elle y produit une légère oscillation qui charge la nappe d'antenne, et la grille qui y est reliée ; le courant de plaque subit alors une variation, et produit dans la bobine d'antenne un courant qui s'ajoute à l'action initiale, si le sens d'enroulement des deux bobines est bien choisi.

Puis, la nappe se décharge, et il se produit encore dans la bobine de grille un courant de sens contraire au premier ; à chaque oscillation, le courant de plaque produit une nouvelle impulsion, et le système est en équilibre instable. Le moindre choc électrique donné à l'antenne

suffit pour déclencher les oscillations de la lampe ; l'antenne est alors parcourue par un courant haute fréquence possédant une intensité constante, et les oscillations sont entretenues.

Suivant ce principe élémentaire, on peut établir un petit poste émetteur, dont le circuit oscillant a une longueur d'onde propre réglée en agissant sur la capacité qui détermine la longueur d'onde de l'émission (fig. 94 A).

Il suffit, en principe, pour constituer le poste émetteur, de coupler avec le circuit oscillant d'une lampe génératrice d'oscillations haute

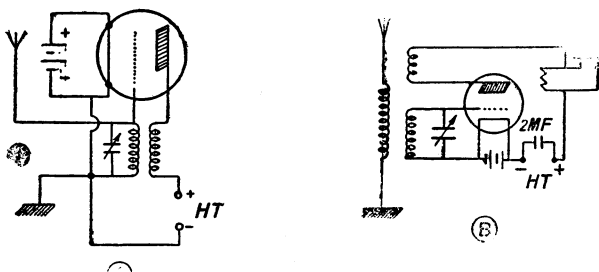


FIG. 94 — Principe des montages émetteurs.

A, lampe autodyne montée en émettrice ; B, petit poste émetteur radio-télégraphique établi avec une lampe autodyne à couplage indirect.

fréquence une bobine intercalée dans le circuit d'antenne, et le plus simple des émetteurs est constitué comme une lampe détectrice à réaction à accord en Tesla (fig. 94 B).

Pour la transmission des signaux télégraphiques, on peut intercaler dans le circuit de plaque un interrupteur servant à la manipulation des signaux Morse ; pour éviter des variations trop brusques du potentiel de plaque, l'interrupteur est shunté par une résistance suffisamment élevée pour empêcher la création d'oscillations pendant l'ouverture du circuit direct, et laisser demeurer sur la plaque un certain potentiel positif.

Parmi les montages pratiques d'émetteurs, on distingue le montage autodyne, généralement alimenté en courant alternatif et connu sous le nom de *Feed Back* ou *Reversed Feed Back* suivant que le circuit oscillant accordé est celui de grille ou de plaque. L'entretien des oscillations est assuré par le couplage électromagnétique des bobines grille et plaque, et apparaît d'un réglage facile.

Le montage symétrique Mesny offre de grands avantages ; il permet d'utiliser deux lampes en parallèle, sans présenter les inconvénients ordinaires de cette solution. Les bobines grille et plaque à prise médiane sont en sens inverse, et placées concentriquement à peu de distance l'une de l'autre, celle de grille étant disposée à l'intérieur.

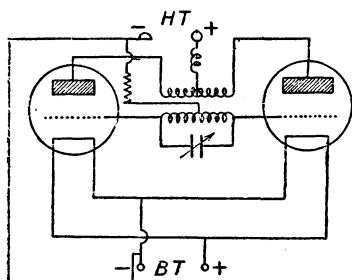


FIG. 95 — Principe du montage symétrique Mesny (Feed Back ou reversed feed back push-pull).

On obtient un couplage électro-magnétique serré assurant une excellente stabilité, et le condensateur d'accord est placé en parallèle sur le bobinage de grille (fig. 95). Les oscillations haute fréquence se produisent uniquement dans les circuits plaque et grille, sans pouvoir agir sur

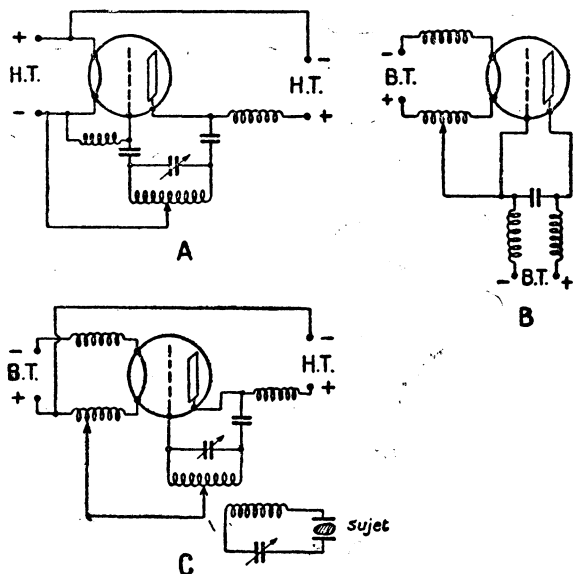


FIG. 96 — Montages oscillateurs dits Hartley (hétérodynes). A, montage classique à alimentation en parallèle (le montage à alimentation série est indiqué par la figure 93 C) ; B, dispositif de Gutton et Toully pour ondes très courtes ; C, variante du montage à alimentation en parallèle.

les sources d'alimentation.

Un montage de ce genre est réalisé avec polarisation de grille obtenue

à l'aide d'une résistance non shuntée ; on reconnaît facilement que le dispositif est du type précédent en push-pull.

L'émetteur du type *Hartley* comporte un seul bobinage, à prise à peu près médiane ; les deux extrémités de la bobine reliées aux bornes du condensateur variable sont ainsi réunies à la grille et à la plaque, avec une prise au point de potentiel nul ; le condensateur permet de faire varier la longueur d'onde, et assure l'entretien des oscillations ; le couplage est mixte, et s'effectue par induction et capacité (fig. 96).

Le montage présente l'avantage d'une commutation facile ; il n'y a que trois connexions à la bobine, et la masse est reliée à une prise intermédiaire. Le système est, par contre, sensible à l'approche de la main du condensateur d'accord, les armatures de ce dernier n'étant pas reliées à un potentiel fixe.

L'alimentation est obtenue en série ou en parallèle, ce qui constitue deux variantes plus ou moins distinctes ; la polarisation de la grille s'effectue par condensateur shunté, s'il y a lieu.

Le montage *Colpitts* dérive du *Hartley*, mais comporte une prise intermédiaire, effectuée, non sur le bobinage, mais sur la capacité, et reliée à la grille, avec bobine d'arrêt insérée dans la connexion de cathode.

Ce montage peut également comporter l'alimentation parallèle, ou l'alimentation série, et des variantes plus ou moins distinctes.

Parmi les montages divers plus ou moins employés, citons encore le montage *Meissner*, comportant un circuit oscillant séparé couplé à une bobine de grille et à une bobine de plaque et qui date de 1913 ; puis les montages à couplage électrostatique grille-anode, ou *Armstrong*, ou *TP-TG* ; l'oscillateur *dynatron*, dont nous avons expliqué le principe, permet plutôt d'établir des hétérodynes de faible puissance.

En fait, les postes employés à l'heure actuelle, en dehors de la radio-diffusion d'Etat, sont uniquement des appareils à ondes courtes, puisque seule l'émission sur ondes courtes est admise. La construction des postes émetteurs, ou plutôt émetteurs-récepteurs sur ondes très courtes, sur *la gamme de 5 mètres*, est devenue ainsi particulièrement intéressante. Les dispositifs oscillateurs à cristal de quartz permettent d'obtenir une oscillation parfaitement stable, indispensable pour l'émission en ondes très courtes. La lampe utilisée n'est plus auto-oscillatrice ; on fait seulement agir sur elle les oscillations provenant d'un dispositif séparé vibrant ainsi à une fréquence rigoureusement stable.

Il faut distinguer, en principe, la *puissance d'alimentation d'un oscil-*

lateur, puissance totale fournie par la source de courant plaque, et égale au produit de la tension plaque par l'intensité du courant plaque. La puissance dissipable par la plaque dépend, d'autre part, des caractéristiques de la lampe, mais la puissance utile est le produit de l'intensité efficace du courant haute fréquence par la tension efficace. Le rendement de l'oscillateur est le rapport de la puissance utile à la puissance d'alimentation ; il est, au maximum, de l'ordre de 50 pour cent, et n'atteint pas ce chiffre, en pratique.

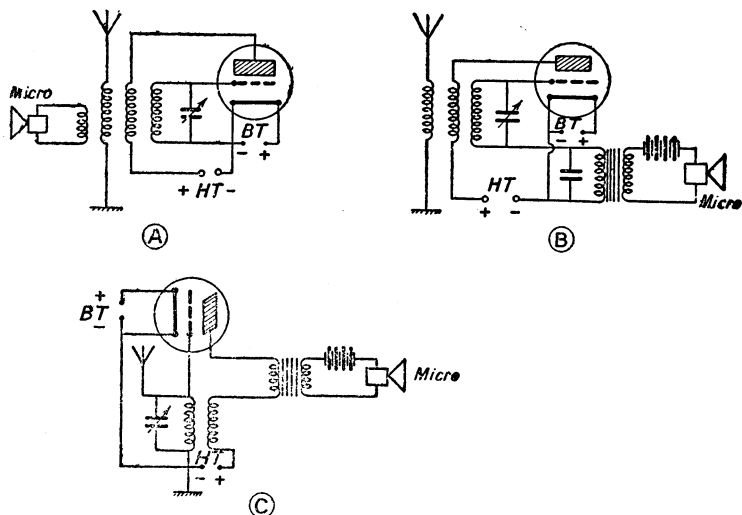


FIG. 97 — Dispositifs de modulation élémentaires d'une lampe auto-oscillante. — A, par absorption ; B, par la grille ; C, par la plaque.

L'énergie est dissipée sous forme de chaleur sur la plaque de la lampe qui est portée à une température très élevée ; on améliore le rendement en polarisant la grille à une tension moyenne, telle que, pendant les alternances négatives, elle empêche le passage du courant, ce qui diminue, d'ailleurs, la puissance nominale des lampes.

En pratique, on monte dans la grille un condensateur shunté qui charge négativement cette grille au passage d'un train d'ondes, et la décharge automatiquement dans la résistance de fuite ; la valeur de la résistance varie entre 5.000 et 20.000 ohms, et la capacité entre 1/1.000 et 5/1.000 de microfarad. Ce procédé n'est évidemment utilisable que pour l'émission en radiotélégraphie.

Modulation de l'émetteur. — Pour la transmission radiophonique avec modulation en amplitude, il faut imprimer au courant de haute fréquence la modulation au moyen d'un courant de basse fréquence microphonique obtenu, tout au moins dans les appareils d'amateurs, à l'aide d'un microphone à contact de charbon. Pour les très faibles puissances, on peut utiliser directement la variation de résistance de ce microphone dans un circuit d'absorption (fig. 97 A).

Le courant microphonique peut agir, en général, soit sur la grille, soit sur la plaque de la lampe émettrice ; il peut être amplifié, ou agir directement à travers un transformateur élévateur de tension de rapport 1/60 à 1/100.

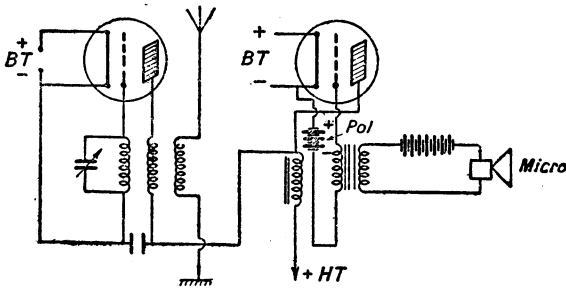


FIG. 98 — Représentation schématique d'un montage de modulation par l'anode à courant constant.

Si nous disposons dans le circuit de grille d'une lampe auto-oscillatrice le primaire d'un transformateur microphonique, le circuit sera parcouru par un courant qui viendra, tantôt augmenter, tantôt diminuer, la valeur du courant du circuit grille, et toutes les variations de potentiel feront varier l'intensité du courant plaque (fig. 97 B).

C'est ce courant plaque qui détermine le courant haute fréquence et les variations de puissance produiront donc obligatoirement des variations d'intensité des oscillations haute fréquence.

Au lieu de modifier l'intensité du courant plaque, en agissant sur la grille de la lampe, on peut arriver au même résultat en intercalant un transformateur dans le circuit de plaque. Le primaire de ce transformateur est relié à un microphone et à une source de courant ; il est alors nécessaire d'employer une batterie très puissante pour déterminer des variations suffisantes d'intensité du courant plaque (fig. 97 C).

Un moyen encore plus rudimentaire de modulation en amplitude consiste à intercaler un microphone dans l'antenne du poste émetteur,

mais cette pratique a été abandonnée. Tous ces montages de modulation sont d'ailleurs, élémentaires et sont remplacés généralement par des montages plus fidèles, avec amplification séparée.

L'emploi de cet étage basse fréquence est facile en principe. Dans le montage élémentaire de la figure 98, le courant microphonique est amplifié par un étage basse fréquence, et traverse un bobinage basse

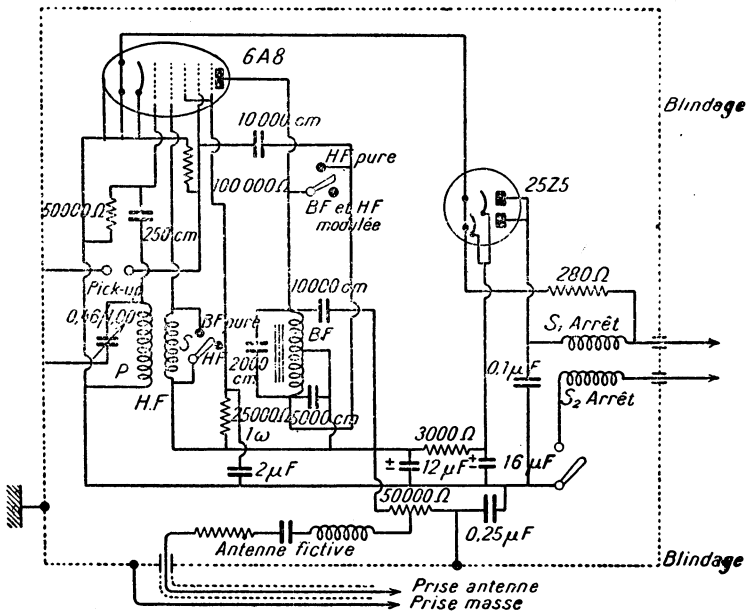


FIG. 99 — Hétérodyne de mesure pouvant produire des oscillations entretenues pures, des oscillations modulées, et des oscillations à fréquence musicale. Montage réalisé avec une lampe multiple auto-oscillatrice modulatrice, et une valve de redressement. Alimentation "tous secteur".

fréquence à noyau de fer, qui se trouve également dans le circuit de plaque de la lampe oscillatrice. Les chutes de tension variables obtenues dans le bobinage par le passage du courant basse fréquence font alors varier la tension appliquée sur la plaque de la lampe haute fréquence, et l'amplitude de ses oscillations. Un condensateur de faible capacité livre passage au courant haute fréquence, et un tel système porte le nom de *modulation à courant constant* ; lorsque l'intensité du courant basse fréquence augmente, celle du courant de la lampe haute fréquence diminue, le courant traversant le bobinage reste constant.

Dans les postes émetteurs radiophoniques plus puissants, le courant à haute fréquence est produit par un étage séparé dit « maître oscillateur » ; il est ensuite amplifié, et appliqué à une lampe modulatrice sur laquelle agissent en même temps les courants microphoniques préalablement amplifiés. Le courant modulé final est dirigé après amplification sur l'antenne d'émission.

Les Hétérodynes. — Les lampes oscillatrices haute fréquence de petite puissance, ou *hétérodynes*, sont utilisées pour la réception des émissions radio-télégraphiques en ondes entretenues, et, en radiophonie, pour effectuer des mesures : mesure des longueurs d'onde, alignement des circuits des récepteurs à réglage unique, contrôle des qualités des montages, etc...

Ces dispositifs émettent aussi des oscillations modulées, ou même à basse fréquence. On voit un exemple simple de montage de ce genre sur la figure 99.



CHAPITRE XI

LE CHANGEMENT DE FRÉQUENCE

LES SUPERHÉTÉRODYNES

Dans les récepteurs radiophoniques sensibles, on augmente l'amplitude des oscillations haute fréquence modulées recueillies par le collecteur d'ondes, avant de les transmettre au détecteur. On peut utiliser des étages haute fréquence comportant des systèmes de liaison, généralement accordés sur la longueur d'onde de l'émission à recevoir ; les appareils établis suivant ce principe sont dits à « *amplification haute fréquence directe* ».

Ces récepteurs ne sont plus guère employés, et sont remplacés par des dispositifs à *changement de fréquence*, dits « *superhétérodynes* », appelés primitivement à double hétérodyne.

Leur réalisation initiale a été amenée par la nécessité de constituer des modèles permettant la réception des ondes courtes sur la gamme de 200 à 600 mètres, à un moment où il n'existait pas de procédé d'amplification haute fréquence directe permettant d'obtenir ce résultat. On peut recevoir maintenant les émissions sur ondes courtes, même en-dessous de 100 mètres, sans avoir recours à ce procédé, et on adopte le superhétérodyne, en raison surtout de ses propriétés inégalables de sélectivité et de simplicité de réglage, pour la réception de toutes les gammes radiophoniques, depuis les ondes métriques jusqu'à 2.000 mètres de longueur d'onde au minimum.

Inconvénients de l'amplification haute fréquence. — La détection par lampe nécessite une certaine tension minima appliquée ; la tension adressée obtenue n'est suffisante pour agir normalement sur un étage basse fréquence, que si l'oscillation initiale transmise directement au détecteur provient d'une station puissante ou rapprochée, ou

que le collecteur d'ondes est très efficace ; l'emploi de la détection linéaire par diode rend encore plus nécessaire l'élévation du niveau des oscillations à l'entrée du détecteur. Lorsqu'il s'agit d'émissions sur ondes courtes, les résultats sont souvent irréguliers, et peuvent amener une interruption de l'audition pendant le phénomène du fading.

L'amplification haute fréquence est donc presque toujours indispensable ; encore faut-il qu'elle soit réalisée d'une façon efficace. Sur la gamme des « grandes ondes », il est assez facile de construire des étages d'amplification, à l'aide de systèmes de liaison semi-apériodiques ou à résonance, et si l'on veut se contenter d'une sélectivité relativement faible. Pour l'accentuer, il faut avoir recours à un grand nombre d'étages *accordés*, ce qui complique les difficultés de montage, par suite du danger de production des oscillations parasites dues aux réaction mutuelles inévitables et malgré l'emploi des lampes à écran. Le réglage devient également très complexe et la sélectivité est limitée par la longueur d'onde relativement élevée.

Le problème devient généralement plus difficile pour la réception des petites ondes, et des ondes courtes, par suite de la très haute fréquence des oscillations à amplifier. *Toutes les petites capacités parasites*, dont l'effet est insignifiant pour la réception des grandes ondes, prennent une très grande importance ; il est indispensable de prendre des précautions pour le montage du poste, l'établissement des connexions et des bobinages, et on doit adopter des lampes à faible capacité interne, du type à écran de grille, ou plutôt pentode.

La gamme des ondes radiophoniques utilisées en Europe est de plus en plus étendue ; aussi, est-il impossible d'amplifier toutes les oscillations à recevoir au moyen d'un seul jeu de bobinages d'accord et de liaison haute fréquence. Les bobinages à prises, même avec court-circuit des parties non utilisées, ne donnent normalement que des résultats insuffisants ; il faut avoir recours à plusieurs jeux de bobinages mis en circuit à l'aide de combinateurs. Ce dispositif a pu donner de bons résultats au point de vue de la musicalité et de la sensibilité ; mais, il est peu sélectif, complexe, et coûteux.

Le problème se posait dans des conditions différentes en Amérique par suite de la réduction de la gamme des longueurs d'onde de radio-diffusion ; cependant aux Etats-Unis comme en Europe, le montage à haute fréquence directe a aussi peu à peu cédé la place au super-hétérodyne.

Principe de la réception par changement de fréquence. — La *réception par changement de fréquence* consiste essentiellement à effectuer une amplification haute fréquence particulière, dite à *fréquence intermédiaire*, ou à *moyenne fréquence* dans des conditions absolument stables, et sur une *longueur d'onde fixe*, choisie une fois pour toutes, qui demeure constante, quelle que soit la longueur de l'onde à recevoir. On obtient ainsi les meilleures conditions d'efficacité, tant comme sensibilité que comme sélectivité, puisque les dispositifs de liaison peuvent être construits en vue d'un rôle bien déterminé, et accordés sur une fréquence particulière, ou plutôt sur une bande de fréquences très limitée.

Le récepteur haute fréquence assure une musicalité satisfaisante, à condition, évidemment, que le détecteur et les étages basse fréquence soient bien établis. Les premiers appareils à changement de fréquence n'avaient pas une qualité musicale comparable, mais l'emploi des éléments de liaison à *filtres de bande* bien étudiés assure une musicalité satisfaisante, à condition que l'on sache se contenter d'une sélectivité normale, et qu'on ne veuille pas restreindre la bande des fréquences transmises au-dessous de 7 ou 8 kilocycles. Une sélectivité trop « poussée » est incompatible avec une musicalité satisfaisante, quel que soit le principe de réception.

Le récepteur à changement de fréquence ou *superhétérodyne* (1) permet donc d'utiliser un grand nombre d'étages d'amplification, avec un rendement presque constant, quelle que soit la longueur d'onde des émissions à recevoir. Les oscillations provenant du collecteur d'ondes sont transformées, généralement, en oscillations de fréquence plus réduite, plus faciles à amplifier en haute fréquence ; ce sont ces dernières oscillations que l'on détecte, et qui, après amplification musicale, actionnent finalement le haut-parleur.

En principe, un dispositif superhétérodyne se compose d'un dispositif d'accord, d'un système *changeur de fréquence*, d'un amplificateur accordé sur une fréquence fixe choisie une fois pour toutes, d'un système détecteur, et d'un amplificateur basse fréquence (fig. 100).

Les ondes hertziennes sont reçues par l'antenne ; après leur passage dans le circuit d'accord, elles sont transmises au système changeur de fréquence, précédé ou non d'étages d'amplification à haute fréquence directe. Le changeur de fréquence est relié à un circuit oscillant accordé sur la haute fréquence choisie, dite *intermédiaire* ou *moyenne*, et agissant

(1) Il y a, en réalité, une différence entre le récepteur à changement de fréquence et le superhétérodyne : mais, en pratique, on emploie souvent indifféremment les deux termes.

par induction sur un deuxième circuit identique, relié à un amplificateur puissant spécialement établi pour cette fréquence.

Le changement de fréquence est déterminé par un oscillateur produisant des oscillations locales de fréquence élevée et voisine de celle des ondes à recevoir. Par interférence avec ces dernières, on obtient des *battements* de fréquence inaudible ; ces battements peuvent se décomposer en un courant continu, et en oscillations de fréquence inaudible. Ce sont ces oscillations qui sont transmises à l'amplificateur intermédiaire ; celui-ci les amplifie, les détecte, amplifie ensuite en

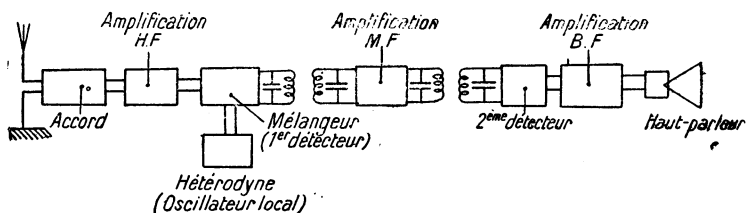


FIG. 100 — Différents organes d'un récepteur à changement de fréquence.

basse fréquence, comme s'il s'agissait de signaux ordinaires de longueur d'onde fixe correspondante. Dans le cas d'émissions radiophoniques, on retrouve la modulation primitive sans distorsion.

Phénomènes des battements. — Le fonctionnement du changement de fréquence est ainsi basé, en général, d'une manière élémentaire sur le *phénomène des battements*, produit par deux oscillations de fréquences voisines, et sur lequel il convient de rappeler des notions simplifiées.

Donnons d'abord des exemples faciles à comprendre, et suffisamment exacts. Imaginons, par exemple, deux promeneurs côte à côte, se déplaçant à la même vitesse, mais dont les jambes sont de longueurs inégales. Leurs pas ne sont pas les mêmes, et la cadence est plus lente pour l'un que l'autre ; au lieu des promeneurs, nous pourrions considérer également deux métronomes de longueurs différentes, et de rythmes un peu différents.

Si les pas ou les battements des métronomes sont bien réglés, le phénomène correspondant est périodique, et le nombre de phénomènes par seconde est bien déterminé. Pendant une seconde, l'un des promeneurs fait, par exemple, quatre pas, tandis que l'autre en fait deux. Au début du phénomène, les pieds des promeneurs sont dans

une certaine disposition ; ils se retrouveront donc dans une condition identique au bout d'un temps et d'un trajet correspondants, pour le premier promeneur à deux ou à quatre pas, et pour le deuxième, à un ou à deux pas. Si l'on écoute le claquement des pas sur le pavé, on entendra un bruit irrégulier, sauf dans les positions où il y aura concordance des mouvements, c'est-à-dire où ces mouvements seront *en phase*.

On observe, à ce moment, un renforcement du son ; c'est ce qu'on appelle *un battement* entre les deux phénomènes périodiques.

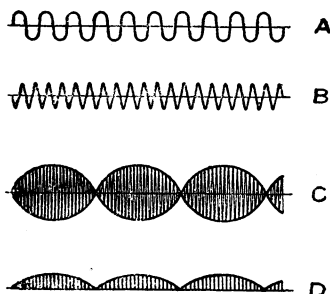


FIG. 101 — Phénomène des battements

A, oscillations de fréquence F_1 ; B, oscillations de fréquence F_2 ; C, battement résultant obtenu par interférence (superposition) des oscillations F_1 et F_2 et de fréquence F ; D, courant redressé obtenu par détection du battement.

On voit qu'un phénomène de fréquence 4, et un phénomène de fréquence 2, produisent un troisième phénomène de fréquence $4-2=2$; il y a, dans cet exemple, deux battements par seconde. D'une manière très générale, *deux phénomènes oscillatoires périodiques peuvent produire un battement, dont la fréquence est égale à la différence des fréquences de ces phénomènes.*

Lorsqu'on entend un carillon, composé de deux cloches produisant des sons de hauteurs voisines, l'intensité du son semble lentement croître et décroître, par exemple, toutes les secondes ; ce renforcement et cet affaiblissement sont déterminés par des battements entre les oscillations des deux cloches.

On produit, encore, des battements en induisant dans un même circuit des courants alternatifs de fréquences différentes, mais voisines ; il n'y a pas renforcement ou affaiblissement constant, mais il se produit *une suite de renforcements et d'extinctions* plus ou moins complètes constituant les battements. Si les deux courants alternatifs sont de fréquence F_1 et F_2 , ils donnent lieu à un courant de fréquence F , tel que $F = F_1 - F_2$.

La figure 101 montre graphiquement comment se produit le phénomène de battement ; on voit les courants composants, et, en additionnant les amplitudes instantanées, la courbe du courant résultant. Ce courant est également un courant périodique, bien que non sinusoïdal, appelé *courant pulsatoire*.

Le phénomène des battements nous permet d'expliquer les phéno-

mènes constatés dans la lampe détectrice à réaction précédemment étudiée. Lorsque nous faisons fonctionner cette lampe en oscillatrice, grâce au système de couplage entre le circuit plaque et le circuit grille, deux tensions alternatives agissent sur la grille : celles qui sont recueillies par l'antenne et proviennent du poste émetteur, et celles qui sont produites par la lampe fonctionnant en oscillatrice. Si ces fréquences sont assez voisines, la fréquence de battement résultant est assez basse, et d'un ordre de fréquence audible. Après détection, cette fréquence apparaît, grâce à l'intégration des impulsions redressées, et donne naissance à un sifflement caractéristique dans le haut-parleur.

A mesure que l'on manœuvre le condensateur d'accord, la différence entre les fréquences de l'émission et la fréquence de l'oscillation locale diminue. Le sifflement devient de plus en plus grave ; au moment de l'accord exact, la différence devient nulle, le sifflement cesse. En continuant à tourner le condensateur dans le même sens, il se produit une différence en sens contraire, d'abord minime, puis de plus en plus grande.

Production du changement de fréquence. — Dans le superhétérodyne classique, on considère des courants de trois fréquences différentes : *haute fréquence* des signaux incidents, de l'ordre de 1.000.000 C/S, par exemple, *fréquence moyenne* de conversion, de 135.000 ou 472.000 C/S généralement, et, enfin, *basse fréquence* musicale de modulation, recueillie à la sortie du deuxième détecteur normal, et amplifiée par les moyens habituels.

Comment s'effectue plus en détail le changement de fréquence ? Il suffit, en théorie, de disposer d'un oscillateur local réglable, et de faire agir les oscillations locales sur le circuit de réception, dans lequel elles se superposent aux oscillations recueillies par l'antenne, et provenant de l'émetteur.

Soit F_i la fréquence des oscillations incidentes à recevoir, et F_1 la fréquence des oscillations locales ; d'après le principe précédent, la composition de ces deux oscillations produit des *battements* dont la fréquence F_m est donnée par la relation :

$$F_m = F_i - F_1 \text{ ou } F_m = F_1 - F_i$$

Pour obtenir le changement de fréquence, et une onde de battement de fréquence donnée ; on peut faire battre ainsi avec une onde incidente déterminée une oscillation de fréquence inférieure ou supérieure à la fréquence des oscillations reçues. En pratique, c'est la fréquence de l'oscillation locale qui est plus élevée que celle de l'onde incidente.

Si la fréquence de l'oscillateur est inférieure à celle de l'onde incidente, la gamme de fréquences couverte est, en effet, trop limitée, surtout pour les fréquences basses correspondant aux longueurs d'onde élevées. Il faut employer un condensateur de l'ordre de 1/1.000 de microfarad dans le circuit oscillant, ce qui présente des difficultés d'alignement très grandes, sans compter les complications de montage et d'encombrement.

Avec une fréquence locale plus élevée que celle du signal à recevoir, il suffit, au contraire, d'un condensateur de l'ordre de 0,5/1.000 de microfarad.

Il y a d'autres raisons, d'ailleurs, pour utiliser des oscillateurs de fréquence élevée ; lorsque l'amplitude de l'oscillation locale augmente, celle de l'oscillation incidente diminue ; il y a intérêt à adopter des systèmes permettant d'obtenir deux tensions en phase.

La tension obtenue par interférence entre l'oscillation locale et l'oscillation incidente est à la fréquence des battements ; il faut soumettre ces battements à un redresseur, de manière à faire apparaître des impulsions à une fréquence égale à celle des battements, en éliminant la composante haute fréquence. Ces impulsions, en agissant sur un circuit accordé, se transforment en une tension oscillante, qu'on peut considérer comme des oscillations haute fréquence modulées à la fréquence porteuse moyenne choisie, et traitées comme telles.

Les qualités de sélectivité sont assurées par la présence des éléments de liaison entre le changeur de fréquence et l'amplificateur intermédiaire, ainsi que par les éléments de liaison de cet amplificateur lui-même. Des oscillations de fréquence suffisamment différente de la fréquence propre des circuits ne peuvent être transmises. Si deux émissions de longueurs d'onde différentes viennent agir sur l'appareil, il demeure, après la première conversion, la même différence de fréquence entre les battements résultants qu'entre les oscillations incidentes.

Supposons, par exemple, que les circuits oscillants soient accordés sur 135 kilocycles, que l'une des émissions ait une fréquence de 1.500.000, et l'autre de 2.000.000 (200 mètres et 150 mètres de longueur d'onde). Après conversion, on obtiendra des battements de 100 kilocycles et de 600 kilocycles, et seuls évidemment les premiers seront transmis.

Le choix d'une fréquence unique d'amplification intermédiaire simplifie, d'ailleurs, beaucoup les réglages, qui ne comportent plus, en

principe, que le réglage du circuit d'accord, et celui de l'oscillateur local.

La modulation des oscillations de la fréquence incidente, c'est-à-dire les variations d'amplitude de l'onde que l'on désire recevoir, se retrouve après détection intégralement sur les oscillations à la fréquence intermédiaire. En résumé, *tout se passe donc comme si l'on avait à amplifier une onde de fréquence intermédiaire constante portant directement la modulation de la station d'émission.*

Inconvénients des changeurs de fréquence. — Par son principe même, le dispositif changeur de fréquence offre cependant des inconvénients, qu'il a fallu éviter ou atténuer pour donner à l'appareil ses qualités actuelles.

Si l'on veut recevoir une émission de fréquence déterminée, avec un récepteur de fréquence intermédiaire fixée, on constate qu'il existe toujours deux réglages possibles de l'oscillatrice pour la réception de la même émission.

Supposons que nous voulions recevoir un poste émetteur d'une fréquence porteuse de 500 kilocycles, soit 600 mètres de longueur d'onde, avec un amplificateur moyenne fréquence, dont les transformateurs sont accordés sur 60 kilocycles. On peut recevoir cette émission en réglant l'oscillation locale sur une fréquence de 440 kilocycles puisque $500 - 440 = 60$ kilocycles, et on peut également l'obtenir, en principe, pour une fréquence de 560 kilocycles, puisque $560 - 500 = 60$ kilocycles.

Il existe donc, en théorie, deux réglages de l'oscillation locale déterminant la réception d'une même émission, et, à chaque position du condensateur du circuit d'entrée, correspondent deux positions du condensateur d'oscillations.

L'écart entre les deux réglages correspond, on le voit, au double de la fréquence de conversion, c'est-à-dire à 120 kilocycles ; si cette fréquence est relativement élevée, cet écart est assez grand pour que l'un d'eux soit reporté en dehors de la gamme d'accord ; en général, l'onde locale inférieure est seule utilisée.

La fréquence image. — *Pour certains réglages, il est également possible d'entendre deux émissions à la fois, dont les fréquences sont assez différentes.*

Reprenons l'exemple précédent, et supposons que l'oscillation locale soit réglée de façon à obtenir la fréquence moyenne de 60 kilocycles

pour une fréquence d'émission de 500 kilocycles. La fréquence d'oscillation locale choisie est de 440 kilocycles ($500-440=60$ kilocycles).

Mais, avec ce même réglage de 440 kilocycles, on peut, en principe, entendre une émission de 380 kilocycles, si elle existe, puisque $440-380=60$ kilocycles. Cette fréquence de 380 kilocycles est appelée *la fréquence image* de la fréquence de l'émission à recevoir.

En général, si l'on appelle F_1 la fréquence de l'émission à recevoir, et F_l la fréquence locale, F_m la fréquence moyenne choisie, on a évidemment la relation, d'après la définition précédente :

$$F_1 = F_l - F_m$$

Mais, la moyenne fréquence peut également être obtenue avec une autre fréquence incidente F_2 donnée par la relation :

$$F_2 = F_l + F_m$$

L'écart entre les deux ondes incidentes, dont l'une est *la fréquence image*, est égal à $2 F_m$; il en résulte des brouillages d'autant plus accentués que les circuits ont une sélectivité insuffisante, et que la fréquence moyenne choisie est de valeur plus faible. L'emploi de nouveaux systèmes de changement de fréquence, et l'élévation de la fréquence moyenne, l'utilisation de circuits-bouchons en série dans le circuit d'antenne, permettent d'éviter cet inconvénient.

Le choix de la fréquence moyenne a donc une importance essentielle, ainsi que la réalisation du système d'accord.

Oscillations parasites. — L'oscillation locale permet d'obtenir une fréquence de battement déterminée. Si l'oscillateur produit, non seulement l'oscillation utile, mais des oscillations de fréquence harmonique, même d'intensité inférieure, ces oscillations peuvent interférer avec celles des émissions, et une même émission peut être reçue pour un certain nombre de réglages différents. Cet inconvénient est réduit par l'emploi des dispositifs de changement de fréquence à modulation et à lampes multiples permettant de séparer de façon satisfaisante l'oscillation locale de l'oscillation incidente, dans les circuits d'oscillation et de modulation.

Les transformateurs accordés, utilisés pour la liaison à l'entrée de l'amplificateur moyenne fréquence, et entre les étages de celui-ci, sont accordés, en principe, sur une fréquence moyenne bien déterminée. Une émission radio-téléphonique comporte une bande de brouillage, s'étendant de part et d'autre de la fréquence porteuse. Cette bande de modulation doit être conservée dans l'amplificateur moyenne fréquence, si l'on veut éviter des déformations musicales. Les transformateurs de

liaison utilisés doivent donc être *des dispositifs passe-bande* ne mutilant pas trop les fréquences élevées de la bande de modulation.

Si deux oscillations incidentes ont, par hasard, des fréquences dont la différence est égale à la fréquence moyenne, il peut en résulter aussi un trouble, dû aux battements résultants ; cet inconvénient est plus ou moins supprimé, si la fréquence moyenne est élevée, et le dispositif d'accord assez sélectif.

Enfin, une émission dont la fréquence correspond à la fréquence moyenne peut être *transmise directement*. Ce risque n'est évité qu'en blindant l'amplificateur moyenne fréquence, et en utilisant un système éliminateur à circuit-bouchon accordé sur cette fréquence moyenne.

Signalons, enfin, que la fréquence locale doit rester stable durant tout fonctionnement de l'appareil, de manière à ce que les battements obtenus aient une fréquence toujours égale à la fréquence moyenne. Le montage et le type de lampe changeuse de fréquence doivent être étudiés en vue d'éviter cet inconvénient ; la variation de tension du secteur d'alimentation est, à cet égard, très nuisible.

CHAPITRE XII

RÉCEPTEURS A CHANGEMENT DE FRÉQUENCE ET A SUPERRÉACTION

Constitution d'un récepteur à changement de fréquence. — Un appareil à changement de fréquence moderne est composé normalement d'une suite d'organes plus ou moins complexes.

1° *Un collecteur d'ondes*, autrefois constitué par un cadre, mais plus normalement aujourd'hui par une antenne, combinée ou non avec une prise de terre, avec dispositif d'accord plus ou moins complexe, à circuits de filtrage ou non, formant *présélecteur*, et augmentant la sélectivité, et variable, d'ailleurs, suivant la fréquence moyenne choisie ;

2° A la suite du système d'accord, et avant le changement de fréquence, on utilise, dans les modèles les plus sensibles, des *étages d'amplification haute fréquence*, ce qui permet d'améliorer encore la sélectivité, et d'éviter l'apparition de phénomènes de brouillage.

3° *Le changeur de fréquence proprement dit* peut être constitué par deux lampes, l'une oscillatrice, l'autre modulatrice ou détectrice ; mais, normalement, on utilise une seule lampe à plusieurs électrodes, oscillatrice et modulatrice ;

4° *Les étages amplificateurs intermédiaires*, reliés au changeur de fréquence proprement dit par un système de liaison accordé sur la fréquence moyenne, amplifient les oscillations à la fréquence moyenne, et les transmettent à un *système détecteur*.

5° A la suite de l'étage détecteur final, *les oscillations basse fréquence* obtenues sont amplifiées suivant la méthode habituelle par des étages d'amplification basse fréquence, et actionnent, enfin, le haut-parleur.

On a ainsi à considérer *les oscillations haute fréquence* incidentes, dont la fréquence peut atteindre, par exemple, 1.000 kilocycles, au minimum, *les oscillations de fréquence moyenne*, de l'ordre actuellement de 100 à 500 kilocycles, et *les oscillations à fréquence musicale* de 100 à

4.500 c/s. L'ensemble peut paraître complexe, mais son réglage est particulièrement simple (fig. 100).

Les dispositifs de changement de fréquence proprement dits ont été profondément modifiés, au fur et à mesure, en particulier, des progrès des lampes destinées à cet usage, et on a pu classer les appareils à changement de fréquence en deux catégories.

Dans les premiers, *superhétérodynes classiques*, on combine l'oscillation locale, produite par une lampe séparée ou non, avec le signal incident, *dans un même circuit*. Puis, on redresse le courant de haute fréquence provenant de cette superposition, en le faisant agir sur un détecteur, généralement à lampe, qui fait apparaître la fréquence de battement.

Dans les autres montages, dits à *modulation*, on multiplie l'amplitude de l'oscillation locale par celle du signal, en utilisant des circuits distincts et des lampes séparées ou non ; il n'y a pas de détection classique. L'oscillation locale n'est pas superposée d'avance au signal, et détectée ensuite ; elle est appliquée *séparément* au système de modulation.

On trouve ainsi, dans tout montage, un circuit, accordé ou non sur l'émission que l'on veut entendre, et un générateur de courant à fréquence locale, ainsi qu'un circuit accordé sur la fréquence moyenne. L'interférence de la fréquence locale et de la fréquence incidente est obtenue dans une lampe appelée successivement changeuse de fréquence, première détectrice, modulatrice, convertisseuse, ou mélangeuse. La fréquence locale est produite par une lampe spéciale, ou plutôt dans la changeuse de fréquence elle-même, qui est une lampe à fonctions multiples, ou une lampe multiple, dans les montages les plus récents.

Montages simples de changement de fréquence et détection.

— En principe, deux cas différents ont été étudiés. Dans les premiers montages, la tension à recevoir, et la tension d'hétérodyne locale étaient appliquées à une même grille d'une lampe, l'oscillateur local étant simplement couplé inductivement, par exemple, avec le circuit de grille de la première détectrice. On obtient une tension résultante, dont l'amplitude varie en fonction du temps, à la fréquence $F_1 - F_i$. Le point de fonctionnement moyen est choisi de telle sorte qu'il soit placé sur le coude de la caractéristique de plaque en un point de détection. La valeur moyenne du courant obtenu varie à la fréquence $F_1 - F_i$, et on recueille, dans le circuit de plaque, un courant à cette fréquence transmis aux étages de l'amplificateur accordé sur cette même fréquence (fig. 102).

Montages de changement de fréquence à modulation. — Ce dispositif est très complexe, et présentait de nombreux inconvénients, en dehors de l'emploi nécessaire de deux lampes ; on a cherché d'abord à utiliser une seule lampe triode, jouant à la fois le rôle d'oscillatrice et de modulatrice, et des dispositifs ingénieux, dont le fonctionnement était, d'ailleurs, basé sur des principes de détection différents, tels que *le tropadyne* et *le strobodyne*, qui n'ont plus qu'un intérêt documentaire.

Dans les dispositifs plus perfectionnés, *la tension à recevoir et la ten-*

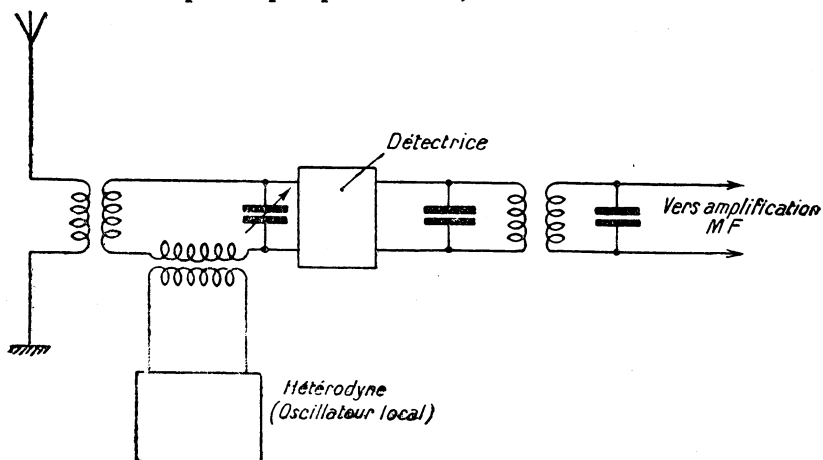


FIG. 102. — Dispositif super hétérodyne classique à oscillateur séparé.

sion locale sont appliquées à deux grilles différentes, généralement montées dans la même lampe.

Pour une lampe à deux grilles, le pouvoir amplificateur, lorsqu'on applique un signal sur une des grilles varie suivant la tension appliquée sur l'autre grille. Le pouvoir amplificateur de la lampe varie donc, par exemple, à la fréquence locale F_1 si l'on applique sur la grille auxiliaire une tension à cette fréquence. On obtient donc dans le circuit plaque un courant de fréquence F_1 qui varie à la fréquence F_1 , *modulé* à la fréquence F_1 . D'après ce que nous avons dit à propos de la modulation, ce courant est équivalent à la somme de trois courants de fréquence F_1 , F_1+F_1 et F_1-F_1 .

En plaçant dans le circuit plaque de la lampe, le primaire d'un transformateur accordé sur la fréquence moyenne F_1-F_1 , nous pourrons, en principe, recueillir au secondaire la tension correspondant à ce cou-

rant, et, si l'oscillation initiale est modulée, l'oscillation moyenne fréquence est elle-même modulée, son amplitude étant proportionnelle à celle de la force électromotrice appliquée.

Montage à lampe bigrille. — Le premier type de montage réalisé suivant ce principe a été établi avec la lampe bigrille ; il a fait son apparition vers 1925 en France, et a été uniquement utilisé en France et en Belgique.

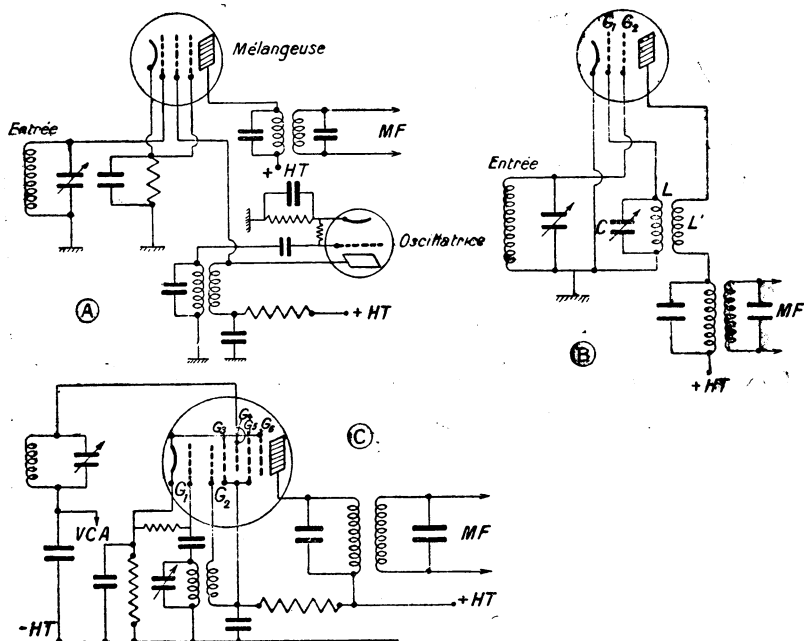


FIG. 103. — Montage de changeuse de fréquence.

A, avec oscillatrice triode séparée ; B, oscillatrice modulatrice bigrille ; C, changeuse de fréquence octode.

La tension incidente est appliquée sur la grille externe G_1 de la lampe, ce qui réduit l'amortissement du circuit d'accord et la tension locale est appliquée sur la grille interne G_2 . Le circuit oscillant, composé d'un bobinage L et d'un condensateur d'hétérodyne C , permet de régler la fréquence locale. Une bobine L' intercalée dans le circuit de plaque de la lampe est couplée avec le bobinage du circuit oscillant ; le primaire du premier transformateur moyenne fréquence accordé est monté dans le circuit de plaque (fig. 103 B)

Les effets de capacité interne de la lampe déterminaient des effets de réaction des deux circuits de grille l'un sur l'autre, et, en particulier, des phénomènes de blocage.

Le circuit de plaque constituait, à la fois, un circuit de réaction de l'hétérodyne, et un circuit moyenne fréquence ; la faible résistance de la lampe diminuait les qualités de sélectivité du système de liaison avec l'amplificateur moyenne fréquence.

Montages à oscillatrice séparée. — Pour atténuer ces inconvénients, on a utilisé des montages à deux lampes, en revenant ainsi, en principe, aux montages primitifs, bien que sous une autre forme. On a utilisé, par exemple, une lampe à écran servant de modulatrice et une oscillatrice triode séparée, la modulation s'effectuant sur l'écran ou sur la cathode (fig. 103 A). Puis, l'apparition des lampes à grilles multiples, hexode, pentagride, octode, triode-hexode, a ramené la vogue, des montages à une seule lampe, à plusieurs électrodes. Le problème a été d'autant plus difficile à résoudre qu'il a fallu, avec un seul dispositif pouvoir recevoir des émissions sur ondes de plus en plus courtes.

Emploi des lampes à grilles multiples. — Les *hexodes* peuvent être considérées comme constituées par deux éléments séparés : une triode et une lampe à écran. On montait ce système en faisant osciller la triode par couplage électromagnétique ou électrostatique entre les grilles, et en appliquant les oscillations incidentes sur la deuxième grille de commande ; on recueille dans le circuit de plaque final des battements de modulation (voir figure 62).

On peut considérer de même les *pentagrides* comme une combinaison d'une triode formée par la cathode, la première grille, et la seconde grille, et d'une pentode formée par la cathode virtuelle, la troisième grille, la quatrième grille, la cinquième grille, et la plaque.

On utilise surtout les *octodes* pouvant être considérées comme des pentagrides, auxquelles on a ajouté, entre la cinquième grille et la plaque, une sixième grille, reliée à la cathode à l'intérieur de la lampe (fig. 103 C).

Le primaire du transformateur moyenne fréquence est placé dans le circuit de plaque final ; les oscillations incidentes sont appliquées sur la quatrième grille G_4 , et la tension locale est appliquée sur la première grille G_1 . La polarisation est obtenue à travers une résistance reliée à la cathode ou à la masse ; la grille de commande a une polarisation déterminée par le passage du courant de plaque à travers cette

résistance de cathode découplée de la manière habituelle. Un bobinage, intercalé dans le circuit de la deuxième grille G_2 , est couplé avec le circuit d'oscillation et le potentiel des autres grilles a une valeur fixe, et déterminée à l'aide de résistances, comme le montre le schéma.

La polarisation de la grille de commande peut, d'ailleurs, être déterminée automatiquement sous l'action d'un dispositif anti-fading permettant de faire varier l'amplification (V.C.A. = Volume Contrôle Automatique).

L'amplification moyenne fréquence et le choix de la fréquence moyenne. — Les étages d'amplification utilisés pour amplifier les signaux intermédiaires sont constitués normalement en employant des lampes à fort pouvoir amplificateur, telles que des pentodes haute fréquence, reliées par des transformateurs à bobinages sans fer, ou à noyau de fer divisé, dont les circuits primaires et secondaires sont accordés à l'aide de petits condensateurs ajustables.

La fréquence ou longueur d'onde moyenne adoptée a varié suivant la fréquence même des émissions à recevoir, et les progrès de la technique ; on a été amené à augmenter constamment cette fréquence intermédiaire, c'est-à-dire à diminuer la longueur d'onde moyenne.

Dans les premiers modèles, elle a varié entre 30 et 60 kilocycles, ce qui correspondait à des longueurs d'onde de 10.000 à 6.000 mètres ; on pouvait ainsi obtenir une grande sélectivité et une amplification régulière.

L'emploi des émissions sur ondes de plus en plus courtes devait amener l'élévation constante de la fréquence intermédiaire à 110, 135, puis actuellement 472 kilocycles, ce qui correspond à une longueur d'onde de 635 mètres. La réalisation de récepteurs à ondes très courtes, d'appareils de télévision, sinon de récepteurs pour émissions à modulation en fréquence, amène à envisager des fréquences encore supérieures.

Pour la réception des ondes courtes, les ondes locales arrivent à être très peu différentes des ondes incidentes ; si la fréquence moyenne est trop basse, il se produit des blocages. C'est pourquoi, on avait songé à adopter le principe du *double changement de fréquence*. Un premier changement de fréquence permettait d'obtenir une fréquence intermédiaire peu élevée, un deuxième une fréquence beaucoup plus élevée, ce qui augmente l'amplification et la sélectivité. Les risques de battements parasites sont malheureusement fréquents.

L'emploi d'une fréquence peu élevée est justifié pour obtenir des circuits d'amplification efficaces sans utiliser des bobinages à fer,

pour la réception correcte des émissions de longueurs d'onde supérieures à 1.000 mètres, et pour assurer une audition satisfaisante de haute qualité musicale.

Il devient indispensable, par contre, d'utiliser un dispositif présélecteur efficace, permettant l'élimination des émissions parasites à fréquence image, de l'ordre de 760 kilocycles ou 390 mètres, sur la gamme petites ondes, et pouvant être amplifiées directement par les étages moyenne fréquence. Sur la gamme grandes ondes, le problème est également essentiel, et le dispositif se prête mal à la réception des petites ondes.

L'emploi d'une fréquence peu élevée était donc justifié surtout pour les grandes ondes, mais on ne peut plus songer à cette solution, si l'on n'emploie pas des appareils comportant des étages haute fréquence précédant la changeuse de fréquence. Les appareils modernes comportent l'adoption d'une fréquence intermédiaire élevée, de l'ordre de 472 kilocycles, et l'écart relatif de fréquence entre l'émission de brouillage et l'émission à recevoir devient si considérable pour les petites ondes, qu'il n'est plus besoin d'employer un présélecteur.

Pour les grandes ondes, il suffit généralement, s'il y a lieu, d'un filtre éliminateur, et, sur les ondes courtes, l'écart de fréquence beaucoup plus considérable, rend plus facile le problème de la réception. L'emploi d'une fréquence peu élevée n'est utile que si l'on recherche une sélectivité extrêmement accentuée.

Principes de la superréaction. — Les récepteurs à superréaction sont comme les superhétérodynes, des dispositifs très sensibles, destinés primitivement à la réception des émissions sur ondes courtes. Alors que l'emploi des premiers s'est cependant généralisé, les appareils superrégénérateurs servent exclusivement pour les ondes de longueur de plus en plus courte, et leur emploi est demeuré restreint à des cas très particuliers. Leur principe n'en est pas moins très intéressant.

Dans un dispositif à réaction ordinaire, si l'on se maintient à la limite, et en deçà, de la position d'accrochage des oscillations autodynes, l'augmentation d'amplification constatée provient de la diminution d'amortissement, c'est-à-dire de la diminution de résistance du circuit oscillant d'entrée.

On ne peut, en pratique, utiliser au maximum cet effet d'amplification ; lorsqu'on a dépassé la limite critique, des oscillations locales prennent naissance, et l'audition est impossible. La superréaction a pour but d'assurer l'utilisation complète de la rétroaction, en empê-

chant la naissance de ces oscillations, même lorsqu'on dépasse le réglage limite de la réaction ordinaire.

On peut comprendre aisément le principe de ce genre d'appareils en les comparant, comme le faisait M. Blondel, à une automobile dont le pilote presserait alternativement le levier d'accélération et le levier de freinage, voire même le levier de débrayage, si la superréaction est forte.

Le rôle du pilote est tenu par une lampe montée en génératrice locale d'oscillations, de fréquence relativement basse par rapport à la fréquence des oscillations à recevoir, et de l'ordre de 10.000 à 20.000 c/s par exemple ; on peut même utiliser une fréquence hétérodyne encore plus basse, pour des émissions radiotélégraphiques.

Il s'agit de faire varier, soit la tension de grille de la lampe à réaction (ce qu'on appelle une variation de la résistance positive), soit la tension de plaque (ce qu'on appelle une variation de la résistance négative), suivant une fréquence égale à celle de ces oscillations. On peut ainsi rendre l'amortissement franchement négatif pour atteindre une amplification énorme, puis le rendre fortement positif, pour empêcher l'amorçage.

Grâce aux variations de résistance, on arrête les oscillations locales qui auraient tendance à se perpétuer, et à empêcher la réception, et la lampe ne se trouve en état d'oscillation que pendant de très courts instants, de l'ordre de $1/10.000$ de seconde. Après détection, on obtient un courant moyen, dont l'intensité reproduit les variations d'intensité des ondes reçues, et, en définitive, la réception est très amplifiée, théoriquement sans déformation.

Les résultats sont d'autant meilleurs que la fréquence des ondes reçues est plus grande par rapport à la fréquence des ondes locales ; c'est pourquoi, l'appareil ne reçoit bien que les ondes courtes, et la réception des émissions radiophoniques est plus difficile, parce qu'on ne peut diminuer la fréquence de l'hétérodyne au delà d'une limite correspondant aux fréquences usuelles de la parole ; les émissions sur ondes amorties sont très mal reçues.

Montages à superréaction. — Les dispositifs de superréaction comportent une lampe, deux lampes, ou trois lampes. Dans le premier montage, la lampe est, à la fois, amplificatrice, détectrice, et oscillatrice ; dans le deuxième, la première lampe est détectrice et amplificatrice, et la deuxième oscillatrice ; dans un troisième procédé, la première lampe est amplificatrice, la deuxième oscillatrice, et la troisième détectrice.

La variation d'amortissement du circuit, nécessaire pour arrêter la production des oscillations, peut être obtenue en faisant varier la résistance positive, ou la résistance négative, ou les deux résistances à la fois. Le montage le plus complexe comprend, en principe, trois lampes : une lampe amplificatrice à réaction, une lampe modulatrice et une lampe détectrice ; mais, une même lampe peut jouer un rôle double, ou même triple (fig. 104).

Le montage peut être basé sur l'un des trois procédés énoncés. Pour faire varier la résistance négative du circuit, on fait agir sur la plaque d'une première lampe à réaction, les oscillations d'une deuxième lampe modulatrice, et on réalise pratiquement le dispositif en plaçant dans le circuit plaque de la lampe à réaction un système résonant appartenant également au circuit plaque de la deuxième lampe, dont on fait varier la tension de grille à l'aide d'une source locale.

Pour faire varier la résistance positive du circuit, on agit, de même, sur le circuit de grille de la lampe à réaction, au moyen d'une deuxième lampe modulatrice.

Enfin, on peut faire varier, à la fois, la résistance positive et la résistance négative du circuit oscillant, en combinant les deux montages précédents, et en utilisant ainsi deux lampes modulatrices, distinctes ou non.

Emploi des appareils à superréaction. — Les appareils à superréaction fonctionnent particulièrement bien sur cadre, ou sur antenne très courte, mais leur réglage est, en général, fort délicat, et l'amortissement des circuits, non seulement, varie constamment, mais encore ne reste pas stable, car il dépend d'un grand nombre de facteurs, et, en particulier, de la stabilité des oscillations de l'hétérodyne locale.

Le récepteur à superréaction est donc demeuré un appareil de réglage difficile, de très grande sensibilité sous un faible volume, mais convenant mal à l'usage normal en radiodiffusion ; son intérêt semble

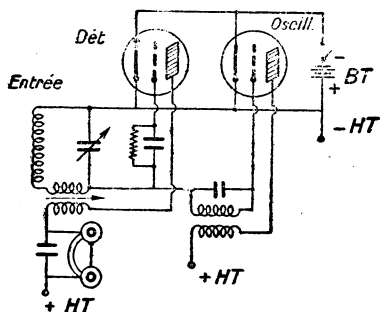


FIG. 104. — Montage de superréaction simplifié à deux lampes, la première détectrice et superrégénératrice la deuxième oscillatrice (variation de la résistance positive.)

de plus en plus localisé dans la réception des ondes très courtes, particulièrement en radiotélégraphie, et, à cet égard, il peut rendre d'intéressants services.

CHAPITRE XIII

ALIMENTATION ET ÉQUIPEMENT DES APPAREILS RADIO-ÉLECTRIQUES

Nécessité de l'alimentation. — A part les postes à galène, tous les appareils radio-électriques sont des *appareils à lampes* ; pour faire fonctionner ces dernières, il est indispensable d'utiliser les sources de courant électrique ; un poste de T.S.F. est donc *un appareil électrique*. La plupart des radio-récepteurs fonctionnent au moyen d'un secteur de distribution électrique, comme un appareil d'éclairage quelconque ; « une prise de courant à enfoncer, et c'est tout », est une formule qui a servi au développement de la radiodiffusion.

Les *postes-secteur* peuvent être disposés pour être alimentés spécialement par le courant continu ou alternatif d'un secteur, mais il existe désormais des appareils alimentés à volonté par le courant continu ou alternatif ; ce sont les postes *tous courants* ou *tous secteurs*. Certains de ces appareils peuvent en outre être disposés pour être alimentés par le courant de batteries d'accumulateurs ou de piles ; ce sont les postes *universels*, dont certains sont utilisés sur les automobiles.

Il y a encore des régions, spécialement dans les colonies, où l'on n'a pas à sa disposition le courant d'un secteur de distribution ; on a alors recours à des piles ou des accumulateurs. Il faut, en général, deux sources distinctes, l'une de chauffage à basse tension, l'autre à haute tension pour l'alimentation des plaques. Une batterie unique à basse tension de forte capacité suffit même avec une adaptation convenable.

Les progrès déjà notés dans la construction des lampes batteries ont amené des progrès correspondants dans l'établissement des postes-batteries. Ceux-ci peuvent être réalisés sous la forme portative, ou « Midget » ordinaire pour l'usage fixe ; des dispositifs un peu particuliers permettent de réduire la consommation, et assurent une audition

d'intensité suffisante, malgré la réduction nécessaire de la tension plaque, et même de l'intensité du courant d'alimentation de la lampe de sortie. Malgré tout, la sensibilité, et surtout la puissance, ne peuvent être équivalentes à ceux des postes-secteur alternatifs.

Le problème de l'alimentation des récepteurs. — Il faut, en général, deux genres de courants pour alimenter un récepteur : le premier, de tension peu élevée et d'intensité relativement grande, est le *courant de chauffage* des cathodes ; le deuxième, de tension plus élevée, et de faible intensité sert à l'alimentation des plaques, ainsi que des autres électrodes, s'il y a lieu.

Au début de la T.S.F., l'emploi des piles et des accumulateurs était le seul possible, parce que les lampes étaient construites pour fonctionner uniquement avec un courant parfaitement régulier, que seules pouvaient procurer des sources électro-chimiques. Les piles sont encore utilisées pour l'alimentation des postes-batteries ; dans certains cas, pour les postes sur automobiles, par exemple, l'accumulateur demeure la source de courant essentielle permettant même l'alimentation des plaques, par l'emploi d'une machine *convertisseuse* à organe tournant ou vibrant.

Dans les secteurs urbains, le courant le plus employé est alternatif ; on peut à volonté élever ou abaisser sa tension à l'aide d'un appareil très simple et statique, le *transformateur*, ce dernier permet d'obtenir aisément plusieurs tensions différentes grâce à des prises distinctes sur les enroulements.

Les lampes de T.S.F. à chauffage indirect possèdent des cathodes pouvant être alimentées directement par le courant continu ou alternatif d'un secteur ramené à la tension convenable ; mais, pour l'alimentation des anodes, il est indispensable d'utiliser du courant continu. Dans ce but, il faut d'abord *redresser* le courant alternatif, puis le *filtrer*, c'est-à-dire supprimer les irrégularités du courant redressé ainsi obtenu.

Principes des redresseurs de courant. — Le redressement d'un courant alternatif consiste à le modifier, de sorte que, pratiquement, il produise les mêmes effets qu'un courant continu de tension et d'intensité correspondantes. Dans ce but, on adopte un système de *soupage*, analogue au clapet d'une circulation d'eau alternative, et ne laissant passage au courant que dans un sens. Le courant de va-et-vient redressé par le clapet devient utilisable ; on obtient des impulsions toujours de même sens, qui se produisent lorsque le courant alternatif se

déplace dans un sens, c'est-à-dire pendant une alternance. Ces impulsions ne sont pas continues ; elles sont séparées par des intervalles dont la durée est égale à celle des impulsions.

Dans les montages plus perfectionnés, on utilise également le courant passant dans l'autre alternance, et on obtient le redressement total.

Considérons une courbe de courant alternatif montrant les variations de l'intensité du courant pendant une certaine durée. Dans le redressement à une alternance, on utilise le courant, par impulsions successives, pendant une moitié du temps total.

Dans le deuxième procédé, on utilise complètement le courant passant dans un sens et celui passant dans l'autre, et on obtient une série d'impulsions, toutes de même sens, et ininterrompues (fig. 105).

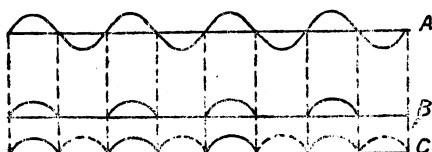


FIG. 105. — Redressement du courant alternatif

A, courbe représentative du courant alternatif ; B, représentation du courant partiellement redressé (une alternance) ; C, courant complètement redressé (deux alternances).

Dans tous les cas, le courant n'est pas complètement continu ; il a une forme *ondulée*. Tout en étant toujours de même sens, il augmente et diminue, et ses variations se traduiraient dans le récepteur par un ronflement continu. Pour supprimer cet inconvénient, il faut faire disparaître les irrégularités du courant qui peuvent subsister après le redressement, à l'aide d'un *dispositif de filtrage*.

Différents types de redresseurs de courant. — Pour redresser le courant alternatif, en partie ou complètement, on peut utiliser différents systèmes à *conductibilité unilatérale*. En pratique, on emploie presque toujours une valve électronique à une ou deux plaques, et, plus rarement, un *redresseur à couche d'arrêt*.

La partie essentielle de ce dernier se compose de rondelles de cuivre recouvertes sur une de leurs faces d'une pellicule d'oxyde ; l'action de redressement est due à un phénomène qui se produit à l'intérieur même des rondelles, à la surface de séparation du cuivre et de l'oxyde. D'autres dispositifs du même genre ont été réalisés ; l'action redressante est due

à la différence considérable des résistances dans le sens cuivre-oxyde et dans le sens oxyde-cuivre. Le faible courant non redressé est négligeable, en pratique, et le rendement de l'ordre de 50 pour cent (fig. 106).

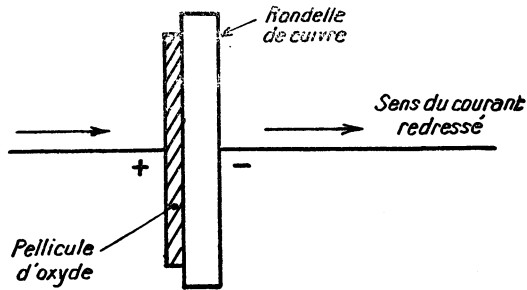


FIG. 106. — Principe du fonctionnement d'un élément redresseur à oxyde de cuivre.

Un élément de redressement de ce genre est donc formé simplement par une rondelle de cuivre traitée spécialement, oxydée sur une face, et montée sur une tige filetée, avec contacts assurés par des rondelles de plomb de même diamètre. On peut monter en série et en parallèle

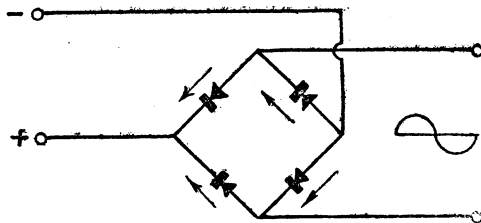


FIG. 107. — Montage "en pont" de quatre soupapes permettant le redressement des deux alternances.

un nombre de disques quelconque, suivant la tension et l'intensité que l'on veut obtenir ; le dispositif permet de redresser, soit une seule des alternances, soit les deux alternances, en montant les unités en série, en parallèle, ou en série parallèle dans les quatre branches d'un quadrilatère.

Pendant la première demi-période d'une alternance, le courant passe dans une des moitiés de l'unité de redressement, dans le sens indiqué par les flèches ; dans la deuxième demi-période, il passe dans l'autre

moitié, en suivant les flèches de la même figure, ce qui produit un effet de même sens (fig. 107).

Montages redresseurs à lampes. — Le redresseur le plus communément employé en T.S.F. est le redresseur à lampe ou *valve*, dont le fonctionnement est basé sur le principe de l'émission électronique. Dans la lampe diode, déjà étudiée, le courant ne passe que dans un sens, par convention de la plaque vers la cathode. Les valves de redressement pratiques dérivent de la valve de Fleming, et se composent d'une ampoule en verre, ou même en métal, dans laquelle on a fait le vide, ou contenant des traces d'un gaz rare ou de vapeur de mercure. Le fila-

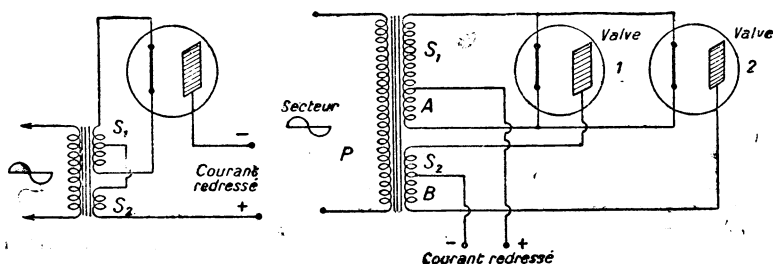


FIG. 108. — Montage de redressement à une valve, à une alternance, et à deux valves pour les deux alternances.

ment est en tungstène, ou en nickel, recouvert d'oxydes de métaux rares ; en face de ce filament, se trouve la plaque métallique d'assez grande surface, en nickel ou en fer.

Le filament est chauffé par un courant auxiliaire de faible tension, et les extrémités du secondaire à haute tension sont réunies à la cathode et à la plaque ; on obtient des impulsions toujours de même sens, de la cathode vers la plaque.

Le transformateur d'alimentation comporte un primaire relié au secteur alternatif, et deux secondaires ; le premier S_1 fournit le courant de chauffage du filament, et le second S_2 le courant de haute tension de redressement. Dans le circuit d'utilisation, on recueille le courant redressé.

La valve à une plaque ne permet que le redressement d'une alternance ; pour obtenir le redressement complet, il faut combiner deux de ces valves, suivant un schéma classique (fig. 108).

On recueille entre deux points A et B correspondant chacun au milieu

des deux enroulements secondaires, un courant redressé toujours de même sens.

La lampe 1 laisse passer uniquement les pulsations de courant qui rendent sa plaque positive, et le point A est positif pendant que B est négatif. De même, quand la plaque de 2 est positive, le point B est encore le siège d'arrivée du courant, tandis que A est négatif.

A l'aide d'une seule valve biplaque à un filament ou à cathode à chauffage indirect, dont on peut maintenant trouver de nombreux modèles, on peut établir un montage équivalent. On utilise un transformateur comportant au moins deux secondaires à prise médiane, le premier S_1 servant au chauffage du filament unique, et le deuxième S_2

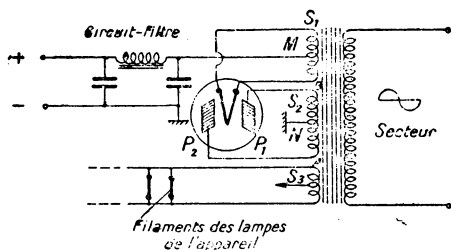


FIG. 109. — Montage général d'alimentation par secteur alternatif avec valve biplaque.

fournissant les tensions appliquées sur les plaques ; le courant redressé est recueilli entre M et N (fig. 109).

Lorsque le courant vient de A, et, par conséquent, la plaque P_1 est à un potentiel positif, le point M est à un potentiel négatif, de même que N et la plaque P_2 ; à ce moment, un courant passe entre le filament et la plaque, et peut être recueilli, en M et en N, comme si la plaque P_2 n'existait pas, puisqu'elle est négative, et n'attire pas d'électrons.

Lorsque c'est au tour du point B d'être porté à un potentiel positif, lors de l'autre alternance du courant, le point A est négatif, de même que le point N ; à ce moment, un courant passe entre le filament et la plaque, et peut être recueilli entre M et N. Ce courant a le même sens que le précédent. Par conséquent, à chaque alternance du courant, on peut recueillir en M et N un courant circulant dans le même sens, c'est-à-dire un courant continu complètement redressé.

Filtrage du courant redressé. — Le courant redressé ondulé doit être filtré à l'aide de bobines à noyau de fer et de condensateurs ; une

bobine, à cause de son effet de self-induction, s'oppose aux variations du courant alternatif, tandis qu'un condensateur laisse passer le courant alternatif, et s'oppose rigoureusement au passage du courant continu.

Le dispositif employé est un système *passé bas*, s'opposant au passage des fréquences industrielles du courant alternatif. Une certaine quantité de courant sert à charger le condensateur pendant la phase ascendante puis, le condensateur se décharge et diminue aussi la profondeur des ondulations ; le montage complet d'alimentation est donc représenté par le schéma de la figure 109.

Les condensateurs de filtres sont de forte capacité variant suivant l'intensité du courant redressé entre 8 et 25 microfarads et pouvant atteindre même plusieurs centaines de microfarads, pour un courant redressé à basse tension, et de très forte intensité.

Le problème du filtrage est d'autant plus difficile à résoudre que l'intensité du courant redressé est plus grande : les bobinages à fer utilisés doivent alors être constitués avec du fil conducteur d'assez gros diamètre pour laisser passage à quelques centaines de milliampères, et leurs dimensions augmentent en conséquence. Leur rôle ne peut, d'ailleurs, être efficace sans des condensateurs de capacité suffisante.

Le condensateur se charge par à coups, et se décharge à une fréquence double de celle du courant alternatif initial, tous les centièmes de seconde, par exemple, pour une fréquence initiale de 50 périodes par seconde. Sa capacité doit être suffisante pour que la chute de potentiel constatée pendant la décharge soit peu gênante, et n'atteigne par exemple, que le centième du potentiel initial.

Disposition des circuits de chauffage. — Lorsqu'on alimente les cathodes à chauffage indirect avec le courant alternatif brut d'un secteur, ou les filaments à chauffage direct avec le courant continu de piles ou d'accumulateurs, les éléments de chauffage sont normalement disposés *en parallèle*.

Dans les postes-secteur alternatifs, le courant est fourni par le secondaire d'un transformateur, calculé suivant la tension nécessaire, généralement de l'ordre de 6,3 volts ; l'intensité dépend des modèles et du nombre de lampes utilisés (fig. 109).

Le point milieu du secondaire d'alimentation est relié à la masse du châssis, directement ou par l'intermédiaire d'une résistance, servant à la polarisation de la grille.

Sur les postes *tous courants*, destinés, à volonté, à l'alimentation sur le secteur continu ou alternatif, on évite évidemment l'emploi d'un

transformateur, et l'on cherche à réduire le plus possible la chute de tension nécessaire, obtenue à l'aide d'une résistance mise en série, indépendante, ou placée dans le cordon d'alimentation.

Dans ce but, on monte en série les éléments de chauffage des différentes lampes. L'intensité nécessaire correspond à celle d'une seule lampe, mais la tension est égale à la somme des tensions correspondant à chaque tube. L'ordre de connexion des filaments doit être étudié pour éviter les ronflements, et on adopte généralement l'ordre suivant : valve, lampe basse fréquence, moyenne fréquence, changeuse de fréquence, détectrice combinée (fig. 110).

La valve sert au redressement du courant alternatif ; sur le courant

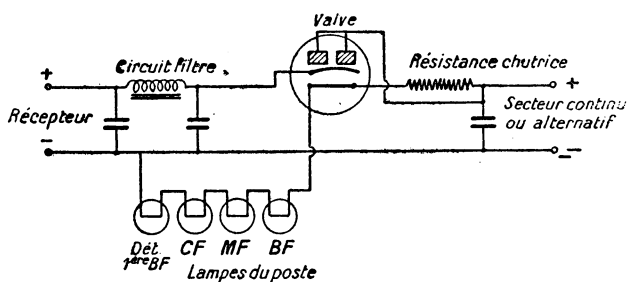


FIG. 110. — Montage d'alimentation pour récepteur "tout courant"

continu, elle laisse passer le courant, en jouant le rôle de résistance. Le sens de connexion de la prise de courant n'est plus indifférent, évidemment, et la masse du châssis est en relation directe avec le secteur. Il convient donc de ne pas employer une prise de terre directe ; bien souvent, on n'emploie pas de prise de terre et, en tout cas, il faut utiliser un condensateur en série d'une capacité de quelques millièmes de microfarad, essayé à 250 volts pour un secteur à 110 volts, et à 500 volts pour un secteur à 220 volts.

Alimentation haute tension. — L'alimentation des plaques, écrans, et grilles, des lampes s'effectue dans les postes-secteur à l'aide de courant redressé et filtré ; l'intensité totale nécessaire est déterminée en tenant compte des courants de ces électrodes. Souvent, on emploie comme bobinage de filtre la bobine d'excitation du haut-parleur électro-dynamique, et il faut alors tenir compte de la puissance d'excitation du haut-parleur, mais les modèles à excitation séparée sont de plus en plus remplacés désormais par des modèles à aimant permanent.

Les écrans sont alimentés, en principe, au moyen d'une résistance montée en série, et découplée par un condensateur. On peut également employer un diviseur de tension général disposé à la sortie du filtre d'alimentation ; on obtient ainsi des tensions plus stables, et on évite des surtensions au moment de la mise en fonctionnement.

Les tensions de grille sont obtenues de la même manière, en disposant des résistances convenables dans les connexions de retour de la cathode, ou en reliant ces connexions à des prises de tension intermédiaires, sur le diviseur de tension.

La tension d'écran est empruntée à la source de tension plaque ; elle est généralement obtenue à l'aide d'un diviseur de tension potentiométrique, ce qui permet d'obtenir une tension indépendante de l'intensité du courant d'écran, lorsque la consommation du diviseur de tension est plus grande que cette intensité.

Les variations de tension grille produisent des variations instantanées du courant d'écran ; il en résulte des tensions parasites aux bornes de la résistance, ce qui justifie la nécessité des condensateurs de découplage. Pour les pentodes à pente fixe, l'écran peut être alimenté, cependant, à travers une résistance reliée à la source de tension anodique. Avec les lampes à pente variable, il faut employer un dispositif permettant de faire varier largement la tension de polarisation. Ce résultat est obtenu automatiquement dans les montages anti-fading que nous étudierons plus loin. Mais, leur réglage manuel à la volonté de l'opérateur peut être déterminé au moyen d'un potentiomètre, dont la résistance dépend du modèle de lampe et de la tension d'écran. On place en série dans la connexion de cathode une résistance auxiliaire de sécurité empêchant que la tension ne tombe au-dessous d'une certaine valeur, quelle que soit la position du curseur, ce qui pourrait détériorer la lampe.

Polarisation et découplage. — Grâce au courant redressé et filtré, obtenu par les moyens précédents, on peut appliquer les tensions nécessaires sur les différentes électrodes des lampes. On dispose initialement d'une tension unique, et le réglage est réalisé à l'aide de résistances.

On trouve ainsi des résistances dans le circuit de cathode, dans le circuit d'écran, dans le circuit de grille, comme dans le circuit de plaque ; elles assurent, d'ailleurs, les chutes de tension, le découplage, et la liaison. Nous avons montré comment la polarisation était effectuée, généralement, au moyen de résistances cathodiques.

En pratique, la résistance cathodique de polarisation ne dépasse pas 1.000 ohms pour les lampes haute fréquence ; pour les amplificatrices de tension, elle est de 1.000 à 5.000 ohms, et de quelques centaines d'ohms pour les lampes de sortie ; la puissance admissible est de l'ordre de 0,25 à 1 watt.

La tension appliquée sur les écrans est, le plus souvent, obtenue à l'aide de potentiomètres constitués par des résistances montées en série aux bornes de la source haute tension, ou avec une seule résistance à collier. On dispose ainsi d'une tension intermédiaire variable ; un même potentiomètre peut servir à l'alimentation de plusieurs lampes

à condition que les rôles de ces dernières soient différents, afin d'éviter les dangers de *couplages parasites* entre les étages.

On peut ainsi alimenter sous la même tension les écrans d'une lampe haute fréquence, et d'une lampe moyenne fréquence ; une valeur moyenne de potentiomètre est de l'ordre de 50.000 ohms (fig. 111).

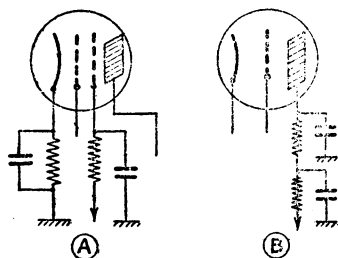


FIG. 111. — Découplage des circuits A, découplage d'un circuit de cathode et d'écran ; B, découplage d'un circuit de plaque B.F.

Les résistances de liaison sont désormais utilisées essentiellement en basse fréquence ; plus la résistance est élevée, plus le gain est impor-

tant, mais la tension de plaque en est diminuée d'autant ; c'est pourquoi la valeur de cette résistance varie entre 20.000 et 250.000 ohms ; une meilleure fidélité est obtenue avec une faible résistance ; une plus grande amplification avec une plus forte.

Les résistances placées entre la grille amplificatrice et la masse sont également réalisées souvent sous la forme de potentiomètres permettant de faire varier l'amplification ; leur valeur est comprise entre 250.000 et 500.000 ohms.

Principes des découplages. — *Le découplage* consiste à éviter ou à supprimer les couplages parasites existant entre les circuits, et qui peuvent amener des troubles de fonctionnement. Les circuits d'amplification se ferment de façon parasite par les masses du châssis, les dispositifs d'alimentation, et les capacités internes des lampes, et, quand ils ont ainsi un élément commun, il se produit entre eux un *couplage parasite*.

Bien souvent, l'élément de liaison parasite est une résistance, telle que la résistance de polarisation cathodique, introduite, à la fois, dans le circuit de plaque, de grille, ou des électrodes auxiliaires de la lampe. Le couplage peut donc être produit par une capacité, un enroulement ou un circuit.

Il faut d'abord éviter les couplages parasites entre les circuits d'une même lampe, et il importe d'abord de découpler la résistance de polarisation ; le courant d'écran, de son côté, comporte une composante continue et une composante alternative, à laquelle il faut donner également un chemin de fuite à l'aide d'une capacité. Il en est de même pour la plaque, pour laquelle il faut choisir un condensateur de découplage d'une valeur de 0,1 microfarad. Il reste, enfin, à découpler la grille, ce qu'on obtient à l'aide d'une résistance et d'une capacité de l'ordre de 0,1 microfarad, et assez grande devant la capacité d'accord (fig. 111).

Des résistances de découplage sont placées dans le circuit de plaque ou d'écran des lampes haute fréquence ou basse fréquence, et assurent la séparation des circuits ; leur valeur est de quelques milliers d'ohms. On en trouve également dans le circuit de grille des lampes haute fréquence, dans lesquelles elles servent de dispositif d'arrêt ; leur valeur est de l'ordre de 100.000 ohms.

Un condensateur de fuite est également utilisé, en général, entre la plaque de la première amplificatrice basse fréquence et la masse, pour dériver les oscillations haute fréquence ; sa capacité est normalement assez faible.

Contrôleur d'intensité et de tonalité sonores. — L'intensité de l'audition doit pouvoir être modifiée suivant les goûts de l'utilisateur et l'intensité même du signal agissant à l'entrée de l'appareil.

Ce réglage s'effectue généralement d'une manière manuelle, à l'aide d'un bouton ou d'une manette commandée par l'auditeur ; mais il existe également des dispositifs automatiques décrits par ailleurs. Les montages anti-fading, ou de contrôle automatique de volume, ont pour but, en particulier, de permettre d'obtenir automatiquement une certaine valeur moyenne d'intensité, quels que soient les signaux incidents.

Pour faire varier l'intensité sonore finale, on peut agir, en principe, soit sur l'amplification haute fréquence ou moyenne fréquence avant détection, soit sur l'amplification basse fréquence après détection. Il y a, d'ailleurs, intérêt à régler la tension haute fréquence ou moyenne fréquence, à la valeur convenable pour assurer le fonctionnement de la détectrice dans les conditions les plus satisfaisantes.

Les lampes haute fréquence ou moyenne fréquence sont normalement des modèles à pente variable, et, pour faire varier l'amplification, il suffit de modifier la polarisation de leurs grilles, en faisant varier la polarisation de leurs cathodes par rapport à leurs grilles. On peut ainsi utiliser simplement un potentiomètre ou une résistance variable intercalé dans le circuit commun des cathodes des lampes amplificatrices haute fréquence, ou plutôt moyenne fréquence.

En pratique, ce réglage d'intensité avant détection est assez peu employé sur les modèles de récepteurs courants ; on utilise surtout le réglage de l'intensité des signaux basse fréquence après détection, à l'aide d'un potentiomètre P, permettant de recueillir une partie plus

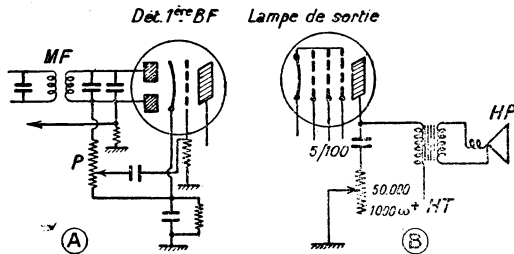


FIG. 112. — Montages simplifiés permettant de faire varier l'intensité et la tonalité sonores.

ou moins importante de la tension obtenue à la sortie de la détectrice (fig. 112 A).

Pour améliorer la qualité musicale de l'audition, et obtenir une audition satisfaisante en tenant compte du goût des auditeurs et du caractère des réceptions, musique ou paroles, il faut également pouvoir faire varier la tonalité générale de la réception, en amplifiant plus ou moins les notes graves ou aiguës. Il est ainsi possible, en même temps, d'atténuer plus ou moins, s'il est besoin, certains bruits parasites, ou bruits de fond, qui se composent, en majorité, de sons aiguës.

Ces contrôleurs de tonalité sonore peuvent être très simples. On se contente, la plupart du temps, d'utiliser un dispositif permettant d'atténuer plus ou moins l'amplification des sons aiguës, et, par là même, d'augmenter d'une façon apparente l'amplification des sons graves.

Ce dispositif simple se compose d'un condensateur fixe d'une capacité de l'ordre de 5/100 de microfarad, monté en série avec une résis-

tance variable d'une valeur d'une centaine de mille ohms. L'ensemble du montage est placé en shunt dans le circuit de sortie sur le primaire du transformateur du haut-parleur (fig. 112 B).

Lorsque la résistance en série est maximum, les courants basse fréquence ne traversent pas le système ; la tonalité de l'audition n'est pas modifiée. Lorsqu'on réduit la valeur de la résistance en circuit, en modifiant la position du curseur, un courant à fréquence musicale élevée traverse le condensateur, et ne parvient pas au haut-parleur. Les courants correspondants aux fréquences aiguës ne sont donc plus amplifiés, et la tonalité générale de l'audition est plus grave.

Ce dispositif simple est, en réalité, très incomplet, puisqu'il supprime l'amplification des notes aiguës, et n'augmente pas l'amplification des notes graves. Différents montages plus perfectionnés dits » détimbreurs », ont été présentés pour éviter cet inconvénient.

En raison des caractéristiques de l'ouïe, les variations d'intensité sonore déterminent une variation apparente de la tonalité. On a donc également imaginé des *dispositifs compensateurs* assez simples permettant d'associer rationnellement les régulateurs d'intensité et de tonalité sonore, de façon à faire varier, en même temps, et automatiquement, la tonalité, en fonction des variations d'intensité.

Équipement électro-acoustique des récepteurs. — Les récepteurs radio-télégraphiques ou radio-téléphoniques sont destinés finalement à permettre l'audition des signaux Morse de la parole, ou de la musique. Ils doivent donc être reliés à un dispositif *traducteur électro-acoustique*, permettant de transformer les oscillations musicales provenant de la lampe de sortie en ondes sonores agissant sur l'oreille des auditeurs.

On utilise dans ce but, un *récepteur téléphonique*, ou plutôt un *haut-parleur*, permettant de traduire d'abord les oscillations électriques en vibrations mécaniques ; ces dernières sont communiquées à l'air ambiant, et engendrent les ondes sonores.

Les radio-récepteurs modernes permettent également, en général, la reproduction électrique des sons enregistrés sur des disques phonographiques, et, dans ce but, il est nécessaire d'utiliser un autre traducteur électro-acoustique, appelé *pick-up*, jouant, en quelque sorte, le rôle inverse de celui du haut-parleur, c'est-à-dire transformant des vibrations mécaniques en oscillations électriques à fréquence musicale, qui peuvent être amplifiés par les étages basse fréquence du récepteur, et venir actionner le haut-parleur habituel.

Principe des écouteurs téléphoniques et des haut-parleurs.

— Les premiers radio-récepteurs étaient équipés uniquement avec des *écouteurs téléphoniques*, que l'auditeur appliquait contre ses oreilles ; ces écouteurs sont encore utilisée par les professionnels ou par les amateurs de réceptions à ondes courtes.

Rappelons le principe d'un écouteur téléphonique. Ce dispositif très sensible comporte une membrane métallique vibrante, actionnée par les oscillations électriques à fréquence musicale provenant des récepteurs. Ce diaphragme, fixé dans un boîtier métallique en général, est recouvert par une pièce cylindrique ou *pavillon* en matière isolante, percée d'une ouverture centrale. Le pavillon est appliqué directement sur l'oreille ;

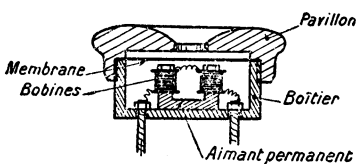


FIG. 113. — Coupe d'un récepteur téléphonique.

les vibrations du diaphragme mettent ainsi en mouvement une petite masse d'air du conduit auditif, et les ondes sonores agissent directement sur le tympan de l'auditeur en restituant les sons correspondants (fig 113).

Dans le modèle classique, les vibrations de la plaque sont produites par des variations de flux magnétique obtenues par le passage des courants provenant du récepteur dans deux bobinages montés en série, et embrochés sur les pièces polaires d'un aimant permanent en forme d'U. La plaque vibrante est fixée en face, et très près de ces pièces polaires.

Lorsque le courant passe dans les bobinages, la plaque est alternativement attirée vers les pièces polaires, et revient à sa position primitive, grâce à son élasticité. Au repos, elle est encore attirée par l'aimant permanent, mais cette attraction continue est indispensable pour éviter le doublage de la fréquence des oscillations.

Malgré les perfectionnements successifs reçus par le dispositif primitif, les écouteurs téléphoniques ne peuvent assurer la reproduction des sons sans déformation, et le principal inconvénient provient de la fréquence propre de la membrane vibrante, qui détermine des pointes de résonance.

Les *haut-parleurs* sont des appareils qui permettent d'obtenir la restitution des sons avec une puissance sonore plus considérable, mais le principe initial est le même, et, d'ailleurs, les modèles primitifs

étaient formés simplement en associant un écouteur téléphonique de grande dimension à un pavillon acoustique de phonographe.

Malgré certaines opinions, le *haut-parleur* n'est nullement un *amplificateur* ; la transformation de l'énergie électrique en énergie acoustique s'effectue, au contraire, avec une perte plus ou moins notable suivant les modèles. Le rendement électro-acoustique pour les modèles professionnels bien étudiés ne dépasse guère 30 pour cent à 40 pour cent.

Cette transformation s'effectue, d'ailleurs, en deux phases : les oscillations électriques mettent d'abord en mouvement un *moteur* transformant les oscillations électriques en vibrations mécaniques ; puis, ces vibrations mécaniques agissent, à leur tour, sur un *diffuseur acoustique* mettant en vibration les masses d'air environnantes, et produisant ainsi des ondes sonores (fig. 114).

Tout haut-parleur est donc formé d'un moteur électro-mécanique,

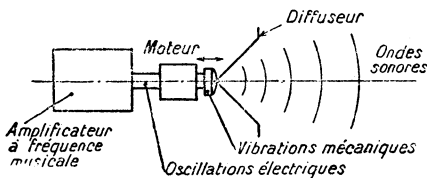


FIG. 114. — Principe d'un haut-parleur.

associé avec un diffuseur acoustique. Les différents modèles varient suivant le principe des moteurs et du diffuseur.

Les *moteurs* peuvent, en théorie, être très divers. On peut établir des modèles *électro-magnétiques*, *électro-statiques*, *électro-dynamiques*, *piézo-électriques*, etc. En pratique, on n'emploie guère actuellement en radiophonie que des modèles électro-dynamiques. Les dispositifs *diffuseurs de sons* peuvent être formés par des pavillons acoustiques de formes très variées, ou des diffuseurs proprement dits, à cône vibrant, de section plus ou moins variable. Ces derniers sont adoptés presque uniquement dans les récepteurs radiophoniques.

Les appareils électro-dynamiques. — Les premiers haut-parleurs radiophoniques étaient formés, nous venons de le noter, par des récepteurs radiophoniques de grandes dimensions adaptés à des pavillons de phonographes. Leurs qualités musicales étaient très insuffisantes, par suite des résonances de la plaque vibrante, et du pavillon métallique.

Lorsque la radiodiffusion est entrée dans une phase industrielle, on s'est efforcé d'établir des modèles de haut-parleurs, spécialement destinés à cet usage particulier. On a donc construit des moteurs électro-magnétiques, à la fois plus puissants et plus fidèles, et on les a associés, d'abord à des pavillons acoustiques plus rationnels (de section exponentielle), puis bientôt à des cônes diffuseurs de sons. Cependant, les haut-parleurs ainsi créés à moteurs électro-magnétiques symétriques équilibrés à deux pôles ou à quatre pôles avec anche vibrante reliée directement ou non à un cône diffuseur, ont fait place progressivement au *modèle électro-dynamique*, désormais seul utilisé en radiophonie.

Le dispositif électro-magnétique, dérivé de celui de l'écouteur téléphonique, est, en effet, simple et robuste, mais son fonctionnement n'est pas symétrique, puisqu'il comporte généralement une armature vibrante

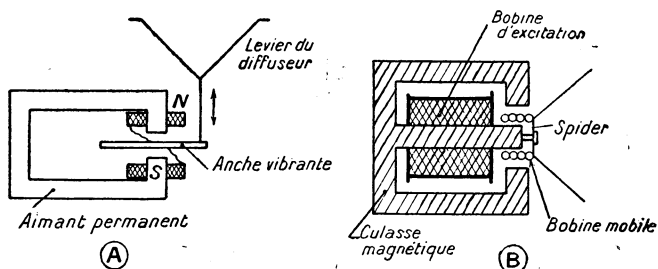


FIG. 115. — Principe du moteur électro-magnétique équilibré, et du moteur électrodynamique du haut-parleur.

qui s'approche et s'éloigne alternativement des pièces polaires, sous l'action des oscillations électriques. La course de cette membrane est également très limitée, ce qui rend difficile la restitution des sons graves et intenses ; des effets de résonance propre impossibles à faire disparaître déterminent des déformations (fig. 115 A).

Le *dispositif électro-dynamique* évite ces inconvénients ; son fonctionnement est basé sur le déplacement d'un courant par un aimant. Il comporte normalement une bobine très légère, en fil de cuivre ou d'aluminium isolé, disposée dans le champ d'un aimant permanent ou d'un électro-aimant, et qui peut se déplacer perpendiculairement à la direction de ce champ. Le bobinage est relié, par l'intermédiaire d'un transformateur, au circuit de sortie de l'appareil radio-électrique. Les oscillations à fréquence musicale traversant l'enroulement déterminent alors

des forces parallèles, tendant à l'enfoncer en avant ou à le projeter en arrière, suivant le sens du courant (fig. 115 B).

Au repos, le bobinage n'est parcouru par aucun courant, et il est maintenu dans une position d'équilibre, par l'action d'un support élastique central ou périphérique appelé « spider ». Pendant le fonctionnement, il se produit des mouvements de va-et-vient importants, qui peuvent atteindre plusieurs centimètres ; ces mouvements ne sont limités que par l'élasticité de la suspension, puisqu'il n'y a aucune butée, et la bobine vibrante se déplace parallèlement à l'axe, en conservant une distance constante par rapport aux pièces polaires.

Le champ électrique est produit par un électro-aimant ou un aimant permanent ; il existe donc des modèles à *excitation séparée* et à *aimant permanent*.

Les modèles à aimant permanent sont les plus faciles à utiliser. Pour leur fonctionnement, il suffit de relier le bobinage à la lampe de sortie par l'intermédiaire d'un transformateur d'adaptation de grand rapport, en tenant compte de la résistance de la bobine, de quelques ohms, et de la résistance interne de la lampe de sortie, qui est de plusieurs milliers d'ohms, au minimum.

Pour les modèles à excitation, il faut prévoir l'emploi d'un courant continu traversant l'enroulement d'excitation de l'électro-aimant. Ce courant doit être redressé et bien filtré, si l'on n'emploie pas de sources de courant continu. On peut l'obtenir par un dispositif d'alimentation séparé à redresseur cupoxyde ou à valve, ou bien, le plus souvent, en utilisant le courant haute tension servant déjà à l'alimentation des lampes du récepteur.

Dans ce but, l'enroulement d'excitation peut être disposé en série dans la cellule de filtrage du courant redressé haute tension ou en dérivation sur cette cellule, suivant la possibilité d'admettre ou non une chute de tension. Le montage en parallèle est ainsi adopté dans les postes « tous courants », et le montage en série dans les postes « alternatifs ».

Diffuseurs acoustiques. — Les premiers modèles de haut-parleurs électro-dynamiques, comme, d'ailleurs, les dispositifs électro-magnétiques primitifs, étaient adaptés à des pavillons acoustiques en métal de formes assez empiriques. Ces pavillons ont été constamment perfectionnés, et ils permettent désormais d'obtenir des résultats très remarquables. Le système reçoit à son embouchure de diamètre réduit des vibrations de l'air à haute pression et à faible amplitude déterminées par les vibrations mécaniques d'une membrane vibrante de diamètre

assez faible. Une petite masse d'air contenue dans *une chambre de compression* entre alors en vibrations, et ces vibrations se propagent dans les masses d'air successives du pavillon, dont la section augmente progressivement jusqu'à l'ouverture ou « gueule » de grand diamètre. Ainsi, les masses d'air avoisinant cette ouverture sont mises facilement en mouvement, et, le rendement acoustique peut être très satisfaisant.

Malheureusement, même en repliant la tubulure sur elle-même, de façon à réduire la longueur, les pavillons acoustiques rationnels sont de grandes dimensions, de sorte que leur emploi ne peut être envisagé normalement dans des récepteurs de T.S.F., ils sont réservés aux modèles de grande puissance, pour diffusion sonore ou projection cinématographique.

La transformation des vibrations mécaniques en ondes sonores dans les haut-parleurs électro-dynamiques de radiophonie est obtenue à l'aide d'une membrane vibrante, solidaire de la bobine mobile, et qui met directement en mouvement les masses d'air avoisinantes. La forme conique a été adoptée parce que c'est elle qui assure la rigidité la plus grande dans les déplacements ; mais, en pratique, le cône vibrant ne peut être considéré comme un véritable piston rigide, dès que son diamètre augmente, et pour des fréquences élevées. Pour des notes aiguës, c'est la partie centrale seule du cône, vers le sommet, qui se déplace sans déformation, et c'est seulement pour des notes graves au-dessous de 500 périodes que la zone périphérique se déplace en phase ; d'ailleurs, l'amplitude du déplacement doit être d'autant plus grande que la fréquence est plus basse. Les mouvements du cône doivent être d'autant plus amples, et son diamètre d'autant plus grand, que les sons sont plus graves. Il est donc extrêmement difficile de construire un haut-parleur dynamique à un seul cône assurant, en même temps, la reproduction des sons aigus et des sons graves, et l'on est obligé de se contenter d'un compromis. Des profils particuliers du cône plus ou moins exponentiels et l'adoption de dispositifs additionnels, tel qu'un cône inversé intérieur axial peuvent améliorer cependant, quelque peu, la qualité moyenne des résultats obtenus.

L'emploi d'un cône diffuseur de sons ne suffit pas pour obtenir une reproduction acoustique convenable. Le fonctionnement ne peut être obtenu normalement que si le haut-parleur est placé sur *un écran acoustique*, auquel on donne le nom de *baffle*, d'après la terminologie anglaise (fig. 116).

Cet écran a pour but essentiel de permettre la reproduction des sons graves, et il est facile de se rendre compte de son utilité. Des déplacements du cône ont lieu en avant et en arrière d'une position d'équilibre, suivant l'axe des pièces polaires. Le premier mouvement en avant détermine une compression de l'air qui se trouve devant la face concave et une raréfaction de la masse qui se trouve en arrière devant la face convexe. Puis, le cône revient vers sa position d'équilibre, d'où il résulte une diminution de la pression en avant, et une augmentation de la pression en arrière.

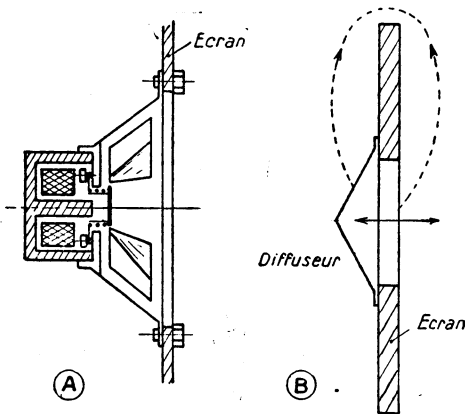


FIG. 116. — Haut-parleur électro-dynamique à diffuseur et rôle de l'écran acoustique.

Dans une troisième période du mouvement, l'air qui se trouve en avant est comprimé, et celui qui se trouve en arrière est déprimé. Puis, le cône revient finalement à sa position d'équilibre, avec diminution de la pression du côté de la face convexe, et augmentation du côté de la face concave.

Lorsque le cône produit ainsi une compression de l'air sur une face, il détermine une raréfaction sur l'autre face. Les différences de pression sur les deux faces tendent normalement à s'équilibrer, et les masses d'air mises en mouvement d'un côté ont tendance à se déplacer vers l'autre côté, pour compenser le vide relatif qui est produit.

Ce phénomène est surtout sensible pour les sons graves, parce que la production de ces derniers correspond à un déplacement du cône lent et d'assez grande amplitude, dans l'intervalle séparant deux oscillation successives.

Pour éviter ou atténuer cet inconvénient, et permettre la reproduction des sons graves, il faut éviter l'action de l'onde sonore produite par la face arrière du cône, sur celle produite par la face avant. Dans ce but, on utilise l'écran acoustique comportant une couverture circulaire dans laquelle la monture du cône est encastrée. On augmente ainsi, en quel que sorte, la distance séparant les deux faces du cône, et les actions des deux ondes avant et arrière ne peuvent plus influencer directement l'une sur l'autre.

Le son se propage dans l'air avec une vitesse de l'ordre de 340 mètres à la seconde ; l'onde sonore met ainsi un certain temps pour se déplacer d'une face à l'autre, et, pendant ce temps, le sens du mouvement du cône a été modifié (fig. 116 B).

Suivant la fréquence des vibrations du cône, c'est-à-dire suivant la hauteur des sons à reproduire, les dimensions de l'écran doivent être plus ou moins importantes. La longueur parcourue par l'onde doit être d'autant plus grande que les déplacements du cône sont plus lents, c'est-à-dire que les sons à reproduire sont plus graves ; pour une tonalité très grave, il faut ainsi un écran de grande surface. En théorie, pour reproduire des sons d'une fréquence de l'ordre de 100 périodes-seconde, il faudrait un écran carré d'environ 80 centimètres de côté. En pratique, on peut se contenter de dimensions plus faibles, et, d'ailleurs, en radiophonie, on utilise très rarement des écrans plats. Les haut-parleurs ne sont pas employés séparément, mais placés normalement sur la face antérieure du boîtier du récepteur. Le rôle de l'écran est alors joué par le boîtier, et l'effet acoustique est produit, non seulement par la face antérieure, mais par les côtés latéraux.

L'utilité d'un écran ou d'un boîtier d'assez grande surface pour la reproduction des sons graves explique, en partie, l'insuffisance de la qualité musicale obtenue avec des récepteurs portatifs, de petite dimension, du genre « tous courants ».

Principe et emploi des pick-ups. — Comme nous l'avons noté plus haut, on peut employer les étages d'amplification basse fréquence d'un radio-récepteur pour reproduire des sons enregistrés sur des disques phonographiques, et le résultat musical est encore supérieur avec amplificateur séparé, destiné spécialement à cet usage.

Pour effectuer cette reproduction, on utilise un traducteur électro-acoustique appelé *pick-up*, d'un mot anglais signifiant « recueillir », parce qu'il recueille, en quelque sorte, les sons enregistrés.

Le pick-up permet de traduire les vibrations mécaniques recueillies par la pointe d'une aiguille de phonographe suivant les sillons d'un disque, entraîné d'un mouvement de rotation par un moteur tourne-disques, en oscillations électriques à fréquence musicale. Ces oscillations sont amplifiées ensuite par des lampes, et permettent la reproduction des sons à l'aide du haut-parleur habituel. Il existe des modèles de pick-ups, assez nombreux, correspondant aux différents types de haut-parleurs, ou plutôt, de microphones, car le rôle de ce dispositif est ainsi l'inverse de celui du haut-parleur, et analogue à celui du microphone.

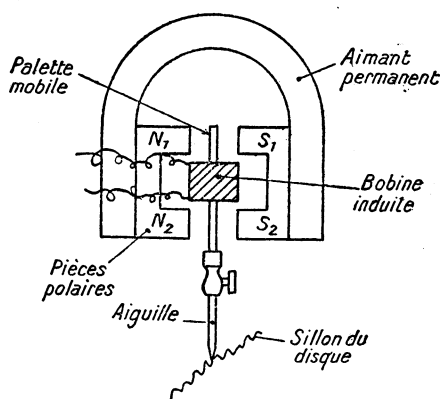


FIG. 117. — Disposition schématique d'un pick-up électro-magnétique.

En pratique, les seuls modèles de pick-ups actuellement utilisés en radiophonie sont les appareils *électro-magnétiques*, et *piézo-électriques*.

Le *pick-up électro-magnétique* comporte une palette mobile solidaire de l'aiguille phonographique, et produisant des courants induits dans un bobinage, lorsqu'on la met en vibration.

La disposition des éléments de ce pick-up peut être assez variable. Les modèles généralement employés sont équilibrés, et les bobinages entourent ou non la palette vibrante. Le dispositif normal comporte 4 pôles et 1 palette pivotant autour d'un axe horizontal inférieur, et portant à sa base le mandrin, dans lequel on fixe l'aiguille phonographique (fig. 117).

Les pick-up piézo-électriques fonctionnent suivant un principe différent, et comportent des cristaux dits *piézo-électriques* produisant des courants électriques, sous l'action de pressions ou de déformations mécaniques.

Un appareil de ce genre comporte deux lamelles de cristal en sel de Seignette (ou tartrate de potassium), assemblés de telle sorte qu'un seul des coins puisse vibrer. Le mandrin porte-aiguille est relié solidairement au coin libre du cristal.

Ce dispositif est beaucoup plus léger que les modèles électro-magnétiques, en général, et accentue spécialement les sons graves. .

CHAPITRE XIV

CONSTRUCTION ET MONTAGE DES RÉCEPTEURS DE T. S. F.

L'évolution des récepteurs a été commandée, en grande partie, par les progrès des émissions, et par ceux des lampes ; mais, les auditeurs, souvent profanes en matière radio-électrique, perçoivent sans doute d'abord, les *changements de présentation*.

Les différentes formes des récepteurs de T.S.F. — Les amateurs d'avant la guerre de 1914 utilisaient uniquement des postes à galène, « bricolés » généralement par eux-mêmes ; mais, les constructeurs avaient déjà établi des appareils simples, sous des formes diverses et ingénieuses.

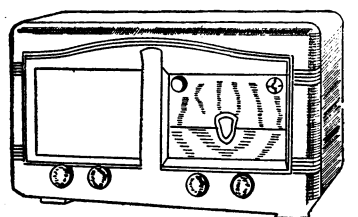
Les premiers radio-concerts de la Tour Eiffel, inaugurés en 1922, ont été reçus à l'aide de simples postes à galène, en amplifiant parfois la réception à l'aide d'amplificateurs du type de l'Armée reliés à un écouteur téléphonique adapté à un pavillon de phonographe, tenant lieu de haut-parleur. Les premiers postes à lampes ne ressemblaient guère à ceux d'aujourd'hui, il étaient montés dans des boîtiers en ébénisterie plats, une plaquette d'ébonite supportait les manettes, bornes et supports des lampes ; en même temps, l'amateur bricoleur réalisait lui-même ses appareils à l'aide des premières pièces détachées construites dans le commerce, ou de celles qu'il établissait lui-même avec des procédés de fortune.

En 1923, le récepteur avait l'apparence d'une boîte parallélépipédique, sur le dessus de laquelle étaient disposées les multiples lampes avec de très nombreux cadrans, plots, manettes et boutons de commande nécessaires pour les connexions d'alimentation et de réglage. Cette boîte ne constituait pas tout le poste ; elle était complétée par un cadre de réception séparé, ou même par un système d'accord, par des batte-

ries d'alimentation avec leurs dispositifs de recharge, et, enfin, par un haut-parleur souvent encombrant, parfois même, pour obtenir une intensité sonore plus grande, par un amplificateur basse fréquence séparé.

L'ensemble était encombrant, et assez peu pratique, mais offrait l'avantage de mettre tous les organes du poste à portée de la main du sans-filiste, qui pouvait les modifier, et les transformer à sa guise : c'était « l'âge d'or du bricoleur ». Depuis l'avènement du poste-secteur surtout, on a assisté à une transformation inverse.

Dans les modernes postes forme blocs, dits « Midget », les bornes ont disparu du boîtier en ébénisterie, ou en matière plastique moulée,



(A)

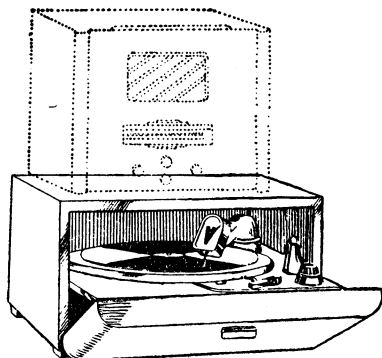
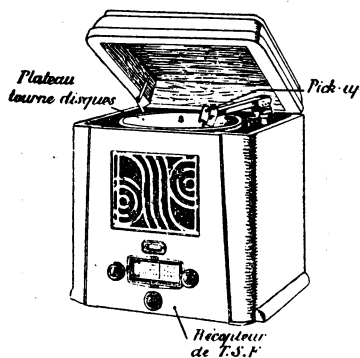


FIG. 118. — Formes des radio-récepteurs.

A, disposition habituelle d'un récepteur midget standard ; B, radiophonographe de type réduit.

à l'intérieur duquel se dissimulent tous les organes, y compris le haut-parleur. A l'extérieur, on n'aperçoit plus que deux ou trois boutons, un pour la recherche des émissions, un pour régler l'intensité, et un autre pour la tonalité de l'audition. La simplicité de ces postes n'est qu'extérieure, et, si les manœuvres de réglage sont devenues extrêmement simples, le montage au contraire, est devenu plus complexe (fig. 118 A).

L'installation d'un tel poste est presque immédiate, mais l'étude et la construction sont devenues délicates ; le boîtier a un rôle acoustique à remplir : il joue le rôle d'écran acoustique pour le haut-parleur ; ses dimensions et sa forme doivent être choisies en conséquence.

La forme de ces postes Midget varie ; le haut-parleur est encastré dans le haut, ou dans la partie latérale de la tablette frontale, le boîtier est allongé en hauteur, ou en largeur ; la forme des cadrans de recherche diffère.

A l'instigation des Américains, les constructeurs ont étudié des modèles de plus en plus réduits, auxquels ils ont donné le nom de « postes miniatures » ; il en est qui justifient leur nom, et ne sont guère plus grands que des appareils photographiques. Leur sensibilité peut être assez grande, si leur musicalité laisse souvent à désirer. Malgré la vogue de ces modèles réduits, le poste bloc Midget demeure la forme type du récepteur moyen en France, et le poste-meuble, très en honneur en Amérique, a peu de partisans dans notre pays.

L'auditeur français ne semble éprouver d'attraits pour ce modèle que sous la forme de *radio-phonographe*, c'est-à-dire de poste récepteur combiné avec un phonographe électrique utilisant les étages d'amplification basse fréquence de l'appareil. L'apparition de récepteurs pratiques de *radiovision* augmentera sans doute l'emploi du poste-meuble, du moins par un public privilégié (fig. 118 B).

Tout auditeur de T.S.F. peut facilement adapter à son récepteur un *ensemble phonographique* composé d'un moteur tourne-disque, et d'un pick-up, permettant la reproduction électrique des disques, suivant un principe exposé plus loin.

Différentes catégories de récepteurs. — Les formes sous lesquelles se présentent les récepteurs ne renseignent pas sur leurs principes de construction ; ceux-ci sont basés sur les indications données précédemment, et l'on peut distinguer les postes simples, les appareils à haute fréquence directe, et à changement de fréquence.

Les *appareils de réception simples*, sans étage d'amplification haute fréquence avant la lampe détectrice, ou munis d'un seul étage d'amplification, comportent en général trois à quatre lampes au maximum, soient une amplificatrice haute fréquence ou non, une détectrice qui peut former première amplificatrice basse fréquence, une lampe basse fréquence de sortie et une valve servant à l'alimentation des lampes en courant plaque.

Sans doute, ces appareils sont-ils destinés plutôt à la réception des émissions locales, et, lorsqu'il s'agit de recevoir des émissions étrangères, est-il nécessaire d'adopter une antenne efficace ; mais, dans la masse des usagers, nombreux sont ceux qui se contentent d'entendre dans de bonnes conditions un petit nombre d'émissions sélectionnées provenant des émetteurs locaux ou nationaux. Pourtant, l'emploi de ces *récepteurs locaux* est relativement restreint.

Les montages à haute fréquence sensibles ont pu être perfectionnés par l'emploi des pentodes haute fréquence, la détection par diode et l'adoption de différents dispositifs régulateurs. Malgré tout, ces appareils ne peuvent posséder les avantages des dispositifs à changement de fréquence, en ce qui concerne la sensibilité et la sélectivité. La diffusion des ondes très courtes, la multiplication du nombre des postes émetteurs, l'augmentation de leur puissance, l'extension des gammes radiophoniques, ont donc diminué de plus en plus la vogue de ces appareils, et les *postes à changement de fréquence* sont désormais presque uniquement adoptés.

Les *appareils toutes ondes*, permettant la réception des émissions de 16 à 2.000 mètres de longueur d'onde, sont de plus en plus en faveur, et le changement de fréquence est presque toujours obtenu avec une seule lampe modulatrice oscillatrice ; peu de modèles comportent une amplification haute fréquence préalable, mais l'amplification moyenne fréquence obtenue par des pentodes haute fréquence avec liaison à transformateur à fer divisé est devenue très efficace. Les bobinages permettent une excellente sélectivité, et les circuits d'antenne mieux étudiés augmentent la sélection. La détection est obtenue généralement par une double diode combinée, et l'amplification finale par une pentode ou un étage push-pull.

On peut, d'ailleurs, distinguer les superhétérodynes standards, souvent établis sous la forme « *miniature* », comportant une oscillatrice modulatrice, un étage moyenne fréquence à pentode, un détecteur, et un premier étage basse fréquence à double diode combinée, et une pentode de sortie, la liaison basse fréquence étant normalement obtenue par résistance-capacité. Une valve d'alimentation permet le redressement du courant plaque, s'il y a lieu.

Les appareils à changement de fréquence sensibles comportent, suivant le cas, de 5 à 10 lampes, et même davantage, avec ou non des étages haute fréquence précédant le changement de fréquence, deux ou trois étages moyenne fréquence, un étage de puissance souvent en

push-pull, et des lampes auxiliaires commandant le dispositif anti-fading, l'accord visuel, etc. ; ces appareils plus ou moins coûteux sont ainsi pourvus de tous les perfectionnements, et assurent, à la fois, un volume sonore important, avec une qualité musicale satisfaisante.

Les pièces détachées en T.S.F. — Les appareils radio-électriques sont constitués à l'aide de résistances, de condensateurs, fixes et variables, de bobinages divers séparés ou accouplés de transformateurs, fixés sur le châssis, et reliés entre eux par des connexions. Les lampes sont elles-mêmes disposées sur des supports, également connectées aux organes d'alimentation, et aux circuits de liaison par des conducteurs, généralement isolés. Enfin, les montages comportent des dispositifs électro-mécaniques, interrupteurs, combineurs, manettes de commande, démultiplicateurs, cadrans de repère, etc.

Les *pièces détachées*, constituant l'ensemble de ces organes de montage, sont presque toujours réalisées actuellement par des fabricants spécialisés, et les qualités électriques, radio-électriques et mécaniques des appareils dépendent essentiellement, on le conçoit, de la qualité même de ces pièces.

En dehors des facteurs électriques et radio-électriques de construction, qui deviennent constamment plus complexes, les *facteurs mécaniques* ont pris également une importance de plus en plus grande, en particulier, les systèmes de contacteurs doivent être très bien étudiés, en raison de la multiplicité des circuits et de la nécessité absolue de réaliser des contacts absolument parfaits, par suite de la très faible intensité des courants mis en jeu dans les circuits, et des propriétés très particulières des courants de très haute fréquence, notés, par ailleurs.

Nous donnerons quelques indications sommaires sur les qualités que doivent présenter quelques-unes de ces pièces.

Les condensateurs employés en T.S.F. — Les condensateurs employés en T.S.F. sont *fixes*, *ajustables*, ou *variables*. Les premiers ont une capacité comprise entre quelques microfarads et quelques micro-microfarads ; ils sont employés pour la liaison entre les éléments de montage et le couplage des circuits (avec une capacité de quelques cent millièmes de microfarad à quelques millièmes). Les condensateurs de découplage haute fréquence ont une capacité comprise entre quelques millièmes de microfarad et quelques microfarads. Les condensateurs de filtrage et de découplage basse fréquence, enfin, ont une capacité de quelques microfarads à quelques centaines de microfarads.

Les *condensateurs ajustables* ont une capacité qui peut être réglée avec précision, mais, en général, une fois pour toutes, lors de la mise au point de l'appareil. Ils ont normalement une capacité inférieure à $1/1.000$ de microfarad.

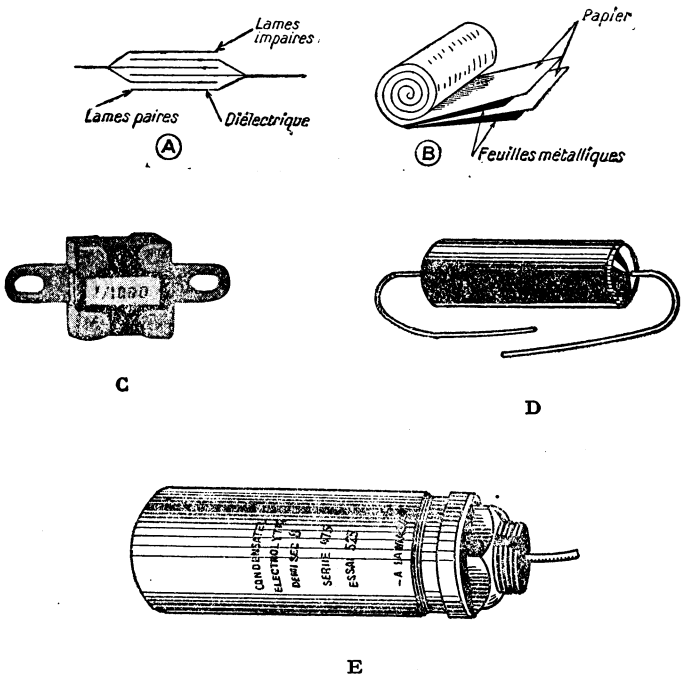


FIG. 119. — Condensateurs fixes de T.S.F.

A, coupe schématique d'un modèle à armatures planes empilées ; B, coupe d'un modèle à diélectrique papier ; C, forme extérieure d'un condensateur plan au mica ; D, condensateur tubulaire au papier ; E, condensateur tubulaire électrochimique.

Enfin, les condensateurs *variables* servent à *accorder* les différents circuits d'antenne, d'oscillation, de liaison haute fréquence, etc... Leur capacité varie suivant différentes lois, en fonction de la manœuvre d'un bouton de réglage, et leur valeur maxima est inférieure à $1/1.000$ de microfarad.

Condensateurs fixes. — Pour réduire l'encombrement, on divise généralement le condensateur classique à lames planes en éléments de

petites dimensions empilés les uns sur les autres, et montés en parallèle, de sorte que leurs capacités s'additionnent. On choisit, de plus, un diélectrique de grand coefficient spécifique, et de faible épaisseur.

Pratiquement, on utilise des feuilles minces d'étain, d'aluminium ou de clinquant, séparées par des lames de mica, et serrées entre deux plaquettes isolantes de forme quelconque (fig. 119).

Pour obtenir plus de stabilité de la capacité, on emploie plutôt maintenant des dépôts d'argent cuivré sur les deux faces des feuilles de mica adopté comme diélectrique.

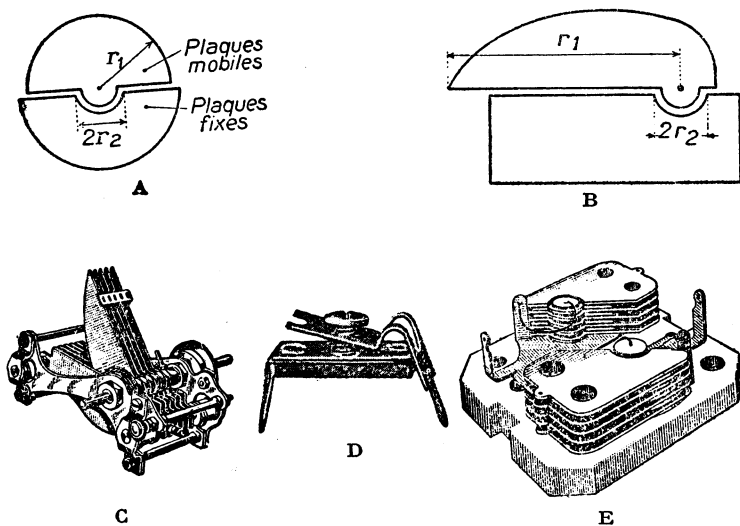


FIG. 120. — Condensateurs variables et ajustables.

A, forme des lames d'un condensateur à variation linéaire de capacité ; B, forme des lames mobiles d'un condensateur "square law" ; C, réalisation d'un condensateur à variation linéaire de fréquence ; D et E, condensateurs ajustables à lames mobiles pivotantes et à air.

Pour les capacités supérieures à 5/1.000 de microfarad environ, on utilise normalement le papier imprégné comme diélectrique. Deux feuilles métalliques séparées par une feuille de papier sont roulées sur elles-mêmes, et fortement serrées en spirale. Leur longueur permet d'obtenir une forte capacité sous un faible encombrement. Pour éviter l'introduction de l'humidité, on place l'ensemble dans un boîtier métallique, un tube de verre ou de carton bakelisé, et on l'imprègne à chaud d'un isolant.

Pour obtenir de très fortes capacités sous un faible encombrement, on utilise, enfin, des *condensateurs électrolytiques ou électrochimiques*, constitués par une lame d'aluminium recouverte électrolytiquement d'une couche extrêmement mince d'alumine, de l'ordre du micron, formant diélectrique de coefficient spécifique très élevé.

L'autre armature est constituée par l'électrolyte, formé d'une solution de sel d'ammonium, par exemple, liquide ou pâteuse, contenue dans une enveloppe métallique. Ces condensateurs sont polarisés, et possèdent des propriétés particulières exigeant des précautions d'emploi spéciales. Leurs capacités s'échelonnent de quelques microfarads à cent microfarads environ pour les modèles haute tension, et peut atteindre 2×2.500 microfarads pour les modèles basse tension.

Condensateurs variables et ajustables. — On peut faire varier la capacité d'un condensateur en agissant sur la surface des armatures en regard, sur la nature et l'épaisseur du diélectrique. Dans un condensateur à armatures planes un ensemble d'armatures est fixe, et constitue *le stator* ; l'autre partie des armatures, ou rotor, est mobile ; elle est fixée à un arbre qui peut tourner autour d'un axe, de sorte que les lames mobiles pénètrent plus ou moins entre les plaques fixes. Les lames sont normalement en aluminium, et le diélectrique est l'air (fig. 120).

Les modèles tubulaires, dans lesquels l'ensemble des armatures mobiles, de même axe que l'armature fixe, se déplace par translation, sont très rares.

La loi de variation de la capacité des condensateurs rotatifs dépend de la forme des lames mobiles. Les premiers modèles avaient des lames semi-circulaires ; la variation de capacité était proportionnelle à l'angle de rotation.

Pour obtenir une variation régulière, avec un cadran de repère gradué en longueurs d'onde, on emploie des condensateurs, dits *square law*, dont la capacité varie comme le carré du déplacement angulaire du rotor. Leurs lames ont la forme d'un arc de spirale logarithmique (fig. 120).

Si l'on emploie une graduation en fréquence des circuits, pour obtenir une répartition régulière des réglages, on utilise un condensateur à *variation linéaire de fréquence*. Enfin, on emploie souvent une forme standard, intermédiaire entre les deux précédentes.

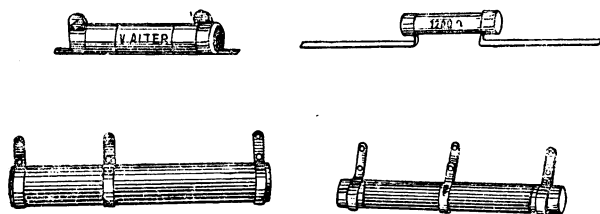
Les condensateurs *ajustables* doivent permettre un réglage précis et stable. Ils comportent généralement une électrode fixe et une armature

mobile élastique, séparées par une feuille de mica. Une vis de réglage micrométrique permet de faire varier la distance des armatures.

On emploie également des modèles à diélectrique d'air, à armatures cylindriques coaxiales, et rentrant les unes dans les autres.

Emploi des résistances en T.S.F. — Les organes de montage à résistance généralement élevée, de valeur fixe ou variable, employés dans les appareils de T.S.F. sont appelés des *résistances*.

Ils sont utilisés pour faire varier l'intensité des courants d'alimentation, obtenir une chute de tension, transmettre des variations de tension d'un circuit à un autre, produire des effets de découplage, couplage, filtrage, etc... Leurs valeurs s'échelonnent depuis quelques



Fr. 121. — Résistances fixes et ajustables. A gauche, type bobiné ; à droite, type à composi on résistante.

ohms jusqu'à plusieurs mégohms, et la puissance dissipable depuis le demi-watt jusqu'à 200 watts environ.

Les *résistances* bobinées, sont formées par un fil résistant enroulé sur un mandrin en matière isolante (céramique), ou bobiné sur une plaque de fibre. Leur valeur ne dépasse pas quelques milliers d'ohms pour les modèles à fort débit, et 100.000 ohms pour les autres (fig. 121).

Le fil résistant est en alliage dit nickel-chrome, nickel-fer, ou nickel-cuivre, et, pour les modèles à faible puissance admissible, la protection de l'enroulement en fil est assurée par un vernis vitrifié sur un ciment réfractaire.

Les valeurs de ces résistances sont précises, mais le coefficient de self-induction des modèles ordinaires n'est pas négligeable en haute fréquence.

Des modèles très employés sont formés d'un mélange de graphite ou d'un mélange colloïdal avec une matière isolante. On utilisait autrefois des bâtonnets homogènes de cette matière agglomérée ; on applique

maintenant des couches très fines de cette composition sur un support en verre ou en porcelaine ; la couche de carbone est ensuite protégée par un autre enduit vitrifié ou en céramique.

Les formes de ces résistances sont très diverses, et leurs valeurs varient depuis quelques ohms jusqu'à 20 mégohms. La *puissance maximale admissible* est normalement de l'ordre de quelques watts, et ces modèles ne peuvent supporter de fortes intensités ; ils sont destinés aux applications dans lesquelles on veut obtenir une valeur élevée, sous une forme compacte, et avec un débit relativement faible.

Il est bien difficile d'éviter un échauffement élevé des résistances de T.S.F. ; il faut donc noter la valeur à froid et à chaud, l'étalonnage est généralement exact en général à ± 5 pour cent.

Les *modèles ajustables* sont établis comme les modèles fixes, bobinés ou avec couches résistantes, mais comportent un collier mobile de contact se déplaçant le long de la résistance, et permettant d'en mettre en circuit une partie plus ou moins grande. Le contact entre le collier et la surface de la résistance doit surtout être établi avec soin, afin d'éviter les variations de conductibilité déterminant des bruits microphoniques dans les récepteurs.

Le choix des résistances doit être fait, non seulement suivant leur valeur ohmique, mais suivant la puissance admissible maximum qui ne doit pas dépasser la *puissance dissipée*, calculée d'après l'intensité du courant qui les traverse en appliquant simplement la loi d'Ohm.

Bobinages employés en T.S.F. — Les plus simples des bobinages sont constitués par des enroulements cylindriques sur une carcasse isolante, ou même sans carcasse, simplement « sur air », lorsque le fil est assez rigide. Suivant les cas, le fil utilisé est du fil nu de section ronde ou carrée, généralement en cuivre ou en bronze, ou du fil isolé à l'émail, au coton, ou à la soie, ou encore un câble à brins multiples, généralement isolés à l'émail (fil de Litz).

Les bobinages cylindriques ne sont plus guère établis qu'à une seule couche pour la réception des ondes courtes, ou, en tout cas, d'épaisseur réduite, et non plus sous forme d'inductances en galettes à multiples couches (fig. 122).

Ces inductances avaient, en effet, le défaut de présenter une *grande capacité répartie*, ce qui rendait leur usage possible seulement pour la réception des grandes ondes et des ondes moyennes.

On peut cependant diminuer la self-capacité des enroulements à plusieurs couches en effectuant le bobinage dans un ordre déterminé,

de façon qu'il n'existe qu'une faible différence de potentiel entre les spires rapprochées ; c'est ce qu'on appelle le *bobinage en piles*.

Les enroulements *en fond de panier* sont des bobinages plats, dont la forme rappelle celle de la vannerie employée pour la confection des paniers, d'où leur nom. Ces bobinages sont très faciles à réaliser, et leur très faible capacité répartie explique leur faveur.

Ces enroulements peuvent être réalisés sur des supports isolants, généralement en presspahn ou en carton, en forme de disques portant un nombre impair de pales. Le bobinage, d'après la forme de l'enroulement, est fait des deux côtés du support.

Les bobines *en nids d'abeilles*, sans doute les plus utilisés, sont du genre des bobines massées, mais leurs spires, bobinées en hélice, et croisées deux à deux, sont disposées de manière à réduire la capacité répartie. On en construit désormais de diamètre très réduit, appelés pour cette raison bobines « mignonnettes ».

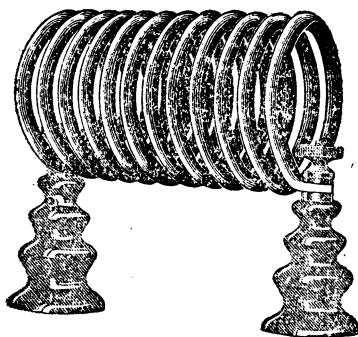


FIG. 122. — Bobinage en hélice pour ondes courtes.

Le *bobinage duo-latéral* est une variété du bobinage ordinaire en nid d'abeille unilatéral, et possède une self-capacité encore plus réduite.

Le coefficient de self-induction dépend, quelle que soit la forme du bobinage, du nombre de spires, et de la surface de chacune d'elles. Pour faire varier la self-induction, on peut ainsi faire varier le nombre des spires, ou leur section moyenne, et d'assez nombreux procédés peuvent être employés. Pour un bobinage cylindrique, on peut modifier le nombre des spires en circuit, à l'aide d'un curseur, ou de prises avec plots. Pour un bobinage en spirale, ou en nid d'abeilles, on utilise des prises avec plots.

On a essayé d'établir des dispositifs à coefficient de self-induction à variation continue, avec deux bobinages disposés en série ou en parallèle, et dont les positions respectives varient l'une par rapport à l'autre, par translation ou par rotation. Il existe des variantes assez nombreuses de ces dispositifs, mais qui n'offrent plus guère d'intérêt à l'heure actuelle.

Dans les appareils modernes, on utilise généralement des prises sur les bobinages avec des plots et des contacteurs, en prenant les précautions nécessaires pour qu'il n'y ait pas formation de « bouts morts », c'est-à-dire de parties d'enroulement hors circuit pouvant absorber une partie d'énergie transmise. Très souvent, également, on adopte des bobinages sans prises mis en circuit pour les gammes de réception convenables, au moyen de contacteurs, ou bien d'un dispositif rotatif à barillet, ou d'un tiroir à translation. Il en est ainsi, en particulier, pour la réception des ondes courtes.

Dans les circuits haute fréquence ou moyenne fréquence, et même dans les dispositifs d'accord, on utilise de plus en plus désormais des bobinages distincts ou combinés, munis de *noyaux de fer fixes* ou à position variable, ces derniers permettant de faire varier le coefficient de self-induction. Afin d'éviter les pertes en haute fréquence, les noyaux doivent cependant être constitués par des tôles feuilletées en alliage de fer présentant des caractéristiques particulières, et, en particulier, par les alliages au silicium.

Le procédé le plus récent, et le plus employé désormais, consiste à adopter des noyaux formés par de la poudre de fer à grain fin, chacun des grains étant isolé des autres à l'aide d'une masse permettant de les enrober, et de constituer ainsi des noyaux moulés de différentes formes. Il devient ainsi possible d'obtenir des bobinages et des transformateurs à grand coefficient de surtension ; et on utilise en particulier, dans les superhétérodynes, des transformateurs moyenne fréquence assurant une sélectivité suffisante, et une musicalité satisfaisante, même en adoptant une fréquence moyenne relativement élevée.

Pertes en haute fréquence. — Les organes des appareils radio-électriques, et surtout des récepteurs de T.S.F., sont souvent traversés par des courants haute fréquence, dont la propagation s'effectue dans des conditions particulières.

Lorsqu'un courant alternatif circule dans un conducteur, il en résulte toujours une perte d'énergie, mais, lorsque la fréquence est élevée, cette perte est supérieure à celle que l'on peut calculer par la loi d'Ohm ; elle ne varie plus suivant *la section* de ce conducteur, mais suivant *sa surface*.

Le courant alternatif n'est pas, en effet, distribué uniformément. Il est plus dense sur la périphérie que dans la partie centrale, le phénomène est d'autant plus accentué que la fréquence est plus élevée.

Pour réduire la résistance d'un conducteur en haute fréquence, il faut donc augmenter sa surface ; dans les postes émetteurs à ondes courtes, on utilise, dans ce but, des tubes ou des rubans de cuivre.

Le câble à brins isolés appelé très improprement *fil de Litz*, est souvent recommandé ; sa surface utile est, en effet, beaucoup plus grande que la surface d'un fil unique de même section totale, et il est facile de s'en rendre compte.

Pourtant, ce conducteur à brins divisés n'est guère avantageux que pour les ondes moyennes, et on l'emploie, par exemple, dans les transformateurs moyenne fréquence. Pour les ondes courtes, il se produit des pertes dans l'isolant des brins, et, pour les ondes longues, l'avantage disparaît.

Il peut également se produire des pertes d'énergie haute fréquence dans les isolants, par exemple, dans les supports de bobinages ou supports de lampes, les gaines des conducteurs, les supports des contacts, etc. Il faut donc employer le minimum de diélectrique possible, et adopter, surtout pour les ondes courtes, des isolants de qualité et, spécialement le quartz.

Les résistances des condensateurs, et même des modèles à air, ne sont pas négligeables ; là encore, l'importance du diélectrique est surtout essentielle.

Les bobinages doivent spécialement être considérés en haute fréquence ; en dehors de leur self-induction et de leur résistance ohmique, ils présentent toujours une capacité propre provenant du voisinage des spires successives séparées par un diélectrique formé par l'isolant du fil employé.

La capacité répartie dépend ainsi du resserrement des spires, de leur diamètre, et du mode d'enroulement. Les bobinages ayant la plus faible capacité répartie sont les enroulements à une seule couche à spires non jointives.

Les carcasses des bobinages présentent également une résistance provenant des pertes dans le diélectrique déjà signalées. Il y a intérêt pour les très hautes fréquences à réduire la masse de cette carcasse et même à la supprimer complètement. Les bobinages pour récepteurs à ondes très courtes doivent donc de préférence être bobinés sur air.

Principes de la construction. — Quels que soient les montages utilisés, il existe *une technique normale de la construction* radio-électrique. Les organes du montage sont disposés généralement sur un châssis métallique rigide en tôle cadmiée constituant une sorte de paralléli-

pipède sans fond, et de 6 à 8 centimètres de haut. Sur le fond de cette boîte retournée, sont disposés les blocs de condensateurs variables, les transformateurs d'alimentation ou de liaison basse fréquence, les bobinages, les supports de lampes et les lampes elles-mêmes. Les connexions de chauffage et de liaison, les résistances, les condensateurs fixes, sont placés normalement à l'intérieur du châssis, protégés par lui et invisibles.

Sur la paroi verticale antérieure, se trouvent les boutons commandant les combinateurs, les résistances variables, les interrupteurs, les potentiomètres, les boutons de commande des condensateurs variables, les interrupteurs, etc. Sur la paroi verticale arrière, sont placées normalement les bornes de connexion au secteur, à l'antenne, à la prise de terre, les prises de pick-up, de haut-parleur supplémentaire, s'il y a lieu, etc.

Les bobinages sont normalement recouverts par des blindages cylindriques en aluminium ou en cuivre ; il en est de même souvent pour les lampes, haute fréquence quand leur enveloppe en verre n'est pas métallisée, et qu'on n'emploie pas de lampe métallique. Les connexions extérieures des lampes sont blindées, et les supports sont formés par des plaquettes isolantes en bakélite, avec des douilles correspondant aux broches ou aux ergots fixés par des boulons ou des rivets, à des ouvertures circulaires ménagées sur la plaquette horizontale du châssis.

Le haut-parleur est fixé normalement sur la paroi interne du boîtier ; sur certains postes réduits, il fait corps pourtant avec le châssis, auquel il est adapté par une équerre métallique.

La réduction des dimensions des récepteurs, mêmes sensibles, et à nombreux étages, détermine le rapprochement des différents organes de montage. D'où, la nécessité d'étudier soigneusement la disposition des connexions et des blindages, pour assurer la stabilité des circuits, et éviter les ronflements dus à des inductions parasites.

Les *blindages* évitent le couplage électro-magnétique entre les circuits, et on prend des précautions, telles que l'utilisation de fils torsadés pour les connexions de chauffage, l'emploi de transformateurs d'alimentation blindés, et suffisamment écartés pour éviter des effets d'induction à l'intérieur du montage.

Il faut également éviter les *couplages ohmiques* entre les différents étages ; ceux-ci peuvent se produire par suite de l'introduction de résistances dans les circuits. La source de tension redressée est généralement unique, et, si deux lampes doivent être alimentées à une tension plaque inférieure à la tension plaque, en rapport avec le dispositif d'alimenta-

tion, on devrait utiliser une résistance commune aux deux circuits. Le procédé est économique, en principe, le courant traversant la résistance étant plus élevé, et la résistance devant être plus faible.

En réalité, cette méthode n'est pas possible, parce qu'il y aurait réaction d'une lampe sur l'autre, et, par conséquent, instabilité de fonctionnement. Il est nécessaire d'adopter des *résistances individuelles* produisant les chutes de tension nécessaires, et shuntées par un condensateur de *découplage* relié au pôle négatif de la tension plaque, ou plutôt directement à la cathode de la lampe.

Le pôle négatif de la tension plaque et les circuits de découplage sont normalement reliés à *la masse* du châssis métallique de l'appareil, qui offre beaucoup moins de résistance au courant qu'un conducteur de diamètre réduit.

Sur tous les châssis modernes, on retrouve ces résistances et ces condensateurs de découplage, les dispositifs de polarisation automatique des grilles, et cette mise à la masse du châssis du pôle négatif de la haute tension. Il devient utile, dans ces conditions, d'avoir recours à des dispositions spéciales d'isolement, du fait de l'existence entre les circuits de plaque et la masse de différences de potentiel élevées.

Les connexions normales des circuits sont généralement exécutées avec du fil de cuivre de 10/10 à 15/10 de millimètre de diamètre, nu ou étamé, recouvert de souplisso ou de section carrée ; les extrémités sont soudées, le plus souvent, les résistances et condensateurs sont montées côte à côte, et il est bien rare qu'on s'attache à la belle ordonnance et au parallélisme des connexions, qui pouvaient plutôt être une source d'inconvénients pratiques.

Le chauffage des lampes à chauffage indirect nécessite normalement des courants de l'ordre de l'ampère ; il faut donc utiliser des fils de grosse section, souples et torsadés, comme s'il s'agissait de lampes d'éclairage. Le transformateur d'alimentation est blindé, et disposé à assez grande distance des circuits basse fréquence et de la prise d'antenne. La partie haute fréquence est généralement disposée d'un côté les organes d'alimentation de l'autre, et les étages basse fréquence au centre. Les ronflements sont évités, en augmentant la capacité des condensateurs de filtrage, en remplaçant, s'il y a lieu, la résistance ou le bobinage de filtre insuffisant par un bobinage à fer très soigné, et en mettant deux condensateurs d'un microfarad en parallèle sur le transformateur d'alimentation. Ce montage a pourtant l'inconvénient de produire des courants de fuite.

Technique du poste-secteur. — L'avènement du poste-secteur a déterminé l'apparition d'une technique de construction particulière, et les principes adoptés ont même, par la suite, été appliqués aux appareils alimentés par batteries.

Nous avons déjà signalé les précautions à prendre pour l'établissement du réseau d'alimentation. L'emploi du courant alternatif introduit dans le récepteur un courant de fréquence industrielle et d'intensité assez élevée. Il est donc nécessaire d'éviter les effets d'induction électrostatique, et électromagnétique, ou de couplage galvanique dûs à ce courant.

On peut distinguer essentiellement les conducteurs extérieurs reliant la prise de courant aux transformateurs d'alimentation, les conducteurs de chauffage, reliant l'enroulement secondaire de chauffage et du transformateur aux filaments, et, enfin, les conducteurs reliant les enroulements de chauffage et de haute tension de la valve à la valve elle-même.

L'utilisation des conducteurs torsadés annulant le champ magnétique de chaque fil par le champ magnétique de l'autre, est généralement une précaution suffisante pour les conducteurs de chauffage, et, il suffit, pour les autres, de les établir aussi courts que possible.

L'élimination des couplages parasites par découplage n'est pas moins utile. Elle s'applique d'abord aux résistances de polarisation ; pour éviter les accrochages, il faut mettre en dérivation sur toutes les résistances des condensateurs fixes de valeur élevée de l'ordre de 0,25 microfarad pour la haute fréquence, à un microfarad pour la basse fréquence au minimum.

Un autre problème est posé par la nécessité d'appliquer des tensions plaques différentes à chaque lampe, ou, du moins, à chaque groupe de lampes, et, à partir d'une tension commune, on peut obtenir différentes tensions individuelles en appliquant deux méthodes.

Dans la première, on applique à chaque lampe une tension abaissée à partir de la tension de la lampe suivante ; dans la deuxième, on obtient la tension directement en intercalant, entre chaque plaque et le pôle positif de la source haute tension, une résistance individuelle de valeur convenable.

Les composantes alternatives des différents courants plaque développent dans les résistances des tensions pouvant réagir par l'intermédiaire des capacités des lampes sur les circuits de grille de celles-ci, ce qui détermine des oscillations parasites.

Pour éviter ces phénomènes, il faut encore dériver ces composantes alternatives au moyen de condensateurs de capacité suffisante, vers le pôle négatif de la source de tension plaque.

Ces condensateurs de découplage, quel que soit leur rôle, doivent être reliés, en principe, à un point de potentiel fixe, et l'on peut choisir, en théorie, le pôle positif ou le pôle négatif de la source de tension plaque, à l'aide d'un conducteur de résistance très faible, et, par conséquent, à forte section.

On choisit normalement le pôle négatif de la haute tension et le conducteur de faible résistance est constitué par la masse, c'est-à-dire par le châssis et le blindage du récepteur.

Cette méthode facilite, en même temps, la construction, en réduisant la longueur des connexions et les couplages parasites, la masse étant, d'autre part, reliée à la prise de terre.

Les appareils à modulation en fréquence. — L'avènement pratique de la radiodiffusion à modulation en fréquence, même sous une forme limitée, amènera à étudier la construction des appareils émetteurs et récepteurs correspondants. Nous allons donc donner quelques indications de principe sur ces montages particuliers.

On peut, en principe, obtenir la modulation de l'émission en fréquence en connectant directement aux bornes du circuit oscillant de l'étage oscillateur un microphone électrostatique ; les variations de capacité déterminées sous l'action des ondes sonores font alors varier la fréquence de l'oscillation porteuse de part et d'autre de la valeur limite, en période de silence. On obtient une énergie haute fréquence, qui est ensuite rayonnée dans l'antenne.

Un tel dispositif de principe simple ne peut être employé en pratique ; l'émission n'est pas stable, puisqu'il est impossible d'utiliser un oscillateur (stabilisé par quartz piézo-électrique), et on ne peut plus employer les appareils électro-acoustiques ordinaires, microphones, et pick-ups.

Les émetteurs utilisés en pratique sont donc beaucoup plus complexes, et comportent souvent de 50 à 75 lampes. Les courants téléphoniques produits par des microphones ou des pick-ups de types ordinaires font varier, après amplification, la phase de la tension haute fréquence provenant d'un petit oscillateur à 200 kilocycles stabilisé par quartz.

Des changements de fréquence, des multiplications, et des amplifications, permettent d'obtenir finalement une puissance de l'ordre de 40 à 50 kilowatts, avec une fréquence porteuse de l'ordre de 40.000 kilocycles et une caractéristique de modulation en fréquence très régulière entre 40 et 15.000 p/s ; l'énergie ainsi obtenue est rayonnée à l'aide d'une antenne à haut rendement assurant une bonne répartition de l'énergie dans le plan horizontal, et placée au sommet d'une tour métallique de plus de 100 mètres de hauteur.

La réception de ces émissions modulées en fréquence exige l'emploi de récepteurs particuliers, mais des adaptateurs peuvent être également conçus pour la transformation des appareils radiophoniques ordinaires.

Un récepteur de ce genre comporte des circuits d'accord et des étages d'amplification comparables à ceux des modèles normaux, en

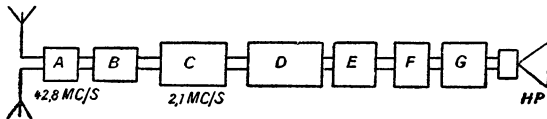


FIG. 123. — Différents organes d'un récepteur pour émissions modulées en fréquence.

A, antenne et appareil d'accord ; B, changeur de fréquence à ondes très courtes ; C, étages M. F. accordés sur 2,1 mégacycles, par exemple ; D, limiteur d'amplitudes ; E, discriminateur de fréquence ; G, amplificateur à fréquence musicale ; F, détecteur linéaire pouvant être confondu avec E.

tenant compte seulement que l'appareil est destiné à recevoir une bande de fréquences beaucoup plus large qu'un modèle courant.

Les organes spéciaux sont constitués essentiellement par un *limiteur d'amplitude*, et un *détecteur* particulier (fig. 123).

Le premier doit, comme son nom l'indique, maintenir constante l'amplitude du signal amplifié, quelles que soient l'origine et les caractéristiques de ce signal ; cet organe a ainsi pour effet d'éviter l'influence de tous les bruits parasites et des distorsions provenant de causes intérieures ou extérieures au récepteur lui-même.

Le détecteur est tout à fait différent du détecteur ordinairement utilisé : il doit bien encore permettre de faire apparaître la modulation, c'est-à-dire la composante basse fréquence utilisable pour la mise en action du haut-parleur, mais son action est très différente.

Le système doit être capable de produire des oscillations musicales, dont les fréquences sont proportionnelles au rapport de variation de

fréquence du signal reçu, et dont les amplitudes sont proportionnelles à la valeur de la variation de fréquence.

Il s'agit ainsi d'effectuer d'abord *une conversion de la variation de fréquence en variation d'amplitude*, puis une détection linéaire des tensions obtenues.

Dans la première opération, il faut donner à chaque composante de l'onde une amplitude inversement proportionnelle à sa fréquence, et on peut utiliser à cet effet la portion inclinée et rectiligne de la courbe de résonance d'un circuit accordé. L'onde obtenue, modulée en amplitude, est ensuite détectée par un procédé linéaire quelconque.

Un deuxième procédé, pratiquement plus souvent utilisé, consiste à employer un dispositif compensé, analogue à celui adopté pour la correction de fréquence dans les circuits d'accord des appareils récents à accord automatique.

Ces circuits à correction de fréquence font apparaître une tension dite de désaccord, utilisée pour actionner l'appareil déterminant l'accord exact des circuits.

Avec un système de ce genre, on peut obtenir une tension dont l'amplitude varie en fonction du déphasage, c'est-à-dire en fonction de l'écart des fréquences. Une onde modulée en fréquence et d'amplitude constante agissant sur un tel circuit, et soumise à une détection par lampe diode, permet d'obtenir finalement la composante basse fréquence de modulation. Une seule lampe combinée permet les deux opérations.

Un tel système n'est pratiquement pas très difficile à établir, et n'augmente pas sensiblement la complexité du récepteur ; d'ailleurs, il existe déjà aux États-Unis un assez grand nombre d'appareils de ce genre réalisés pratiquement ; ils ne comportent donc qu'une ou deux lampes supplémentaires.

Signalons encore qu'un récepteur de ce genre ne reçoit pas une émission de même fréquence, si l'intensité de l'une est au moins double de celle de l'autre, ce qui évite encore des interférences.

Il ne semble pas impossible, d'ailleurs, de réduire la bande de brouillage d'une émission à modulation en fréquence ; sans doute, en principe, diminue-t-on, par là même, la qualité musicale de la réception, et le pouvoir antiparasite dû au procédé lui-même, mais il ne semble pas impossible, non plus, de transmettre, à la fois, deux programmes simultanément sur une même bande, à condition d'utiliser un récepteur

particulier. Il paraît possible également d'établir un appareil pouvant recevoir une émission modulée en fréquence, ou une émission modulée en amplitude.

Différents montages ont déjà été proposés à cet effet ; là, réside peut-être un des perfectionnements pratiques possibles du procédé.

CHAPITRE XV

QUALITÉS DU RÉCEPTEUR RADIOPHONIQUE

Les perfectionnements du récepteur ont eu pour but d'améliorer la *qualité musicale* de l'audition, de permettre la réception d'un plus grand nombre d'émissions de faible puissance, ou à grande distance, avec un collecteur d'ondes donné, et quelle que soit la longueur d'onde de ces émissions, et, enfin, de rendre plus facile l'installation, l'entretien, et surtout le réglage.

Les qualités techniques du montage ne suffisent pas toujours, en effet, à l'usager ; il faut assurer à l'appareil une heureuse présentation, une durée de service longue et économique la plus régulière possible, et, surtout, la plus grande *simplicité de manœuvre*. La formule fameuse « une prise de courant à enfoncer et c'est tout » a beaucoup contribué au développement de la radiodiffusion ; elle s'applique essentiellement à l'installation du récepteur. Une autre formule, « un bouton à tourner et c'est tout », concernant la recherche des émissions, n'a pas moins servi à la multiplication des appareils d'usagers.

Nous avons étudié précédemment les principes des différents montages ; les récepteurs industriels, construits souvent en grande série, sont établis normalement suivant des principes analogues, et leur présentation diffère plus que leurs organes internes. Ils se distinguent surtout par les perfectionnements accessoires dont ils sont pourvus, et qui constituent souvent finalement le facteur essentiel de leur attrait pour l'usager.

Avant d'étudier ces perfectionnements, il convient de préciser comment se définissent *les qualités des récepteurs*.

Sensibilité. — On dit qu'un poste est *sensible*, quand il permet de recevoir des émissions provenant de stations émettrices lointaines, et peu puissantes. Un récepteur est donc plus sensible qu'un autre, s'il

permet, dans les mêmes conditions locales, de recevoir un plus grand nombre d'émissions provenant d'émetteurs plus lointains ou plus faibles.

La *sensibilité* d'un récepteur indique donc son aptitude à recevoir les stations éloignées ; mais, cette étude doit être évidemment effectuée dans des conditions d'emploi normal, c'est-à-dire, avec une antenne analogue à celle qui sera employée dans l'installation définitive.

Au point de vue technique, la sensibilité se mesure par la valeur du signal le plus faible permettant une audition convenable, et on la détermine en mesurant la tension alternative haute fréquence nécessaire pour obtenir dans le circuit de lampe finale une puissance de sortie, dite *normale*, de 50 milliwatts. Cette tension d'entrée haute fréquence est exprimée en microvolts ; dire qu'un appareil possède une sensibilité de 50 microvolts, par exemple, cela signifie qu'il faut produire entre les bornes Antenne-Terre une tension alternative de cette valeur, pour obtenir une puissance de sortie normale. Plus le nombre de microvolts est petit, plus le récepteur est sensible.

Il n'est même pas désirable d'augmenter la sensibilité au delà d'une certaine limite. Il est bien possible de multiplier les étages amplificateurs, ou d'employer des étages de pouvoir amplificateur de plus en plus grand ; mais, nous avons montré qu'il y avait une limite, par suite des conditions actuelles de l'amplification par lampe.

C'est surtout, le niveau des perturbations parasites et atmosphériques qui impose une limite à la sensibilité, puisqu'on amplifie, à la fois, les signaux utiles et une partie des oscillations parasites.

Le *niveau relatif* des signaux radiophoniques recueillis et des perturbations est surtout essentiel ; il ne s'agit pas seulement de recevoir beaucoup d'émissions, mais surtout d'obtenir *une audition de qualité*. Dans bien des cas, cette qualité est moins satisfaisante avec un appareil à très haute sensibilité, qu'avec un récepteur à sensibilité moyenne ; de là, en particulier, la nécessité d'adopter un dispositif efficace et progressif de réglage de la sensibilité haute fréquence. Il est préférable d'agir à la fois sur tous les étages haute fréquence, plutôt que sur le premier.

Il va sans dire, d'ailleurs, que la construction d'un récepteur très sensible n'exige pas seulement l'étude des étages haute fréquence, mais aussi du détecteur, qui ne doit pas être *saturé*, quelle que soit la tension appliquée, et des étages basse fréquence, sur lesquels agissent des tensions redressées plus importantes.

En pratique, l'auditeur juge superficiellement la sensibilité d'un récepteur d'après le nombre des émissions qu'il peut recevoir en haut-parleur. Cette étude suffit au point de vue pratique, bien, qu'en réalité, les résultats obtenus dépendent alors du collecteur d'ondes employé, de la situation de l'installation, et des caractéristiques des émissions recherchées.

En principe, un bon appareil moderne à changement de fréquence à sept ou huit lampes permet de recevoir 60 à 70 stations différentes, un récepteur moyen de qualité de 40 à 50 émissions, un poste à trois ou quatre lampes, 20 à 25, un poste à trois lampes et une valve, 10 à 15, et les modèles les plus simples, même sans étages haute fréquence, doivent permettre la réception, tout au moins, des émissions locales.

Sélectivité. — La sensibilité d'un récepteur n'est une qualité efficace que si elle permet de recevoir *distinctement* chacune des émissions désirées. Un récepteur est *sélectif*, s'il permet d'entendre utilement la radio-concert désiré, sans risque de brouillage par les autres émissions de longueurs d'onde voisines. La sélectivité d'un récepteur se caractérise ainsi par la facilité avec laquelle il peut éliminer une émission, pour passer à l'écoute d'une autre.

Le nombre et la puissance des postes émetteurs augmentent constamment, la sélectivité est donc une qualité de plus en plus indispensable, mais les problèmes de la sélection ne se posent pas toujours dans les mêmes conditions. Il faut considérer, en effet, non seulement les longueurs d'onde, ou plutôt les fréquences des différentes émissions, mais aussi *leur intensité relative*, à l'endroit de l'installation.

Le grand nombre des stations d'émission a obligé à resserrer de plus en plus les échelles des longueurs d'onde, tout en réservant à chaque émission, comme nous l'avons montré, la bande de brouillage indispensable correspondant à une largeur de l'ordre de 9 kilocycles. Les stations voisines dans l'échelle des longueurs d'onde sont, bien souvent, à la limite extrême du rapprochement maximum sans distorsion mutuelle.

Un récepteur à sélectivité parfaite doit, cependant, pouvoir séparer nettement les émissions de deux stations de longueurs d'onde les plus voisines. Mais, si l'on se trouve dans une région où fonctionnent des émetteurs locaux, il est plus facile d'entendre la station locale que la station éloignée de longueur d'onde voisine. Pour pouvoir déterminer

la sélectivité d'un poste, on doit donc observer la gêne apportée par l'émission de la station locale, en accordant l'appareil sur une émission lointaine.

L'étude technique consiste à établir la *courbe de résonance* du récepteur pour la fréquence correspondant à l'émission que l'on veut entendre. On fait agir sur l'appareil un signal haute fréquence correspondant à la fréquence porteuse de l'émission, puis on fait varier cette fréquence de part et d'autre de la fréquence porteuse, et on mesure la variation des tensions obtenues à la sortie. La courbe plus ou moins aiguë indique la résonance ; elle s'étend sur une bande de fréquences plus ou moins large ; on dit ainsi, par exemple, que la sélectivité est de 6, de 8, ou de 9 kilocycles.

En pratique, on détermine la sélectivité suivant la séparation obtenue entre les émissions dans une ville où se trouve des émetteurs locaux.

Au minimum, un bon récepteur doit permettre une séparation nette des émissions locales les unes des autres. Un poste moyen doit assurer une séparation de l'ordre d'une dizaine de kilocycles, et un poste de qualité, la séparation précise, non seulement sur les petites ondes, mais sur les grandes ondes ; un poste très sélectif n'est cependant pas un appareil très musical ; nous précisons plus loin cette relation.

Puissance. — On dit qu'un poste est *puissant* lorsque les auditions obtenues peuvent être perçues avec une grande intensité sonore ; un poste est donc plus puissant qu'un autre, s'il permet d'obtenir une audition d'intensité plus grande d'une même émission. La puissance est ainsi l'intensité maxima avec laquelle le poste peut faire entendre une émission, et *cette qualité est tout à fait distincte de la sensibilité*. Un poste sensible peut être puissant, mais, inversement, un poste puissant peut être très peu sensible. Avec un poste puissant, mais peu sensible, on entendra seulement quelques émissions avec une forte intensité sonore ; avec un poste sensible, mais peu puissant, on peut entendre un grand nombre d'émissions, mais avec une intensité sonore plus réduite.

La puissance d'un récepteur n'est pas toujours une qualité nécessaire ; si l'on veut obtenir une audition musicale, l'intensité est limitée par les dimensions et les caractéristiques de la pièce où a lieu l'audition. Dans un appartement normal, il est tout à fait inutile d'adopter un récepteur très puissant, seulement intéressant dans un magasin ou

en plein air. Une reproduction trop intense détermine des déformations, modifie la tonalité sonore, supprime toute finesse musicale. *La puissance est donc également en rapport étroit avec la musicalité.*

Fidélité et musicalité. — La musicalité est une qualité primordiale d'un récepteur, et, en principe, pour qu'un poste radiophonique puisse être considéré comme un véritable appareil de musique mécanique, il faudrait qu'il puisse reproduire fidèlement toutes les fréquences, de 50 à 10.000 p/s. En réalité, la gamme des fréquences radiophoniques ne s'étend guère au delà de 4.500 p/s ; encore faut-il que cette bande de fréquences déjà restreinte ne soit pas mutilée, comme il arrive souvent, soit par la partie haute fréquence trop sélective, soit par les étages basse fréquence qui déforment en amplitude ou en fréquence, soit, enfin, par le haut-parleur lui-même, et la façon dont il est adapté.

On peut étudier avec un oscillateur à fréquence musicale modulé les qualités musicales d'un récepteur ; l'auditeur se contente, le plus souvent, de vérifier la qualité de réception, d'après les résultats obtenus à l'oreille pour des émissions de natures assez diverses, et, par conséquent, composées de fréquences différentes.

La parole doit être bien articulée, et les sons sifflants, comme S, Z, et Ch, correspondant à des fréquences élevées, doivent être nettement reproduits. La tonalité du piano, instrument de musique dont les sons sont particulièrement délicats à reproduire, doit être naturelle, et ne doit ressembler ni à celle d'un clavecin, ni à celle d'un xylophone.

La musique d'orchestre doit avoir une tonalité profonde, permettre la perception séparée des instruments accompagnant le chant ; les coups de contre-basse et de grosse caisse doivent être nettement perçus. On doit enfin discerner les bruits, et, en particulier, les applaudissements, non comme un roulement sourd ou un bruissement, mais sous forme de claquements séparés.

La haute fidélité. — Les appareils les plus récents assurant une qualité très satisfaisante de l'audition sont dits à *haute fidélité*. Cette appellation ne correspond pas à des données techniques précises, mais plutôt à des indications commerciales et industrielles ; elle signifie simplement que l'appareil est conçu de manière à assurer une qualité musicale maximum.

La limitation nécessaire de la bande des fréquences musicales transmises en radiophonie, dans le procédé à modulation en amplitude,

vers 4.500 p/s, ne permet pas d'envisager, en effet, une qualité musicale comparable à celle d'autres appareils de musique mécanique, en particulier d'appareils de cinématographie sonore, ou même de phonographie électrique. La recherche de la musicalité n'a été réalisée techniquement en radiophonie, que grâce à des améliorations constantes et diverses.

La qualité de l'audition dépend du montage haute fréquence, ou plutôt moyenne fréquence, du système détecteur, des étages d'amplification basse fréquence, du haut-parleur, de son dispositif de liaison, et, enfin, de la forme et des caractéristiques de l'ébénisterie dont le rôle acoustique n'est pas négligeable.

Des dispositifs de détection réalisés grâce à l'emploi de lampes multiples permettent de réduire le nombre des étages basse fréquence, et d'établir des systèmes anti-fading efficaces. Ils suppriment les distorsions constatées autrefois pour la réception des émissions puissantes avec des appareils sensibles. L'emploi des indicateurs de réglage visuel permet à l'auditeur d'obtenir un accord exact avec une grande précision.

Il est évident, d'ailleurs, qu'il serait parfaitement inutile d'établir des montages perfectionnés, si le haut-parleur n'était pas disposé de manière à permettre la reproduction de la gamme totale envisagée ; d'où, la nécessité d'étudier les caractéristiques des éléments en fonction les uns des autres.

Dans le même ordre d'idées, les systèmes de réglage de l'intensité et de la tonalité sonores doivent être particulièrement perfectionnés, et nous donnerons plus loin quelques détails à ce sujet. Tous ces dispositifs sont d'ordre électro-acoustique, alors que les montages de sélectivité variable, dont l'intérêt au point de vue musical n'est pas moins essentiel, sont d'ordre plutôt radioélectrique.

Sélectivité variable. — De part et d'autre de la fréquence porteuse radiophonique, s'étendent, comme nous l'avons montré, deux *bandes de brouillage*, sur une gamme de 4 à 5 kilocycles au minimum ; si deux émissions radiophoniques ont une fréquence porteuse qui ne diffère pas de 9 à 10 kilocycles, il est impossible de les séparer. Il a donc fallu réserver à chaque station une bande de brouillage de 9 kilocycles en Europe, et de 10 kilocycles aux Etats-Unis.

La question de la sélectivité est plus essentielle quand l'émission à éliminer a une intensité au moins de même ordre que l'émission à recevoir, et une fréquence porteuse très voisine. En étudiant les circuits de liaison, de manière à réduire la largeur de la bande musicale passante

à 6 ou 7 kilocycles, on augmente la sélectivité, et on supprime les sons aigus perturbateurs, mais, en même temps, le naturel de l'audition dû aux notes élevées.

La courbe de résonance idéale d'un récepteur serait une courbe rectangulaire correspondant à la bande totale des fréquences musicales. En pratique, on n'obtient jamais cette courbe ; il se produit une zone de transition, dans laquelle les signaux sont reçus avec une intensité progressivement décroissante, en même temps que leur fréquence.

La courbe de sélectivité idéale, correspondant au passage de toute la bande des fréquences musicales nécessaires, serait une courbe rectangulaire, dont le petit côté correspondrait à une largeur de 9 kilocycles

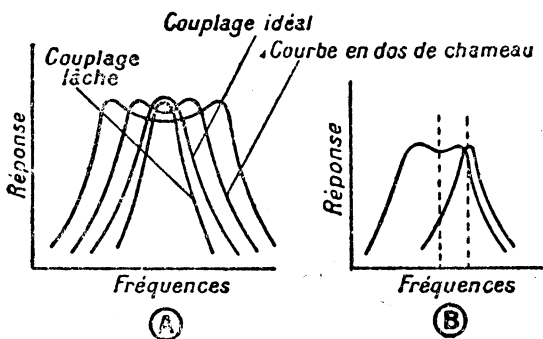


FIG. 124. — Variation de la courbe de résonance d'un système à deux circuits couplés par induction.

au minimum, dans les conditions actuelles de l'émission radiophonique. En pratique, jamais un dispositif industriel ne permet d'obtenir cette courbe idéale, et, de part et d'autre d'une zone maximum, se trouvent toujours des zones de transition, dans lesquelles les signaux sont reçus avec une intensité décroissante. On s'efforce de réduire cette zone au minimum.

Les systèmes de liaison moyenne fréquence habituels sont constitués par des circuits oscillants accordés, couplés normalement par induction. Les dispositifs d'accord et présélecteurs sont constitués également par des circuits accordés, couplés par induction ou par capacité.

Quand on fait varier les couplages entre les circuits, on obtient d'abord pour un couplage très lâche une courbe de résonance très pointue ; puis, à mesure que le couplage augmente, le sommet de la courbe

s'aplatit, et, peu à peu, on voit apparaître une courbe à deux bosses dite « en dos de chameau » déjà signalée. La distance séparant les deux bosses croît avec le couplage, et on a intérêt à ne pas augmenter la profondeur du creux de la courbe par rapport à la courbe idéale (fig. 124).

Une sélectivité très accentuée n'est pas toujours nécessaire. Quand il s'agit de recevoir des émissions puissantes locales, en particulier, il n'y a généralement aucun risque de perturbation par une émission de fréquence voisine, car les différences d'intensité sont très grandes. Il n'y a alors aucun inconvénient à recevoir intégralement toute la bande des fréquences musicales transmise par l'émetteur, et on peut utiliser complètement la qualité musicale du poste ; c'est là, une raison supplémentaire pour conseiller, le plus possible, l'audition des émissions locales.

La solution idéale consiste, en théorie, à utiliser *deux récepteurs*, un appareil peu sélectif pour la réception des émissions locales, et un récepteur sélectif pour la réception des émissions faibles ou lointaines. Cette solution est évidemment impraticable, et il vient à l'idée d'employer des systèmes permettant de faire *varier la sélectivité*, c'est-à-dire de réaliser des *récepteurs à sélectivité variable*.

En réalité, l'idée initiale est très ancienne, et des moyens rudimentaires avaient déjà été proposés pour modifier la sélectivité, en utilisant différents dispositifs de liaison ou d'accord sur un même appareil.

Les appareils à sélectivité variable. — Sur la plupart des appareils à sélectivité variable, le réglage peut être obtenu par l'opérateur lui-même, suivant les conditions de réception. On a également établi des montages à fonctionnement automatique, analogues, en quelque sorte, aux systèmes anti-fading.

L'intensité de l'émission doit alors faire varier la sélectivité. Plus l'intensité est grande, plus la sélectivité diminue, ce qui correspond au cas des émissions locales et puissantes, et inversement.

Le principe est séduisant. La réalisation est plus ou moins complexe, et, d'ailleurs, quand deux émissions puissantes viennent agir sur un récepteur automatique, la sélectivité diminue automatiquement, ce qui rend difficile l'élimination du brouillage. La variation de sélectivité détermine, d'ailleurs, une modification de la tonalité, puisque la coupure de la bande des fréquences agit sur les notes aiguës. Il y a donc intérêt à obtenir un réglage indépendant.

En pratique, les appareils d'accord sont rarement à sélectivité variable, et on modifie seulement un seul transformateur moyenne fréquence. Il faut prendre garde que cette modification soit symétrique.

Le moyen le plus simple consiste à faire varier le couplage des bobinages, mais il est peu recommandable pour une fréquence de 472 kilocycles. On peut également adopter un petit condensateur variable additionnel sur le primaire, et un deuxième sur le secondaire, mais la

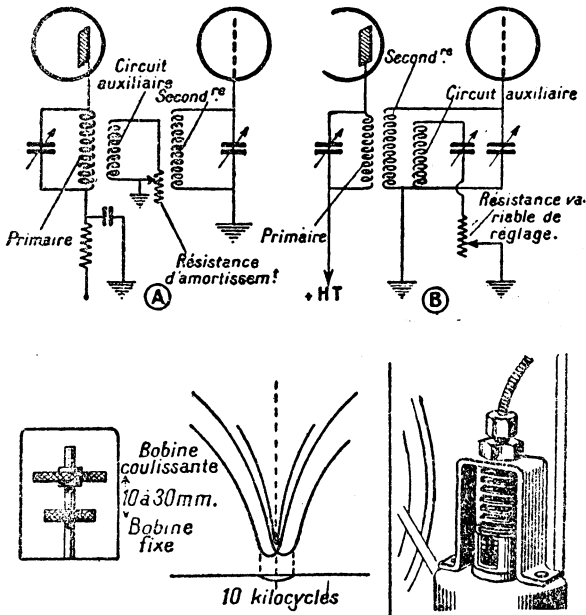


FIG. 125. — Transformateurs moyenne fréquence à couplage variable, et à circuit d'absorption. Effet obtenu.

méthode est délicate (fig. 125).

On préfère plutôt adopter des dispositifs amortisseurs, constitués par des résistances variables en série, et de faible valeur, ou de plus forte valeur en parallèle. On réalise encore des transformateurs à trois bobines ; la bobine auxiliaire permet la variation de la sélectivité et, joue en quelque sorte, le rôle d'écran ou de circuit d'absorption. On peut ainsi porter la bande passante jusqu'à 12 kilocycles.

Si l'on veut enfin recourir à un dispositif extrêmement simple, et très ancien, en réalité, on peut mettre en circuit à volonté, le système

de liaison habituel à résonance, ou un dispositif de liaison très amorti pour la réception des émissions locales. Tous ces dispositifs n'ont évidemment de valeur que s'ils sont montés sur un poste dont tous les organes sont parfaitement étudiés, et permettent donc d'assurer la qualité de l'audition, à laquelle concourt le dispositif de sélectivité variable.

Principe du réglage unique. — En dehors des perfectionnements du récepteur consacrés à l'amélioration musicale de la réception, un certain nombre d'entre eux concernent *la facilité et la précision du réglage*. Les dispositifs employés concourent, d'ailleurs, à augmenter également la qualité musicale, car ces défauts de réglage déterminent des déformations, en mutilant une partie de la bande des fréquences musicales passantes.

Les premiers appareils de T.S.F. comportaient des condensateurs variables séparés, permettant l'accord distinct des différents circuits d'accord d'antenne, d'amplification haute fréquence, et, s'il y avait lieu, de changement de fréquence. A l'heure actuelle, la recherche des émissions est effectuée normalement, même dans les appareils sensibles à multiples circuits, par un seul bouton de commande dit *unique*, qui agit, à la fois, sur les plaques mobiles d'une série de condensateurs variables, dont chacun est intercalé dans un circuit différent. Les arbres des « rotors » sont rendus solidaires, et généralement placés les uns à la suite des autres ; ils sont réunis par des manchons ou des flecteurs élastiques.

L'arbre commun entraîne l'aiguille qui se déplace devant les graduations du cadran de recherches des émissions portant généralement directement les noms des stations. Il suffit donc, en principe, d'actionner le bouton de réglage unique, et de placer l'extrémité de l'aiguille en face du poste dont on veut entendre l'émission.

En réalité, sur la plupart des appareils, cette manœuvre essentielle n'est pas la seule à effectuer. Un combinateur permet de mettre en circuit les bobinages correspondants à la gamme des longueurs d'onde dans laquelle se trouve l'émission désirée, et des boutons indépendants permettent de faire varier l'intensité, la tonalité sonore, et même la sélectivité, s'il y a lieu.

L'apparition de ces dispositifs, dits à *réglage unique*, a permis de diffuser largement l'emploi des récepteurs de radiodiffusion, et a constitué un grand progrès. La réalisation des montages correspondants a, d'ail-

leurs, été rendue plus difficile, à mesure que les appareils de réception devenaient plus perfectionnés et plus sélectifs.

Les premiers récepteurs à liaison aperiodique ne comportaient qu'un condensateur variable d'accord ; puis, on a employé des montages à résonance. L'application du réglage unique à ces montages a été possible dès l'apparition des lampes à écran permettant de séparer nettement les circuits, et d'éviter les coupages parasites, qui produisaient des actions mutuelles ayant une action sur l'accord.

On a employé, tout d'abord, des dispositifs de liaison identiques, avec des bobinages semblables rigoureusement étalonnés, et des condensateurs accouplés, produisant des variations régulières identiques. Des petits condensateurs ajustables en parallèle permettaient de compenser, une fois pour toutes, les petites différences provenant des lampes ou des capacités parasites des conducteurs. Enfin, les lames mobiles des condensateurs étaient fendues radialement, et, à l'aide de légères torsions, on pouvait compenser, s'il y avait lieu, les irrégularités constatées au cours du contrôle de l'appareil.

Le réglage unique des appareils à changement de fréquence.

— Le problème s'est posé ensuite, et d'une manière très pressante, pour la construction des appareils à changement de fréquence, dans lesquels il faut considérer les condensateurs d'accord, d'oscillation locale, et même, parfois, d'amplification haute fréquence, précédant le changement de fréquence. Un bouton de commande unique permet la recherche des émissions, en accordant simultanément les circuits d'accord, d'amplification, et de changement de fréquence, et en entraînant, en même temps, l'aiguille de repère. Ce procédé exige un alignement exact des circuits obtenu en agissant sur les caractéristiques des condensateurs des circuits, les valeurs des bobinages restant fixes. Les deux courbes caractéristiques des circuits d'accord et d'oscillation indiquant la variation de la fréquence en fonction de la capacité doivent, en principe, être identiques et se déduire l'une de l'autre par une translation.

En réalité, les circuits d'accord et d'oscillation sont constitués normalement par des condensateurs identiques d'une capacité de l'ordre de 0,5/1.000 de microfarad et par des bobinages de caractéristiques légèrement différentes. La différence entre l'oscillation locale et l'oscillation incidente qui doit déterminer la moyenne fréquence, est plus grande pour les fréquences les plus élevées et diminue pour les fréquences les plus basses de la bande considérée. Elle ne reste pas cons-

tante, et, en théorie, la correspondance n'est réalisée avec la différence exacte correspondant à la moyenne fréquence choisie, qu'en deux points de fonctionnement M et N des courbes (fig. 126).

Différents procédés ont été proposés pour corriger ce résultat, et obtenir, tout au moins, une identité pratique des deux courbes. On peut d'abord, déterminer exactement la forme des plaques des condensateurs variables, de manière à obtenir une correspondance complète des réglages en chaque point des différents circuits. Ce procédé dit du *tracking*

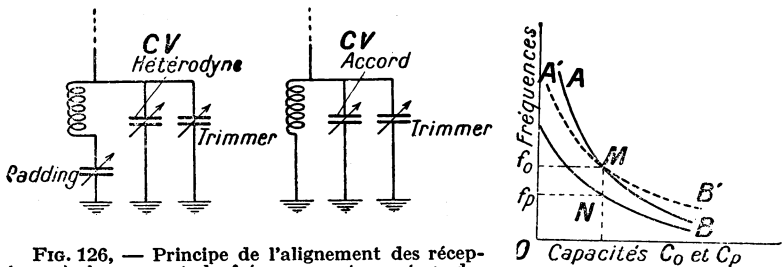


FIG. 126. — Principe de l'alignement des récepteurs à changement de fréquence, et montage des condensateurs paddings et trimmers.

a été employé au début de l'emploi des appareils à réglage unique, et réalisé, comme nous l'avons signalé plus haut, en pratiquant des fentes sur les plaques mobiles des condensateurs ; il a été abandonné.

Au lieu d'employer des condensateurs de lois de variation différente, et, par suite, de forme compensée, on préfère introduire dans les circuits des *organes de correction* constitués par des capacités auxiliaires.

L'*alignement* d'un récepteur consiste à amener les deux courbes de la fréquence porteuse de l'émission radiophonique et de la fréquence locale à coïncider. En théorie, on pourrait modifier aussi bien le circuit d'accord que le circuit oscillant, mais, en pratique, on agit plutôt sur le circuit de l'oscillateur local.

Emploi de capacités d'alignement. — Pour obtenir la déformation nécessaire de la courbe de ce circuit, on utilise deux capacités auxiliaires ajustables, de très petite valeur ; l'une d'elles le *padding* est en série et l'autre le *trimmer* est disposé en parallèle (fig. 126 B).

Les paddings ont une capacité de 1/1000 à 2/1.000 de microfarad et sont souvent fixes, les trimmers, au contraire, sont plutôt ajustables, et ont une capacité très faible de l'ordre de 10 à 60 micromicrofarads.

Le padding, monté en série avec le condensateur variable, diminue l'étendue de la variation de capacité de ce dernier ; son action est d'autant moins marquée que la différence des capacités est plus grande. Cette action est donc d'autant plus sensible que la capacité du condensateur variable augmente, et que les longueurs d'onde progressent.

Le trimmer étant monté en parallèle, sa capacité s'ajoute à celle du condensateur variable. La capacité résiduelle est augmentée ; l'action se fait surtout sentir *au début* de la variation des capacités.

Pour les faibles valeurs de la capacité d'accord, le trimmer diminue la fréquence, et pour les fortes valeurs de la capacité d'accord, le padding augmente la fréquence. De la même manière, on place un trimmer en dérivation sur le condensateur d'accord d'antenne.

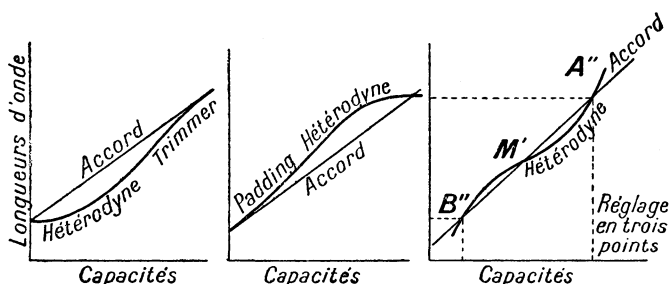


FIG. 127. — Action du trimmer et du padding sur la courbe d'accord de l'hétérodyne.

Le padding et le trimmer ont ainsi des actions différentes sur la variation des capacités du condensateur variable, mais leur effet combiné ne peut pourtant produire complètement la courbe idéale désirée, et seulement une courbe possédant avec la courbe idéale cherchée trois points communs (fig. 127).

L'opération d'alignement est effectuée exactement pour ces trois points, correspondant à peu près aux deux extrémités de la bande des fréquences, et à un point milieu. L'expérience prouve que cette approximation est suffisante, et, pour les ondes courtes, on effectue l'alignement sur deux points seulement.

Le raisonnement précédent suppose que les circuits sont isolés, alors qu'en fait ils sont reliés à une lampe amplificatrice, ou à une antenne, ce qui entraîne des variations. Une étude des valeurs des bobinages suffit cependant pour obtenir un résultat pratique satisfaisant.

Contrôle visuel de réglage. — Le réglage unique permet d'effectuer aisément la recherche des émissions, mais il est indispensable que *la précision de l'accord* soit absolue, surtout sur les appareils sélectifs, pour obtenir l'élimination des brouillages, et éviter une déformation musicale, par mutilation d'une partie de la bande des fréquences transmises.

Les inconvénients d'un réglage peu précis sont encore plus à craindre avec un appareil muni d'un régulateur anti-fading. D'après le principe même du dispositif régulateur, ce dernier tend, en effet, à maintenir un niveau moyen d'intensité sonore variant très peu de part et d'autre de l'accord exact ; il peut en résulter une amplification asymétrique de la bande des fréquences.

Au lieu d'obtenir le réglage uniquement d'après les indications sonores, on peut employer un dispositif *indicateur visuel*, constituant un indicateur de résonance optique, et avertissant l'opérateur du moment exact où l'accord précis est obtenu.

Cet appareil permet, en outre, de régler, à l'avance, le récepteur sur une émission déterminée, dont on connaît approximativement la longueur d'onde ou la fréquence. Il est particulièrement apprécié du profane, auquel il assure un réglage exact et précis sans aucune difficulté.

Le principe du fonctionnement de ces appareils est très simple. Dans le circuit de sortie de la lampe détectrice, on recueille une partie de la composante continue du courant complexe détecté, et nous avons déjà vu que ce courant était utilisé pour obtenir l'effet anti-fading ; il varie suivant l'amplitude des signaux appliqués. Ce courant détecté est maximum, au moment où le récepteur est accordé exactement sur une émission, et il varie suivant la tension haute fréquence appliquée sur le circuit d'entrée de la détectrice. Ce sont ces variations du courant plaque qui déterminent le fonctionnement de l'indicateur visuel.

De la manière la plus simple, il est ainsi possible, en principe, d'intercaler simplement un milliampèremètre dans le circuit de plaque d'une lampe détectrice, triode ou pentode ou, plus généralement, dans celui d'une lampe amplificatrice généralement pentode haute fréquence ou moyenne fréquence, sur laquelle est appliquée la tension de régulation, lorsque la détection est obtenue par une lampe diode.

Lorsque la tension détectée est maximum, le courant plaque de la détectrice triode est minimum, et le courant plaque moyen de l'amplificatrice sur laquelle agit la tension anti-fading est lui-même minimum.

Dans les premiers dispositifs d'indication visuelle, on employait des appareils électro-mécaniques, dérivés du milliampèremètre ; puis, on a utilisé des tubes au néon à luminescence, dont la longueur de la colonne lumineuse était variable. Actuellement, on emploie exclusivement des *indicateurs visuels cathodiques*, connus dans le commerce sous le nom « *d'œil magique* » ou « *trèfle cathodique* », en raison de leur construction faisant apparaître au moment du fonctionnement, sur un écran fluores-

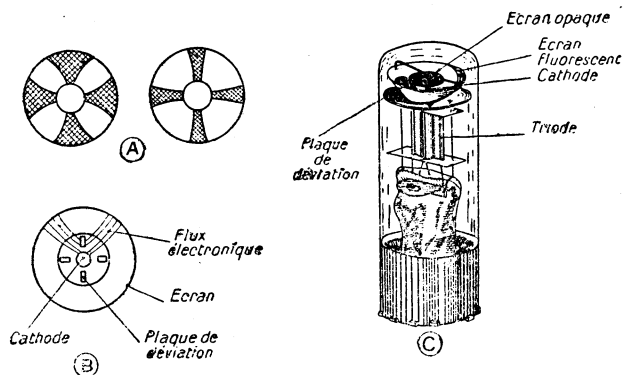


FIG. 128. — Indicateur visuel cathodique (trèfle cathodique).
A, écran vu de devant avec ou sans accord ; B, disposition des électrodes vu par dessus ; C, aspect général du tube.

cent de couleur verdâtre, des secteurs ombrés plus foncés de surface plus ou moins étendue, donnant l'apparence d'un œil avec sa pupille, ou des branches d'un trèfle à quatre feuilles (fig. 128).

Le fonctionnement de ces appareils est basé, comme celui de l'oscillographe cathodique, par la déviation d'un flux électronique sous l'action d'un champ électrique. Le tube comporte toujours une cathode, une grille, un écran, une anode, une seule électrode de déviation dans le cas de l'œil magique, et quatre plaques de déviation pour le trèfle cathodique. On peut considérer un tel système comme une association d'une lampe triode avec un dispositif cathodique.

La partie triode comporte la cathode, la grille, et une plaque. La partie cathodique est formée par un écran fluorescent constituant une anode, et par des plaques de déviation reliées à l'anode de la triode. Ces plaques déterminent une concentration et une déviation du flux cathodique, d'autant plus grandes que le potentiel auquel elles sont portées est plus élevé.

Plus la grille du système est négative par rapport à la cathode reliée à la masse, plus le courant plaque est faible, plus la tension appliquée sur les plaques de déviation est élevée, et plus les zones lumineuses de l'indicateur sont larges. L'ombre portée et les secteurs sombres sont réduits au minimum.

La forme de l'image observé varie suivant les types, mais le montage reste toujours analogue ; il est indiqué sur la figure 129. La tension régulatrice du dispositif anti-fading est appliquée sur la grille du système ; plus cette tension

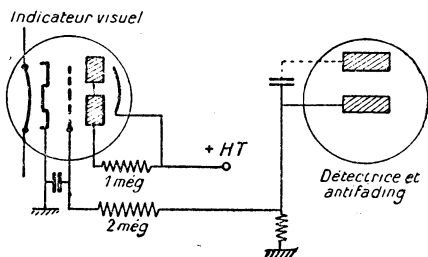


FIG. 129. — Principe de montage d'un indicateur visuel cathodique.

est négative, plus le courant anodique est réduit, et plus la chute de tension produite dans une résistance reliant la plaque à la haute tension est faible. La tension des plaques de déviation se rapproche ainsi de celle de l'écran fluorescent. A mesure que la tension régulatrice

devient moins négative, c'est-à-dire que l'on s'écarte de l'accord, la chute de tension augmente, le potentiel appliqué sur les plaques est plus élevé, les parties ombrées ont une surface plus grande.

Ces indicateurs doivent avoir une assez grande sensibilité, pour fonctionner même au moment de la réception des émissions faibles. Ils ne doivent pas non plus être saturés par une émission puissante, ce qui produirait des empiètements de secteurs lumineux les uns sur les autres. Pour éviter ces inconvénients possibles, on a réalisé des modèles plus complexes à double sensibilité, fonctionnant avec une plus grande sensibilité pour la réception des signaux faibles et avec une sensibilité atténuée pour la réception des signaux puissants. Il existe également des modèles, constitués, en quelque sorte, par l'association d'un indicateur visuel et d'une lampe amplificatrice.

La contre-réaction basse fréquence. — La qualité musicale de l'audition est essentielle dans les récepteurs modernes. Aussi, tous les perfectionnements qui peuvent permettre d'assurer ou d'améliorer cette qualité ont-ils été particulièrement étudiés. Nous avons déjà signalé les progrès des systèmes de liaison basse fréquence, l'emploi des lampes

de puissance de différents types, l'amélioration des haut-parleurs et enfin, les différents systèmes de contrôle de la tonalité sonore.

Lorsque la puissance de sortie devient relativement élevée et de l'ordre de plusieurs watts modulés, il devient cependant difficile d'éviter les distorsions. Nous avons déjà noté que l'on pouvait distinguer deux déformations essentielles : la distorsion en fréquence et la distorsion en amplitude.

La première se manifeste par une déformation du timbre, c'est-à-dire un affaiblissement ou une amplification d'une bande de fréquences particulière. On l'attribue au défaut des organes de liaison intermédiaires entre l'entrée et la sortie de l'amplificateur.

La distorsion en amplitude se manifeste par des déformations de la courbe d'oscillation amplifiée et l'apparition de fréquences harmoniques n'existant pas dans les oscillations primitives. On l'attribue aux lampes elles-mêmes et on tolère en pratique une distorsion de ce genre de l'ordre de 5 pour cent à 10 pour cent pour l'harmonique 2, et de 3 à 5 pour cent pour l'harmonique 3.

La contre-réaction basse fréquence est un procédé consistant à utiliser une partie des courants amplifiés, généralement recueillis à la sortie de la lampe reliée au haut-parleur, pour produire un effet correcteur s'opposant à la distorsion et plus spécialement à la distorsion de fréquence.

Ce procédé s'applique particulièrement bien à l'emploi d'une lampe pentode de puissance. La plupart du temps, lorsqu'on applique sur la grille de cette lampe une oscillation sinusoïdale, on recueille dans le circuit de sortie une oscillation complexe résultant de la combinaison de l'oscillation primitive avec des harmoniques parasites et, en particulier, l'harmonique 3.

Si l'on applique en même temps sur la grille de cette lampe une partie de la tension recueillie à la sortie et dans un sens convenable, on diminue la déformation dans une grande proportion ; mais il se produit en même temps non plus une augmentation de l'amplification, comme dans le cas de la réaction en haute fréquence, ou réaction positive, étudiée précédemment, mais une diminution.

La distorsion diminue cependant plus vite que l'amplification. A puissance modulée égale, la distorsion est plus faible avec contre-réaction. Toutes les fois qu'on peut disposer dans un amplificateur basse fréquence d'une tension d'attaque suffisante et d'une puissance

modulée assez élevée, la contre-réaction présente un intérêt certain et ce montage est désormais utilisé dans la majorité des récepteurs de qualité.

Il y a différentes catégories de montages de contre-réaction, et on peut appliquer la fraction du courant de sortie recueillie à n'importe quelle lampe fonctionnant en classe A, en push-pull ou en classe AB.

Nous n'insisterons pas ici sur les différents détails de montage et nous indiquerons seulement un dispositif de contre-réaction dit *total* dans lequel la tension destinée à réaliser l'effet de contre-réaction est recueillie aux bornes de la bobine mobile du haut-parleur et reportée sur

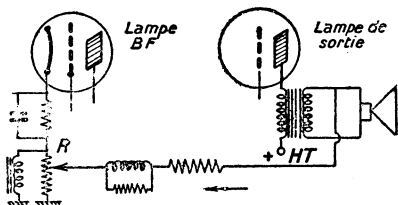


FIG. 130. Exemple de montage de contre-réaction basse fréquence totale.

une résistance R montée en série avec la résistance cathodique de la première lampe amplificatrice basse fréquence (fig. 130).

On intercale en série une résistance dite de sûreté, de quelques centaines d'ohms qui a pour but d'éviter le court-circuit de la bobine

mobile. Le taux de contre-réaction, c'est-à-dire l'effet produit grâce à une énergie reportée plus ou moins grande, est réglé par la valeur de la résistance du circuit de la cathode.

L'effet produit sur les notes graves et les aiguës peut également être dosé en disposant un bobinage sans fer en série dans le circuit, et une bobine à noyau de fer en shunt sur la résistance de cathode.

L'impédance de la bobine sans fer croît avec la fréquence ; elle laisse ainsi difficilement passage aux notes aiguës et atténue l'effet de contre-réaction sur ces fréquences ; l'amplification correspondante est alors au maximum. Au contraire, la bobine disposée en shunt sur la résistance cathodique permet d'augmenter l'amplification des notes graves.

La contre-réaction permet ainsi d'éviter des déformations en grande partie, et de modifier la tonalité sonore. Il est, d'ailleurs, possible d'établir des montages réglables, de sorte qu'il devient inutile d'utiliser un dispositif de contrôle de la tonalité séparée.

CHAPITRE XVI

LES DISPOSITIFS AUTOMATIQUES DANS LE RÉCEPTEUR

Les opérations d'installation, d'entretien, et de réglage des récepteurs de T.S.F. sont devenues de plus en plus faciles, au fur et à mesure des perfectionnements des appareils ; l'usager peut désormais être absolument dépourvu de toute connaissance technique ou pratique particulière.

On a même pu aller plus loin, et adapter sur la plupart des montages des dispositifs additionnels, mais dont l'intérêt peut être très grand, et qui agissent d'une *manière absolument automatique* sur le réglage de l'intensité, ou de la tonalité sonore, suivant les conditions mêmes de la réception.

D'autres dispositifs ont pour but de faciliter encore la recherche des émissions, de rendre l'usage du récepteur plus facile et plus sûr.

Les dispositifs anti-fading (V.C.A.). — Nous avons décrit le phénomène du *fading*, ou évanouissement, qui se manifeste surtout sur la gamme de 200 à 600 mètres, ou sur les ondes courtes de 12 à 80 mètres, sous une forme différente et plus rapide ; il consiste dans *une variation plus ou moins périodique de l'intensité d'audition*. La durée du phénomène n'est pas constante ; elle est généralement d'autant plus faible que la longueur d'onde est plus courte.

Le phénomène est atténué par l'emploi des antennes anti-fading à l'émission. A la réception, on le diminue très efficacement en adoptant plusieurs antennes distinctes agissant sur un même récepteur, car la variation d'intensité du signal ne se produit pas, en même temps, sur différentes antennes assez éloignées les unes des autres.

Ces appareils appelés *Diversity* sont complexes, et réservés jusqu'à présent à des usages professionnels ; le dispositif pratique adopté sur

le récepteur normal a pour but de s'opposer simplement aux variations d'intensité, en maintenant le signal appliqué agissant sur le détecteur à *une certaine valeur moyenne* ; il augmente la sensibilité, lorsque l'intensité du signal diminue, il la diminue lorsque l'intensité du signal augmente. La tension appliquée sur la détectrice ne dépend pas seulement de la puissance de l'émission, mais de la variation de modulation de cette émission ; aussi, un résultat parfait n'est-il pas possible.

Ces montages sont appelés anti-fading ou régulateurs automatiques d'intensité, ou encore, selon l'expression anglaise « volume contrôle automatique » (automatic-volume-control, A. V. C.).

Le dispositif anti-fading ne remplace pas la commande de puissance normale de l'intensité sonore, réalisée à la sortie de la lampe détectrice, et qui permet d'obtenir l'intensité désirée suivant les goûts personnels de l'auditeur ; il a pour but *d'éviter les variations de cette intensité*.

Pour obtenir ce contrôle automatique de l'amplification, on utilise surtout les propriétés *des lampes à pente variable*, employées désormais en majorité sur les étages moyenne fréquence et haute fréquence. En principe, on peut faire varier l'amplification de n'importe quelle lampe en agissant sur la polarisation des grilles, ou, ce qui revient au même sur la polarisation des cathodes, c'est-à-dire, en faisant varier la valeur de la résistance intercalée dans le circuit de cette cathode.

Ce résultat peut-être obtenu manuellement à l'aide d'un potentiomètre, et le régulateur anti-fading doit permettre seulement d'obtenir *le même résultat automatiquement*. Il doit donc, suivant la variation du courant détecté, agir sur les électrodes des lampes précédant le détecteur, de manière à diminuer l'amplification lorsque l'intensité du signal augmente, ou à augmenter l'amplification lorsque l'intensité du signal diminue.

On peut donner de ce phénomène une analogie hydraulique très simple, en considérant deux récipients A et B réunis par une tubulure. L'intensité des signaux à l'entrée du récepteur peut être figurée par le niveau de l'eau dans le premier récipient ; un robinet permet à l'eau de s'écouler hors du deuxième récipient. En temps normal, les variations de niveau dans le premier vase ont pour effet de déterminer des variations de niveau dans le deuxième. Le dispositif est comparable à un récepteur non muni d'anti-fading ; les variations d'intensité du signal déterminent des variations de tension à l'entrée de la détectrice.

Sur notre appareil hydraulique, nous pouvons adapter un régulateur, constitué par un flotteur placé sur le deuxième vase, et agissant sur un

levier tournant autour d'un pivot, solidaire d'un bouchon pouvant s'enfoncer plus ou moins sur la tubulure reliant les deux vases (fig. 131).

Lorsque le niveau dans le deuxième vase monte, le flotteur s'élève ; le bouchon d'arrêt s'élève également dans la tuyauterie, le débit de l'eau diminue, le niveau du deuxième vase tend à baisser. Le phénomène inverse se produit lorsque ce niveau s'élève.

Il y a ainsi une action compensatrice continue, et, pratiquement, le niveau dans le deuxième vase doit demeurer constant, si l'appareil fonctionne bien.

Il en est de même dans un appareil à régulateur anti-fading. Une augmentation de l'intensité du signal agissant à l'entrée produit sur le détecteur une augmentation du courant moyen détecté. Ce courant est utilisé en dérivation, et parcourt une résistance, dans laquelle il détermine une chute de tension plus ou moins importante. Celle-ci est utilisée pour faire varier la polarisation des grilles des lampes amplificatrices moyenne fréquence, et de la lampe changeuse de fréquence, de manière à augmenter ou à diminuer le pouvoir amplificateur, et, par conséquent, à faire varier d'une manière compensatrice le pouvoir amplificateur du récepteur.

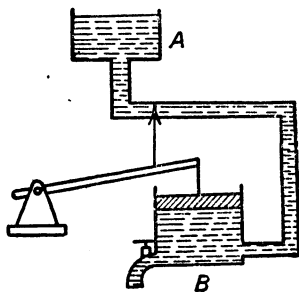


FIG. 131. — Analogie très élémentaire du montage anti-fading.

Le dispositif ne peut augmenter la sensibilité du récepteur au delà de sa limite maximum, *mais seulement la diminuer* au-dessous de cette limite. Il procède à un *nivellement par le bas*, en ramenant la sensibilité à une valeur moyenne inférieure à la sensibilité maximum ; il ne peut donc être appliqué qu'aux appareils ayant une réserve suffisante de sensibilité, et, en pratique, aux récepteurs à changement de fréquence.

Montages anti-fading. — Suivant le principe initial, la tension obtenue aux bornes d'une résistance placée dans le circuit de la détectrice est utilisée pour faire varier la tension de polarisation des grilles des lampes amplificatrices moyenne fréquence et changeuse de fréquence (fig. 132).

Le montage le plus simple est réalisé avec une lampe diode. La tension produite dans le sens du courant de l'anode vers la cathode détermine une polarisation plus élevée du point A qu'au point B de la résis-

tance R intercalée dans le circuit cathodique. La différence de tension est d'autant plus élevée que la tension à détecter est plus importante ; elle peut donc servir à polariser les grilles des lampes à pente variable.

La tension moyenne ainsi utilisée doit dépendre, autant que possible, de la variation de puissance du signal, et non de la modulation, il faut donc éliminer la basse fréquence. Ce résultat est obtenu en intercalant dans le circuit une résistance R' , d'une valeur de l'ordre de 0,5 mégohm, et un condensateur de fuite C' d'une capacité de 0,1 microfarad environ. Le montage est souvent réalisé à l'aide d'une lampe double diode,

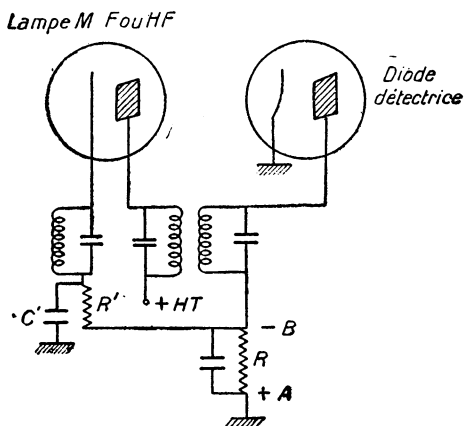


FIG. 132. — Principe du montage anti-fading.

une des plaques de la lampe étant alors spécialement réservée au fonctionnement anti-fading.

Ce montage simple peut présenter des inconvénients ; en particulier lorsque le récepteur est au repos, et n'est pas accordé sur une émission déterminée, le signal qui agit sur l'entrée est pratiquement nul. Le régulateur anti-fading agit alors pour augmenter la sensibilité au maximum, et le récepteur a tendance à amplifier tous les parasites recueillis par l'antenne. Cet inconvénient se manifeste pour la recherche des émissions lorsque le réglage est effectué sur une zone de silence entre deux émissions il se produit dans l'intervalle des recherches des bruits gênants, qui viennent complètement troubler l'audition.

Il est indispensable, d'autre part, que le régulateur d'intensité ne commence à agir que lorsque la détectrice est actionnée par une tension

d'une certaine valeur limite ; sinon, la régulation commence à se faire sentir dès qu'une tension très faible est appliquée sur le détecteur, et la sensibilité en est diminuée.

Enfin, lorsqu'on veut recevoir une émission lointaine très faible, la tension continue obtenue à la sortie du détecteur est également très faible ; elle ne suffit plus pour actionner l'anti-fading. C'est, en particulier, le phénomène qui se produit dans les appareils à amplification directe.

Pour éviter l'inconvénient dû aux bruits parasites amplifiés provenant d'une amplification trop importante pendant la recherche des émissions, on utilise des dispositifs de *réglage silencieux*, bloquant le fonctionnement du récepteur entre les intervalles du réglage, lorsqu'aucun signal ne vient agir sur lui.

D'un autre côté, pour éviter le fonctionnement du régulateur pour une tension trop faible, on emploie des montages dits *d'anti-fading différé ou retardé*. Enfin, pour permettre l'action d'une tension très faible, correspondant à la réception d'une émission lointaine ou peu puissante, on amplifie cette tension, avant de l'appliquer aux lampes précédant la détection. C'est ce qu'on appelle *la commande automatique de volume amplifiée*.

Montages pratiques anti-fading. — Les procédés anti-fading consistent toujours à appliquer sur une ou plusieurs lampes haute fréquence ou moyenne fréquence, une tension de polarisation négative, variable suivant les variations du courant de plaque de la lampe détectrice.

Ce courant varie, lui-même, en correspondance avec l'intensité des signaux reçus. La polarisation, et, par conséquent, l'amplification, fournie par les lampes à pente variable, varient en sens inverse l'une de l'autre. Pour des signaux forts, la polarisation augmente, et le courant de plaque diminue ; pour des signaux faibles, la polarisation diminue, et le courant de plaque augmente.

La diminution maxima du courant de plaque se produit au moment où le signal est le plus intense, et ce phénomène est, d'ailleurs, également utilisé dans les dispositifs de réglages visuels.

On voit sur la figure 132 un exemple pratique schématique de la façon dont on peut réaliser un montage pratique de ce genre, établi avec une lampe moyenne fréquence, une lampe combinée détectrice diode, et première triode amplificatrice, et une lampe de sortie basse fréquence.

La tension à détecter, provenant des étages moyenne fréquence, est appliquée à l'aide du secondaire du transformateur moyenne fréquence, entre la cathode et l'anode de la lampe diode.

Le courant redressé obtenu dans la lampe produit une chute de tension dans la résistance R shuntée par un condensateur de fuite C .

Suivant l'intensité du courant détecté, on obtient donc au point B une polarisation plus ou moins négative ; celle-ci est appliquée à la grille de la lampe moyenne fréquence à travers une résistance R' , ce qui provoque une variation d'amplification de cette lampe.

Grâce à cette résistance, et à son condensateur de fuite C' , on régularise l'action du dispositif anti-fading, car la transmission de la tension n'est pas instantanée. La durée de transmission varie suivant les constantes du condensateur ; elle est généralement de l'ordre de $1/10$ de seconde. Si l'action était instantanée, les modulations musicales mettraient en action l'anti-fading, ce qui empêcherait la réception.

Réglage automatique. — La diffusion des postes de T.S.F. dans la grande masse du public a été due presque autant, sans doute, à la *facilité de leur emploi* qu'à l'intérêt des radio-concerts, et à la qualité musicales des auditions.

On a pu symboliser, en quelque sorte, les progrès de la technique de la construction des postes par quelques formules heureuses, qui sont venues successivement démontrer aux sans-filistes la facilité de plus en plus grande des réceptions radiophoniques.

La fameuse formule « une prise de courant à enfoncer, et c'est tout » a d'abord montré la possibilité d'alimenter uniquement les récepteurs à l'aide du courant d'un secteur, alternatif, ou continu, et elle a annoncé l'avènement des postes-secteur.

Les premiers récepteurs de T.S.F. comportaient de multiples boutons de réglage qui effrayaient les néophytes, et c'est pourquoi le slogan « un bouton à tourner et c'est tout » est venu apporter une nouvelle impulsion à la diffusion de la radiophonie, en annonçant l'avènement des appareils à réglage essentiel unique.

Dans ces appareils classiques utilisés aujourd'hui, il n'y a plus, en effet, qu'un bouton essentiel de recherche des émissions, qui commande le bloc des condensateurs variables ; en même temps, une aiguille de repère se déplace devant le cadran du récepteur directement gradué en noms de stations, le plus souvent, et même muni de voyants lumineux qui facilitent encore la manœuvre, s'il en était besoin.

Pour entendre une émission quelconque, il suffit généralement de tourner ce bouton jusqu'à ce que la position de l'aiguille de repère sur le cadran corresponde avec l'inscription du nom du poste, dont on veut entendre l'émission.

Le poste à accord automatique, est annoncé par une nouvelle formule « un bouton à pousser et c'est tout », comparable à la formule fameuse qui a fait le succès des appareils photographiques d'amateurs, et peut séduire l'auditeur en faisant appel à son désir de moindre effort.

Dans ces modèles nous voyons donc apparaître un certain nombre de boutons de commande, au nombre de 6 à 12, en général, disposés sur le panneau de contrôle, à côté, le plus souvent, du cadran de repère ordinaire.

Ces boutons sont disposés sur un tableau rectangulaire, sur une seule ligne, ou encore sur un cadran circulaire.

Ce sont des sortes de *poussoirs*, sur lesquels on appuie, et qui ont la forme des touches de machine à écrire, des boutons de commande des tableaux des ascenseurs, ou plutôt des machines à calculer.

En face de chacun d'eux, ou même sur leur surface, se trouve une inscription indiquant le nom d'un poste émetteur déterminé ; pour entendre le radio-concert provenant d'une des stations indiquées, *il suffit uniquement d'appuyer sur le bouton correspondant*, après avoir, cependant s'il y a lieu, effectué un premier réglage, sur la bande de longueurs d'onde nécessaire, à l'aide du combinateur habituel du poste. La formule « un bouton à pousser et c'est tout » est donc à peu près justifiée.

Le réglage d'un récepteur de T.S.F. devient ainsi beaucoup plus facile même que celui d'un poste téléphonique ordinaire automatique, qui exige plusieurs rotations du cadran, pour former la combinaison correspondant à l'indicatif d'appel de l'abonné désiré.

En réalité, et comme il arrive bien souvent dans l'industrie, cette idée de l'accord automatique n'est nullement nouvelle. Vers 1929 ou 1930, il y avait déjà aux Etats-Unis des appareils dans lesquels la manœuvre du condensateur variable d'accord était effectuée automatiquement, et même à distance, à l'aide d'un petit moteur électrique. Ce qui importe pourtant dans ces appareils, ce n'est pas seulement le principe initial, mais bien la réalisation industrielle, qui doit en assurer le fonctionnement pratique ; c'est pourquoi les premiers appareils mal étudiés n'avaient eu aucun succès, d'autant plus que les conditions d'emploi n'étaient pas les mêmes à ce moment.

Ce système va-t-il se généraliser ? Oui et non sans doute ; car, s'il augmente l'agrément d'un appareil récepteur, il ne s'applique pas, semble-t-il, pour le moment, à la réception d'un nombre de stations quelconques.

Dans tous les cas, en effet, cet accord automatiquement s'effectue, en principe, à l'aide de boutons-poussoirs, et la réception d'une émission quelconque est obtenue en appuyant sur le poussoir portant l'indication du nom de la station.

La réception de *chaque émission* exige ainsi, en principe, l'emploi d'un bouton-poussoir ou d'un organe analogue ; autant d'émissions à recevoir, autant de poussoirs.

Comment songer, dans ces conditions, à multiplier le nombre des émissions reçues automatiquement, puisqu'il est nécessaire de multiplier en même temps le nombre des poussoirs ?

Sans doute, y a-t-il des exceptions, et des postes à dispositif mécanique plus ou moins ingénieux, permettant de recevoir souvent une vingtaine, ou même une centaine d'émissions par un procédé automatique. Mais, si l'on veut conserver toute la simplicité qui fait l'attrait du procédé, on ne peut songer normalement à adopter plus d'une dizaine de poussoirs, par exemple ; par conséquent, on ne recevra pas automatiquement non plus, plus d'une dizaine d'émissions, choisies, généralement, parmi les émissions locales, ou, en tout cas, les émissions nationales.

On ne peut ainsi concevoir un récepteur entièrement automatique que comme *un appareil local*, destiné surtout à l'auditeur se contentant de recevoir un nombre d'émissions restreintes, et, en France, il est malheureusement peu de sans-filistes qui appartiennent à cette catégorie. Pour la plupart, la chasse aux émissions demeure un plaisir « sportif », qui n'a, d'ailleurs, aucun rapport avec un agrément artistique quelconque, et la possibilité de réception de la majorité des émissions européennes est, pour l'acheteur, une condition sine qua non.

Dans les conditions du problème, et pour un appareil sensible, le dispositif d'accord automatique, ne peut donc être *qu'un système auxiliaire* employé pour la réception de quelques émissions sélectionnées, et qui laisse place au procédé classique, lorsqu'il s'agit de rechercher des émissions faibles, en dehors de cette sélection préalable.

Dispositifs correcteurs d'accord. — La précision de l'accord nécessaire dans les montages à réglage automatique est d'autant plus élevée qu'il s'agit de signaux plus faibles, et de fréquences plus élevées.

La nécessité d'obtenir cette précision a amené à imaginer des dispositifs de correction de fréquence automatique permettant de transformer un accord plus ou moins approximatif en un réglage exact. Ces dispositifs peuvent évidemment être employés sur des appareils non munis du réglage automatique.

Le principe de fonctionnement est relativement simple. Le récepteur est, d'abord, réglé sur la fréquence exacte, soit manuellement, soit par le dispositif automatique. Le dispositif de correction fait alors varier la fréquence de l'oscillateur local de l'appareil à changement de fréquence, de façon que le battement obtenu corresponde exactement à la fréquence moyenne nécessaire. Ces appareils exigent cependant un montage assez complexe.

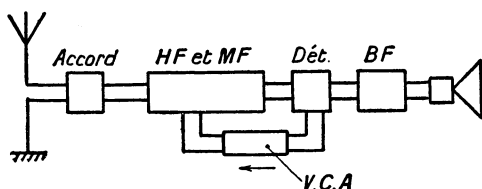


FIG. 132 bis — Disposition schématique d'un dispositif anti-fading (V.C.A.).

On recueille, dans ce but, une partie de la tension traversant l'amplificateur moyenne fréquence, et on l'envoie dans un *dispositif discriminateur*. Ce dernier permet d'obtenir à la sortie une certaine tension, variable suivant la différence existant entre la fréquence moyenne recueillie et la fréquence normale nécessaire. Ce courant variable est employé pour agir sur une lampe de contrôle modifiant les conditions de fonctionnement de l'oscillateur local, jusqu'à ce qu'il fournisse la fréquence nécessaire pour produire exactement la fréquence moyenne adoptée.

Sélectivité variable automatique. — Ces dispositifs fonctionnent à l'aide d'une commande manuelle manœuvrée par les auditeurs, et suivant les conditions de la réception.

On a pu aller plus loin, et chercher à construire un dispositif de commande *automatique*, assurant la variation de la sélectivité sous l'action même de l'émission à recevoir. La sélectivité doit diminuer sous l'action d'un signal puissant et augmenter sous l'action d'un signal faible. En général, on essaie de faire varier l'amortissement du primaire

d'un transformateur moyenne fréquence de liaison, en utilisant la variation de résistance interne d'une lampe amplificatrice pentode, en agissant, en réalité, sur la polarisation de la grille d'arrêt de cette lampe, au moyen de la tension anti-fading. (fig. 133).

Le radio-récepteur moderne. — Le radio-récepteur est devenu un appareil souvent très complexe, lorsqu'il est muni de tous les perfectionnements que nous venons de décrire. On peut considérer, comme nous l'avons vu, deux catégories générales essentielles : les modèles *tous courants* avec des lampes montées en série, et les modèles *alternatifs* avec les éléments des lampes reliés en parallèle. Les montages

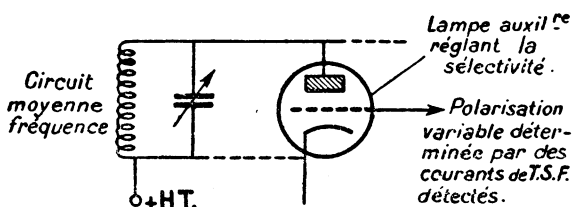


FIG. 133. — Principe d'un système à sélection automatique.

différent, bien entendu suivant les variations des types des lampes qui sont fréquentes, et nombreuses, et aussi suivant les marques. Pourtant, jusqu'au moment où il n'y aura pas de modifications essentielles dans le principe même de la construction, les différents montages présenteront un ensemble de caractéristiques communes.

D'ailleurs, qu'il s'agisse d'appareils tous courants ou alternatifs, la presque totalité des modèles utilisés sont des appareils à changement de fréquence, et ce changement de fréquence est obtenu au moyen d'une seule lampe oscillatrice-modulatrice à électrodes multiples.

Nous donnons ainsi, sur la figure 134, uniquement à titre d'exemple documentaire, le schéma de principe d'un appareil récepteur du type standard à changement de fréquence alimenté par courant alternatif. Cet appareil comporte 6 lampes, dont une lampe changeuse de fréquence, une lampe amplificatrice moyenne fréquence, une lampe détectrice première basse fréquence, une lampe de sortie de puissance, une valve d'alimentation, et un indicateur visuel cathodique.

Le montage d'accord est du type Bourne, c'est-à-dire à primaire aperiodique et secondaire accordé ; trois gammes d'ondes sont seule-

ment prévues OC, PO et GO. La lampe changeuse de fréquence est du type triode-hexode ; elle est reliée à la lampe pentode moyenne fréquence à l'aide d'un premier transformateur moyenne fréquence à noyau de fer à primaire et secondaire accordés sur 472 kilocycles.

La détection et la première amplification basse fréquence de tension sont obtenues à l'aide d'une lampe double diode triode ; les courants moyenne fréquence provenant de la lampe amplificatrice sont transmis à l'une des plaques de la diode, par l'intermédiaire du deuxième transformateur moyenne fréquence. La deuxième plaque est reliée à la première par un condensateur de 1/10.000 de microfarad, et elle est utilisée pour obtenir la tension anti-fading appliquée sur l'amplificatrice moyenne fréquence, et sur la changeuse de fréquence.

La tension basse fréquence à la sortie de la diode est recueillie par l'intermédiaire d'un potentiomètre, et transmise à la grille de l'élément triode de la double diode-triode.

Les courants basse fréquence amplifiés en tension sont envoyés sur la grille de la lampe de sortie, qui est une pentode à concentration électronique, par l'intermédiaire d'un condensateur de liaison de 2/100 de microfarad. Dans le circuit de sortie de cette lampe, on trouve un contrôleur de tonalité, formé par une capacité de 5/100 de microfarad en série avec une résistance variable de 50.000 ohms.

Le haut-parleur électro-dynamique, dont le bobinage d'excitation de 1.800 ohms constitue l'enroulement du circuit-filtre, est relié à la lampe de sortie par l'intermédiaire d'un transformateur. L'alimentation est assurée à l'aide d'un transformateur à prises du primaire et à trois secondaires, dont le premier chauffe les filaments de cathodes, le deuxième alimente le filament de la valve de redressement, et le troisième assure la haute tension. Cette valve de redressement est elle-même un modèle bi-plaque à chauffage indirect.

Enfin, un indicateur visuel à double sensibilité est relié au circuit d'anti-fading, de la manière déjà indiquée.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos.....	V
Symboles graphiques normalisés des schémas radioélectriques	VIII
Symboles des unités.....	XI
Alphabet grec	XII

CHAPITRE PREMIER

NAISSANCE ET DÉBUTS DE LA T. S. F.

Les premiers procédés de télégraphie sans fil	1
Les premières transmissions électriques sans fil	2
L'étincelle oscillante	3
L'œuvre d'Henri Hertz	4
Le cohéreur et les travaux de Branly	7
Les débuts de la T.S.F.	9
L'œuvre de Marconi	10
La naissance de la T.S.F.....	13
L'avènement de la lampe à vide	15
Naissance et débuts de la radiophonie	17
La radiodiffusion.....	21

CHAPITRE II

LES ONDES ÉLECTRIQUES ET LEUR PROPAGATION

Phénomènes vibratoires.....	25
Ondes élastiques	28
Echelle des radiations	30
Classement des ondes électriques	32
Constitution des ondes hertziennes	34

Propagation des ondes hertziennes.....	36
Propagation à la surface de la terre	37
Ondes de surface et ondes d'espace	38
Irrégularité de propagation. Zones de silence	39
Le fading	41
Effet Luxembourg	42
Classification des ondes radioélectriques	42
Parasites atmosphériques	44
Conditions générales de réceptions des ondes radiophoniques	45

CHAPITRE III

LES COLLECTEURS D'ONDES

Rôle et fonctionnement du collecteur d'ondes	47
Nécessité du collecteur d'ondes en radiophonie	49
Différentes formes d'antennes	51
Antenne intérieure	51
L'antenne de fortune	52
Antenne extérieure	53
Descente d'antenne	55
Qualité de l'antenne extérieure	56
La prise de terre	57
L'antenne et les orages	58
Antennes antiparasites.....	59
Le cadre et son évolution	62
Antennes anti-fading	66

CHAPITRE IV

ACCORD ET SÉLECTION

Principes de la résonance	69
Vibrations d'une antenne	71
Accord de l'antenne	73
Différents montages d'accord	75
Influence du système d'accord et du type d'antenne sur la résonance	76
Sélectivité et couplage	77

Emplois des filtres en radiotechnique	79
Réalisation pratique des montages d'accord.....	82
Accord du cadre	83

CHAPITRE V

ÉMISSION RADIOPHONIQUE ET DÉTECTION

POSTE A GALÈNE

Ondes amorties et ondes entretenues.....	85
Modulation radiophonique	86
Modulation en amplitude	88
Bandes de transmission radiophonique	88
Modulation et sélection	89
Modulation en fréquence	91
Avantages et inconvénients de la modulation en fréquence..	94
Élimination des perturbations	95
Nécessité de la détection	96
Détection radiophonique	100
Différents types de détecteurs	100
Postes à galènes	102
Avantages et inconvénients du poste à galène	103

CHAPITRE VI

LA LAMPE A VIDE DE T.S.F.

Effet Edison	105
Constitution de la matière et émission électronique	106
Principe initial de la lampe à vide	109
Lampe diode et valves de redressement	111
Lampe à trois électrodes ou triodes	111
Caractéristiques de la lampe T.S.F.	113
Pente de conversion	117
Coefficient d'amplification	117
Résistance interne	118
Equation de la lampe	119
Chauffage indirect des cathodes	120
Caractéristiques de la lampe et dispositions des électrodes ..	122
Polarisation des électrodes	123

CHAPITRE VII

LES TRANSFORMATIONS DE LA LAMPE DE T.S.F.

Principes originaux de fonctionnement	128
Transformations des cathodes	129
Inconvénients de la lampe triode	131
La lampe à écran	132
Pentodes à haute fréquence et à basse fréquence.....	134
Lampes à pentes variables	135
Lampes multiples et à fonction multiple	137
Lampe bigrille	137
Lampe hexode	139
Pentagrille et octode	140
Binode et diode-tétraode	141
Double diode triode et double diode-pentode	142
Lampes complexes	143
Lampes à concentration électronique	144
Lampes de T.S.F. à émissions secondaires et multiplicateurs d'électrons	146
Lampes pour ondes courtes	147
Lampes à déviation électronique	149
Tubes à champ magnétique magnétrons	150
Tubes à modulation de vitesse	151
Perfectionnements mécaniques de la lampe	152
Lampes métalliques	154
Lampes métal-verre	156
Lampes tous courants et lampes batteries	156

CHAPITRE VIII

LA DÉTECTION PAR LAMPE ET LA LAMPE DÉTECTRICE A RÉACTION

Différents modes de détection par lampe	159
Triode détectrice par la plaque	161
Triode détectrice par la grille	162
Détectrice diode	165
Lampe détectrice à réaction	169

Principe du montage	169
Fonctionnement du montage	172
Différents montages de lampes détectrices à réaction	173

CHAPITRE IX

AMPLIFICATION HAUTE FRÉQUENCE ET BASSE FRÉQUENCE

La lampe amplificatrice	181
Montages amplificateurs haute fréquence	183
Systèmes de liaison	187
Amplification en tension	188
Choix des lampes de tension et de puissance	189
Classes d'amplification.....	189
Amplificateurs classe A	190
Vérification du fonctionnement en classe A	190
Montage push-pull	191
Montage classe B et ses variantes	192
Les distortions.....	194
Triodes, pentodes et lampes à concentration électronique à basse fréquence	196

CHAPITRE X

LA LAMPE OSCILLATRICE ET LES POSTES D'ÉMISSION

Lampe triode oscillatrice.....	199
Principe des montages émetteurs.....	202
Modulation de l'émetteur	207
Les hétérodynes	209

CHAPITRE XI

LE CHANGEMENT DE FRÉQUENCE ET LES SUPERHÉTÉRODINES

Inconvénients de l'amplification haute-fréquence	211
Principe de la réception par changement de fréquence	213
Phénomènes des battements	214
Production du changement de fréquence	216

Inconvénients des changeurs de fréquence	218
La fréquence image	218
Oscillations parasites	219

CHAPITRE XII

RÉCEPTEURS A CHANGEMENT DE FRÉQUENCE ET A SUPERREACTION

Constitution d'un récepteur à changement de fréquence	221
Montages simples de changement de fréquence et détection.	222
Montages de changement de fréquence à modulation	223
Montage à lampe bigrille	224
Montages à oscillatrices séparée	225
Emploi des lampes à grilles multiples	225
Principes de la superréaction	227
Montages à superréaction	228
Emploi des appareils à superréaction	229

CHAPITRE XIII

AMPLIFICATION ET EQUIPEMENT DES APPAREILS RADICÉLECTRIQUES

Nécessité de l'alimentation	231
Le problème de l'alimentation des récepteurs	232
Principes des redresseurs de courants	232
Différents types de redresseurs de courant.....	233
Montages redresseurs à lampes.....	235
Filtrage du courant redressé.....	236
Disposition des circuits de chauffage.....	237
Alimentation haute tension	238
Polarisation et découplage	239
Principes des découplages	240
Contrôleur d'intensité et de tonalité sonores.....	241
Équipement électro-acoustique des récepteurs	243
Principe des écouteurs téléphoniques et des haut-parleurs ..	244
Les appareils électro-dynamiques	245
Diffuseurs acoustiques	247
Principe et emploi des pick-up	250

CHAPITRE XIV

CONSTRUCTION ET MONTAGE DES RÉCEPTEURS DE T.S.F.

Les différentes formes de récepteurs de T.S.F.	253
Différentes catégories de récepteurs	255
Les pièces détachées en T.S.F.	257
Condensateurs fixes	258
Condensateurs variables et ajustables	260
Emploi des résistances en T.S.F.	261
Bobinages employés en T.S.F.	262
Pertes en haute-fréquence.....	264
Principes de la construction	265
Technique du poste secteur	268
Les appareils en modulation à fréquence	269

CHAPITRE XV

QUALITES DE RÉCEPTEUR RADIOPHONIQUE

Sensibilité	273
Sélectivité	275
Puissance	276
Fidélité et musicalité	277
La haute fidélité	277
Sélectivité variable	278
Les appareils à sélectivité variable	280
Principe du réglage unique	282
Le réglage unique des appareils à changement de fréquence.	283
Emploi de capacités d'alignement	284
Contrôle visuel de réglage	286
La contre réaction basse fréquence	288

CHAPITRE XVI

LES DISPOSITIFS AUTOMATIQUES DANS LE RÉCEPTEUR

Les dispositifs antifading	291
Montages anti-fading	293

Pratique des montages.....	295
Réglage automatique	296
Dispositifs correcteurs d'accord	298
Sélectivité variable automatique	299
Le radio-récepteur moderne	300

- Technique de la radio. Théorie et pratique**, par Dr J. DUR-RWANG. Traduction française de L. LAMBELET. 190 pages 15,5x22,5, avec 141 figures. 1945. Broché.....330 fr
- La construction des bobinages électriques. Aide-mémoire du bobinier**, par C. CLÉMENT, ingénieur civil, chef de bureau d'études. xvi-379 pages 16x25, avec 363 figures. 3^e édition. *Nouveau tirage*. 1947. Broché.....270 fr.
- Les applications pratiques des rayons infrarouges**, par M. DÉRIBÉRE, ingénieur E.B.P., chef de laboratoire à la Compagnie des Lampes. x-280 pages 16x25, avec 198 figures. 2^e édition. 1947. Broché.....570 fr.
- Les applications pratiques de la luminescence. Fluorescence. Phosphorescence. Lumière noire**, par M. DÉRIBÉRE, ingénieur E.B.P., chef de laboratoire à la Compagnie des Lampes. xiv-264 pages 16x25, avec 53 figures. 2^e édition. 1946. Broché. 435 fr.
- Radiotechnique aéronautique**, par E. FROMY, docteur ès sciences. professeur à l'École nationale supérieure de l'aéronautique. viii-360 pages 16x25, avec 237 figures. 2^e édition. 1947... sous presse.
- La radio dans la navigation. Radiotélégraphie, radiogéométrie, radiophares, radioatterrissage, radar-sondeurs U. S.**, par X. RÉYNES, ingénieur radio E.G.C., officier radio de la Marine marchande, ancien professeur à l'École centrale de T.S.F. xii-214 pages 16x25, avec 173 figures. 2^e édition. 1947... sous presse
- Application de la théorie des circuits couplés au calcul des transformateurs H. F.**, par S. MARMOR, ingénieur I.E.T., 120 pages 16x25, avec 79 figures. 1947. Sous presse.
- Étude de l'étage amplificateur à résistances**, par J. SCHÉRER, licencié ès sciences, ingénieur I.E.G. *Préface* de M. FROMY, professeur à l'École supérieure d'électricité ... *En préparation*.
- Les mathématiques de l'ouvrier moderne (Bibliothèque de l'Enseignement technique)**, par L. VÉZO, ancien chef de service aux usines de Senelle-Maubeuge, professeur à l'École pratique d'industrie, au Cours de perfectionnement professionnel et à l'École d'apprentis des ateliers A. Normand au Havre.
- Geométrie**. xvi-284 pages 13x21, 530 figures. 2^e éd. *Nouveau tirage*. 1946. Broché..... 125 fr.
- Mécanique**. iv-276 pages 13x21, 233 figures. *Nouveau tirage*. 1946 Broché.....115 fr.
- Éléments de trigonométrie, suivis d'une instruction sur la règle à calcul**, par H. HARANG, professeur aux Écoles municipales professionnelles Diderot et Dorian. vi-157 pages 13x21, avec 113 figures. 2^e édition. *Nouveau tirage*. 1946. Broché.....68 fr.
- La normalisation**, par J. MAILLY, docteur en droit. *Préface* de P. SALMON, ingénieur général, commissaire à la normalisation. 472 pages 16x25. 1946. Broché375 fr.
-